

**T.C.**  
**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**ODUN MEKANİĞİ VE TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI**

**GÖKNAR VE SARIÇAM ODUNLARINDAN NANOKİL İLAVELİ ÇAPRAZ  
LAMİNE KERESTE ÜRETİM OLANAKLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**  
**Vedat HEKİMOĞLU**

**2008**

**DANIŞMAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT**

**BARTIN-2014**

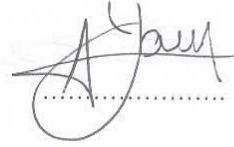
## KABUL VE ONAY

Vedat HEKİMOĞLU tarafından hazırlanan “GÖKNAR VE SARIÇAM ODUNLARINDAN NANOKİL İLAVELİ ÇAPRAZ LAMİNE KERESTE ÜRETİM OLANAKLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 28.08.2014 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. S. Murat ONAT (Danışman)



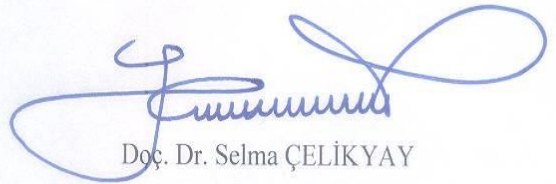
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hikmet YAZICI



Üye : Yrd. Doç. Dr. Deniz AYDEMİR



Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ....../....../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selma ÇELİKAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT danışmanlığında hazırlamış olduğum " GÖKNAR VE SARIÇAM ODUNLARINDAN NANOKİL İLAVELİ ÇAPRAZ LAMİNE KERESTE ÜRETİM OLANAKLARININ İNCELENMESİ" adlı 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.

... / ... / 2014

Vedat HEKİMOĞLU

## ÖN SÖZ

“GÖKNAR VE SARIÇAM ODUNLARINDAN NANOKİL İLAVELİ ÇAPRAZ LAMİNE KERESTE ÜRETİM OLANAKLARININ İNCELENMESİ” adlı bu çalışma, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanması esnasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, tezin bilimsel danışmanlığını üstlenen kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. S. Murat ONAT’ a teşekkür eder ve minnet duygularımı sunarım.

Tezimi inceleyerek değerli katkılarını esirgemeyen sayın jüri hocalarım Yrd. Doç. Dr. Deniz AYDEMİR’ e ve Yrd. Doç. Dr. Hikmet YAZICI’ ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin uygulama aşamalarında emeği geçen Ömer Rahmi PEKSU’ ya katkısından dolayı teşekkür ederim.

Tez düzeltme aşamalarında yardımını esirgemeyen Orman Endüstri Mühendisi Ufuk ÖZGÜL’e katkısından dolayı teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü konuda maddi ve manevi desteği sağlayan ve her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, ileride bu konuda yapılacak olan çalışmalara ışık tutması ve ilgilenenlere yol gösterici olmasını dilerim.

Vedat HEKİMOĞLU

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GÖKNAR VE SARIÇAM ODUNLARINDAN NANOKİL İLAVELİ ÇAPRAZ LAMİNE KERESTE ÜRETİM OLANAKLARININ İNCELENMESİ**

**Vedat HEKİMOĞLU**

**Bartın Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Odun Mekaniği ve Teknolojisi Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT**

**Bartın-2014, Sayfa: XVII+75**

Bu çalışmada, Göknar ve Sarıçam odunlarından nanokil takviyeli çapraz lamine kereste (ÇLK) üretim olanaklarının incelenmesi çalışması yapılmıştır. Gerekli literatür araştırması ve ön çalışmalar yapıldıktan sonra PVAc D-3 tutkalı ile kontrol ve tutkala nanokil ilaveli olarak, % 1, % 2 ve % 4 oranlarında karışım yapılarak tutkal hazırlanma işlemi tamamlanmıştır. Epoksi tutkalı ile kontrol amaçlı olarak örnekler incelenmiş ve PVAc ile karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan ÇLK'lar 3x6x44 ve 2,5x6x44 cm ebatlarındaki örneklerde Eğilmede kayma deneyi yapılmıştır. Ayrıca 2,5x6x44 cm ebatlardaki örneklerin % 50 si suda bekletilerek Eğilmede Kayma Deneyi yapılmış ve çıkan sonuçlar incelenmiştir.

Eğilme direnci deneyinde; 2x6x36 cm ebatlarındaki örnekler, rutubet miktarı ve yoğunluk tayini için ise 2x2x10 cm ebatlarındaki örnekler ve basınç direnci deneyleri ise 2x2x6 cm ebatlarındaki örnekler kullanılmıştır.

Deneyler sonucunda; 3x6x44 cm Göknar ve Sarıçam kerestelerinin eğilmede kayma deneylerine ait bulgular incelendiğinde Göknar için tutkala ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilmede kayma değerlerinde % 21, Sarıçamda ise % 15 oranında artış

göstermiştir. Ancak Epoksi tutkalı için her iki ağaç türünde de aynı değerlerde sonuçlar ortaya çıktığı tespit edilmiştir. 2,5x6x44 cm örneklerde ise eğilmede kayma miktarları Gökmar için % 22, Sarıçam % 21 oranında artış olduğu hesaplanmıştır. Suda bekletme sonucunda örneklerin % 50 sinin tutkal hattından ayrılma işlemi olmuştur ve çıkan değerler normal değerlerin % 10- % 15 daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

Eğilme deneylerinde çıkan sonuçlara göre nanokil ilaveli ÇLK numune dirençlerinin kontrol örneklerine göre Gökmar için % 12 ve Sarıçam için ise %31 oranında fazla çıktığı gözlemlenmiştir.

Basınç dirençlerinde ise; Gökmar örneklerine ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak % 100 arttırdığı, Sarıçam ÇLK numunelerinde ise % 52 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler ve çıkan sonuçlar doğrultusunda tutkala ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilmede kayma değerlerinin ve basınç değerlerinin arttığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak; ÇLK üretimi sırasında tutkalla birlikte nanokil kullanıldığı takdirde daha yüksek dayanım ve yük taşıma potansiyeline sahip ahşap yapı panel sistemleri elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Buda nanokil ilaveli ÇLK üretiminin yapı sektöründe kullanım olanaklarının mümkün olabileceğini ifade etmektedir.

### **Anahtar Sözcükler**

Çapraz lamine kereste, eğilmede kayma deneyi, mukavemet, PVAc tutkalı, nanokil

### **Bilim Kodu**

502.15.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **PRODUCTION FEASIBILITY OF NANOCCLAY ADDED CROSS LAMINATED TIMBER MANUFACTURED BY USING FIR AND PINE WOODS**

**Vedat HEKİMOĞLU**

**Bartın University**

**Graduate School of Applied Sciences**

**Forest Industry Engineering**

**Department of Wood Mechanics and Technology**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Saadettin Murat ONAT**

**Bartın-2014, Page: XVII+75**

In this study the feasibility of production of nanoclay added cross laminated Scots pine and Uludag Fir lumber was carried out. After literature research and pilot studies, nanoclay was added with 1%, 2% and 4% ratios to PVAc D-3 glue and mixed thoroughly and compared with epoxy glued samples for control purpose. Cross laminated lumber boards were manufactured and cut for experiments with the dimensions of 3x6x44 and 2,5x6x44cm to determine rolling shear strength. 50% of the 2.5 cm width samples were also immersed in water and kept for 24 hours and their rolling shear properties were determined. In order to determine bending strength and modulus of elasticity, samples were cut with the dimensions of 2x6x44. Solid wood samples from each species were cut into 2 x 2x 10 cm and used for the determination of density and moisture contents. Also 2x2x6 cm samples were prepared for compression strength.

The results of Rolling shear experiments on 3 cm wide samples, up to 21 % increase was obtained for Fir and 15 % increase was obtained for Scots Pine depending on nanoclay amount added to glue. However for epoxy glue same results were obtained for both species. For 2.5 cm wide specimens 22% increase on Fir and 21% increase for Scots Pine was obtained in terms of Rolling shear values. Half of the specimens immersed in water

was destroyed because of delamination, the others gave 10 to 15% lower rolling shear values.

Bending strength tests showed that 12% increase was found for nanoclay added Fir CLTs and 31% increase was found for nanoclay added Scots Pine CLTs compared to control specimens. Compression strength perpendicular to grain experiments revealed that up to 100% increase was obtained for Fir and 52 % for Scots Pine.

According to the results increasing nanoclay amounts also increased rolling shear and compression strength values.

Consequently, it was found that stronger wood structural elements can be manufactured by using nanoclay added PVAc glue. It can be said that nanoclay added CLT can found a place in wood construction industry.

### **Key Words**

Cross laminated timber, Rolling shear, Strength, PVAc, nanoclay

### **Science Code**

502.15.01



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

KABUL VE ONAY .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
BEYANNAME.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM I GENEL BİLGİLER .....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Amaç ve Kapsam.....	1
1.3 Kullanılan Ağaç Türleri ve Özellikleri.....	2
1.3.1 Uludağ Gökarnı ( <i>Abies bornmülleriana</i> Mattf.).....	2
1.3.2 Sarıçam ( <i>Pinus slyvestris</i> ) .....	4
1.3.3 Sarıçamın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	5
1.4 Orman Endüstrisinde Kullanılan Tutkal Çeşitleri .....	5
1.4.1 Termoset Tutkallar .....	6
1.4.1.1 Üre Formaldehit Tutkalı .....	7
1.4.1.2 Fenol Formaldehit Tutkalı .....	7
1.4.1.3 Melamin Formaldehit Tutkalı.....	7
1.4.1.4 Rezorsin Formaldehit Tutkalı.....	8
1.4.1.5 Melamin Üre Formaldehit Tutkalı.....	8
1.4.1.6 İzosiyanat Tutkalı .....	8
1.4.2 Termoplastik Tutkallar .....	8
1.4.2.1 Polivinil Asetat Tutkalı (PVAc-Tutkalı) .....	8

	<b><u>Sayfa</u></b>
1.4.3 Epoksi Tutkalı .....	9
1.5 Killer ve Sınıflandırılması .....	10
1.5.1 Killerin Sınıflandırılması.....	10
1.6 Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler .....	11
1.7 Lamine Ahşap Teknolojisi .....	12
1.7.1 Ahşabın Tarihçesi.....	12
1.8 Levha Ürünleri .....	15
1.9 Yapısal Kompozitler.....	16
1.10 Çapraz Lamine Kereste (ÇLK).....	18
1.10.1 Çapraz Lamine Kereste Malzemenin Önemi ve Dünyada Kullanım Alanları..	19
1.11 Literatür Özeti .....	23
<b>BÖLÜM II MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>26</b>
2.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması .....	26
2.2 Tutkalların Hazırlanışı.....	31
2.3 Çapraz Lamine Kereste Malzemenin Hazırlanışı.....	33
2.4 Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....	35
2.4.1 Eğilmede Kayma Deneyi.....	35
2.4.2 Eğilmede Kayma Deneyi ve Suda Bekletme.....	38
2.4.3 Ağaç Malzemenin Eğilme Direncinin Belirlenmesi.....	39
2.4.3.1 Eğilme Direnci.....	39
2.4.3.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	41
2.4.4 Liflere Dik Basınç Direncinin İncelenmesi.....	41
2.5 Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi .....	42
2.5.1 Rutubet Tayini .....	42
2.5.2 Yoğunluk Tayini.....	42

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM III BULGULAR VE İRDELEME .....	44
3.1 Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular .....	44
3.1.1 Eğilmede Kayma Deneyine Ait Bulgular .....	44
3.1.2 Eğilme Deneyi ve Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular .....	53
3.1.3 Basınç Direncine Ait Bulgular .....	60
3.1.4 ÇLK Kırılma Çeşitleri .....	63
3.1.5 ÇLK Basınç Örneklerinde Kırılma Çeşitleri .....	64
3.2 Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular .....	64
3.2.1 Rutubet Ve Yoğunluk Tayinine Ait Bulgular .....	64
 BÖLÜM IV SONUÇ VE ÖNERİLER.....	 67
4.1 Sonuçlar.....	67
4.2 Öneriler.....	69
 KAYNAKLAR.....	 71
ÖZ GEÇMİŞ.....	75

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa No
1. Uludağ Gökmar'ının Türkiye'deki yayılış alanı.....	2
2. Sarıçam'ın Türkiye'deki yayılış alanı .....	4
3. Orman endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı tutkallar.....	6
4. Montmorillonit tabakasının yapısı.....	11
5. İlk ahşap örtüler.....	13
6. Dikmeli ve asıklı örtü sistemi.....	13
7. İlk birleşim detayları.....	14
8. Ahşap malzemenin yapıda kullanımı .....	19
9. Ahşap bina örnekleri.....	20
10. Çapraz lamine kerestenin yapıda kullanım olanak ve imkanları.....	20
11. Çapraz lamine Kereste malzemenin yapıda kullanım alanları .....	21
12. Çapraz lamine kerestenin yapıda kullanım olanakları.....	22
13. Örneklerin iklimlendirme cihazına istiflenmesi ve kurutulması. ....	26
14. Esan nano 130 termal özellikleri. ....	30
15. Nanokilin TEM görüntüsü.....	30
16. Ultrasonik karıştırma cihazı. ....	31
17. Mekanik karıştırıcıda %1'lik tutkal hazırlanışı. ....	32
18. Ultrasonik cihazda %1'lik tutkal hazırlanışı. ....	32
19. Mekanik karıştırıcıda tutkal hazırlanışı .....	33
20. Tutkalın çapraz lamine kereste malzemeye sürülme aşamaları.....	34
21. Çapraz lamine kereste malzemenin preslenmesi. ....	34
22. Çapraz lamine kereste malzemenin pres sonrası bekleme aşaması. ....	35
23. Eğilmede kayma deney örneklerinin ebatlandırılması. ....	36
24. Mekanik deneylerin yapıldığı U test cihazı.....	36
25. Eğilmede kayma deneyi.....	37
26. ÇLK örneklerin suda bekletilme kabı.....	38
27. Suda bekletme sonrası eğilmede kayma deneyi ve grafik şekli. ....	39
28. Zwick/Roel U test cihazı. ....	40
29. Gökmar ve Sarıçam ÇLK'nın eğilmede kayma deneylerine ait bulgular .....	44
30. Gökmar ve Sarıçam ÇLK'nın korelasyon katsayılarına ait bulgular .....	45
31. Gökmar ve Sarıçam ÇLK'nın eğilmede kayma deneyleri örneklerine ait bulgular .....	47

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
32. Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın suda bekletme sonunda çıkan eğilmede kayma deneylerine ait bulgular (2,5 cm).....	50
33. Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın sudan önce ve sudan sonra eğilmede kayma deneylerine ait bulgular .....	53
34. Sarıçam ÇLK'nın eğilme direncine ait bulgular.....	53
35. Gök nar ÇLK'nın eğilme direncine ait bulgular.....	54
36. Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın elastikiyet modülüne ait bulgular .....	54
37. Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın eğilme direncine ait bulgular .....	55
38. Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın basınç deneyine ait bulgular .....	60
39. ÇLK örneklerinde Eğilmede kayma kırılma şekilleri.....	63
40. ÇLK'nın liflere dik basınç direnci kırılma çeşitleri.....	64

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
1. Göknarın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	4
2. Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri. ....	5
3. Killerin Sınıflandırılması.....	10
4. Apel PVAc D-3 tutkalının teknik özellikleri .....	27
5. Epoksi Era 4000 tutkalının teknik özellikleri .....	28
6. Nanokilin kimyasal analizi .....	29
7. Nanokilin renk analiz değerleri .....	29
8. Nanokilin tane boyut özellikleri .....	29
9. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	45
10. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	46
11. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	46
12. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	47
13. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	48
14. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	48
15. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	49
16. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	49
17. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	51
18. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	51
19. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	52
20. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	52
21. Elde edilen eğilme deney sonuçlarının varyans analizi.....	55
22. Örnek tipine bağlı olarak eğilme değerleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	56
23. Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.....	56
24. Örnek tipine bağlı olarak eğilme deneyi sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	57
25. Elde edilen eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarının varyans analizi.....	57
26. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet sonuçlarına ait Duncan test sonuçları..	58
27. Elde edilen eğilmede elastikiyet deneyi sonuçlarının varyans analizi.....	58
28. Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet sonuçlarına ait Duncan test sonuçları..	59
29. Sarıçam odununa ait eğilme deneyi sonuçları.....	59
30. Göknar odununa ait eğilme deney sonuçları.....	60
31. Elde edilen basınç deney sonuçlarının varyans analizi.....	61

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
32. Örnek tipine bağlı olarak basınç deneyleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	61
33. Elde edilen basınç deney sonuçlarının varyans analizi. ....	62
34. Örnek tipine bağlı olarak basınç deneyleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.....	62
35. Gökmar örneklerin rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular. ....	65
36. Sarıçam örneklerin rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular. ....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>CaC<sub>2</sub></b>	:	Karpit
<b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	:	Aseton
<b>CH<sub>3</sub>CCOH</b>	:	Sirke Asidi
<b>D<sub>0</sub></b>	:	Tam kuru yoğunluk
<b>D<sub>12</sub></b>	:	Hava kurusu yoğunluk
<b>R</b>	:	Hacim ağırlık değeri
<b>µm</b>	:	Mikron metre
<b>B<sub>r</sub></b>	:	Radyal Daralma Miktarı
<b>B<sub>t</sub></b>	:	Teğet Daralma Miktarı
<b>B<sub>v</sub></b>	:	Hacmen Daralma Miktarı
<b>σ<sub>B</sub></b>	:	Basınç Direnci
<b>σ<sub>ç</sub></b>	:	Çekme Direnci
<b>σ<sub>E</sub></b>	:	Eğilme Direnci
<b>σ<sub>M</sub></b>	:	Makaslama Direnci
<b>a</b>	:	Dinamik Eğilme( Şok ) Direnci
<b>B<sub>s</sub> //</b>	:	Liflere Paralel Basınç Direnci
<b>B<sub>s</sub> ⊥</b>	:	Liflere Dik Basınç Direnci

## KISALTMALAR

<b>ÇLK</b>	:	Çapraz Lamine Kereste
<b>OGM</b>	:	Orman Genel Müdürlüğü
<b>ASTM D</b>	:	American society for testing and materials
<b>DÖG</b>	:	Deneyden Önce Gök nar
<b>DSG</b>	:	Deneyden Sonra Gök nar
<b>DÖS</b>	:	Deneyden Önce Sarıçam
<b>DSS</b>	:	Deneyden Sonra Sarıçam
<b>NK</b>	:	Nanokil
<b>PVAc</b>	:	Polivinil Asetat
<b>FF</b>	:	Fenol Formaldehit
<b>TOT</b>	:	Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral



<b>ABD</b>	:	Amerikan Birleşik Devletleri
<b>OSB</b>	:	Yönlendirilmiş Yonga Levha
<b>MDF</b>	:	Orta Yoğunlukta Lif Levha
<b>HDF</b>	:	Yüksek Yoğunlukta Lif Levha
<b>PSL</b>	:	Paralel Lif Kereste
<b>LSL</b>	:	Lamine Lif Kereste
<b>OSL</b>	:	Yönlendirilmiş Lifli Kereste
<b>LVL</b>	:	Kaplamalı Tabakalı Kereste
<b>GLULAM</b>	:	Yapıştırılmış Lamine Ahşap
<b>UNECE</b>	:	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
<b>FAO</b>	:	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
<b>U Test</b>	:	Üniversal Test Cihazı
<b>TEM</b>	:	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
<b>E. Mod</b>	:	Elastikiyet Modülü
<b>LTD</b>	:	Limited şirketi

# BÖLÜM I

## GENEL BİLGİLER

### 1.1 Giriş

İnsanların yaşamında her zaman yer tutabilen ve önemli bir geçmişe sahip olan ahşap malzeme; eski çağlardan günümüze kadar yapı üretiminde çeşitli biçimlerde kullanılan ve farklı taşıyıcı yöntemlerle kullanılabilen bir yapı malzemesi olmuştur. Ahşap malzeme; günümüzde yapı elemanlarında fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal özellikleri ile üstün bir yer tutmakta ve bu gücünü korumaktadır. Ahşap malzeme günümüz teknolojileri ile entegre olarak üstün özelliklerini korumakta ve kullanım yerleri arttırmaktadır.

I.Dünya savaşından sonra toplumsal gelişmeye bağlı olarak, ahşap malzemenin açık olan kullanım yerleri artmıştır. Büyük açıklık gerektiren yapılara geçerken kullanılan hammaddenin kolay taşınmasına, hafifliğine, dayanımına, ağırlığına, montaj özelliğine, yapının tamamlanma süresine, ekonomik oluşuna, sıcaklığına, ahşap özelliğine vb özelliklerinden dolayı tabakalı ahşap malzeme kullanımına yönelmiş ve tercih etmişlerdir.

Küçük ahşap malzemelerin tutkallanması sonucu oluşturulan tutkallı tabakalanmış ahşap malzemeler, geleneksel ahşap malzemenin birçok olumsuz yönünü ortadan kaldırmış ve daha verimli ve daha fonksiyonel bir yapı malzemesi olmuştur. Strüktür sistemlerinde küçük açıklıklarda ve büyük açıklık geçmelerde genel olarak betonarme, metal, plastik malzeme kullanımının yanında tabakalı ahşap malzemedeki kullanılmaktadır. Günümüzde özellikle yapılarda kafes sistemlerinde, kiriş, kolon, çerçeve, kemer vb şekillerde tutkallı tabakalanmış ahşap malzemeye dönüştürülmektedir (Altunkaya, 2007).

### 1.2 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Gökmar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarının PVAc D-3 ve Epoksi tutkallarına farklı değerlerde nanokil ilave ederek tutkalın yapışma direncini artırarak daha sağlam yapı malzemesi elde edilmesi hedeflenmiştir. Dünyanın birçok ülkesinde çapraz lamine ahşap malzeme yapılarda kullanılmasına rağmen ülkemizde kullanım olanağı bulamamaktadır.

Çapraz lamine kereste yapılarda kullanım olanağı incelendiğinde bu çalışmanın amaçları;

- Çapraz lamine kereste malzemeyi tanıtmak, diğer ahşap ürünlerle bu malzemeyi çeşitli bakış açılarından kıyaslamak
- Yapılarda en çok kullanılan ahşap malzemeleri çapraz lamine kereste malzeme ile ilişkilendirerek ortaya koymak, nedenlerini incelemek
- Yapılarda bu malzeme kullanıldığı takdirde diğer ahşap kerestelere göre daha dayanıklı bir oluşumun meydana geldiğini belirterek, malzemenin kullanım imkânlarını ülkemizde yaygınlaştırmaya çalışmak
- Gelecekte konu ile ilgilenen kişi ve kurumlara kaynak bırakmak

### 1.3 Kullanılan Ağaç Türleri ve Özellikleri

Bu çalışmada, Göknaar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) keresteleri kullanılmıştır

#### 1.3.1 Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)

Türkiye’de yetişen Uludağ Göknaarının yayılış alanı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Uludağ Göknaar’ının Türkiye’deki yayılış alanı (OGM, 2009).

Uludağ Göknaarı Türkiye’ye özgü bir endemik takson olup, ünlü botanikçi Bornmueller’in adını almıştır. Uludağ Göknaarı, genellikle 40 metreye değin boylanabilen birinci sınıf orman ağacı durumundadır. Piramidal gelişme gösterir, tepeden, tabana kadar çok sık dallı bir yapıya sahiptir. Gövde kabuğu gridir. Alt dallar yanlara doğru yatay uzanır. Yan sürgünlerin ucundaki tomurcuklar reçinelidir. İğne yaprakları 2–3,5 cm boyunda, parlak koyu yeşil, uç kısımları hafif oyukludur. Yaprakların alt yüzündeki iki adet belirgin,

gümüşi renkli stoma bandı, aynı zamanda yapraklarının üst yüzeyinde de görülür. Ortalama 15–16 cm boyunda ve 5 cm çapında kırmızı-kahverengi kozalakları vardır. Dallar üzerinde dik duran kozalakların dış pulları, iç pullarından daha uzundur ve bol reçinelidir. Dış pullar sivri bir uçla sonuçlanır ve geriye doğru kıvrıktır. Toprak ve rutubet istekleri fazladır, ışık istekleri azdır, gölgeye dayanıklıdır. Ana türe çok yakından benzemekle birlikte, genç sürgünlerin tüysüz, tomurcukların da reçineli olması ile ana türden ayrılır. Kozalak, iğne yaprak gibi öteki tüm morfolojik özelliklerce Doğu Karadeniz Göknarı'nın hemen tümüyle aynıdır. Ayrıca, ondan küçük bir farklılık olarak iğne yapraklarının bazılarının üst yüzlerinin uç kısımlarında da beyaz stoma lekeleri görülmektedir (Bozkurt, 1992).

Genel yayılış alanı Kızıl ırmağın denize döküldüğü yer ile Uludağ arasında kalan Batı Karadeniz Bölgesi ile Kocaeli havzasıdır. Bu kesimdeki dağlar, Doğu Karadeniz Dağları'nda olduğu gibi sıra dağlar karakterinde olmadığından, bu göknar taksonunun yayılışı da sürekli olmayıp kesintili bir durum gösterir. Bazen saf, genellikle Fagetum ve Abietum zonlarında kayın ve çamlara karışır (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Diri ve öz odun renk farkı yok, odun rengi sarımsı beyaz ile gri beyaz, yıllık halka sınırları belirgin ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş. Öz ısınları çok ince, makroskopik olarak görülmez. Doğal reçine kanalı yok. Odunu yumuşak ve oldukça hafiftir. Traheid çapı 25–65µm, uzunluğu 3400–4600µm, öz ısınları tek sıralı ve homojen. Karşılaşma yeri geçitleri 2–4 adet ve taxodioid tipte. Kenar hücrelerinde dikdörtgen kesitli kristaller var. Yaz odununda piceoid tipte geçide rastlanabilir. Doğal reçine kanalı yoktur. İşlenme özelliği iyidir, Kurutulabilme özelliği orta seviyededir, Dayanıklılık az ve Emprenye edilebilme özelliği zor ve güçlkle yapılabilir. Göknar ağacı genellikle endüstride kaplama, kontrplak, ambalaj malzemesi, yapı malzemesi, mobilya, doğrama, lif ve yonga levha, selüloz ve kâğıt, müzik aletleri yapımında kullanılabilir (Merev, 1984; Yaltırık, 1993).

Göknar odununun bazı Fiziksel ve Mekaniksel özellikleri aşağıda Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1: Göknarın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (İlter vd., 2001).

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
$D_0$	0,40 g/cm <sup>3</sup>	$\sigma_B$	37 N/mm <sup>2</sup>
$D_{12}$	0,429 g/cm <sup>3</sup>	$\sigma_E$	73 N/mm <sup>2</sup>
R	0,35 g/m <sup>3</sup>	E.mod	8300 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_r$	% 4,3	$\sigma_{\varphi}$ //	62 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_t$	% 8,6	$\sigma_M$	5 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_v$	% 13	a	0,26 kN/cm <sup>2</sup>
		$B_S$ //	37 N/mm <sup>2</sup>

### 1.3.2 Sarıçam (*Pinus Sylvestris*)

Türkiye’deki Sarıçam ağaçlarının yayılış alanı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Sarıçam’ın Türkiye’deki yayılış alanı (OGM, 2009).

Sarıçam Gymnospermae sınıfından, Pinaceae familyasının Pinus cinsinin bir türüdür. Çok değişik iklim ve edafik koşullar altında yetişen sarıçam birçok alttür, varyete ve formlara sahip, çok kompleks bir türdür (Tosun, 2001).

Dünya üzerinde son derece geniş bir alana yayılan sarıçam, çeşitli ülkelerde farklı isimlerle anılmaktadır. Örneğin, İngilizler Scotch Pine, Fransızlar Pin de Riga, Almanlar gemeine Kiefer (Adi Orman çamı) adını vermişlerdir. İlk defa 1753 yılında ünlü botanikçi LINNE bu türe Pinus sylvestris adını vermiştir ( Eliçin, 1971; Tosun, 2001).

Yetiştirme ortamlarına göre 20-40 m boy yapabilen, narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, ya da dolgun ve düzgün gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı her dem yeşil bir ağaçtır (Anşin ve Özkan, 1997).

Sarıçam önemli ve ekonomik değere sahip ağaç türlerinin başında gelmektedir. Bu önem, bu ağaç türünün saf halde ve diğer ağaç türleriyle karışık olarak geniş ormanlar oluşturmasından ve odununun çeşitli ve değerli kullanma yerlerine sahip bulunmasından ileri gelmektedir. Ayrıca, düzgün, dolgun ve boylu gövde yapma özelliği ve dolayısıyla odunundan tam olarak faydalanabilme imkânının mevcudiyeti sarıçamın ülke ekonomisi yönünden olan önemini artırmaktadır (Alemdağ, 1967).

### 1.3.3 Sarıçamın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

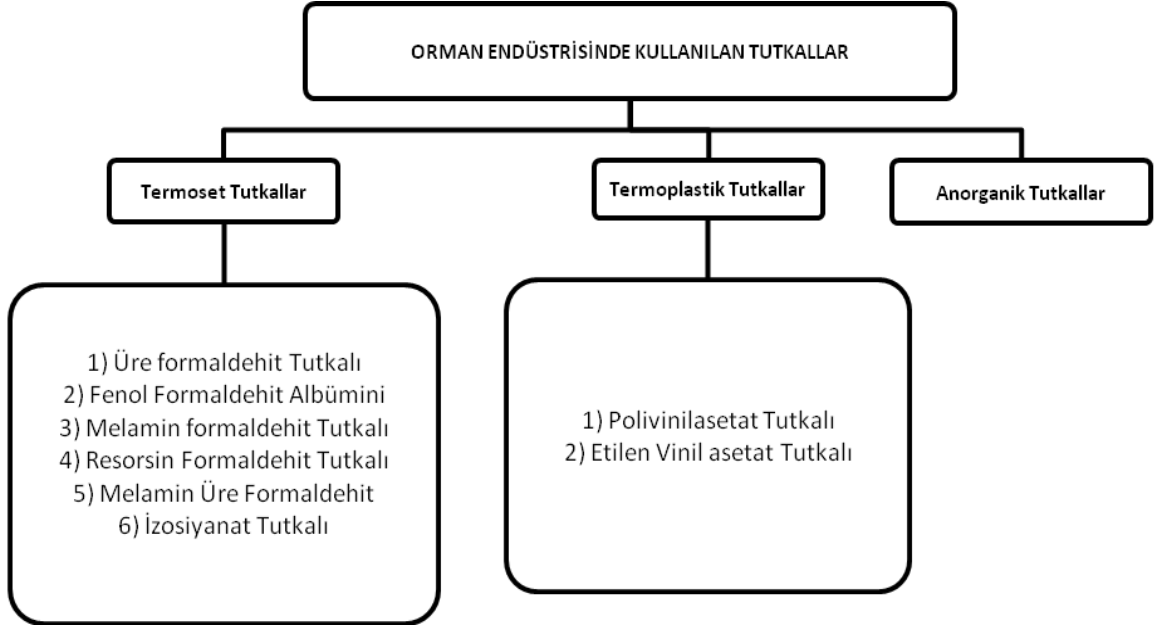
Sarıçamın Fiziksel ve Mekanik özelliklerine ait bilgiler Tablo 2’de verildiği gibidir.

Tablo 2: Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
$D_0$	0,490 gr/cm <sup>3</sup>	$\sigma_B$	45 N/mm <sup>2</sup>
$D_{12}$	0,520 gr/cm <sup>3</sup>	$\sigma_E$	80 N/mm <sup>2</sup>
R	750-850 kg/m <sup>3</sup>	E.mod	11000 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_r$	% 4,0	$\sigma_{\varphi}$ //	100 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_t$	% 7,7	$\sigma_M$	10 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_v$	% 12,4	a	0,4- 0,7 kN/cm <sup>2</sup>
		$B_S //$	40 N/mm <sup>2</sup>
		$B_S \perp$	19 N/mm <sup>2</sup>

### 1.4 Orman Endüstrisinde Kullanılan Tutkal Çeşitleri

Türk standartlarından olan TS 93 (1993) yapıştırıcıları, yüzeylerini birleştirmek suretiyle değişik maddeleri birbirine bağlayan veya tutturan, inorganik veya organik, sentetik maddeler olarak tanımlanmaktadır (TS 93 1994).



Şekil 3: Orman endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı tutkallar (Çavuş, 2008).

Bu yapıştırıcılar dolgu özelliklerine göre iki kısma ayırmaktadır. Dolgu özelliği olmayan yapıştırıcılar, yapıştırılacak yüzeylerin uygun bir basınç yardımıyla temas haline getirilmesiyle kullanılan, yapışma filmi kalınlığının 0,15 mm'yi aştığı durumlarda kullanılmaması gereken yapıştırıcılardır. Dolgu özelliği olan yapıştırıcılar ise imalattaki küçük yüzey kusurlarının bulunması veya yeterli basınç uygulanmasının mümkün olmaması durumlarında yakın veya sürekli temasın sağlanamadığı veya sağlandığı yüzeylerin yapıştırılmasında kullanılan ve 1,3 mm'ye kadar olan yapışma filmlerinde mukavemeti yeterli olan yapıştırıcılardır (TS 1993; 1994).

#### 1.4.1 Termoset Tutkallar

Termoset tutkallar çapraz-bağ yapıya sahip olup ısı yoluyla katılaştıran polimerlerdir. Bunlar genellikle sentetik tutkallar olarak bilinirler. Termosetler, katalizör veya ısı etkisiyle katılaşırlar ve bozunmadan tekrar sıvılaştırılmaları ya da yumuşatılmaları imkansızdır. (Korucu ve Mengeloğlu, 2007).

Orman Endüstrisinde kullanılan termoset tutkallar genellikle Üre Formaldehit tutkallar, Fenol formaldehit tutkallar, Melamin formaldehit tutkallar, Resorsin formaldehit tutkallar, Melamin Üre formaldehit tutkallar ve İzosiyanat tutkallarıdır.

#### **1.4.1.1 Üre Formaldehit Tutkalı**

ÜF tutkalı düşük maliyeti, yanmayan, kısa sertleşme süresi ve şeffaf renkli olması nedeniyle özellikle iç uygulamalarda kullanılan kontraplak ve yongalevha endüstrisinde tercih edilen, suya dayanıksız bir tutkaldır (Frihart, 2005).

Üre formaldehit, üre ile formaldehit'in polikondenzasyonu sonucu oluşan bir amin reçinesidir. Üre formaldehitin temel bileşenleri, üre ve formaldehittir.  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  içerisinde basınç ve sıcaklık etkisinde karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve amonyum'un ( $\text{NH}_3$ ) sentezidir. Hem Amonyum hem de karbondioksit doğal gazlardan üretilir. Üre, ticari olarak boncuk şeklinde kristalimsi bir yapıdadır. Formaldehit, metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) içinde Metan ( $\text{CH}_4$ ) ve oksijen'den (O) sentez edilir. Metan, oksijen ve ham petrolden elde edilir. Metanol bir katalizör yardımıyla HCHO ve  $\text{H}_2$ 'den formaldehit'e dönüşür. Formaldehit renksiz bir gazdır (Uysal, 2005).

#### **1.4.1.2 Fenol Formaldehit Tutkalı**

Fenol formaldehitin (FF) temel bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir. Fenol'ün temel bileşenleri tolüen ve benzendir. Tolüen, benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenolü oluşturur. Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Bu sıvı, kokusuz, koyu kahverengi ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında FF reçinesi, üre formaldehit reçinesi gibi bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. FF çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2,2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapıştırılır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakılması gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır (Uysal, 2005).

#### **1.4.1.3 Melamin Formaldehit Tutkalı**

Pahalı bir tutkal olduğu için genellikle ÜF tutkalına ilave edilerek kullanılır. Sulu çözeltinin dayanma süresi çok kısa olduğu için toz halinde satılır. Genellikle tabakalı ağaç malzeme üretiminde ve yüzeylerin kaplanmasında ve film tutkallarının üretiminde kullanılır (Özen, 1981).



#### **1.4.1.4 Rezorsin Formaldehit Tutkalı**

Rezorsin iki molekülle bir fenoldür. Rezorsin formaldehit tutkalı pahalı olması sebebiyle çok kullanılmayan ancak her türlü açık hava koşullarına, kaynar suya, asitlere ve çözücülere karşı dayanıklı bir tutkal türüdür (Frihart, 2005).

#### **1.4.1.5 Melamin Üre Formaldehit Tutkalı**

Termoset polimerlerden olup, toz veya çözelti halindeki üre ile melamin formaldehitin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Piyasada genellikle toz halinde satılır. Su ve dış hava şartlarına ve rutubetli iç mekân şartlarına karşı dirençli bir tutkaldır. Genellikle laminat kaplamaların üretiminde kullanılır (Pizzi, 1994).

#### **1.4.1.6 İzosiyanat Tutkalı**

İzosiyanat tutkallar, polimerik difenilmetan diizosiyanat tutkalı ve emülsiyon polimer izosiyanat tutkalı olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Polimerik difenilmetan diizosiyanat tutkalı, II. Dünya savaşı boyunca geliştirilmiştir. Ancak ilk kullanımı 1960'lı yıllarda, yaygın kullanımı ise 1980'li yıllarda olmuştur. Bu tutkal rutubete karşı yüksek direnç göstermesi, düşük presleme süresi ve FF tutkalının çok üstünde direnç özelliklerine sahip olması gibi bir çok avantajının yanı sıra kullanımının ilk yıllarında özellikle yonga levhanın pres plakalarına yapışması, fiyatının yüksek olması gibi dezavantajları da vardır (Schmidt, 1998).

### **1.4.2 Termoplastik Tutkallar**

Termoplastik tutkallar ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### **1.4.2.1 Polivinil Asetat Tutkalı (PVAc-Tutkalı)**

Polivinilasetat; kömür, kireç, su ve sirke asidinin polimerizasyonu yolu ile üretilmektedir. Kok kömürü ve kireç karışımı, fırında ısıtılarak karpit ( $\text{CaC}_2$ ) elde edilir. Kızgın karpitin üstüne su püskürtülmesiyle, asetilen gazı ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) açığa çıkmakta ve asetilen gazı ile sirke asidinin ( $\text{CH}_3\text{CCOH}$ ) birleşmesinden, Vinilester meydana gelmektedir. Vinilester

moleküllerinin polimerleştirilmesi ile de polivinilasetat elde edilir. Polivinilasetat tutkalının, soğuk şartlarda preslenmesi için ideal sıcaklık 20°C'dir. 10°C altındaki sıcaklıklarda, tutkal kireçleşmekte ve özelliğini kaybetmektedir. Tutkaldaki sertleşme, tamamen fiziksel olarak gerçekleşmekte ve sıcaklık arttığında sertleşme süresi azalmaktadır. Oda sıcaklığında, minimum presleme süresi, 4 saattir. Sıcak preslemede, maksimum 80°C sıcaklık ve 8-10 dakika presleme süresi uygulanmaktadır. 80°C' nin üstündeki sıcaklıklarda tutkalda çözülme meydana gelmekte ve sertleşmemektedir. Sıcak preslemeden sonra 50°C' a kadar, iş parçası, preste sıkılı vaziyette kalmalıdır (Gürtekin ve Oğuz, 2002).

**D<sub>3</sub> tutkalı:** Özel PVAc bazlı çift bileşenli kullanıldığında yüksek dayanım gösterebilen bir tutkaldır. Çift ve tek bileşenli olarak kullanılabilir. Çift komponentli olarak kullanıldığında D<sub>4</sub> dayanıklı grubu, tek komponentli kullanıldığında ise D<sub>3</sub> dayanıklı grubun şartlarına uyar. Her türlü ahşap parçaların yapıştırılmasında her türlü laminat ve kaplamaların ahşaba yapıştırılmasında kullanılır. Suya dayanıklı olduğu için su buharı ve rutubete dayanıklı pencere, doğrama kapı, harici kapı kasaları, merdiven ve ağaç mobilya üretiminde dekoratif kâğıtların yüzeylere yapıştırılmasında ve yonga levhaların yapıştırılmasında kullanılır (Altınok, 1995; Özalp vd., 2009).

### **1.4.3 Epoksi Tutkalı**

Epoksi reçineler, birbirleri ile etkileşerek çok dayanıklı, kimyasal dirençli ve yapıştırma kuvveti yüksek çapraz bağlı ürünler meydana getiren polimer sistemlerdir. Polimerizasyondaki anahtar eleman bir oksijen ve iki karbon atomundan oluşan 3 elemanlı girgin halkadır. Buna oksijen grubu (halkası) denilmektedir. Bu yapı halkayı açmak için eklenen aktif hidrojen bileşiği ile tepkimeye girmektedir (Selwitz, 1992).

Epoksi Era 4000 tutkalı iki bileşenli, karışım oranı bire bir olan çok güçlü, çekme yapmayan bir Epoksi yapıştırıcıdır. Şeffaf bir görünüm sağlar, yırtılmaya ve kesilmeye dayanıklıdır. Kuruması yavaş ve kururken şekillenebilir. Özellikle su içinde kullanılacak ağaç malzemelerin yapıştırılmasında, elektronik sistemlerde parçaların montajında (yapıştırılmasında) ve su ve diğer çözeltilere karşı izolasyonunda, seramik, beton, metal ve metal olmayan parçaların yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey çekme

mukavemeti  $15 \text{ N/mm}^2$ , su ve diğer çözeltileri geçirmez, %100 reaktiftir, solvent içermez, su, yağ, benzin, terebentin, propilen glikol ve birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklıdır (URL- 4, 2014).

Epoksi tutkalı hazırlanırken dikkat edilecek en önemli husus; karışımın hacimsel olarak hazırlanması değil de ağırlığa göre ayarlanması gerektiğidir. Epoksi uygun oranlarda karıştırıldıktan sonra ıspatula, fırça vb. araç gereçlerin yardımıyla ahşabın yüzeyine uygulanır (Çetin, 2001; Cevheroğlu, 2005).

## 1.5 Killer ve Sınıflandırılması

Kil, kristal yapıları birbirinden farklı olan birkaç mineralin oluşturduğu mineral karışımının genel adıdır. Doğada bol miktarda bulunmaktadır. Saf olarak bulunmaları son derece zordur. Genel kil formülü aşağıda verildiği gibidir (Köroğlu, 2004).

KİL = Ana Kil Minerali + Diğer Kil Mineralleri + Eser Organik Maddeler

Yapısında kil mineralleri dışında en çok kalker, silis, mika ve demir oksit bulunur. Killer farklı renklerde bulunabilirler. Bunlar sarımtırak, kırmızımtırak, esmer gibi renklerdir. Bu özellik, kilin içerisinde bulunan mineraller tarafından verilmektedir. Kil, yapısı nedeniyle su çekme özeliğine sahiptir ve bu özeliğinden dolayı her zaman nemlidir. Kilin neminin uzaklaştırılması uzun ve titizlikle yapılması gereken bir işlemdir (Köroğlu, 2004).

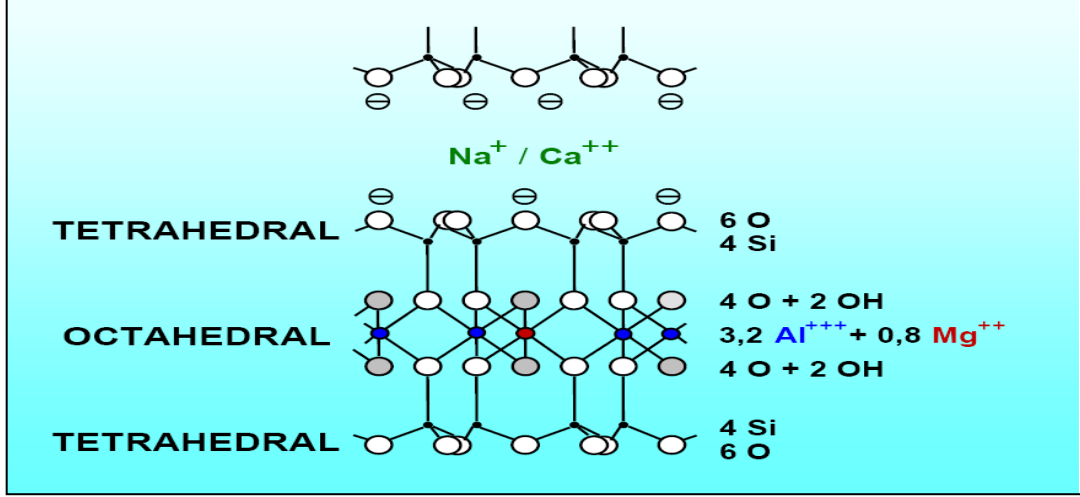
### 1.5.1 Killerin Sınıflandırılması

Killer yapısal özelliklerine göre 3 ana grupta sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar Kaolin, Smektit (montmorillonit) ve İlit mineralleridir.

Tablo 3: Killerin Sınıflandırılması (URL-1, 2006).

<b>Kaolin</b> $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Çok az şişme özelliği Silika- alümina tabakası
<b>Montmorillonit</b> $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{nH}_2\text{O}$	Yüksek şişme özelliği Silika-alümina-silika tabakası
<b>İlit</b> $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$	Çok az şişme özelliği Silika-alümina-silika tabakası

Yapılan kaynak araştırmasında ve deneyler sırasında kullanılan kil minerali montmorillonit olarak seçilmiştir. Aşağıda montmorillonit kilinin genel özellikleri detaylı biçimde verilmiştir.



Şekil 4: Montmorillonit tabakasının yapısı (Großmann, 2004).

İlk olarak 1847 yılında Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bulunmuştur ve adını bu bölgeden almaktadır. Montmorillonit iki silisyum tetrahedralinin arasında bir alüminyum oktahedraliyle oluşan, Tetrahedral-oktahedral-tetrahedral (TOT) yapısında bir kil mineralidir. Birim yapılar Van der Waals bağlarıyla birbirlerine bağlıdır. Bu nedenle oldukça yumuşak bir yapıya sahiptirler. Bir TOT tabakasının kalınlığı 1 nanometredir. Tabakalar arasında sodyum ya da kalsiyum iyonları bulunmaktadır. Montmorillonit parçacıkları yaklaşık 1 mikrometre boyutundadır (Koroğlu, 2004).

## 1.6 Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler

Kereste fiyatlarındaki artışın nedenleri, orman kesiminde uygulanan kısıtlamalar, çevre kuruluşlarının oluşturduğu baskılar, orman alanlarındaki azalmalardan kaynaklanmakla beraber, tedarik edilmesi de her geçen gün daha da güçleşmektedir. Fiyatlardaki bu artış ve aynı zamanda ağaç konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılacak boyutlarda kerestelerin bulunabilme güçlükleri bu malzemelerin değişik yollarla üretimini zorunlu kılmıştır. Bunun sonucunda daha küçük çaplı ve ekonomik anlamda pek fazla değeri olmayan ağaçların orman endüstrisine “mühendislik ürünü ağaç malzemeler” olarak kazandırılması sağlanmıştır (Mengeloğlu ve Kurt, 2004).

Mühendislik ürünü ağaç malzemeler, 1960'lı yılların başında piyasada görünürken genel düşünce bu malzemelerin yeni olmadığı yönünde idi. Üretimlerinin ilk yıllarında isim verilmemesine rağmen bu malzemeler II. Dünya savaşından önce uçak endüstrisinde kullanılmıştır. Yüksek direnç özelliklerinden dolayı lifleri paralel tutkallanmış ladin kaplamaları uçak kanatlarında, uçak kanatlarının destek kirişlerinde ve uçakların diğer yapısal elemanların yapımında yararlanılmıştır. İlk önceleri kaplamalara tutkal sürülerek sonra paralel bir şekilde yüksek ısı ile tutkal kurutulmuştur. Kaplamalar sıkıştırılarak yapılan bu üretime compreg, sıkıştırılmadan yapılan üretime ise impreg adı verilmiştir. Tutkal sürülmüş ve lif yönleri birbirlerine paralel yapıştırılmış kaplamalarla hem güçlendirilmiş hem de boyutsal sabitliği geliştirilmiş ürünler elde edilmiştir. Bu Mühendislik ürünü ağaç malzemeler teknolojisi ABD ve Avrupa'da uçak pervaneleri için II Dünya savaşı boyunca savaşla ilgili çabaları daha ileriye taşımak için kullanılmıştır. Diğer askeri kullanımlar da göz önünde bulundurularak soğuk hava depoları, uçuş döşemeleri, donanma cephanelikleri, uçakların rutubet alabilecek yerlerinde, elektrik akımı geçirmeyen yapılarda ve yüzey aşınması fazla olan yerlerde kullanılmıştır. Bu teknoloji daha sonra gelişerek ve plastikle modifiye edilerek odun teknolojilerinde geniş bir yayılım göstererek günümüz ticari mühendislik ürünü ağaç malzemeler ürünlerinde yerini almıştır (Nelson, 1997).

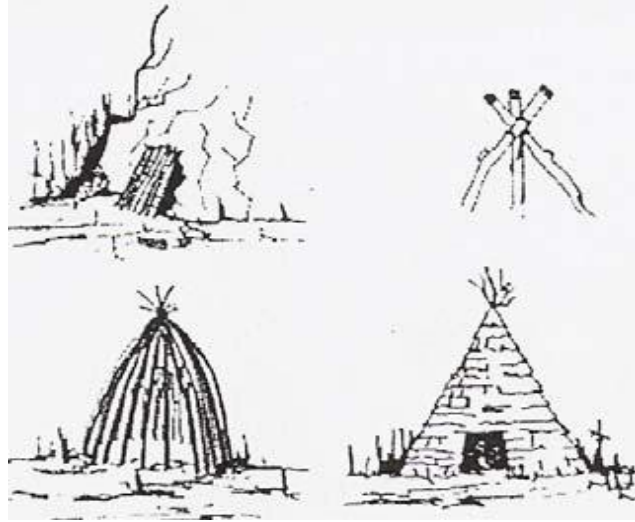
## **1.7 Lamine Ahşap Teknolojisi**

Lamine ahşap teknolojisi ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

### **1.7.1 Ahşabın Tarihçesi**

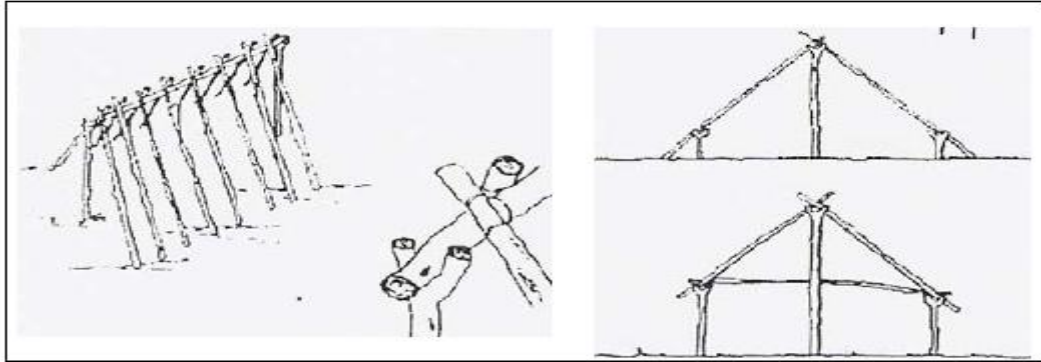
Çağlar boyu insanoğlunun ısınma, aydınlanma ve barınma gibi en temel ihtiyaçlarına çözüm olan ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımı neredeyse mimarlık tarihiyle başlar. Vahşi hayvanlardan korunmak isteyen insanların ağaçlara tırmanması ahşabın yapıda kullanılmasına başlangıç olabilir (Şener, 1999).

Önceleri ahşap parçaları bir merkez noktasından radyal bir şekilde birbirine destek olacak şekilde sıralayarak oluşturulan sığınak tipi, daha sonra yerini plan şeması dikdörtgen ve çatısı eğimli yapılara terk etmiştir. Şekil 5' de ilk ahşap örtü sistemleri görülmektedir.



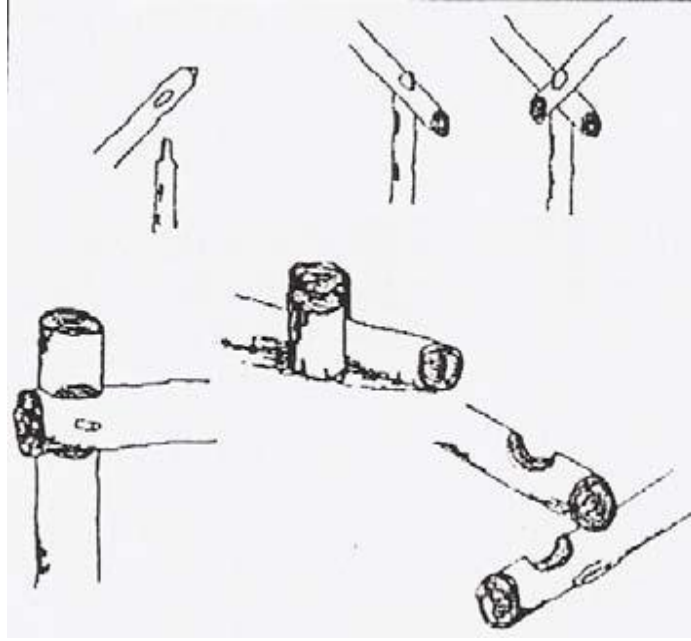
Şekil 5: İlk ahşap örtüler (Beckett ve Marsh, 1974).

Ağacın doğal yapısından dolayı üst kısmı “Y” şeklinde olan iki direk yere birkaç noktasından sabitlenmekte ve ardından bu iki çatalın üzerine çatının ana aşığını oluşturan eleman yerleştirilmekteydi. Daha sonraları bu direkler yükseltilip birbirine ara bir yatay elemanla bağlanınca yerden yükselmiştir (Şekil 6). Geçilmesi gereken açıklıklar büyüdükçe, aşık sayısı artırılmış ve ilave destekler kullanılmaya başlanmıştır (Beckett ve Marsh, 1974).



Şekil 6: Dikmeli ve asıklı örtü sistemi (Beckett ve Marsh, 1974).

İlk birleşim detayları iki elemanın birbirine bağlanmasına olanak verecek olan çentik ve uçları yuvarlatma yöntemiydi (Şekil 7). Delikle ahşabı birbirine bağlama yöntemi spiral delgeçler keşfedildikten sonra kullanılmaya başlanmıştır (Beckett ve Marsh, 1974).



Şekil 7: İlk birleşim detayları (Beckett ve Marsh, 1974).

Geniş açıklık geçmede kullanılacak ahşap yapı malzemesinin boyutsal sınırları dolayısı ile malzemenin kullanım şekillerinde çeşitli arayışlara gidilmiştir. Bir yandan üçgenler oluşturarak makas ve uzay sistem gibi formlarda kullanılmaya çalışılan ahşap bir yandan da masif bir eleman gibi kesiti arttırılarak geniş açıklıklarda kullanılmaya devam etmiştir. Ahşap malzemenin geniş açıklıklarda kullanımı, her şeyden önce doğadan elde edilmesindeki boyutu ile sınırlıdır. Malzemenin kesitini arttırmaya yönelik çalışmalardan önce mesnet sayıları çok ve mesnetlerin aralarındaki mesafeler az tutulmaya çalışılmıştır. Ancak gereken açıklık mesafesi arttıkça bu açıklığı geçecek olan ahşap malzemenin kesitini arttırmaya yönelik çalışmalar ortaya çıkmıştır (Arslankelle, 2002).

Ahşabın yapılarda taşıyıcı iskelet malzemesi olarak kullanılması, 20. Yüzyılın başlarına rastlar. Artan ve gittikçe yaygınlaşan sanayileşmenin ortaya çıkardığı ihtiyaçlar ile I.Dünya savaşı öncesi ve savaş yıllarında değerli bir silah hammaddesi olan çeliğin yapı alanından çekilmesi, ahşap malzemenin farklı fonksiyonlardaki yapılarda ve daha rasyonel olarak kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla, bugün kullanılan modern birleşim elemanlarının birçoğunun bulunması, ahşabın çeşitli dış etkilere karşı korunmasını sağlayan malzemelerin ve kullanma yöntemlerinin geliştirilmesi de bu dönemlerde olmuştur.

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımındaki ikinci büyük aşama II. Dünya Savaşı ve onu izleyen yıllarda olmuştur. Savaş sanayi kollarında geliştirilmiş olan sıcağa ve rutubete dayanıklı yapay reçine tutkalları ahşap yapılarda da uygulanmaya başlanmıştır. Tutkalların geliştirilmesiyle tutkallı tabakalanmış konstrüksiyonlar ortaya çıkmış ve bu da mimaride ahşap kullanımının çok değişik boyutlara ulaşmasını sağlamıştır

Ahşap ürünler:

- Doğal ahşap ürünler
- Ahşap esaslı ürünler olmak üzere 2 başlık altında sınıflandırılabilirler.

Ahşap esaslı ürünler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Güller, 2001).

- Levha Ürünleri
- Yapısal Kompozitler
- Mekanik olarak lamine edilmiş elemanlar
- Kalıplanmış ürünler(molded product)
- Odun-odun dışı ürün kompozitleri

### **1.8 Levha Ürünleri**

Kontrplak, kontrtabla, yongalevha, etiketli yonga levha (waferboard), şerit yongalı levha (flakeboard), OSB (oriented strand board), lif levha (MDF, HDF, İzolasyon levhası) bu gruptadır (Güller, 2001).

a)Kontrplak: Belirli özellikteki tomrukların özel makinelerde soyulması ile elde edilen ince soyma levhaların (plaka, panel) tutkallanıp lifleri birbirine dik gelecek şekilde en az 3 tabaka ya da daha çok tek sayıda üst üste konularak preslenmesi ile elde edilen büyük boyutlu levha şeklinde bir malzemedir (Güller, 2001).

b)Kontrtabla: Geleneksel kontrtabla levhalarında göbekte kereste parçaları yüzeylerde ise kaplama levhaları ya da sert levha kullanılmakta iken, daha yenilerinde göbekte yan yana tutkalla yapıştırılmış kereste parçaları ve yüzeyde kaplamadan çok ince keresteler kullanılmaktadır (Güller, 2001).



- c)Yongalevha: Odun veya odunlaşmış diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen kurutulmuş yongaların sentetik reçine tutkalları ile sıcaklık ve basınç altında yapıştırılması ve biçimlendirilmesi sonunda elde edilen levhalardır (Güller, 2001).
- d)Etiket yonga levha (waferboard): Büyük boyutlu yongaların tutkallanıp preslenmesiyle elde edilen levha ürünüdür (Güller, 2001)
- e)Şerit yongalı levhalar (flakeboard): Bu levhalarda üretim yöntemi ve kullanım alanları waferboardlarla aynıdır. Bu levhaların özellikleri geliştirilerek OSB üretilmiştir (Güller, 2001).
- f)OSB (oriented strand board): Özel hazırlanmış yongalarına (strands) yön verilerek üretilen bir yonga levha türüdür (Güller, 2001).
- h)Lif Levha(Fiber board): Odun ya da diğer lignoselülozik lifli materyallerden elde edilen lifler, yapıştırıcılar ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen bir üründür. Yaş ve kuru yöntem olmak üzere iki üretim teknolojisi söz konusudur (Güller, 2001).
- I)MDF (medium density fiberboard-orta yoğunlukta lif levha): Kuru yöntemle elde edilen levhaların piyasada en önemli olanı MDF'dir. Yoğunluğu 0.35-0.65 gr/cm<sup>3</sup> arasında olan ağaç türleri MDF üretimi için uygundur (Güller, 2001).
- İ)HDF (high density fiberboard- Yüksek yoğunlukta lif levha): Yaş ve kuru yöntemle üretilen yoğunluğu yüksek lif levhadır. Yoğunluğu yaklaşık 1 gr/cm<sup>3</sup>'tür (Güller, 2001).

## 1.9 Yapısal Kompozitler

Yapısal kompozit keresteler, PSL( paralel strand lumber), LSL(Laminated strand lumber), OSL (Oriented strand lumber), LVL(Laminated veneer lumber), tutkallı kalıplanmış ahşap(Glulam)], yapısal levha ürünleri (yapısal kontrplaklar, yapısal etiket yonga levhalar, ahşap I kirişler, COM-PLY keresteler olarak sayılabilir (Güller, 2001).

a)Paralel Şerit Kereste(PŞK) = Bu ürün kanadaki Mac Millan Bloedel Ltd. tarafından geliştirilmiştir. Bu ürünün üretiminde önce yuvarlak soyma ile kaplamalar elde edilir. Artık kaplamalarda üretimde kullanılabilir. Daha sonra bu kaplamalardan 180 mm genişlik ve 20.32 cm uzunlukta parçalar elde edilir. Suya dayanıklı bir tutkal uygulanır ve sürekli preste preslenir. Mikrodalga elemanı kullanılarak tutkal sertleştirilir. Daha sonra ürün boyutlandırılır (Güller, 2001).

b)Tabakalanmış Şerit Kereste(TŞK)= Tabakalanmış şerit kereste (TŞK), 1990'lı yıllarda MC. Millan Bloede Ltd'de, gövde çapı küçük olan ağaçlar ve düşük kaliteli keresteden daha yüksek oranda yararlanabilme düşüncesinin sonucunda ortaya çıkmış ve üretimine 1991 yılında başlanmıştır. Ağaç malzemeden elde edilen tutkallanan şerit yongaların son ürünün boyuna paralel yönlendirilerek basınç altında sıkıştırılmasıyla elde edilen yapısal kompozit bir malzemedir. TŞK masif keresteden daha güçlü özellikleri nedeniyle masif keresteye göre daha cazip bir üründür (Moses vd., 2003).

c)Ahşap I-Kirişler = Ahşap I-Kirişler 1960'lı yılların sonundan beri özel uygulamalar için üretilmektedir. Yer döşeme ve çatı sistemlerinde kullanılan bu kirişlerin kesitlerinin -I- şeklinde olmasından dolayı ortak olarak I-Kiriş olarak isimlendirilmektedir (Leichti vd, 1990).

Ahşap I-Kirişler; keresteden veya TAK flanşlarla kontraplak veya OSB'den elde edilen ağ elemanlarının tutkallanması ile elde edilen MAM'dir. Çeşitli ölçülerde üretilen ahşap I-Kirişler istenilen konut ve ticari konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır. Performans özelliklerinin arttırılmış olması, değişik genişlik ve boy uzunluklarında olmaları, bu malzemelerin yenilenebilir olmaları, hafif olmaları ve diğer kiriş sistemleri ile karşılaştırıldıklarında daha ucuz olmaları yaygın olarak kullanımlarını ortaya çıkarmıştır (Gagne, 2000).

d)Glulam (Glued Laminated Timber)= Bugün glulam olarak bilinen malzeme ilk kez 1893 yılında İsviçre Basel'de bir oditoryumun inşaatında kullanılmıştır. Glulam masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için, uç uca yan yana ve üst

üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda nominal 1 inç (2.54 cm) kalınlıktaki keresteler kullanılırken, az kavisli ya da düz elemanlar için nominal 2 inç (5.08 cm, 5 cm) kalınlıktaki keresteler kullanılmaktadır. Glulam, yatay, dikey ve eğimli elemanlar olarak dizayn edilerek meskenlerde ve diğer yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılırlar. Bunu oluşturan katlardaki elemanların lif yönü birbirine paralel olarak düzenlenmesi daha yaygındır. Eğimli elemanlarda ise lif yönünün paralel olarak düzenlenmesi bir zorunluluktur. Bu konuyla ilgili son gelişmelerden biri de liflerin plastikte takviye edilmesidir. Bu yenilikle glulam elemanlarda enine kesitte daha fazla miktarda düşük kalitede ahşap eleman kullanarak yüksek dirençli ve sert bir eleman elde etmek mümkün olmuştur (Güller, 2001).

e)OSL (Oriented Strand Lumber veya Yönlendirilmiş Yonga Kereste)= OSL diğer ürünlere nazaran daha yeni bir ürün olup halen geliştirilmektedir. OSL 300 mm uzunluktaki yongalardan üretilmektedir. Tüm yongalar aynı doğrultuda yönlendirilmekte ve ürünün her yerinde yeknesak bir yoğunluk sağlanacak şekilde ve nispeten kısa sürede preslenmektedir. Bu ürünün gelecekte yapısal kompozit keresteler piyasasındaki diğer ürünlere alternatif olacağı düşünülmektedir (Güller, 2001).

### **1.10 Çapraz Lamine Kereste (ÇLK)**

Çapraz Lamine Kereste (ÇLK) çok tabakalı, masif ahşaptan yapılmaktadır. ÇLK ısıyı izole eden ve aynı zamanda beton yapılarla eşit derecede yük taşıyabilen, sağlam bir yapı elemanı olan ahşap malzemedir. Ses yalıtkanlığını sağlayan ve yangına karşı dayanıklılığı olan bir yapıya sahiptir. Kurulumu hızlı ve kolay yapılabilmektedir. Enerji tasarruflu ve nötr CO<sub>2</sub> aşama özellikleriyle ahşabın sürekliliği olan bir yapı malzemesi olarak kullanımının artması doğanın korunmasında aktif bir katkı sağlamaktadır. ÇLK'nin %99,4'ü kereste ve %0,6'sı tutkaldan oluşan tek parça yapı malzemesidir (URL-2, 2014).

Bu nedenle planlama aşaması, inşaat uygulaması ve tüm detayların çözümü basittir. Binanın planlanan fiziksel yapısı kolayca gerçekleştirilebilir ve kontrol edilebilir. Komplike detayları olmadığı gibi inşaat aşaması da kompleks bir yapıya sahip değildir. Planlandığı gibi kolay bir şekilde inşa edilebilir. Hızlı kurulum süresi göz önüne

alındığında Çapraz Lamine Kereste ile yapılan inşaatlarda zaman ve maliyet açısından maliyet tasarrufu büyük bir avantaj olarak göze çarpmaktadır (URL-2, 2014).

### 1.10.1 Çapraz Lamine Kereste Malzemenin Önemi ve Dünyada Kullanım Alanları

“Yeşil Ekonomi” kapsamında küresel ölçekte kullanımı giderek yaygınlaşmakta olan “Yeşil Bina Standartları”, ahşap ürünlerin rakiplerine (beton, çelik, vb.) nazaran karbon emisyonu daha düşük olması sebebiyle yapı malzemesi olarak kullanımı konusunda önemli fırsatlar sunmaktadır ve yapılarda kullanımı örneği Şekil 8’de gösterilmektedir (URL-3, 2014).



Şekil 8: Ahşap malzemenin yapıda kullanımı (URL-3, 2014).

20-22 Haziran 2012 tarihlerinde Brezilya’da gerçekleştirilmiş olan “Rio+20 Dünya Zirvesi”nin odaklanacağı iki ana konudan birisi de “Yeşil Ekonomi”dir. “Yeşil Ekonomi” kapsamında orman sektörünün sağlayabileceği katkılara yönelik olarak Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) ile Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından ortaklaşa hazırlanmış olan taslak “Yeşil Ekonomi kapsamında Ormancılık Sektörü Eylem Planı” içerisindeki “Sürdürülebilir Odun Üretimi ve Tüketimi” ana başlığı altında tavsiye edilen eylem alanları içerisinde “Yeşil Bina Standartları ve Politikaları” alt başlığı yer almaktadır. Buna uygun ahşap bina örnekleri Şekil 9’da gösterilmektedir.



Şekil 9: Ahşap bina örnekleri (URL-3, 2014).

UNECE/FAO tarafından Yeşil Binalarda ahşap ürünlerin kullanılmasını talep eden yapı standartlarının oluşturulması hususunun devlet politikaları içerisinde yer almasının gerekliliği özellikle vurgulanmaktadır. Zira yenilenebilir organik materyallerin giderek artan bir şekilde binalarda kullanılması, yenilenebilir olmayan enerji kullanımının minimuma indirilmesi yoluyla iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik olumlu bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca yenilenebilir organik materyaller, kullanım ömrü süresince karbonu bünyelerinde tutmaları sayesinde ek bir fayda daha sağlanmaktadır (URL-3, 2014).

“Yeşil Binalar”, yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirildiği, bütüncül bir anlayışla ve sosyal ve çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlandığı, iklim verilerine ve o yere özgü koşullara uygun, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı katılımı teşvik eden, ekosistemlere duyarlı yapılar olarak tarif edilmektedir. Yeşil Binalar, insanların çevresel ayak izi ve sera gazı ile diğer insan kaynaklı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 10’da ÇLK’nın yapıda kullanım olanakları ve imkanları gösterilmektedir (URL-3, 2014).



Şekil 10: Çapraz lamine kerestenin yapıda kullanım olanak ve imkanları (URL-3, 2014).

Yakın zamanda yapılmış olan kıyaslamalar neticesinde, yapı malzemesi olarak çelik ve betonun üretilmesi halinde odun kaynaklı ürünlere nazaran iki kat daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulduğu bulunmuştur. Ayrıca ağacın kesme, sürütme ve nakliyat maliyetleri,

demir ve alüminyumun madenden çıkarılması sırasında oluşan maliyetlerden daha düşüktür. Ahşap aynı zamanda ısı ve ses için doğal bir yalıtıktır. Yanmaya dayanıklı olarak emprenye edilen ahşap içerikli yalıtımın, fiberglas ve strafora nazaran daha ekonomik ve çevre dostu olduğu kanıtlanmıştır. Yukarıdaki hususlar göz önüne alındığında yeşil bir büyüme üzerinde orman sektörünün yapacağı katkı, odunun yenilenebilir ve diğer rakiplerine nazaran daha sürdürülebilir bir yapı malzemesi olması sebebiyle çok daha büyük olabilecektir. ÇLK malzemenin yapıda kullanım olanakları ve imkanları Şekil 11’de gösterilmektedir (URL-3, 2014).



Şekil 11: Çapraz lamine Kereste malzemenin yapıda kullanım alanları (URL-3, 2014).

SCL (Yapısal Kompozit Kereste – Structural Composite Lumber), ahşap elemanların suya dayanıklı yapıştırıcılarla kereste şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulan ürünlere verilen genel addır. Bazı önemli SCL türleri aşağıdaki gibidir;

- PSL (Paralel Lif Kereste - Parallel Strand Lumber),
- LSL (Lamine Lif Kereste - Laminated Strand Lumber),
- ÇLK (Çapraz Lamine Kereste- Cross Laminated Timber),
- OSL (Yönlendirilmiş Lifli Kereste - Oriented Strand Lumber),
- LVL (Kaplama Tabakalı Kereste - Laminated Veneer Lumber),
- GLULAM (Yapıştırılmış Lamine Ahşap - Glued Laminated Timber)

Hali hazırda Londra’da bulunan 9 katlı ve 29 daireli “Stadthaus” binası dünya üzerindeki en uzun ahşap konut binadır. Stadthaus bir SCL türü olan ÇLK panellerle inşa edilmiştir. Stadthaus aynı zamanda dünya üzerinde söz konusu yükseklikte bir binada taşıyıcı duvarları, döşeme levhaları, merdivenleri, asansör çekirdekleri tamamen ahşaptan yapılan ilk yapıdır. Binanın tamamı toplam 9 hafta içerisinde bitirilmiştir. Stadthaus binası toplam

186 ton karbon tutmakta olup, betonarme çerçevelerin kullanılmaması sayesinde ise ek bir 125 ton karbonun atmosfere salınması önlenmiştir. Aynı binanın betondan yapılması durumunda ahşaba nazaran 125 ton daha fazla karbon salınımı meydana geleceği belirtilmektedir. Hali hazırda 40 katlı ahşap bina tasarım çalışmaları ise devam etmektedir. Aşağıda Şekil 12’de gösterilmektedir (URL-3, 2014).



Şekil 12: Çapraz lamine kerestenin yapıda kullanım olanakları (URL-3, 2014).

Özellikle 2009 yılındaki küresel kriz ile birlikte ormancılık sektörünün krizden çıkış olarak yapısal bir değişime yöneldiği; yenilikçi ürün, üretim süreçleri ve inşaat metotları geliştirerek kendine çözümler bulmaya çalıştığı UNECE/FAO’nun raporlarında yer almaktadır. Bu kapsamda inşaat sektöründe özellikle Çapraz Lamine Kereste (Cross Laminated Timber) kullanımının sektöre soluk aldırıcı ciddi bir ürün olduğu belirtilmektedir (URL-3, 2014).

Mimarlık literatüründe ahşap yapı elemanları için 80 ila 100 yıl arası kullanım ömrünün göz önüne alınmaktadır. En son geliştirilmiş teknolojilerle üretilen ahşap yapılar, eşdeğer betonarme ve kâgir yapılardan 10 kat hafiftir. Deprem gibi bir doğal afetle karşılaşıldığında ahşap yapı (taşıyıcı elemanlar; kolon, kiriş vb.) hemen yıkılmamaktadır. Ahşap ısı geçirmeme ve kömürleşme özelliklerinden dolayı yangına 30–90 dakika dayanabilmektedir. Nefes alıp verme özelliğinden dolayı akciğer kanserine neden olan radon gazını üretmez. Ahşap enerji dostudur, yüksek yalıtım katsayısı nedeniyle ısı kaybı yoktur. Isı yalıtım özelliği çok yüksek olduğundan ahşap bir evi ısıtmak için çok az enerji harcanır (URL-3, 2014).



Son olarak 1 m<sup>3</sup> kerestenin 0,8 ton karbon tutmakta olduğu ve ahşabın yapı malzemesi olarak konut sektöründe kullanılması sayesinde her yıl atmosfere 483 milyon ton daha az CO<sub>2</sub> salınacağı ifade edilmektedir. Ahşap ürünlerinin iklim değışikliğinin azaltılmasına yönelik olumlu katkılarından ötürü kullanımının teşviki çalışmaları uluslararası arenada “Wood is Good” veya “Ahşap İyidir” sloganı altında yürütölmektedir (URL-3, 2014).

### 1.11 Literatür Özeti

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, ahşap yapım sistemlerinden biri olan Çapraz Lamine Kereste (ÇLK) tanıtılmıştır.

Çapraz lamine Kereste (ÇLK);Tabakalanmış ağaç malzeme (Glulam), paralel lif kereste (PSL), Kaplama tabakalı kereste (LVL) gibi yapısal kompozit kerestelerle karşılaştırıldığında, bu konu ile ilgili yayımlanmış sınırlı sayıda ve başka konular içinde çok az sayıda yayın bulunmaktadır. ÇLK paneller ölkemizde henüz tam anlamı ile tanınmamakta, üretimi yapılmamaktadır. Ölkemizde yurt dışından ithal edilerek getirilmektedir ve Novawood firması tarafından satılmaktadır. Ayrıca Nasreddin grup isimli şirket bünyesinde hizmet veren Muğla ve Antalya da merkezli genel olarak glulam ağırlıklı ama bir kısım da olsa ÇLK üretimi yapılmaktadır. ÇLK panel ile ilgili ölkemizde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamaktadır. Ancak ölkemizde lamine ahşap teknolojisinin tabakalı bir şekilde yapılarda kullanımına uygun çalışmalar bulunmaktadır.

Keskin, vd. (2003)'ün yaptıkları araştırmada; lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Bu maksatla Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan Polivinilasetat (PVAc D-4) tutkalı ile beş katmanlı olarak hazırlanan lamine edilmiş ağaç malzemeler kullanılmıştır. Hazırlanan deney örneklerinin; mekanik özellikleri incelenmiş. Sonuç olarak; lamine edilmiş sarıçam ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin, bu ağaç türünü temsil eden masif ağaç malzemeye göre daha üstün olduğu belirlendiği ifade edilmiştir.

Beceren Öztürk ve Arıoğlu (2006)'nun yaptıkları araştırmada; Türk Sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri incelendiği çalışmasında çeşitli tutkallarla ahşap malzeme üretilmiştir. Çıkan sonuçlarda PVAc tutkalı kullanılmış en yüksek değerleri de PVAc tutkalı ile yapılan deney sonuçları vermiştir.



Güler ve Subaşı (2012) Sarıçam odununu karbon lifle güçlendirme işlemi yaptıktan sonra PVAc ile 2 ve 3 katmanlı lamine edilmiş malzemeler elde etmiştir. PVAc ile hazırlanan örneklerde eğilme direncinde % 8'lik artış olduğu belirlenmiştir.

Kasal vd. (2010)'in Masif ve Lamine edilmiş ağaç malzemelerde Eğilme direnci ve Elastikiyet modülünün belirlenmesi üzerine yapılan araştırmada; Doğu kayını, Sarıçam ve Kavak türleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda Sarıçamın eğilme direnci doğu kayınından düşük fakat kavaktan yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Keskin (2003) Lamine edilmiş doğu ladini odununun bazı Fiziksel ve Mekaniksel özellikleri üzerine incelemeler yapılmış. Yapılan deneyler sonucunda lamine edilmiş doğu malzemenin eğilme ve eğilmede elastikiyet değerlerinin aynı türün masif örneklerinden daha yüksek değerde olduğu belirlenmiştir.

Perçin, vd. (2009)'nun Farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekaniksel özelliklerinin incelenmesi üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. Yapılan araştırma sonucunda; farklı ağaç türleri üzerinde farklı tutkallar kullanarak lamine edilmiş malzemenin masif malzemedan daha üstün özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yük taşıma yerlerinde ve yapılarda masif malzeme yerine lamine malzemenin kullanımının daha uygun olacağını belirlemişlerdir.

Çapraz lamine kereste (ÇLK)'nin fiziksel, mekanik, teknolojik özellikleri ile ilgili yurt dışında çeşitli araştırmalar yapılmış. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Ceccotti vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada çok katlı yapılarda neden çapraz lamine kereste malzeme kullanılacağı araştırılmıştır. Çıkan sonuçlarda; yapılarda çapraz lamine ahşap malzemenin mukavemeti ve enerji tüketimi açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Crespell ve Gagnon (2010), Cross laminated timber çalışmasında kuzey Amerika da yapılar da kullanılmasının önemi ifade edilmiştir. Sonuç olarak 8 katlı 4 dubleks daire yapılış aşamaları anlatılmıştır. Ahşap malzemenin avantajlarından örnekler verilmiş ve 8 katlı 4 dubleks evin yapımının ahşap malzeme ile betonarme malzeme arasında kıyaslama yaparak çevre için sağladığı avantajlar ve dezavantajları maddeler halinde belirtilmiştir.

Steiger vd (2008) ; Üç tabakalı olarak oluşturulan ÇLK örneklerinin ara tabakalarına plastik küçük parçalar konularak sismik dalgalarla o alanda meydana gelecek sertlik değerleri incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda ÇLK tabakaları arasına yerleştiren küçük plastik parçalar uygulanan kuvvet doğrultusunda çıkan sertlik değerlerini bilgisayar ortamına aktararak sonuçları vermiştir. Deneylerde İğne yapraklı türlerden olan Norveç ladini ve Avrupa ladininden yapılmış ÇLK numuneleri incelenmiş ve sismik olarak aktarılan dalgalarla malzemenin sertlik özelliklerinde artış olduğu bulunmuştur.

Schmid vd (2010) ; ÇLK'nın yangına maruz kalma durumunda uygulanacak model ve test yöntemleri incelenmiştir. Ateşe maruz kalan ÇLK numuneleri yoğun ateş ve normal ateş ile temas halinden geçirilerek SAFIR 2007 test metodu uygulanmıştır. Sonuç olarak normal ateşe maruz kalan ÇLK numunelerinin termal dayanım özelliği daha yüksek değerde olduğu çıkmıştır.

Peruzzo vd. (2014) ahşap uygulamalarında nanokil ve PVAc tutkal karışımının faydalarını araştırmıştır. Araştırma sonucunda; Suda şişme ısıl bozunma deneyleri ışığında tutkal karışımının yüksek su ve ısı etkilerine karşı direncinin arttığı ve bunun sonucunda rutubetli ortamlarda daha iyi yapışma performansı gösterdiği belirlenmiştir.

Zhou vd. (2014) ÇLK'da kayma modülünün belirlenmesi için çalışmalarda bulunmuşlar. Mesnet açıklığı ve örnek kalınlığı 6 olan 3 noktalı eğilme metodu sonucunda, poliüretan bazlı ÇLK'nın kayma modülünü  $2,74 \text{ (N/mm}^2\text{)}$  olarak belirlemişlerdir.

Xian vd. (2013) % 2 Nanokil ve çapraz bağlanma kimyasal ilavesinin yonga levhanın yapışma mukavemetinde önemli artışlar sağladığı bildirmişlerdir.

## BÖLÜM II

### MATERYAL VE METOT

#### 2.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Bu çalışmada Bartın ilinin kozcağız ve kumluca beldelerinden kesilen Sarıçam (*Pinus Sylvestris*) ve Gökmar (*Abies bornmülleriana* mattf) keresteleri kullanılmıştır. Sarıçam (*Pinus Sylvestris*) fırın kurusu keresteleri; 50 cm uzunluğunda, 2 cm kalınlığında, 10 cm kesilmiş, Gökmar (*Abies bornmülleriana* mattf) fırın kurusu keresteleri ise; 50 cm uzunluğunda, 2 cm kalınlığında ve 8 cm genişliğinde kesilerek ve istiflenerek Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvar ortamında bekletilen ahşap malzemeler iklimlendirme cihazına (Şekil 13) konularak 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem altında %12 denge rutubetine gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 13: Örneklerin iklimlendirme cihazına istiflenmesi ve kurutulması.

Testlerde kullanılacak olan tutkal çeşitleri Apel marka PVAc D-3 tutkalı ve Epoksi Era 4000 tutkalarıdır. Apel marka PVAc D-3 tutkalı düzey laboratuardan alınmış olup Beta Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş üretici firma tarafından tavsiye edilen oranlarda kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 5) teknik özellikleri verilmiştir. Orijinal plastik

bidonlarda ambalajlanmış ağzı kapalı şekilde 5-25 °C arasında depolanmalıdır. Kullanıldığı ortamlarda yeterli havalandırılma sağlanmalıdır. Raf ömrü; üretim tarihinden itibaren 1 yıldır. Uzun süreli depolamadan sonra iyice karıştırılması tavsiye edilmektedir. Soğuk ortamlardan ve donlardan korunmalıdır (URL-4, 2014).

Tablo 4: Apel PVAc D-3 tutkalının teknik özellikleri (URL-4, 2014).

<b>TEKNİK ÖZELLİKLERİ</b>	
Katı Madde Yüzdesi	%46 ± 1
Viskozite	21.000±4000 MPa.s (25°C)
PH Değeri	4 – 5,5
Partikül Büyüklüğü	1-2 mikron
Serbest Monomer	Maksimum %0,5
Minimum Film Sıcaklığı	2°C
Film	Elastik şeffaf
Görünüş	Beyaz Viskoz Sıvı
Sıcak Presleme Süresi	50°C 5,5 dakika 65°C 4 dakika 80°C 3 dakika

Epoksi Era 4000 tutkalı ise alev yatçılık internet sitesinden alınmış olup üretici firmanın ön gördüğü teknik özellikleri aşağıdaki tabloda (Tablo 5) verilmiştir. Kullanım sırasında koklanmamalı ve çalışma alanı tam olarak havalandırılmalıdır. Vücutla veya herhangi bir organla temas etmemesine dikkat edilmeli ve çocuklardan uzak tutulmalıdır. Yanıcı özelliği bulunmaktadır.

Tablo 5: Epoksi Era 4000 tutkalının teknik özellikleri (URL-5, 2014).

<b>TEKNİK ÖZELLİKLERİ</b>	
Hacimce Katı Madde (%)	100
Bağlayıcı	Epoxy Reçine
Yaş Film Kalınlığı( $\mu$ )	100(Tek kat)
Kuru Film Kalınlığı( $\mu$ )	100(Tek kat)
Plastik Kaplama Kapasitesi( $m^2/l$ t)	6~9 (Tek kat)
Uygulama Aracılığı( $^0C$ )	15~+35
Tam Sertleşme(gün)( $20^0C$ )	7
İkinci Kat Uygulama	Minimum 10/Maksimum 36
Kat Sayısı	3~4
Tiner	Kullanılmaz gerekli ise teknomarin epoksi boya tineri(1001)
Uygulama Şekli	Fırça, Rulo, Sprey
Yüzey Hazırlama	Temiz, kuru, yağdan ve gresten vb kirleticilerden arındırılmış olmalıdır.
Karışım Oranı(Ağırlık)	2A/1B
Karışım Oranı(Hacim)	2A/1B
Karışım Kullanılabilirlik Süresi ( $20^0C$ )dakika	40-70

Deneyleerde kullanılacak olan nanokil çeşidi ise Eczacıbaşı Esan firması tarafından temin edilmiştir. Esan nano -130 nanokil çeşidinin özellikleri; Montmorillonit (smektit grubu killeri), nanokil ürünleri için başlangıç malzemesidir. Smektit killerinin tabakalı yapısından dolayı yüzey özelliklerinin modifikasyonu sağlanabilmektedir. Montmorillonit killerin başlangıç tabakalar arası mesafe değerleri organik modifikasyon yapıldığında artmaktadır. Tabakalar arası mesafedeki bu artış da kilin polimer ana yapıda homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır. Esan nanokil ürünleri mekanik mukavemet, gaz geçirgenliği, alev geçiktiricilik ve hafiflik özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır (URL-6, 2014).

Esan nano-130'un Kimyasal analizi: Aşağıdaki Tablo 6'da sahip olduğu özellikler verilmiştir.

Tablo 6: Nanokilin kimyasal analizi (URL-6, 2014).

Maddeler	Sonuçları
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,37
SiO <sub>2</sub>	49,80
Na <sub>2</sub> O	0,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,59
K <sub>2</sub> O	0,31
CaO	0,33
MgO	2,43
TiO <sub>2</sub>	0,04
LOI	34,93

Deneylerde kullanılacak olan nanokilin renk analizi ve tane boyutu özellikleri Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

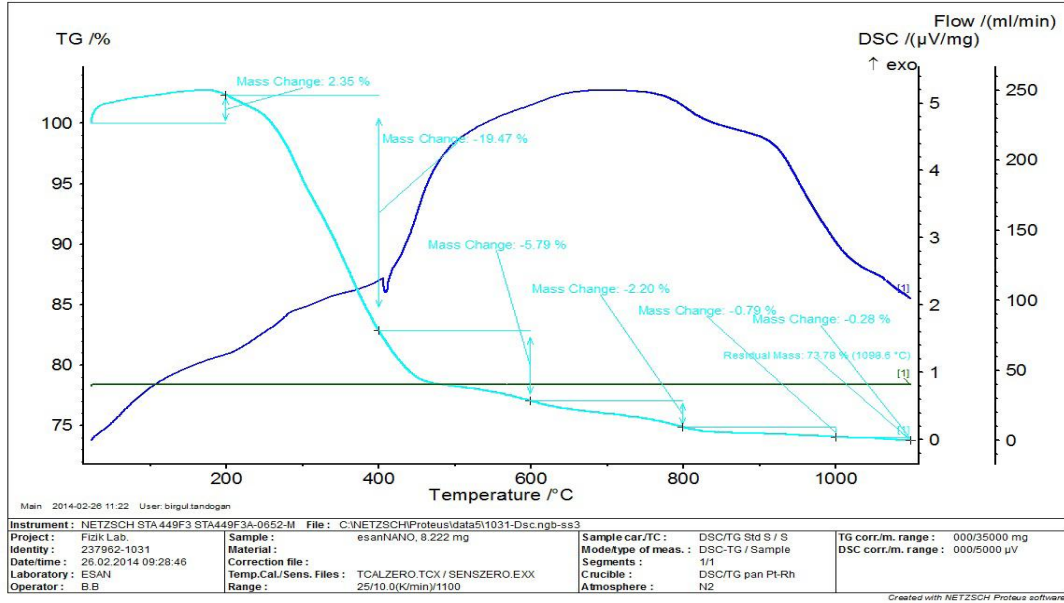
Tablo 7: Nanokilin renk analiz değerleri (URL-6,2014).

RENK ANALİZİ		
L	Açıklık- Koyuluk	96,28
a	+Kırmızı- yeşil	0,16
b	Sarı-Mavi	2,44

Tablo 8: Nanokilin tane boyut özellikleri (URL-6,2014).

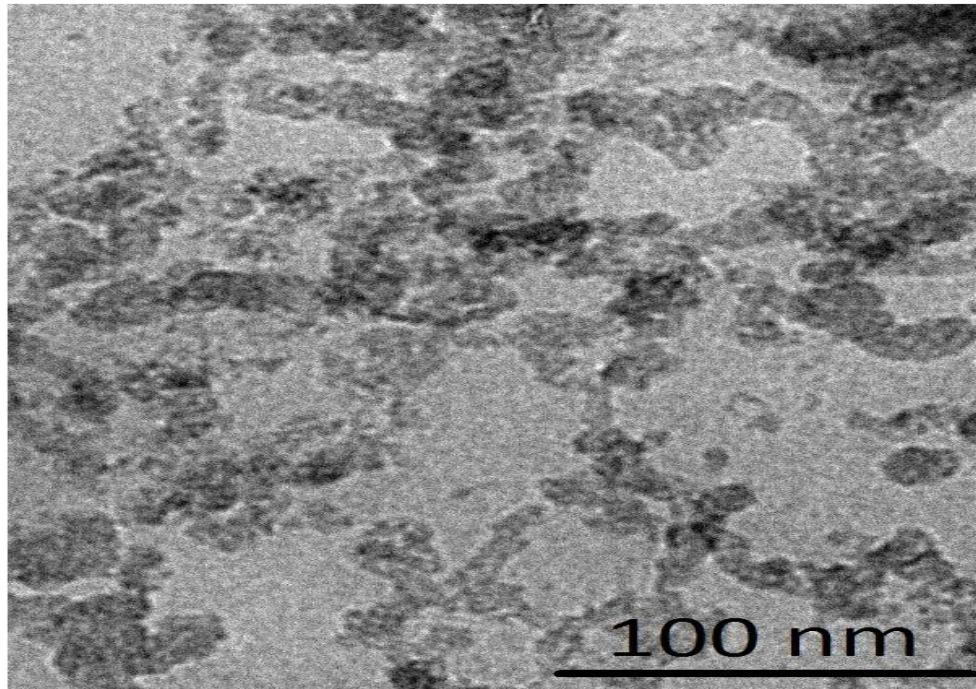
Tane boyutu		
d90	(μ)	20,0
d50	(μ)	4,5
d10	(μ)	1,2

Deneylerde kullanılacak olan nanokilin termal özellikleri Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14: Esan nano 130 termal özellikleri (URL-6,2014).

Nanokil hidrofobik (su itici) yapıya sahip olduğu için rutubet alma özelliğini azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Muğla Üniversitesi Sıtkı Tarancı merkezi araştırma laboratuvarında elde edilen nanokilin yapısı ile ilgili TEM görüntüsü Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15: Nanokilin TEM görüntüsü.

## 2.2 Tutkalların Hazırlanışı

PVAc D-3 tutkalı ile nanokil (esan nano 130) karışımı oluşturulurken kontrol amaçlı (% 0) ve farklı oranlarda (% 1, % 2 ve % 4) nanokil ilave edilmiştir. Kontrol amaçlı yapılacak olan ÇLK için herhangi bir nanokil ilave edilmeden yüzeye kullanıcı firmanın önerdiği oranlarda 1 m<sup>2</sup>'lik alana 200 gr tutkal kullanılacak şekilde rulo yardımıyla sürülmüştür. Tutkal sürülecek yüzey alan 0.25 m<sup>2</sup> olduğu için her tabakaya 50 gr tutkal malzemesi sürülmüştür. Üç tabakalı malzemenin iki yüzeyine tutkal sürülmesi için her tabakalı malzeme için 100 gr tutkal malzemesi hazırlanmıştır. Her ağaç türü için 3 ayrı örnek hazırlandığı ve toplamda iki ağaç türü için 6' şar örnek hazırlanıp bu örneklerin 600 gr tutkal kullanımına denk geldiği hesaplanmıştır.

%1'lik nanokil ilaveli PVAc D-3 tutkalı hazırlanışı; Öncelikle 1gr nanokilin içine 10 gr su ilave edilerek partikül boyutta olan nanokilin tutkal içinde homojen olarak dağılması için karıştırılmaktadır. Bu karışım aşamaları aşağıdaki şekillerde gösterildiği sürelerde ve cihazlarda yapılmaktadır.

Aşama 1: Nanokil ile su karışımı ultrasonik karıştırma cihazında (Şekil 16) 10 dakika süreyle karıştırılmıştır. Amaç nanokil tutkal karışımı yapılmadan önce nanokilin suda çözünerek tutkal içinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktır.



Şekil 16: Ultrasonik karıştırma cihazı.



Aşama 2: Ultrasonik cihazda ince uçlu karıştırıcı ile 10 dakika nanokil ve su karışımı oluştuktan sonra tutkalla karıştırılarak mekanik karıştırıcı (şekil 17) 20 dakika süre ile karıştırma işlemi yapılmıştır.



şekil 17: Mekanik karıştırıcıda %1'lik tutkal hazırlanışı.

Aşama 3: Tutkal karışımının mekanik karıştırıcıda 20 dakika karıştırma işlemi yapıldıktan sonra tekrar ultrasonik cihazdan (şekil 18) alınarak 20 dakika yüksek devirde karıştırılmıştır.



şekil 18: Ultrasonik cihazda %1'lik tutkal hazırlanışı.

Aşama 4; Ultrasonik cihazda 20 dakikalık karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra tekrar mekanik karıştırıcıya (Şekil 19) alınarak 20 dakika karıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 19: Mekanik karıştırıcıda tutkal hazırlanışı (%1'lik).

Aşamalar tamamlandıktan sonra tutkala %1 oranında Esan nano 130 nanokil ilaveli karışım homojen olarak hazırlanmış olmaktadır. Aşamaları yaparken aynı makine ve cihazda iki defa üst üste yapılması nanokilin malzemeye homojen olarak dağılmasını sağlamak ve çeşitli deneylerde kullandıkları tutkal ile yapılan karışımlarda en homojen karışım bu şekilde sağlanmış olduğundan tercih edilmiştir. Diğer yüzdelik oranlarla yapılacak olan karışımlarda aynı işlem uygulanmıştır.

### **2.3 Çapraz Lamine Kereste Malzemenin Hazırlanışı**

Çapraz Lamine Kereste malzeme; Üç tabakalı ve masif panel şeklinde yapılmaktadır. Hazırlanan deney örnekleri üç tabakalı ve yıllık halkalar birbiri ile aynı yönlü olmamasına dikkat edilmiştir. Yüzeyle tutkal sürülme aşamalarında Sarıçam ve Gökmar kerestelerinin sabit bir halde kalması için işkence ile keresteler sabitlenmiştir ve tutkal sürülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 20'de ÇLK'nin hazırlanışı gösterilmektedir.



a) ilk tabakaya tutkal sürülme safhası



b) İkinci tabakaya tutkal sürülme safhası



c) Ara tabakalara tutkal sürülme safhası



d) Tutkal sürülme safhasının bitiş safhası

Şekil 20: Tutkalın çapraz lamine kereste malzemeye sürülme aşamaları.

Hazırlanan örnekler alt ve üst tabaka sıcaklığı 20 °C'de 4 bor basınç altında hazır halde bulunan SSP 180 Pres makinesinde 2 saat süreyle pres altında tutulmaktadır (Şekil 21).



Şekil 21: Çapraz lamine kereste malzemenin preslenmesi.

Presleme işlemi uygun şartlarda her 15 dakikada sıcaklık değerleri kontrol edilmiş ve 2 saat sonunda presten çıkarılarak uygun bir şekilde istiflenerek Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında 1 hafta süreyle bekletilmiştir (Şekil 22).



Şekil 22: Çapraz lamine kereste malzemenin pres sonrası bekleme aşaması.

İki ağaç türü için toplamda 30 adet 50x50 cm ebatlarında çapraz lamine panel örneği hazırlanmıştır. PVAc-D-3 tutkalı ile yapılan 3 adet kontrol, 3 adet % 1, 3 adet %2, 3 adet % 4 oranlarında ve Epoksi tutkalının 3 adet kontrol amaçlı olmak üzere her ağaç türü için 15 adet genel toplamda 30 adet ÇLK hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler presten çıkarıldıktan sonra PVAc D-3 tutkalı ile hazırlanan örnekler 3 gün, Epoksi Era 4000 tutkalı ile hazırlanan plakalar ise preste 1 gün kaldıktan sonra Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında 1 hafta süre ile bekletilerek uygun şartlar sağlandıktan sonra deneyler için hazır hale gelmesi işlemi tamamlanmıştır.

## 2.4 Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

### 2.4.1 Eğilmede Kayma Deneyi

Eğilmede kayma deneyinde kullanılacak örnekler Bartın üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde 2x6x44 cm ebatlarında toplam 168 adet örnek kesilerek hazır hale getirilmiştir (Şekil 23).





Şekil 23: Eğilmede kayma deney örneklerinin ebatlandırılması.

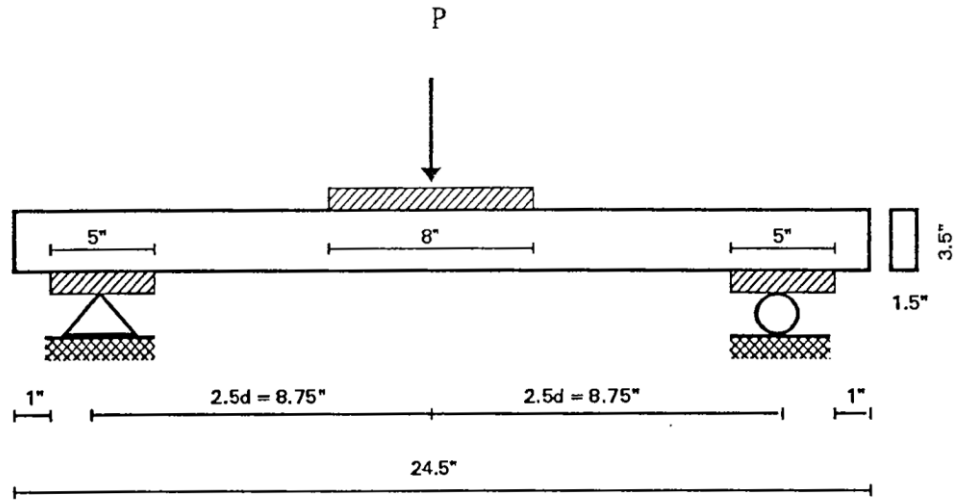
Şekil 23’de görüldüğü gibi örneklerin belirtilen ebatlarda kesilerek deney yapılmak üzere Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarına getirilmiştir. Bütün mekanik deneylerin yapılacağı U Test cihazı aşağıda (Şekil 24) gösterilmiştir.



Şekil 24: Mekanik deneylerin yapıldığı U test cihazı (100 N/kg).

Eğilmede kayma deney örneklerinde yükün ÇLK üzerinde homojen olarak dağıtılması ve malzemenin yüzeyinin deforme olmaması ve kayma etkisini arttırmak için; ahşap

malzemenin alt yüzeylerinin mesnetlere gelen kısımlarına 2 cm kalınlığında 7,5 cm uzunluğunda ve üst kısımda ise yükün uygulanma noktası olan bölgede 2 cm kalınlığında 15 cm uzunluğunda demir parçalar kesilerek yükün yeknesak olarak dağılması hedeflenmiştir. Amaç tutkal hattında meydana gelecek olan kaymanın en verimli şekilde meydana gelmesini sağlamaktır. Djoko (1996)'nın yapısal kerestelerde güç kesme yöntemleri incelemesinde ASTM D 198'e göre üç noktadan uygulanacak yükün destekler arasındaki mesafeler (Şekil 25)'de gösterilmektedir.



Şekil 25: Eğilmede kayma deneyi (Djoko, 1996).

Test sonucu örneklerin eğilmede kayma miktarları aşağıdaki Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$T = \frac{3P}{4bd} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$T$ : Eğilmede kayma miktarı(Newton/mm<sup>2</sup>)

$P$ : Maksimum yük(Newton)

$b$ : Genişlik (mm)

$d$ : Kalınlık (mm)

#### 2.4.2 Eğilmede Kayma Deneyi ve Suda Bekletme

Eğilmede kayma deneyi ve suda bekletme işleminde öncelikle 2x2,5x44 cm ebatlarında toplam 120 örnek uygun standartlarda kesilerek deney örnekleri hazır hale getirilmiştir. Bu örneklerin 60 tanesi ASTM D 198 standartlarına uygun şekilde U Test cihazında eğilme deneyi yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 26’da eğilmede kayma örneklerinin suda bekletme kabı (2,5 cm) suda bekletme işlemi yapılacak olan deney örnekleri ilk olarak kalınlık ve genişlikleri ölçülerek hepsi teker teker numaralandırılarak not edilmiştir.



Şekil 26: ÇLK örneklerin suda bekletilme kabı.

Daha sonra 24 saat süre ile su içerisinde bekletilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Süre tamamlandıktan sonra örnekler sulu ortamdan çıkartılmıştır. Suyu konulan örneklerin % 50 si tutkal hattından ayrılma gösterdiği gözlemlenmiştir. İlk ölçümlere göre meydana gelmiş olan hacimsel artışlar yazılarak tekrar ölçümleri yapıldı. Yapılan ölçümlerden sonra deney numuneleri U test cihazında Eğilmede Kayma deneyi yapılmış ve çıkan sonuçlar Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27: Suda bekletme sonrası eğilmede kayma deneyi ve grafik şekli.

### 2.4.3 Ağaç Malzemenin Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Eğilme direnci deneyi ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### 2.4.3.1 Eğilme Direnci

Ağaç malzemenin eğilme deneyleri için 25 adet Gök nar 37 adet Sarıçam örnekleri 2x6x36 cm ebatlarında örnek boyutları 0,01mm duyarlılıkta bir dijital kumpasla ölçülerek toplam 62 adet örnek kesilerek U Test Cihazında elastikiyet modülü ve eğilme dayanımları ölçülmüştür.

Hazırlanmış olan örnekler 2x2x36 cm ebatlarında kesilerek deneyin yapılacağı Karabük Üniversitesi Teknik Bilimler Fakültesi Mobilya Dekorasyon Bölümü deney laboratuvarına getirilmiştir. Toplamda 62 tane örnek Zwick/Roel Z 50 U test cihazında Şekil 28’de eğilme deneyi, Eğilmede Elastikiyet Modülü hesaplanması yapılmıştır. Yük, test örneklerinin tam ortasından uygulanmıştır. Aşağıdaki şekilde kullanılan makine ve deney numunelerine ait özellikler verilmiştir.





Şekil 28: Zwick/Roel U test cihazı.

Yapılan deneylerde kullanılan eğilme direnci Eşitlik 2 formülü ile hesaplanmıştır.

Eğilme direnci formülü;

$$\sigma_E = \frac{3P_{\max}L}{2bh^2} \quad (2)$$

Burada;

$\sigma_E$  = Eğilme Direnci ( $N/mm^2$ ),

$P_{\max}$  = Kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (N),

$L$  = Mesnetler arası mesafe (mm),

$h$  = Örnek yüksekliği (mm),

$b$  = Örnek genişliği (mm)

### 2.4.3.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci deney örneklerinden yararlanılmış ve deneyler aşağıdaki Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\Delta F x L^3}{4bh^2 x \Delta d} \quad (3)$$

$E$  = Eğilmede elastikiyet modülü(N/mm<sup>2</sup>)

$\Delta F$  =Elastikiyet deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N), (F2-F1),

$L$  = Mesnetler arası mesafe (mm)

$b$  = Örnek genişliği(mm)

$h$  = Örnek yüksekliği (mm)

$\Delta d$  = (F2-F1) Kuvvet artışı nedeni ile test örneği uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı (mm)'dir.

### 2.4.4 Liflere Dik Basınç Direncinin İncelenmesi

Basınç direncinin ölçülmesinde 20x20x60 mm ebatlarında örnekler her ağaç türünden Kontrol, PVAc % 1 NK, PVAc % 2 NK, PVAc % 4 NK ve Epoksi panellerinden 10 adet örnek alınarak toplam 100 adet örnek hazırlanmıştır. Örneklerin enine kesit boyutları 0,01 duyarlılıkta kumpasla ölçülmüştür. Deney anında örnekler 2 – 3 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerden önce kuvvetin uygulandığı enine kesit(a.b)hesaplanıp, kırılma anındaki kuvvet ( $F_{max}$ ) ölçülerek, liflere dik yönde basınç direnci( $\sigma_B$ ) hesaplanmıştır (Eşitlik 4)

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{axb} \quad (4)$$

Bu eşitlikte ;

$F_{max}$  : Maksimum yük miktarı (N)

$axb$  : Teğet ve radyal kenar uzunlukları ( $mm^2$ )

## 2.5 Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Fiziksel özelliklere ait incelemeler aşağıdaki gibidir.

### 2.5.1 Rutubet Tayini

Rutubet tayini TS 2471'e göre 20x20x30 mm ebatlarında 15 Gökmar ve 15 Sarıçam olmak üzere toplam 30 adet örnek hazırlanmıştır. Örnekler  $103 \pm 2$  °C'ye sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup, rutubet oranları Tablo 29 ve Tablo 30'da gösterilmiştir. Deney sonuçlarının hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 5 aşağıda verilmiştir.

$$r = \frac{mr - m_0}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

$r$  : Rutubet miktarı

$m_0$  : Cismin son ağırlığı

$m_r$  = Cismin ilk ağırlığı

### 2.5.2 Yoğunluk Tayini

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesinde TS 2472 standartlarında belirtilen esaslara uyularak, gökmar ve sarıçam örneklerinden 20x20x30 mm ebatlarında 15'er adet örnek hazırlanmıştır.

Hava kurusu haldeki ağırlıkları ve ölçüleri belirlenen deney numuneleri etüve konularak  $103 \pm 2$  °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Deneyde 0.001 mm

duyarlılıkta bir kumpas kullanılarak değerler ölçölmüştür. Yoğunluk tayininde aşağıdaki EŞitlik 6 yardımıyla hesaplanmıştır..

$$D = \frac{M}{V} \quad (6)$$

D = Özgöl ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>),

M = Örneğ ağırlığı (gr),

V = Örneğ hacmi (cm<sup>3</sup>)

## BÖLÜM III

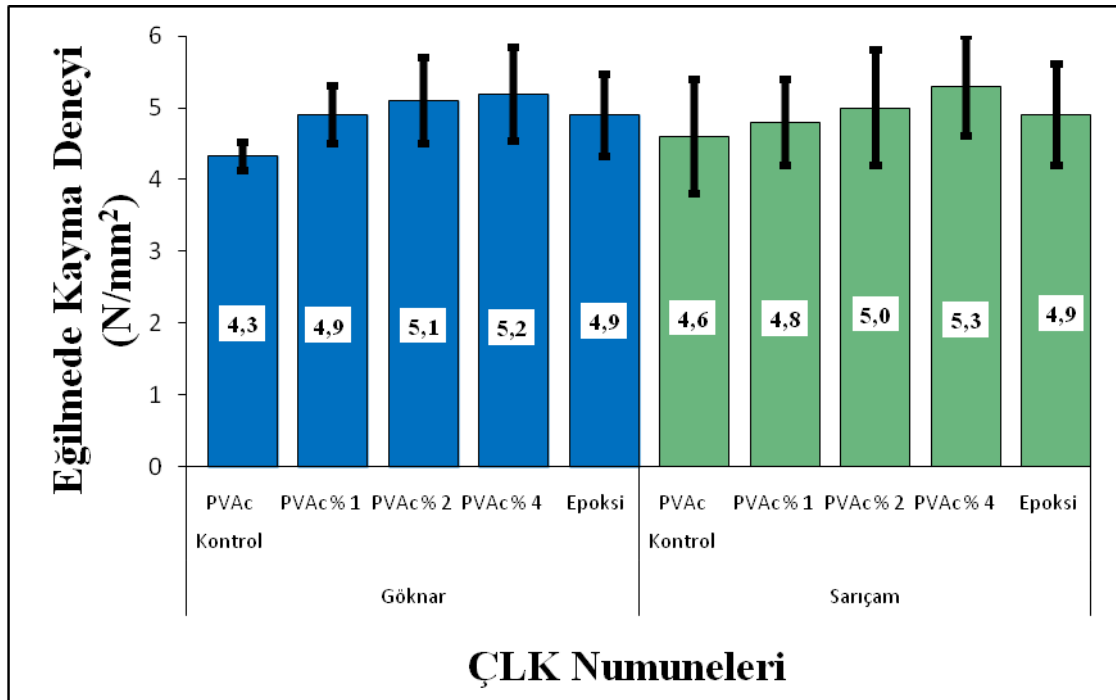
### BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1 Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Mekanik deneyler sonucunda Gök nar ve Sarıçam kerestelerinden hazırlanan ÇLK ilave edilen nanokil miktarlarına göre 3 ve 2,5 cm genişliğindeki örnekleri üzerinde eğilme kayma deneyleri yapılmış ve bu örneklerin ilave edilen nanokil miktarlarına göre değişim oranları hesaplanmıştır. 2 cm genişlikteki örneklerde ise eğilme direnci ve elastikiyet modülü belirlenmiştir. Ayrıca liflere dik basınç deneyleri de yapılmıştır.

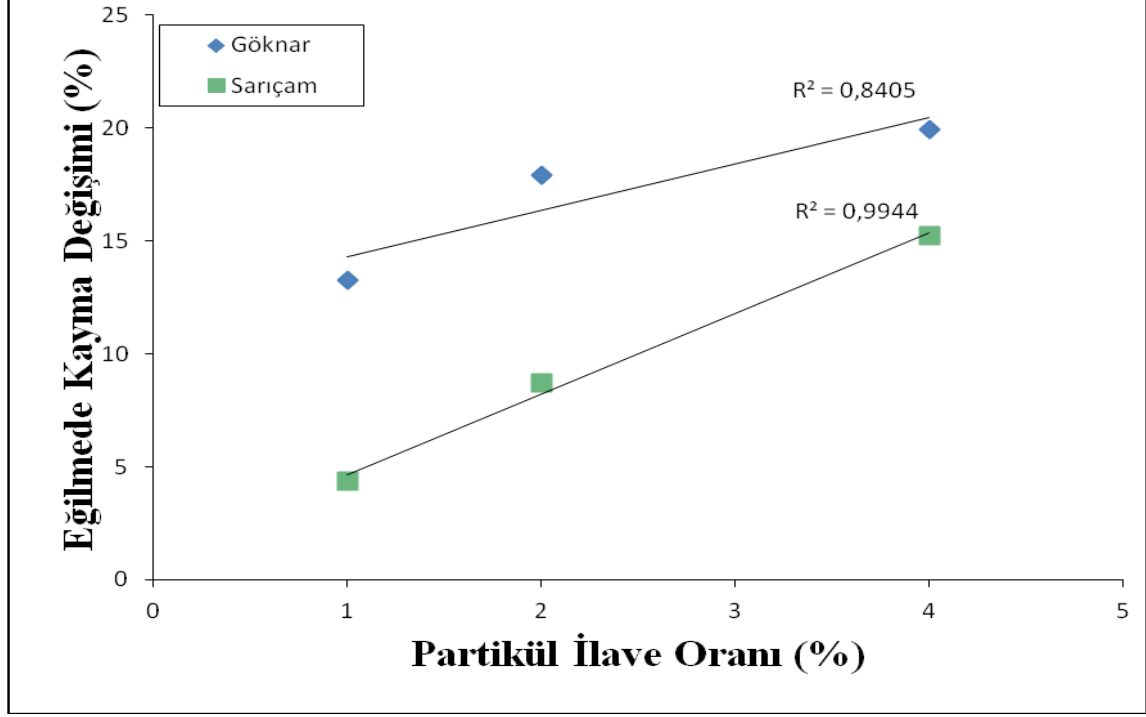
##### 3.1.1 Eğilme Kayma Deneyine Ait Bulgular

Mekanik deneyler sonucunda Sarıçam ve Gök nar kerestelerine tutkalla ilave edilen nanokilin mukavemeti arttırdığına ilişkin özelliklerin daha anlamlı bir şekilde ifade edilmesi için Elastikiyet modülleri, eğilme dirençleri, varyans analizi ve korelasyon katsayıları hesaplanarak aşağıdaki (Tablo 9,10,11...30 ve Şekil 29, 30, 31...39) verilmiştir.



Şekil 29: Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın eğilme kayma deneylerine ait bulgular (3 cm).

Şekil 29’da Gök nar ve Sarıçam ÇLK’nın eğilmede kayma deneylerine ait bulgular incelendiğinde Gök nar için tutkala ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilmede kayma değerlerinde mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir. Sarıçam ÇLK’ya ilave edilen tutkal miktarına bağlı olarak mukavemeti arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak Epoksi tutkalı için her iki ağaç türünde de aynı değerlerde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 30: Gök nar ve Sarıçam ÇLK’nın korelasyon katsayılarına ait bulgular (3cm).

Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	4,96	4	1,24	4,13	0,004
Gruplar İçinde	25,23	84	0,30		
<b>Toplam</b>	<b>30,20</b>	<b>88</b>			

\*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 10’de verilmiştir.

Tablo 10: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Gök nar/Epoksi	4,3	0,19	4,42	a
Kontrol Gök nar	4,9	0,42	8,57	b
Gök nar/%1 NK	5,1	0,60	11,76	b
Gök nar/%2 NK	5,2	0,65	12,52	b
Gök nar/%4 NK	4,9	0,57	11,63	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Gök nar odununda %4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 10’da ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odunu örneklerinde elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

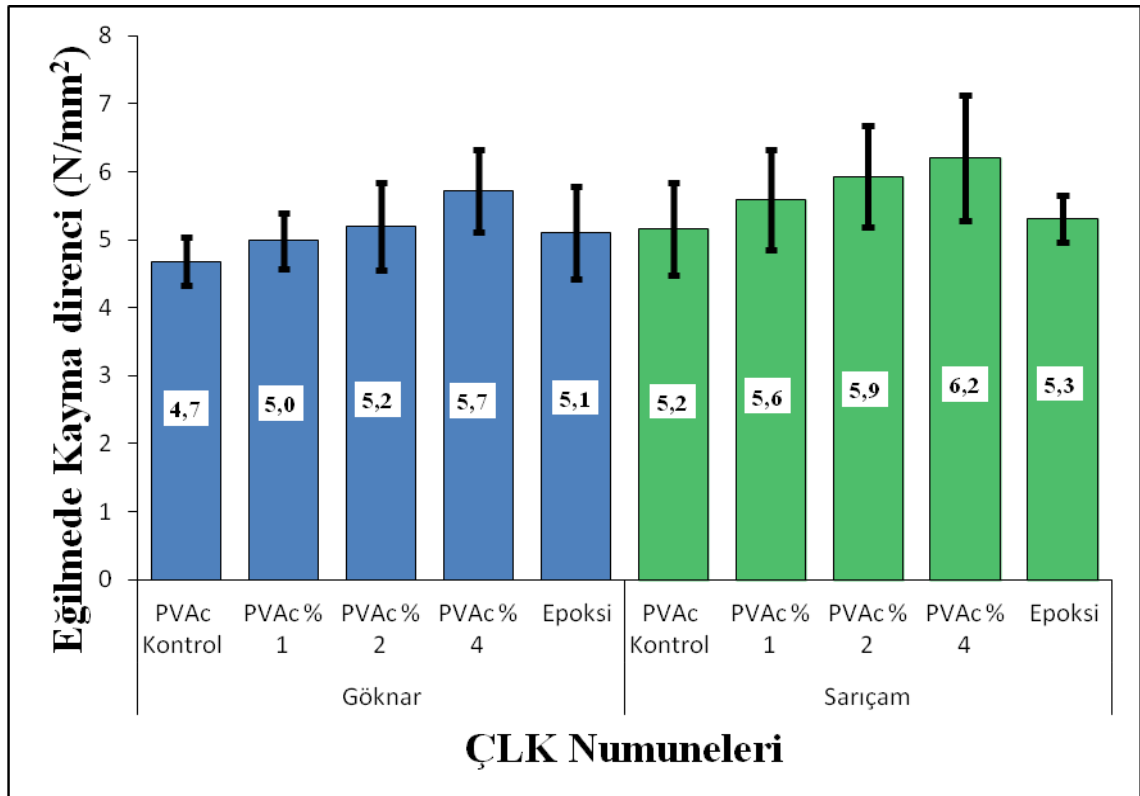
Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	4,68	4	1,17	2,34	0,063
Gruplar İçinde	36,95	74	0,50		
Toplam	41,63	78	*) p < 0,05		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Testi
Kontrol Sarıçam	4,6	0,79	17,17	a
Sarıçam/%1 NK	4,8	0,59	12,29	ab
Sarıçam/%2 NK	5,0	0,76	15,26	ab
Sarıçam/%4 NK	5,3	0,69	13,01	b
Sarıçam/Epoksi	4,9	0,72	14,69	ab

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Sarıçam odununda %4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 12’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 31: Göknar ve Sarıçam ÇLK’nın eğilmede kayma deneyleri örneklerine ait bulgular (2,5 cm).

2x2,5x44 cm ebatlarındaki ÇLK örneklerinin PVAc tutkalına ilave edilen nanokil miktarlarına bağlı olarak eğilmede kayma miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Epoksi



tutkalı ile hazırlanan ÇLK örneklerinde Sarıçam örneklerinin eğilmede kayma miktarı Gökmar ÇLK örneklerine göre daha yüksek değerde olduğu hesaplanmıştır.

Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	5,47	4	1,37	3,77	0,017
Gruplar İçinde	8,37	23	0,36		
<b>Toplam</b>	<b>13,84</b>	<b>27</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
<b>Kontrol Gökmar</b>	4,7	0,04	0,85	a
<b>Gökmar/%1 NK</b>	5,0	0,46	9,23	ab
<b>Gökmar/%2 NK</b>	5,2	0,70	13,46	ab
<b>Gökmar/%4 NK</b>	5,7	0,64	11,13	b
<b>Gökmar/Epoksi</b>	5,1	0,74	14,51	ab

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Gökmar odununda %4 nano kil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 14’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odunu örneklerinde elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	2,47	4	0,62	0,92	0,474
Gruplar İçinde	12,05	18	0,67		
<b>Toplam</b>	14,51	22			

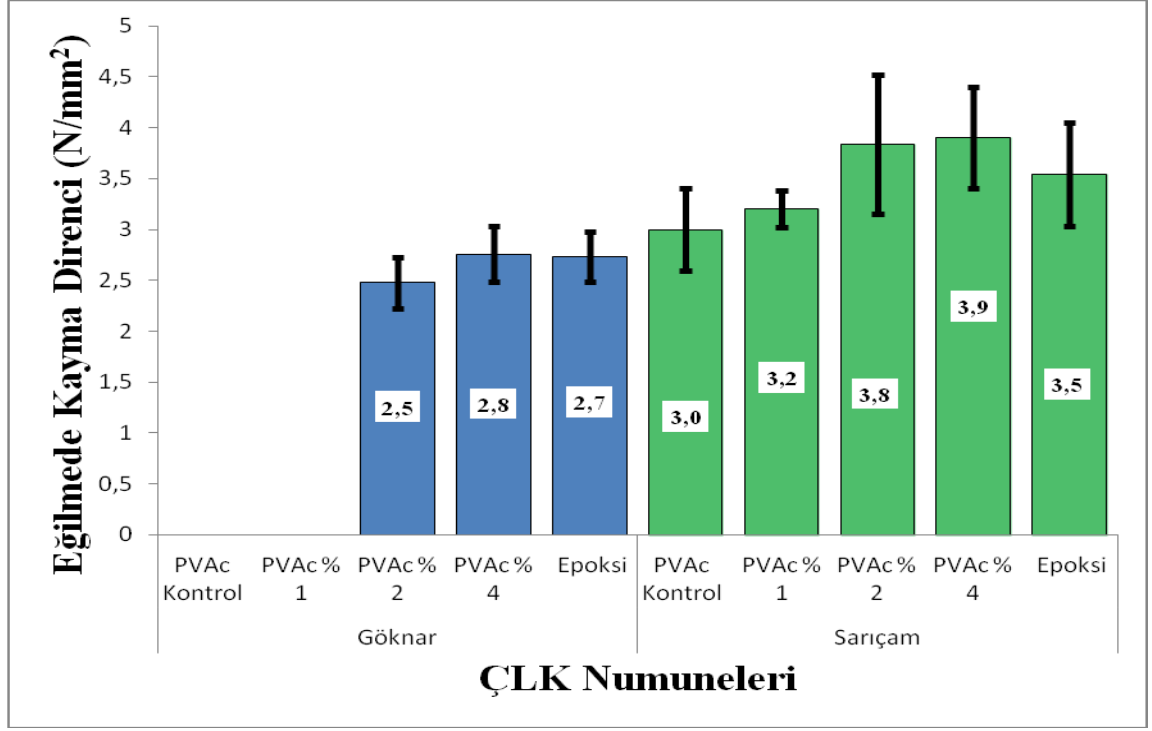
\*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 16’de verilmiştir.

Tablo 16: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Sarıçam	5,2	0,70	13,5	a
Sarıçam/%1 NK	5,6	1,08	19,3	a
Sarıçam/%2 NK	5,9	0,83	14,1	a
Sarıçam/%4 NK	6,2	0,59	9,51	a
Sarıçam/Epoksi	5,3	0,41	7,73	a

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Sarıçam odununda % 2 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 16’da ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 32: Gökmar ve Sarıçam ÇLK'nın suda bekletme sonunda çıkan eğilmede kayma deneylerine ait bulgular (2,5 cm).

Şekil 32'de Gökmar ve Sarıçam ÇLK'nın suda bekletme sonunda çıkan eğilmede kayma deneylerine ait bulgular incelendiğinde suda bekletme işlemi 24 saat süreyle gerçekleştirildikten sonra deney numunelerinde % 50 oranında bir dağılım, tutkal hattında ayrılma meydana gelmiştir. Suda bekletilen örneklerin eğilmede kayma dirençlerine bakıldığında normal örneklerde meydana gelen dirençlere oranla %10 - % 15 arasında direnç kaybına neden olmaktadır. Epoksi ile hazırlanmış ÇLK deney örneklerine bakıldığında Gökmar örneklerinde su ile muamele edilmeyen örneklere göre % 100 oranında eğilmede kayma direncinde azalma olduğu gözlemlenmiştir, Sarıçam örneklerinde ise % 60 – % 65 oranında eğilmede kayma miktarlarında azalma meydana geldiği hesaplanmıştır.

Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	0,095	2	0,05	0,51	0,620
Gruplar İçinde	0,75	8	0,93		
Toplam	0,84	10	*) p < 0,05		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Göknar	0,0	0,00	0,00	
Göknar/%1 NK	0,0	0,00	0,00	
Göknar/%2 NK	2,5	0,33	13,2	a
Göknar/%4 NK	2,8	0,35	12,5	a
Göknar/Epoksi	2,7	0,27	10,00	a

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Göknar odununda %4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 18’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Sarıçam odununun örneklerinden elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	1,53	4	0,38	2,08	0,165
Gruplar İçinde	1,65	9	0,18		
<b>Toplam</b>	<b>3,20</b>	<b>13</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

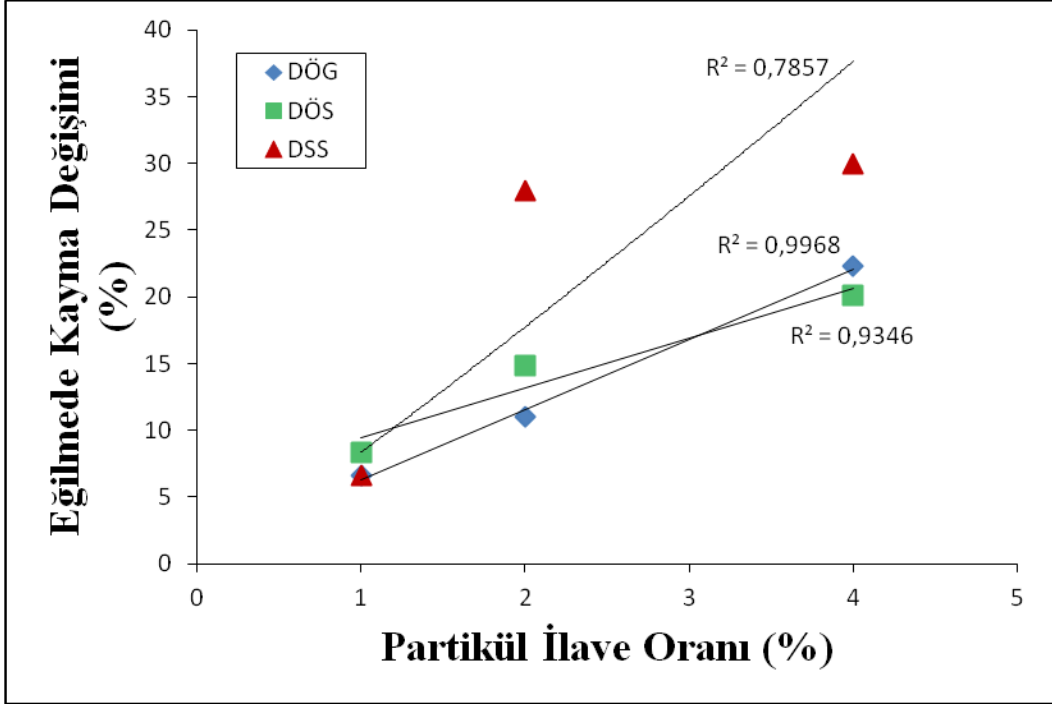
Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişimin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
<b>Kontrol Sarıçam</b>	3,0	0,00	0,00	
<b>Sarıçam/%1 NK</b>	3,2	0,22	6,87	a
<b>Sarıçam/%2 NK</b>	3,8	0,65	17,10	b
<b>Sarıçam/%4 NK</b>	3,9	0,00	0,00	
<b>Sarıçam/Epoksi</b>	3,5	0,57	16,29	a

Sarıçam odununun örneklerinden elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Sarıçam odununda %2 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 20’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ama % 1 NK ve % 2 NK ile Epoksi Örneklerinin eğilmede kayma miktarları arasında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Aşağıdaki (Şekil 33)’de Gökmar ve Sarıçam ÇLK sudan önce ve sudan sonra Eğilmede kayma deneyi bulguları verilmiştir.

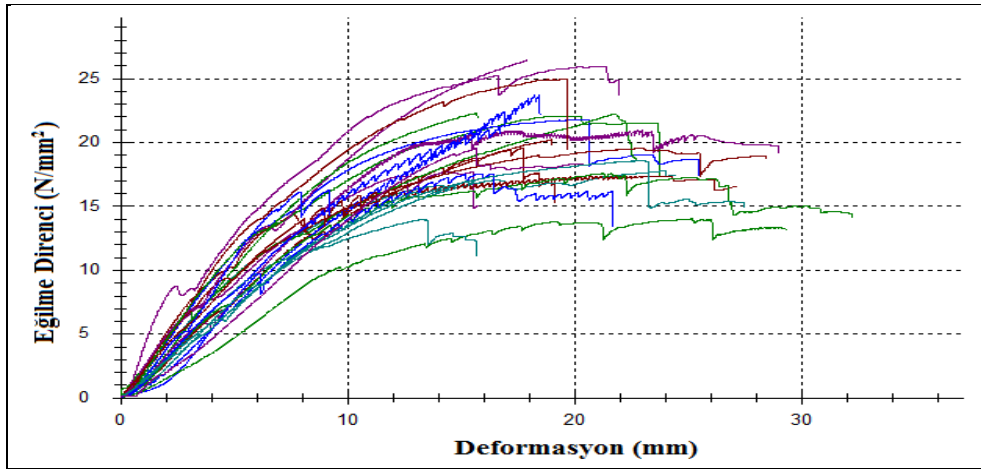


Şekil 33: Göknar ve Sarıçam ÇLK'nın sudan önce ve sudan sonra eğilmede kayma deneylerine ait bulgular (2,5 cm).

### 3.1.2 Eğilme Deneyi ve Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Eğilme ve Elastikiyet modülüne ait bulgular daha anlamlı sonuçlar alınması açısından aşağıdaki tablolar ve grafiklerde verilmiştir.

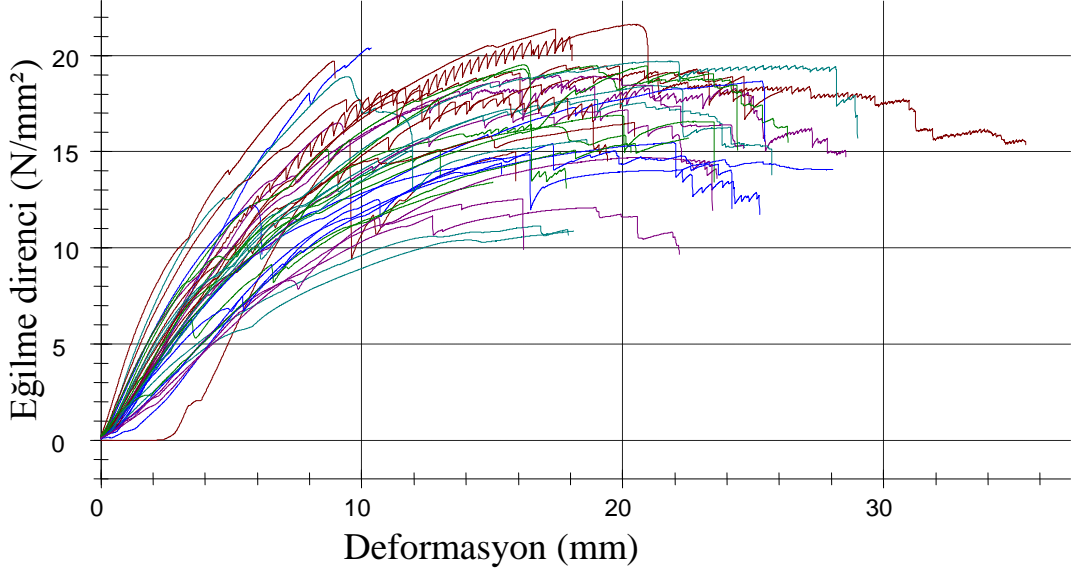
Aşağıda Sarıçam ÇLK örneklerinin eğilme deneylerine ait bulgular Şekil 34'de verilmiştir.



Şekil 34: Sarıçam ÇLK'nın eğilme direncine ait bulgular (2 cm).

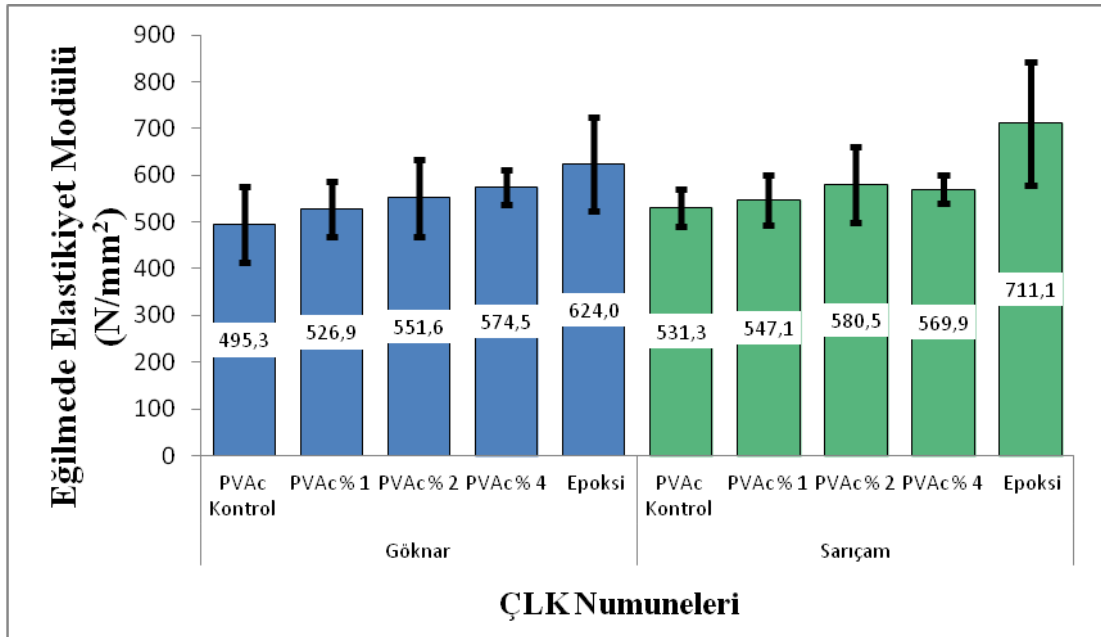
Şekil 34’de Sarıçam ÇLK’nın eğilme direncine ait bulgular incelendiğinde genel olarak değerlerin birbirleri ile yakın değerler çıktığı gözlenmektedir.

Aşağıdaki Şekil 35’de Gökmar ÇLK örneklerine ait eğilme direnci sonuçları verilmiştir.



Şekil 35: Gökmar ÇLK’nın eğilme direncine ait bulgular (2 cm).

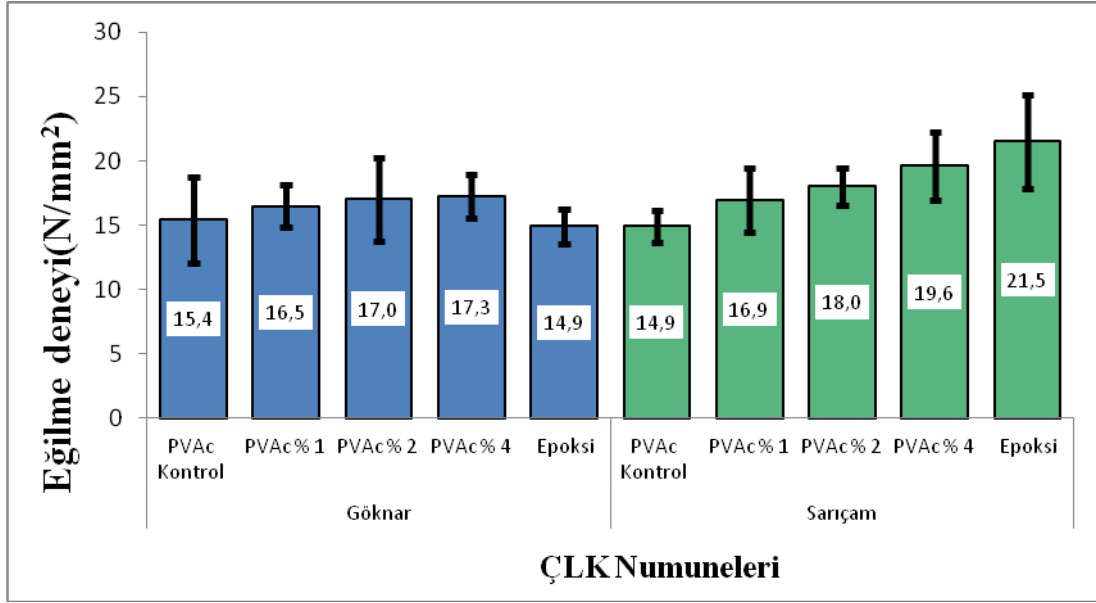
Aşağıdaki Şekil 36’da Gökmar ve Sarıçam ÇLK’nın Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular verilmiştir.



Şekil 36: Gökmar ve Sarıçam ÇLK’nın elastikiyet modülüne ait bulgular (2 cm).

ÇLK numunelerinin eğilmede elastikiyet modüllerine ait bulgularda ilave edilen nanokil miktarlarına bağlı olarak Gök nar'da arttığı gözlemlenmiştir. Sarıçam örneklerinde ilave edilen nanokil miktarlarında % 2 en yüksek elastikiyet modülü değerini vermiştir.

Aşağıdaki Şekil 37'de Gök nar ve Sarıçam ÇLK örneklerinin Eğilme direnci sonuçları verilmiştir.



Şekil 37: Gök nar ve Sarıçam ÇLK'nın eğilme direncine ait bulgular (2 cm).

Elde edilen eğilme değerleri sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21: Elde edilen eğilme deney sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	25,54	4	6,64	0,942	0,453
Gruplar İçinde	218,38	31	7,046		
<b>Toplam</b>	<b>244,92</b>	<b>35</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilme değerleri değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için



yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22: Örnek tipine bağlı olarak eğilme değerleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Gökna	15,42	3,05	19,77	a
Gökna/%1 NK	16,48	1,52	9,22	a
Gökna/%2 NK	17,00	3,20	18,82	a
Gökna/%4 NK	17,27	1,70	9,84	a
Gökna/Epoksi	14,91	1,31	8,79	a

Elde edilen sonuçlara göre eğilme değerleri en yüksek değer Gökna odununda %4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 22’de ortalama eğilme değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilme değerleri kendi aralarında anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Sarıçam odunu örneklerinde elde edilen eğilme değerleri sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	121,34	4	30,34	4,51	0,009
Gruplar İçinde	134,41	20	6,72		
Toplam	255,75	24	*) p < 0,05		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilme değerleri değişimin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 24: Örnek tipine bağlı olarak eğilme deneyi sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Sarıçam	14,92	1,27	8,51	a
Sarıçam/%1 NK	16,92	2,51	14,84	ab
Sarıçam/%2 NK	18,04	1,44	7,98	abc
Sarıçam/%4 NK	19,60	2,65	13,52	bc
Sarıçam/Epoksi	21,50	3,65	16,97	c

Elde edilen sonuçlara göre eğilme deneyi sonucu en yüksek Sarıçam odununda Epoksi kullanımında elde edilmiştir. Tablo 24'de ortalama eğilme değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 25'de verilmiştir.

Tablo 25: Elde edilen eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	41270,23	4	10317,56	2,098	0,116
Gruplar İçinde	108259,09	22	4920,87		
<b>Toplam</b>	<b>149529,32</b>	<b>26</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Gökna	495,28	81,50	16,46	a
Gökna/%1 NK	527,00	58,77	11,15	ab
Gökna/%2 NK	552,62	82,36	14,89	ab
Gökna/%4 NK	574,49	36,78	6,40	ab
Gökna/Epoksi	624,03	101,07	16,20	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında en yüksek değer Gökna Epoksi kullanımında elde edilmiştir. Tablo 26'da ortalama eğilme değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilme değerleri kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odunu Örneklerinde elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27: Elde edilen eğilmede elastikiyet deneyi sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	109435,42	4	27358,86	4,21	0,012
Gruplar İçinde	130060,70	20	6503,04		
<b>Toplam</b>	<b>239496,12</b>	<b>24</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri değişimin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
Kontrol Sarıçam	531,28	39,51	7,44	a
Sarıçam/%1 NK	547,09	54,62	9,98	a
Sarıçam/%2 NK	580,47	80,70	13,90	a
Sarıçam/%4 NK	570,90	30,96	5,42	a
Sarıçam/Epoksi	711,15	132,36	18,61	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede elastikiyet modülü sonucu en yüksek Sarıçam Epoksi odunundaki kullanımında elde edilmiştir. Tablo 28'de ortalama eğilmede elastikiyet modülleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede elastikiyet modülleri kendi aralarında anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Aşağıdaki Tablo 39'da Sarıçam odununa ait masif eğilme değerleri verilmiştir.

Tablo 29: Sarıçam odununa ait eğilme deneyi sonuçları.

Sarıçam	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5	Ortalama
Kalınlık (mm)	20	20	20	20	20	
Yüksekli (mm)	20	20	20	20	20	
Uzunluğu (cm)	36	36	36	36	36	
Deformasyon (mm)	22,00	15,88	17,94	16,60	16,81	<b>17,84</b>
Maksimum yük (Newton)	1713	1797	1790	1647	1616	<b>1712</b>
Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	102,78	107,82	107,40	98,82	96,96	<b>102,75</b>
Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	13372,80	15066,61	14466,32	12320,88	11173,31	<b>13.280,04</b>

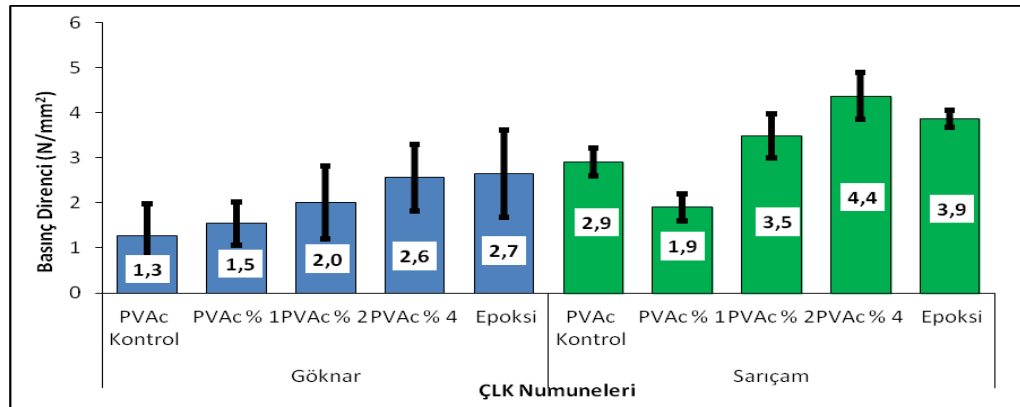
Aşağıdaki Tablo 30’da Gök nar odununa ait masif eğilme değerleri verilmiştir.

Tablo 30: Gök nar odununa ait eğilme deney sonuçları.

Gök nar	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5	Ortalama
<b>Kalınlık (mm)</b>	20	20	20	20	20	
<b>Yüksekli (mm)</b>	20	20	20	20	20	
<b>Uzunluğu (cm)</b>	36	36	36	36	36	
<b>Deformasyon (mm)</b>	15,96	11,33	15,51	13,39	13,68	<b>13,97</b>
<b>Maksimum yük (Newton)</b>	1270	1190	1246	1263	1273	<b>1248</b>
<b>Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	76,20	71,40	74,76	75,78	76,38	<b>74,90</b>
<b>Elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	8406,86	8360,18	10276,82	9152,29	10632,44	<b>9365,71</b>

### 3.1.3 Basınç Direncine Ait Bulgular

Basınç deneyine ait bulgular Şekil 38’de verilmiştir.



Şekil 38: Gök nar ve Sarıçam ÇLK’nın basınç deneyine ait bulgular (2 cm).

Eğilme deney sonuçlarında Gökmar ÇLK örneklerine ilave edilen nanokil miktarlarına bağılı olarak değerlerde artış olduğu gözlemlenmiştir. Sarıçam ÇLK örneklerinde % 1 oranında nanokil ilaveli örnek en küçük değerlerde çıkmış % 4 nanokil ilaveli ÇLK en yüksek değerde çıkmıştır. Epoksi tutkallarına bakıldığında ÇLK örneklerinde Gökmar örneklerinin sarıçam örneklerinden daha düşük değerlerde sonuçlar çıkmıştır.

Elde edilen basınç deney sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31: Elde edilen basınç deney sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	14,87	4	3,72	25,55	0,000
Gruplar İçinde	6,54	45	0,14		
<b>Toplam</b>	21,41	49	*) p < 0,05		

Yapılan varyans analizi, örneklerin basınç deneyi değışimin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32: Örnek tipine bağılı olarak basınç deneyleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
<b>Kontrol Gökmar</b>	1,3	0,21	16,15	a
<b>Gökmar/%1 NK</b>	1,5	0,09	6,00	b
<b>Gökmar/%2 NK</b>	2,0	0,31	15,50	c
<b>Gökmar/%4 NK</b>	2,6	0,19	7,30	c
<b>Gökmar/Epoksi</b>	2,7	0,31	11,48	a

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Gökmar odununda % 4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 32’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve

Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odunu örneklerinde elde edilen basınç deney sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 33’de verilmiştir.

Tablo 33: Elde edilen basınç deney sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	35,56	4	8,90	15,92	0,000
Gruplar İçinde	25,12	45	0,56		
<b>Toplam</b>	<b>60,68</b>	<b>49</b>	<b>*) p &lt; 0,05</b>		

Yapılan varyans analizi, örneklerin basınç deneyi değişimin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 34’de verilmiştir.

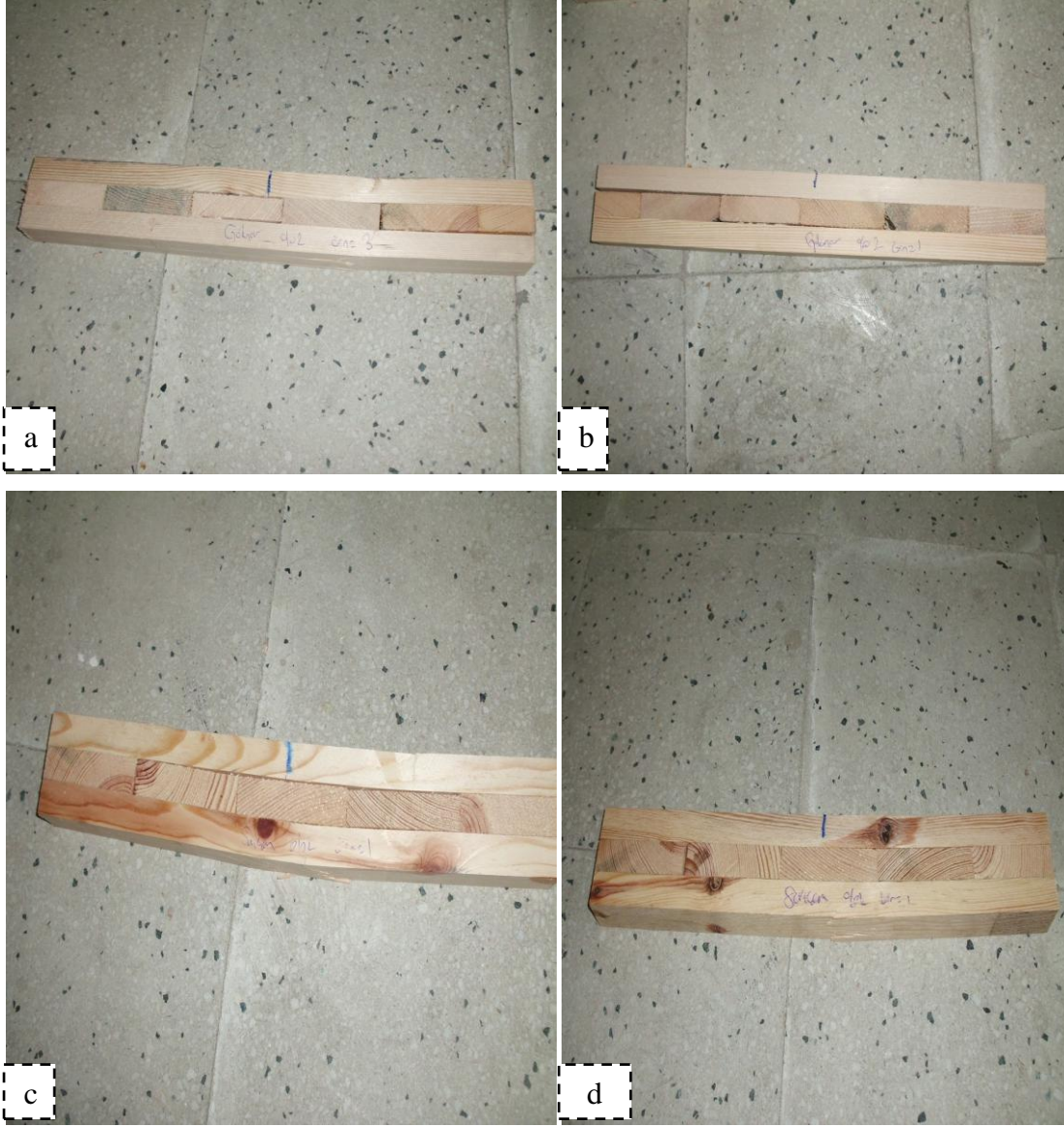
Tablo 34: Örnek tipine bağlı olarak basınç deneyleri sonuçlarına ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm <sup>2</sup> )	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
<b>Kontrol Sarıçam</b>	2,9	0,47	16,20	a
<b>Sarıçam/%1 NK</b>	1,9	0,30	15,78	bc
<b>Sarıçam/%2 NK</b>	3,5	0,64	18,28	d
<b>Sarıçam/%4 NK</b>	4,4	0,73	16,59	cd
<b>Sarıçam/Epoksi</b>	3,9	0,71	18,20	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek Sarıçam odununda % 4 nanokil kullanımında elde edilmiştir. Tablo 34’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

### 3.1.4 ÇLK Kırılma Çeşitleri

ÇLK yapılan deneyler sonucunda meydana gelen kırılma çeşitleri Şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39: ÇLK örneklerinde Eğilmeye kayma kırılma şekilleri (a,b,c,d).

Şekil 39'da a resminde Göknar odununun % 2 nanokil ilaveli ÇLK örneğinde malzeme tutkal hattından ayrılma yapmakla beraber alt kısımdan çok az miktarda kırılma görülmüştür. Şekil 39 b resminde de % 2'lik Göknar ÇLK örneğinin sol üst kısmında ve orta bölümünde tutkal hattından ayrılma meydana gelmiştir. Şekil 39 c resminde ÇLK Sarıçam örneğinde üst tabakadan tutkaldan ayrılma meydana gelmiş alt tabakada ise malzemede az miktarda çatlama meydana gelmiştir. Şekil 39 d resminde ise ÇLK örneğinin direkt olarak alt parçadan kırılma meydana gelmiştir.



### 3.1.5 ÇLK Basınç Örneklerinde Kırılma Çeşitleri

ÇLK Liflere dik basınç direncinde meydana gelen kırılma şekilleri (Şekil 40) verilmiştir.



Şekil 40: ÇLK'nın liflere dik basınç direnci kırılma çeşitleri.

Şekil 40'da görüldüğü gibi uygulanan kuvvet doğrultusunda ÇLK numunelerinde liflere dik basınç deneyi örnekleri orta bölümden kırılma göstermişlerdir. Yapılan 100 adet örnekten 87 tanesini Şekil 40'da görüldüğü kırılma göstermişlerdir.

## 3.2 Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular

Fiziksel özelliklere ait bulgular aşağıda verilmiştir.

### 3.2.1 Rutubet Ve Yoğunluk Tayinine Ait Bulgular

Gök nar odununun rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular aşağıdaki Tablo 35'de verildiği gibidir.

Tablo 35: Göknaar örneklerin rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular.

Göknaar Örnekleri	Hava Kuru Ağırlık (gr)	Tam Kuru Ağırlık (gr)	Hava Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tam Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Rutubet (%)
1	5,78	5,06	0,48	0,45	14,23
2	6,54	5,72	0,51	0,47	14,34
3	5,81	5,09	0,48	0,44	14,15
4	5,75	5,03	0,48	0,44	14,31
5	6,78	5,94	0,53	0,50	14,14
6	6,19	5,41	0,50	0,47	14,42
7	5,79	5,07	0,48	0,45	14,20
8	6,40	5,60	0,51	0,47	14,29
9	6,77	5,94	0,55	0,50	13,97
10	5,80	5,08	0,47	0,44	14,17
11	5,44	4,76	0,46	0,42	14,29
12	6,06	5,30	0,50	0,47	14,34
13	6,00	5,23	0,49	0,46	14,72
14	7,43	6,52	0,59	0,54	13,96
15	6,01	5,26	0,50	0,47	14,26
<b>Ortalama</b>			<b>0,50</b>	<b>0,47</b>	<b>14,25</b>

Tablo 35’de çıkan sonuçlar göknaar örneklerinin hava kuru yoğunluğu, tam kuru yoğunluğu ve rutubet değerlerinin normal değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 36: Sarıçam örneklerin rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular.

Sarıçam Örnekleri	Hava Kuru Ağırlık (gr)	Tam Kuru Ağırlık (gr)	Hava Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tam Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Rutubet (%)
1	8,82	7,75	0,65	0,62	13,81
2	8,62	7,72	0,65	0,62	11,66
3	8,50	7,49	0,65	0,61	14,55
4	7,24	6,34	0,57	0,54	14,20
5	7,48	6,53	0,61	0,57	14,55
6	7,59	6,67	0,61	0,57	13,79
7	8,14	7,09	0,60	0,57	14,81
8	8,15	7,18	0,63	0,60	13,51
9	7,22	6,33	0,58	0,55	14,06
10	8,99	8,03	0,66	0,63	11,96
11	8,12	7,27	0,65	0,60	11,69
12	8,23	7,16	0,62	0,58	14,94
13	8,30	7,43	0,63	0,61	11,71
14	8,59	7,50	0,65	0,61	14,53
15	8,63	7,53	0,64	0,61	14,61
<b>Ortalama</b>			<b>0,63</b>	<b>0,59</b>	<b>13,62</b>

Sarıçam odunun rutubet ve yoğunluk tayinine ait bulgular aşağıdaki Tablo 36’da verildiği gibidir.

Sarıçam örneklerinde yapılan yoğunluk tayininde değerler %12 rutubete yakın çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca tam kuru yoğunluk, hava kuru yoğunluk, rutubet değerleri uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda deneyin yapılması için aranan şartların sağlandığı sonuçların doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

## BÖLÜM IV

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; ülkemizde henüz tam anlamıyla tanınmayan ve üretimi olmayan Çapraz Lamine Kerestenin bazı Fiziksel ve Mekanik özellikleri incelenmiştir. İki farklı tutkal türünden PVAc ile yapılan ÇLK'ya ilave edilen nanokil ( %1, % 2, % 4 ) ve Epoksi ile hazırlanan ÇLK örnekleri incelenmiştir.

Eğilmede kayma direnci miktarlarına bakıldığında 2 x 3 x 44 cm ebatlarındaki ÇLK'ların Gökna ve Sarıçam kontrol örneklerinde Eğilmede kayma direnci deneyinde Sarıçama ilişkin değerler daha yüksek değerde çıkmıştır. Gökna % 1 ve % 2 nanokil ilaveli ÇLK örneklerinin değerleri Sarıçam % 1 ve % 2 değerlerinden daha yüksek, ancak % 4 nanokil ilaveli Gökna ÇLK örneğinin eğilmede kayma değerleri Sarıçam % 4 nanokil ilaveli ÇLK değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Epoksi tutkalı kullanarak hazırlanan ÇLK örneklerinden Sarıçam ve Gökna'n eğilmede kayma direnci deneyi sonuçları eşit çıkmıştır. Bu durum Sarıçamın yüksek yoğunluğu ve eğilme direnci özellikleri ile açıklanabilir.

Eğilmede kayma direnci deneylerine bakıldığında 2 x 2,5 x 44 cm ebatlarında hazırlanan örneklerin % 50'si suda 24 saat süre ile bekletilerek çıkan sonuçlar incelenmiştir. Suda bekletilmeyen kontrol örneklerinde; Gökna ve Sarıçam ÇLK örneklerinde ilave edilen nanokil miktarının oranı arttıkça eğilmede kayma direnci miktarları arttığı sonucu çıkmıştır. Epoksi tutkalı ÇLK örneklerinde ise Sarıçamın eğilmede kayma direnci değeri Gökna'a göre daha yüksek çıkmıştır.

Suda bekletilen 2 x 2,5x 44 cm ebatlardaki ÇLK örneklerinin yarısı suda bekletme sonucu tutkal hattından ayrılarak kullanılmaz duruma gelmiştir. Gökna kontrol ve % 1 oranında ilave edilen nanokil örneklerinden hepsi suda ayrıldığı tespit edilmiştir. ÇLK örneklerinde her iki ağaç türünde de ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilmede kayma direnci değerleri miktarında artış olduğu sonucu tespit edilmiştir. Epoksi tutkalları suda bekletme sonucu her iki ağaç türünde de herhangi bir ayrılmaya maruz kalmadan 24 saat sonunda

sudan alınmış ve eğilmede kayma direnci miktarlarında Sarıçam örneklerinin değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Burada Epoksi tutkalının PVAc tutkalına göre suya karşı direncinin daha yüksek olması etkilidir. Ayrıca suda bekletme sonucunda çıkan örnekler normal örneklerin eğilmede kayma direnci miktarlarından % 40 - % 50 oranında daha düşük değerlerde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Eğilme Deneyi ve Eğilmede Elastikiyet modülünün sonuçlarında 2x6x36 cm ebatlarında toplamda 62 adet ÇLK örnek üzerinde deneyler yapıldı. Gökmar ÇLK örneklerine ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilme dirençlerinde ve eğilmede elastikiyet modüllerinde artış tespit edilmiştir. Sarıçam ÇLK örneklerinin eğilme dirençlerinde ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak artış olmuştur. Ancak Sarıçam ÇLK örneklerinin eğilmede elastikiyet modüllerinin de ise ilave edilen nanokil miktarlarında % 1 ve % 2 oranında artış, % 4 oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Epoksi tutkalı ile hazırlanan örneklerde ise; Gökmar ÇLK değerleri en düşük, Sarıçam ÇLK değerleri ise diğer örneklere göre en yüksek sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Liflere dik basınç deneylerinde ise; 2 x 2 x 6 cm ebatlarında 50 adet Gökmar ve 50 adet Sarıçam olmak üzere 100 örnek üzerinde inceleme yapılmıştır. Gökmar ÇLK örneklerinde çıkan sonuçlar doğrultusunda kontrol örneklerine göre ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak basınç dirençlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Sarıçam örneklerinde ise kontrol örneğine göre; % 1 nanokil ilave edilen ÇLK örneğinin değeri daha düşük çıktığı fakat % 2 ve % 4 oranında ilave nanokil miktarlarında ise artış olduğu tespit edilmiştir. Epoksi tutkallarında ise Sarıçam ÇLK örneklerinin basınç değerleri Gökmar ÇLK örneklerinden daha yüksek değerlerde sonuçlar verdiği ispat edilmiştir.

Rutubet tayini ve yoğunluk tayini için 2x2x3 cm ebatlarında 15 adet Gökmar ve 15 adet Sarıçam toplam 30 adet ÇLK üzerinde deneyler yapılmıştır. ÇLK örnekleri etüvde 24 saat bekletilerek rutubetin % 12 olması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Gökmar için rutubet % 13 - % 14 aralığında, tam kuru yoğunluğu ise 0,47 olduğu, Sarıçam ÇLK örneklerinde ise; % 11 - % 14 aralığında, tam kuru yoğunluğunda ise 0,59 olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhou vd. (2014) ÇLK'da eğilmede kayma modülünün belirlenmesi çalışmasında üç noktalı eğilme deneyleri sonucunda, poliüretan bazlı ÇLK'nın eğilmede kayma modülünü ortalama olarak 2,74 (N/mm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Deneyler sonucunda bulunan değerler

Göknaç için % 1, % 2 ve %4 Nanokil ilaveli örneklerinde sırasıyla 4,9 (N/mm<sup>2</sup>), 5,1 (N/mm<sup>2</sup>) ve 5,2 (N/mm<sup>2</sup>) olarak tespit edilmiştir. Sarıçam örneklerinde ise; %1, %2 ve % 4 nanokil ilaveli örneklerinde sırasıyla 4,8 (N/mm<sup>2</sup>), 5,0 (N/mm<sup>2</sup>) ve 5,3 (N/mm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre nanokil ilaveli PVAc tutkalı uygulaması ÇLK için oldukça olumlu neticeler vermiştir.

Sonuç olarak; Çapraz Lamine Kerestenin kullanımı ülkemizde ahşap konut sektöründe, panel üretiminde, inşaat sektöründe birçok avantajlar sağlayacaktır. ÇLK örneklerinde tutkala ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak eğilmede kayma miktarında, Eğilme direncinde, basınç direncinde her iki ağaç türünde de genel olarak artış olduğu ispatlanmıştır. Türkiye’de devlet destekli veya teşvikle ÇLK kullanımı arttırılabilir ve Avrupa’da olduğu gibi ülkemizde de kullanımı arttırılabilir. Ülkemizde ahşap malzemenin yapılarda kullanımı ve ÇLK kullanımının arttırıldığı sürece hem inşaat bitirme süresi kısalacak hem de enerji tüketimi minimum seviyeye indirilecektir. Dolayısı ile gelecekte ÇLK’nın ülkemiz yapı sektörü için olmazsa olmazlar arasında olacağı bu çalışma ile gösterilmiştir.

## 4.2 Öneriler

Ülkemizde kullanım olanaklarının geniş ama kullanımına henüz çok yeni olarak başlanılan çapraz lamine kerestenin avantajları çok fazladır. Ülkemizde konut sektöründe kullanımı olanaklarının sağladığı avantajlar hakkında bilgi sahibi olunmasının faydası olacaktır. Ahşap yapı sektöründe kullanımı doğrultusunda beton yapılarla aynı miktarda yük taşıyabilme ve ısıyı izole etme özelliklerinden dolayı tercih edilmesi ile birlikte yapıların inşaatında betona göre daha kısa zamanda inşa edilmesinden dolayı ÇLK’yı cazip kılmaktadır.

Ülkemizin en büyük sorunlarından biri olan enerji tüketimi konusunda ahşap malzemenin daha önceden yapılmış olan deneyler sonucunda bir beton evdeki enerji tüketimi 140 kw/yıl iken Ahşap bir evde ise bu tüketim 34 kw / yıl olmaktadır. Ahşap malzemenin dinlendirici ve yenilenebilir bir malzeme olması da kullanım açısından çok önemlidir.

Bunların yanında, ülkemizde yetişen türlerden olan Sarıçam ve Uludağ Göknaarının kullanımını arttıracak hem ekonomiye katkı sağlayacak hem de hammadde tedarik sıkıntısı olmayacaktır. Dışa bağımlılık azaltılacaktır.

Burada kullanılan nanokil türünün değiştirilmesi veya bu nanokil ilaveli tutkalın farklı ağaç türlerinde de kullanılması doğrultusunda daha yüksek performanslı ÇLK üretim olanakları incelenmesi konusunda yol gösterici olarak çalışmalar yapılabilir.

Ayrıca; kullanılan tutkal türü değiştirilerek ÇLK numunelerinin performansı araştırılarak incelemeler yapılabilir. Rutubetli ortamlarda kullanım olanakları düşünülerek su ile muamele edildiğinde yapışma direnci düşmeyen tutkal türlerinin Poliüretan, deniz tutkalı veya Melamin Üre Fenol formaldehit kullanımı daha uygun olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Alemdağ, Ş. (1967). *Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Hususlar*, Ormancılık Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Seri No:20, Ankara.1-2 s.
- Altunkaya, P. (2007). Tutkallı Tabakalanmış Ahşap Strüktür Sistemlerinin Mimaride Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon, 170 s.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C. (1997). *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi,167/19, 2. baskı Trabzon, 512 s.
- Arslankelle, T. (2002). Tutkallı Tabakalı Ahşap Kirişlerin, Geniş Açıklıklı Strüktürel Sistemlerde Etkin Kullanımının İrdelenmesi ve Türkiye'den Bir Örnek Çalışma. Yüksek lisans tezi (Yayımlanmamış) , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ankara, 171 s.
- ASTM D 198.(1995) (b). American Society of Testing and Materials, Standard Methods of Static Test of Lumber in Structural Size. ASTM D 198-94. 04.10 Wood. West Conshohocken, PA.
- Becerem Öztürk, R. ve Arıciöğlü, N. (2006). Türk Sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık, Planlama, Tasarım Dergisi*. 5 (2): 25-36.
- Beckett, D. and P.Marsh. 1974. An introduction to structural design: Timber. Surrey: Surrey University Press in association with Intertext Publishing Limited. Pp. 123-126.
- Bozkurt, Y. A. (1992). *Odun Anatomisi*, İÜ Orm. Fak. Yay. 3652, İstanbul. 415 s.
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N. (1989). *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar*, Đ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Đ.Ü. Yayın No:3572, O.F. Yayın No:4 istanbul,180-182 s.
- Ceccotti. A., Lauriola, M.P., Pinna, M. ve Sandhaas (2006). soft project - cyclic tests on cross-laminated wooden panels. WCTE 2006 - 9th World Conference on Timber Engineering - Portland, OR, USA - August 6-10, 2006).
- Crespeel. P. ve Gagnon, S. (2010). *Cross Laminated Timber a Primer*. Handbook. Özel seri: 32.
- Çavuş, V. (2011). I-214 (*Populus x Euramericana*) Melez Kavak Klonundan Fenol Formaldehit ve Üre Formaldehit Tutkalı Kullanarak Üretilmiş Paralel Şerit Kerestelerin (PŞK) Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Kahramanmaraş. 59 s.



- Djoko, S. R. (1996). Comparative Test Methods For Evaluating Shear Strength of Structural Lumber. Master's Thesis. Corvallis, Oregon, USA. 84p.
- Eliçin, G. (1971). *Türkiye Sarıçam (Pinus sylvestris L.)'larında Morfogenetik Araştırmalar*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, no:180, İstanbul.
- Frihart, C.R. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison,215-259p.
- Gagne, S. (2000). Fiber Reinforced Plastic Joist For The Construction Industry, A Feasibility Study. Thesis Master of Science Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin, Madison.
- Großmann, J. (2004). New Generation of Nanocomposites for Thermoplastic Polymers. Sunum. Süd- Chemie AG Moosburg, Almanya.
- Güler, C. ve Subaşı S. (2012). Karbon ve cam lifi ile güçlendirilmiş lamine Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*). *I Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş, 78-82s.
- Güller, B.( 2001). Odun kompozitleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (2): 135- 160.
- Gürtekin, A. ve Oğuz, M., (2002) *Tutkallar, Mesleki ve Teknik Öğretim Okulları Mobilya ve Dekorasyon Gereç Bilgisi* , Temel Ders Kitabı, Milli Eğitim Basım Evi.
- İlter, E. Çamlıyurt, C. ve Balkız, Ö. D., (2001). *Uludağ Göknaarı (abies bommülleriana mattf.) Odununun Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar*. İç Anadolu Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları. No:281: 19 s.
- Kasal, A., Efe, H. ve Dizel, T. (2010) Masif lamine edilmiş ağaç malzemelerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 13(3): 183-190.
- Keskin, H. (2003). Lamine edilmiş doğu ladini (*Picea orientalis Lipsky*) odununun bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1) : 139- 151.
- Keskin, H., Atar, M. ve Kurt R. (2003). Lamine edilmiş doğu ladini (*Picea orientalis Lipsky*) odununun bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1): 75- 84.
- Korucu, T. ve Mengeloğlu, F. (2007). Türkiye’de tarımsal artık potansiyeli ve alternatif kullanım olanakları. *Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi*. 5- 6 Eylül, İstanbul. 297- 307 s.
- Koroğlu, F.N. (2004). Nitrofenollerin İyonik ve İyonik Olmayan Organobentonitlerle Adsorpsiyon ve Desorpsiyonu. Yüksek lisans tezi (Yayımlanmamış),Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Uzmanlık Alanı, Ankara, 188 s.

- Leichti, R., Falk, R. ve Laufenberg, T. (1990). Prefabricated wood l-joists: an industry overview. *Forest Products Journal*, 40 (3) : 15-20.
- Mengeloğlu, F. ve Kurt, R. (2004). Mühendislik ürünü ağaç malzemeler tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1): 39 s.
- Merev, N. (1984). *Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı*, Ders Notları, KTÜ Orm. Fak.Yay.3652. Trabzon.
- Moses, D., Prion, H., Boehner H., ve Li, W. (2003). Composite behavior of laminated strand Lumber. *Wood Science and Technology*, 37 (1): 59–77.
- Nelson, S. (1997). *Structural Composite Lumber*. Engineered Wood Products: A Guide for Specifiers, Designers and Users. Edited by Stephen Smulski. PFS Research Foundation, Madison, WI.
- Özalp, M., Atılgan, A., Esen, Z. ve Kaya, S. (2009). Kontrplaklarda eğilme direncine tutkal türünün etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18: 99 -104.
- Özen, R. (1981). *Kimyasal Kağıt Hamuru Atık Sularının Yonga levha Üretiminde Yapıştırıcı Madde Olarak Değerlendirilmesi Olanakları*. K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.152 s.
- Perçin, O., Özbay, G. ve Ordu, M. (2009). Farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekaniksel özelliklerinin incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19: 109-120.
- Peruzzo, P.L., Bonnefond, A., Reyes, Y., Fernandez, M., Fare, J., Ronne, E., Paulis, M., ve Leiza, J.R. (2014). Beneficial in-situ incorporation of nanoclay to waterborne PVAc/PVOH dispersion adhesives for wood applications. *International Journal of Adhesion &Adhesives*, 48: 295–302.
- Pizzi, A. (1994). *Advanced Wood Adhesives Technology*. Prs. Marcel Dekker, NewYork, 235.
- Selwitz, C., 1992, *Epoxy Resins in Stone Conservation*.
- Schmidt, R.G. (1998). *Aspect Of Wood Adhesion: Application Of 3C CP/MAS NMRA And Fracture Testing*. Doctorate thesis Virginia Polytechnic Institute and State University January 30, 1998 Blacksburg, Virginia s.10.
- Steiger, R., Gülzow, A., ve Gsell, D., (2008). Non destructive evaluation of elasticmaterial properties of Cross Laminated Timber (CLT). *Conference COST E53*, 29-30 Ekim, Delft, The Netherlands.
- Şener, Y., 1999 Ahşabın öyküsü, *Art Decor*, 79:146-158.
- Tosun, S. (2001). Sarıçamın Botanik Özellikleri, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları El Kitabı Dizisi:7*, s.19.

- TS EN 310. Ahşap esaslı levhalarda eğilme dayanımı ve eğilme elâstiklik modülünün tayini, *TSE*, (1997).
- TS 2471, 1976. Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini TSE Ankara. s.1-5.
- TS 2472, 1976. Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini TSE Ankara. s.1-5.
- TS 93 1994. Yapıştırıcılar Sentetik reçineli (Fenolik ve Aminoplastik) Rutubete dayanıklı (MR) Ahşap malzemeler için s.1-5.
- URL-1 (2014). <http://en.wikipedia.org/>, (28.11.2014)
- URL-2 (2014). [http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapı\\_malzemesi/içerik/ahşap.htm](http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapı_malzemesi/içerik/ahşap.htm), (02.03.2014)
- URL – 3 (2014). <http://www.novawood.com.tr/caprazLaminePanel.aspx>, (07.03.2014)
- URL-4 (2014). <http://web.ogm.gov.tr/Haberler/HaberGoruntule.aspx?List=b5227992-7788-41c4-8a38-24e745c3108e&ID=13323>, (12.03.2014)
- URL-5 (2014).<http://tutkalburada.com/apel-d3-iskelet-tutkali-10-kg-pmu657>, (14.05.2014)
- URL-6 (2014). <http://www.uygunyatmalzemeleri.com/Epoksi-ERA-4000-1-KG,PR69.html>,(14.05.2014)
- URL -7 (2014) <http://www.esan.com.tr>, (16.05.2014)
- Uysal, B., Özçiftçi, A., Kurt., Ş. ve Yapıcı, F. (2005). Lamine malzemede su buharının boyutsal değişime etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (4): 655-663.
- Yaltırık, F. 1993. *Dendroloji*, Ders Kitabı I, Gymnospermae (Açık Tohumlular), 2. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü. yayın No: 3443, O.F. Yayın No: 386, İstanbul
- Xian, D., Semple, K. E., Hangdan, S. ve Smith, G. D.(2013). Properties and wood bonding capacity of nanoclay – modified urea and melamine formaldehyde resins. *Wood and Fiber science*, 45 (4): 383-395.
- Zhou, Q. Y., Chui, Y. H., Gong, M. ve Mohammed, M. (2014). Measurement of rolling shear modulus and strength of cross- laminated timber using bending and two plate shear tests. *Wood and Fiber science*, 46 (2) : 259-269.

## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Vedat HEKİMOĞLU  
Doğum Yeri ve Tarihi : HATAY-12.12.1987

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : 2007 – 2012 Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : 2012-2014 Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği A.B.D, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Bilim Dalı

Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Stajlar : 2010 Kastamonu Entegre (Kastamonu), 20 işgünü  
: 2011 Arno Dekorasyon (Mersin), 20 işgünü

### Projeler ve Kurs

Belgeleri : Mülakat Teknikleri Sertifikası ( Kariyer ve yönetim zirvesi (2013)  
: Yönetim Sırları Sertifikası (Kariyer ve yönetim zirvesi -2013)  
: Öz Geçmiş Hazırlama Sertifikası (Kariyer ve yönetim zirvesi 2013)  
: Mobil Pazarlama ve Kurumsallık Sertifikası (Kariyer ve yönetim zirvesi -2013)

### İletişim

E-Posta Adresi : Hekimoglu3174@hotmail.com

Sınav Tarihi : 28.08.2014