



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SARIÇAM VE GÖKNAR ODUNLARINDAN ELDE EDİLEN LAMİNE VE
ÇAPRAZ LAMİNE KİRİŞLERİN MUKAVEMETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI
VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN
MUSTAFA GÜLCEMAL

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ S. MURAT ONAT

BARTIN-2019



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SARIÇAM VE GÖKNAR ODUNLARINDAN ELDE EDİLEN LAMİNE VE
ÇAPRAZ LAMİNE KİRİŞLERİN MUKAVEMETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Mustafa GÜLCEMAL

JÜRİ ÜYELERİ

- Danışman : Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI - Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mustafa GÜLCEMAL tarafından hazırlanan “SARIÇAM VE GÖKNAR ODUNLARINDAN ELDE EDİLEN LAMİNE VE ÇAPRAZ LAMİNE KİRİŞLERİN MUKAVEMETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma, 06.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT

Üye : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “SARIÇAM VE GÖKNAR ODUNLARINDAN ELDE EDİLEN LAMİNE VE ÇAPRAZ LAMİNE KİRİŞLERİN MUKAVEMETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

06.09.2019

Mustafa GÜLCEMAL

ÖNSÖZ

“Sarıçam ve Gökmar Odunlarından Elde Edilen Lamine ve Çapraz Lamine Kirişlerin Mukavemetinin Karşılaştırılması ve İyileştirilmesi” adlı çalışma, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Tez konunun belirlenmesi ve yürütülmesinde bilimsel öneri, uyarı ve desteğini esirgemeyen çok kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT’a teşekkürlerimi sunarım. Tezimi değerlendirdikleri ve önemli katkıları sundukları için sayın hocalarım Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ ve Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI’ya teşekkürü borç bilirim.

Deneilerin uygulanması aşamasında yol gösteren, hocam Arş. Gör. Dr. Eser SÖZEN’e bilgilerimi esirgemediği için teşekkürü borç bilirim. Atölye çalışmalarımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Kadir KAYAHAN ve Mobilya Teknisyeni Veysel KARAGÜL’e desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda maddi-manevi desteklerini esirgemeyen, her koşulda yanımda olan babam Ümit T. GÜLCEMAL, annem Güler GÜLCEMAL ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım çalışmanın bu konu üzerinde yapılacak olan çalışmalara yol gösterici olmasını ve ışık tutmasını dilerim.

Mustafa GÜLCEMAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SARIÇAM VE GÖKNAR ODUNLARINDAN ELDE EDİLEN LAMİNE VE ÇAPRAZ LAMİNE KİRİŞLERİN MUKAVEMETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE İYİLEŞTİRİLMESİ

Mustafa GÜLCEMAL

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT

Bartın-2019, sayfa: 77

Bu çalışmada, masif ve ısıl işleme tabi tutulmuş ahşap malzemelerden, çapraz lamine kereste (ÇLK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) üretiminin kullanım olanakları araştırılmıştır. Ön çalışmalar ve literatür taraması yapıldıktan sonra üç tabakalı ÇLK ve TAM çalışmasında Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve ısıl işlem görmüş (Thermowood) çam ağaç türleri kullanılmıştır. Katlar arasında poliüretan tutkalı ve melamin formaldehit tutkalları tercih edilmiştir. Bazı test örneklerinin üst tabakalarında yapıştırıcıya ilave olarak silan esaslı yüzey koşullandırıcı uygulanmıştır. Tüm katlar masif ağaç malzeme ve bir tabakası ısıl işleme tabi tutulmuş çam, diğer tabakalar masif ağaç kullanılarak test örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan ÇLK ve TAM kiriş yapı malzemelerinin; eğilmede elastikiyet modülü, basınç ve eğilme direnci özellikleri üzerinde etkileri incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda çıkan sonuçlara bakıldığında, ÇLK ve TAM kirişlerinde PU tutkalı her iki ağaç türü için MF tutkalından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Silan yüzey koşullandırıcı astar ile PU tutkalı bir arada kullanıldığında direncin arttığı sonuçları ortaya çıkmıştır. Isıl işleme tabi tutulan malzemelerin kullanıldığı testlerin mekanik

özelliklerine bakıldığında dirençte azalmalar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise, Boonstra, 2008’de yaptığı çalışmada ısıtılma tabii tutulmuş ahşabın masif ahşap malzemeye göre hücre çeperinde bulunan bağı su miktarının daha az olması sonucunda az higroskopik olması ve bunun sonucunda ağaç malzemenin daha az esnek oluşundan dolayı elastikiyet modülünü etkilediğini belirtmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, TAM ve ÇLK yapı malzemesinin üretimleri sırasında PU tutkalı ile bir arada silan astar kullanıldığı zaman dayanımı yüksek ve yük taşıma potansiyeli olan ahşap panel sistemleri elde edilebileceği sonuçlarına varılmıştır. Silan esaslı yüzey koşullandırıcı astarın TAM ve ÇLK üretiminde kullanımının mümkün olabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lamine kiriş; Lamine kereste; Tabakalanmış ağaç malzeme; Çapraz lamine kereste.

Bilim Alanı Kodu: 120406

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON AND IMPROVEMENT OF STRENGTH OF LAMINATED AND CROSS-LAMINATED BEAMS FROM SARIÇAM AND GÖKNAR WOOD

Mustafa GÜLCEMAL

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. S.Murat ONAT

Bartın-2019, pp: 77

In this study, the usage possibilities of solid and heat treated wood materials, cross laminated timber (CLT) and laminated wood material (Glulam) were investigated. After preliminary studies and literature review, for the production of three-layer CLT and Glulam Uludağ fir (*Abies bornmülleriana Mattf.*), Scotts pine (*Pinus slyvestris Lipsky*) and heat treated (Thermowood) pine tree species were decided to be used for this study. Polyurethane and melamine formaldehyde adhesives were preferred to be applied between the layers. Silane based surface conditioner was applied to the top layers of some test samples in addition to the adhesive. All the layers were made of solid wood material and one layer of heat-treated pine, and the other layers were consisted of solid wood for producing test samples.

For prepared CLT and Glulam beam materials; Modulus of elasticity in bending, compressive and bending resistance properties were investigated.

When the results of the experiments are examined, it is seen that PU glue gives better results than MF glue for both wood species in CLT and Glulam beams. When the silane surface conditioner primer and PU glue were used together, it was found that the strength increased. When the mechanical properties of the heat treated materials were used, it was

observed that there was a decrease in load carrying capacity. The reason for this is explained by Boonstra (2008) in his study as, wood treated wood treated with solid wood material compared to the amount of water in the cell wall is less as a result of less hygroscopic and consequently less elasticity of wood material .

In line with these results, it was concluded that wood panel systems with high strength and load bearing potential could be obtained when using silane primer together with PU glue during the production of CLT and Glulam building materials. It has been found that silane-based surface conditioning primer may be used in Glulam and CLT production.

Keywords: Laminated beam; Laminated timber; Laminated wood material; Glulam; Cross laminated timber.

Scientific Field Code: 120406

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Amaç – Kapsam	2
1.2 Genel Bilgiler	3
1.3 Kullanılan Ahşap Türleri ve Özellikleri	3
1.3.1 Sarıçam (Pinus slyvestris L.).....	3
1.3.2 Uludağ Göknarı (<i>Abies bornmülleriana</i> Mattf.).....	5
1.4 Ağaç Malzeme Hakkında Genel Bilgi.....	7
1.4.1 Ağaç malzemedeki olumsuz örneklerin giderilmesi.....	7
1.4.2 Isıl işlem Hakkında Genel Bilgi	8
1.5 Ahşap ve Ahşap Esaslı Ürünler.....	13
1.5.1 Lamine Ahşap Teknolojisi.....	14
1.5.2 Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler	14
1.5.3 Çapraz Lamine Kereste (ÇLK).....	21
1.6 Ahşap Endüstrisinde Kullanılan Tutkal Çeşitleri	26
1.6.1 Sentetik Tutkallar	27
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	30

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1 Ağaç Malzeme.....	34
3.2 Tutkal.....	34
3.3 Deney Örneklerinin Hazırlanışı.....	35
3.3.1 Rutubet- Yoğunluk Tayini.....	35
3.3.2 Çapraz Lamine Kereste Örneklerinin Hazırlanması.....	37
3.3.3 Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM) Hazırlanışı	43
3.3.4 Eğilme Deney Örneklerinin Hazırlanışı	46
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1 Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	49
4.1.1 Rutubet-Yoğunluk Tayinine Ait Bulgular	49
4.2 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	50
4.2.1 ÇLK Eğilmede Makaslama Direncine Ait Bulgular.....	51
4.2.2 ÇLK Eğilmede Elastikiyet Modülü Direncine Ait Bulgular	54
4.2.3 Çapraz Lamine Kereste Deney Örnekleri Kırılma Tipleri	58
4.2.4 TAM Eğilmede Makaslama Direncine Ait Bulgular.....	59
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	70
BİBLİYOGRAFYA	74
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. 1: Sarıçam'ın Türkiye'de yayılış alanları	4
1. 2: Uludağ Gökarnarının Türkiye'deki yayılış alanı.....	6
1. 3: Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemeye sağladığı olumlu özellikler.	9
1. 4: Ahşap malzemenin panjur ve dış cephe kaplaması olarak kullanımı.....	10
1. 5: Ahşap malzemenin panel cephe olarak kullanımı.....	10
1. 6: Mühendislik ürünü ağaç malzemelerin sınıflandırılması.	15
1. 7: Tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) görünümü.....	17
1. 8: Centro Comercial Sanchinarro genel görünümü.....	19
1. 9: İspanya Ordizia şehri futbol tribünleri	19
1. 10: Mavi Bahçe AVM İzmir	19
1. 11: Cornelia Diamond Golf Resort & Spa Otel Antalya.....	20
1. 12: Leyla Restaurant Bakü Azerbeycan kirişlerde TAM kullanımı.....	20
1. 13: Seramik Genel Müdürlüğü Çanakkale'de TAM kullanımı.....	20
1. 14: Çapraz Lamine Kiriş genel görünümü.	21
1. 15: Stadthaus, dış görünümü Londra.....	24
1. 16: Limnologen, dış görünümü İsviçre	25
1. 17: Whitmore Road konutu yapım aşaması ÇLK kullanımı.	25
1. 18: Forte binası genel görünümü.....	26
1. 19: Ahşap endüstrisinde yaygın kullanılan bazı tutkallar.	26
1. 20: Melamin formaldehit'in kondenzasyonu	28
3. 1: Test Örneklerinin iklimlendirme cihazında kurutulması ve istiflenmesi	. 36
3. 2: Kalınlık makinasında teğet yüzey, planya makinasında radyal yüzey düzgünlüğünün sağlanması	37
3. 3: ÇLK alt ve üst deney malzemelerinin genişlikleri boyutlandırması	38
3. 4: ÇLK orta tabaka parçalarının baş kesme makinasında hazırlanışı	38
3. 5: ÇLK üst- alt tabaklarının tutkallanarak işkence yardımı ile sıkıştırma işlemi	39
3. 6: ÇLK örneklerine silan astar uygulaması	39
3. 7: ÇLK örneklerinin presten önce hazırlanışı	40
3. 8: ÇLK malzemelerinin yapışmada presleme işleme	40
3. 9: ÇLK malzemelerinin ebatlanması işlemi	41
3. 10: ÇLK malzemelerinin klimatize işlemi	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3. 11: ÇLK malzemelerinin U test cihazında, eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deney uygulaması	42
3. 12: ÇLK deney malzemelerinin yüzey düzgünlüklerinin sağlanması	43
3. 13: TAM örneklerinin tutkalanarak, işkence yardımı ile sıkıştırma işlemi	44
3. 14: TAM yapışmada presleme işleme	44
3. 15: TAM ebatlanması işlemi	45
3. 16: TAM klimatize işlemi	46
3. 17: TAM U test cihazında, eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deney uygulaması	46
3. 18: Eğilme deney uygulaması	47
3. 19: Basınç deney uygulaması	48
4. 1: ÇLK Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.	54
4. 2: ÇLK Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri.	54
4. 3: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.	57
4. 4: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülü göre ortalama ve standart sapma değerleri.	58
4. 5: ÇLK deneyi kırılma tipleri	58
4. 6: TAM Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.	61
4. 7: TAM Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri.	62
4. 8: TAM Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.	64
4. 9: TAM Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri	65
4. 10: TAM deneyi kırılma tipleri	65

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. 1: Sarıçam mekanik ve fiziksel özellikleri	5
1. 2: Uludağ göknarı Mekanik ve fiziksel özellikleri	7
1. 3: Poliüretan tutkalı bileşenleri	29
1. 4: Poliüretan Tutkalın Teknik Özellikleri.....	29
4. 1: Sarıçam örneklerine ait rutubet ve yoğunluk tayini bulguları.	49
4. 2: Uludağ Göknarı örneklerine ait rutubet ve yoğunluk tayini bulguları.	50
4. 3: Çalışma kapsamında oluşturulan varyasyonlar ve özellikleri,	51
4. 4: Eğilmede Makaslama Direncine ait istatistiksel veriler.....	51
4. 5: Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların varyans analizi.....	52
4. 6: Eğilmede Makaslama direncinden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçlar	53
4. 7: ÇLK Eğilmede Elastikiyet Modülüne ait istatistiksel veriler.....	55
4. 8: ÇLK Eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi.	55
4. 9: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçları.	56
4. 10: TAM Eğilmede Makaslama Direncine ait istatistiksel veriler.	59
4. 11: TAM Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların varyans analizi,	60
4. 12: Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçlar.	60
4. 13: TAM Eğilmede Elastikiyet Modülü Direncine ait istatistiksel veriler.....	62
4. 14: TAM Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi,	63
4. 15: TAM Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçları.	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B _s //	: Brinel sertlik liflere paralel
B _s 1	: Brinel sertlik liflere dik
C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
D ₀	: Tam kuru yoğunluk
D ₁₂	: Hava kurusu yoğunluk
R	: Rutubet
β _r	: Radyal yönde daralma miktarı
β _t	: Teğet yönde daralma miktarı
β _v	: Hacmen daralma miktarı
CO ₂	: Karbondioksit
m	: metre
mm	: milimetre
%	: yüzde
σ _B	: basınç direnci
σ _ç //	: çekme direnci
σ _E	: eğilme direnci
σ _M	: makaslama direnci

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
BD	: Basınç direnci
ÇLK	: Çapraz lamine kereste
ED	: Eğilme direnci
EMOE	: Eğilmede elastikiyet modülü
GLULAM	: Yapıştırılmış lamine ahşap
MF	: Melamin Formaldehit
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
PU	: Poliüretan tutkalı

TAM : Tabakalanmış Ağaç Malzeme
TS : Türk Standartları
U test : Üniversal test cihazı
yy : yüzyıl

BÖLÜM 1

GİRİŞ

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

Değişken iklim koşullarına karşı direnç göstermesi, emprenye edilerek çürümelere karşı ve böcek tahribatına karşı korunması, hafif olması, enerji dostu olması, özel boya kullanımıyla yangın direncini artırması, beton-çelik-kerpiç-taş gibi malzemelerle birlikte kullanılabilmesi, onarım olanaklarının ve plan değişikliklerinin basit olması, depreme karşı dayanıklılık gösterebilmesi gibi özellikler ahşap malzemenin bütün ekolojik tasarım kriterleri ile uyduğunun kanıtıdır.

İnsanlığın yaşamında her zaman yer bulan ve önemli bir geçmişe sahip olan ahşap malzeme; eski çağlardan günümüze kadar yapı üretiminde çeşitli şekillerde kullanılan ve farklı taşıyıcı yöntemlerle kullanılabilen bir yapı malzemesi olmuştur. Ahşap malzeme; günümüzde yapı elemanlarında biyolojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri ile üstün bir yer tutmakta ve bu gücünü korumaktadır. Ahşap malzeme günümüz teknolojileri ile entegre olarak üstün özelliklerini korumakta ve kullanım yerleri arttırmaktadır (Öztürk, R.B., ve Arıoğlu, N., 2006).

Geleneksel odun hammaddesinin birden fazla olumsuz özellikleri bertaraf edilmiş ve ufak, küçük odun malzemelerinin tutkalanması ile elde edilen tutkallı tabakalanmış ahşap malzemeler fonksiyonel ve daha verimli bir strüktür hammaddesi olmuştur. Yapılarda kullanılan sistemlerde büyük- küçük açıklıkları geçmekte genellikle metal malzeme, plastik malzeme ve betonarme kullanımlarının yanı sıra tabakalı ağaç malzemeler de kullanılmaktadır (Örs ve Keskin, 2002'ye atfen Öztürk vd, 2017).

Bu çalışmada yapı üretiminde kullanılan Çapraz Lamine Kereste (ÇLK) ve Tabakalanmış

Ağaç Malzeme (TAM) hakkında bilgi eksikliğini giderilmesi ve dünyada kullanımı yaygın olan bu yapı malzemelerinin ülkemizde de kullanılması hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

1.1 Amaç – Kapsam

Bu araştırmada, Uludağ göknarı, ısıtılmış sarıçam ve masif sarıçam ağaç malzemelerinin, tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) ve çapraz lamine kereste (ÇLK) üretiminde kullanım olanakları araştırılacaktır. Melamin formaldehit ve Poliüretan tutkallarına ön muamele olarak silan astar ilave edilerek yapışma özelliklerinin artırılması, kullanım ömrünün artırılması ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, ön görülen varsayımların başarılı olması durumunda, strüktür malzemesinin çevreye daha verimli kompozit malzeme ve kullanım ömrü uzun malzeme olarak değerlendirme imkânları sunulacaktır.

Gerçekleştirilen Çalışmada;

- Ülkemizde uygulaması bulunmayan ÇLK malzemesinin işlevsel açıdan uygun ve kullanışlı olduğunu ispatlamak,
- Laminasyon tekniği ile yapıştırılmış TAM hakkında bilgi vermek ve işlevsel açıdan uygun olduğunu ispatlamak,
- En eski mühendislik ürünü olan TAM ile büyük açıklıkların geçilebildiğini ispatlamak,
- Kullanılan tutkalların yapışma performansları incelenerek sonuçlar doğrultusunda daha sağlam malzeme elde edilmesi için yol gösterici olmak,
- Konu ile ilgilenen ya da bu konu ile ilgili çalışma yapacak kurum ve kişilere kaynak oluşturmak,
- Yapı malzemesi olarak önemli rolü olan bu iki mühendislik ürünü malzemelerin, hem dirençli hem de ekonomik ve birçok artısı bulunan bu malzemelerin ülkemizde de araştırılıp üretim ve kullanımına öncülük etmek hedeflenmektedir.

1.2 Genel Bilgiler

1.3 Kullanılan Ahşap Türleri ve Özellikleri

Bu araştırmada masif sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), ısıtılmış çam (ThermoWood), ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) kullanılmıştır.

1.3.1 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

1.3.1.1 Etimolojisi

Dünyada büyük bir alana yayılış gösteren sarıçam, bazı ülkelerde değişik isimlerle bilinmektedir. Örneğin İngiltere’de Scots Pine, Fransa’da Pin de Riga, Almanya da Gemeine Kiefer (adi orman çamı) isimlerini vermişlerdir. Ünlü botanikçi LINNEAUS 1753 yılında bu türe *Pinus silvestris*’ ismini vermiştir. LINNEAUS’dan daha sonra; *Pinus resinosa* Savi, *Pinus kotchiana* Klotzsch, *Pinus rubra* Mill, *Pinus rigensis* Desf., *Pinus humulis* Link, adları verilen bu tür için taksonomik kurallar gereğince geçerli adı *Pinus silvestris* L. dir. Diğer kullanılan adlar ise sinonimleridir (Eliçin, 1971’e atfen Özan, 2017).

1.3.1.2 Morfolojik Özellikleri

20-45 metrelere kadar yetiştirme ortamına göre büyürler. Narin ve silindirik gövdeli, tepe kısmı sivri, yayvan tepeli, ince dallı bir ağaç türüdür. Erkek çiçek, bir eksen üzerinde yer alan çok sayıdaki etaminlerden ibarettir. İlkbaharda etaminlerin alt yüzünde yer alan çiçek tozu torbaları (polen kesesi) açılır ve tozlaşma olayı başlar (Eliçin, 1971’e atfen Özan, 2017).

1.3.1.3 Ekolojik Özellikleri

Sarıçam yayılış alanındaki ekolojik özelliklerinin çeşitliği, farklı ortamlarda yaşayabildiğini göstermektedir.

Sarıçam ormanları, mevki özellikleri, iklim özellikleri ve toprak özellikleri bakımından çok farklı ortamlarda yetişebilmekte ve ibreli ormanların %18’i kadar bir paya sahip

bulunmaktadır.

1.3.1.4 Türkiye’de Yayılış Alanları

Ülkemizde Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı ve Orta Anadolu sarıçamın esas yayılış bölgeleridir. Türkiye’de sarıçam, en çok yayılış alanı Kuzey Anadolu’nun iç kısımlarında yapar ve bu kısımlardan İç Anadolu’ya sarkar. Türkiye’de sarıçam yayılış alanları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Diğer ağaç türleriyle karışık ya da saf halde olarak böylesine geniş bir yayılışı göstermesi ve odunun çok çeşitli kullanım olanaklarına sahip olması Sarıçam türünü ülkemiz için çok önemli bir konuma getirmiştir (Alemdağ, 1967).



Şekil 1. 1: Sarıçam’ın Türkiye’de yayılış alanları (OGM, 2014)

Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Ahşap malzemenin kullanım alanlarında karşılaşılan yüklemelere karşı mekanik ve fiziksel dirençler vardır. Karşılaşılan bu direnç özelliklerini bilinmesi ahşap malzeme hakkında önemli bilgilere ulaşmada yardımcı olmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1989’a atfen Hekimoğlu, 2014). Sarıçam odununun mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. 1: Sarıçam mekanik ve fiziksel özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 1989'a atfen 1990; Hekimoğlu, 2014).

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
D ₀	0,490 gr/cm ³	σ _B	45 N/mm ²
D ₁₂	0,520 gr/cm ³	σ _E	80 N/mm ²
R	750*850 kg/cm ³	E.mod	11000 N/mm ²
β _r	%4,0	σ _{ç//}	100 N/mm ²
β _t	7,7	σ _M	10 N/mm ²
β _v	12,4	a	0,4-0,7 kN/cm ²
		B _{s//}	40 N/mm ²
		B _{s1}	19 N/mm ²

1.3.2 Uludağ Göknaı (Abies bornmülleriana Mattf.)

1.3.2.1 Etimolojisi

Dünyada da başka hiçbir yerde doğal olarak bulunmayan, ülkemize has (endemik) bir göknar alt türüdür (Akkemik, 2007'ye atfen Özan, Z.E., 2017). Bu endemik alt türün isimlendirmesinde, ünlü Alman botanist olan Joseph Nicolaus Bornmüller (1862-1948)'in adı verilmiştir (Yaltırık, 1993).

1.3.2.2 Ekolojik Özellikleri

Göknar ağaçları rutubetli, bağıl nemi yüksek ve derin topraklarda iyi gelişim gösterirler. Kıtasal iklim şartlarına sahip, yaz kuraklığı olan yerlerden kaçarlar, ışık istekleri azdır, orta sıcaklık istekleri vardır, tamamen bir bölge ağacıdır. Kirli havaya, zehirli gazlara ve özellikler asit yağmurlarına çok duyarlılardır (Yaltırık, 1993'e atfen Özan, 2017).

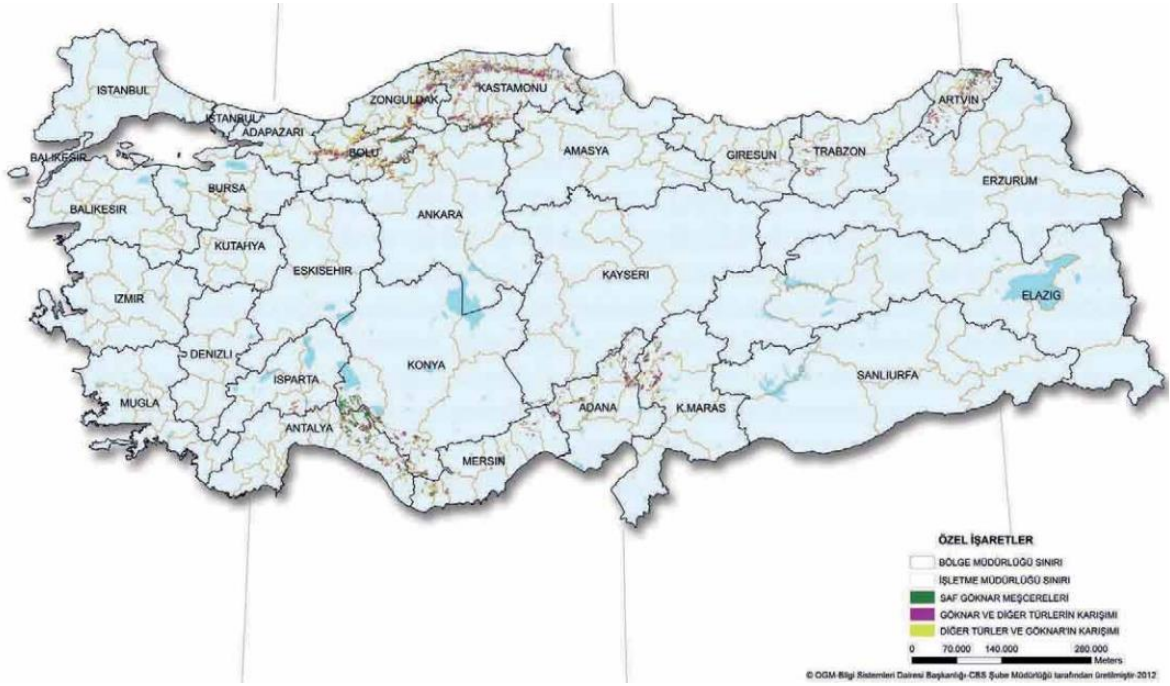
1.3.2.3 Morfolojik Özellikleri

Piramidal gelişme gösterir, tepeden, tabana kadar çok sık dallı bir yapıya sahiptir. Gövde kabuğu gridir. Genellikle 40 metreye değin boylanabilen birinci sınıf orman ağacı durumundadır. Yan sürgünlerin ucundaki tomurcuklar reçinelidir. Alt dallar yanlara doğru

yatay uzanır. İğne yaprakları 2–3,5 cm boyunda, parlak koyu yeşil, uç kısımları hafif oyukludur. Ortalama 15–16 cm boyunda ve 5 cm çapında kırmızı-kahverengi kozalakları vardır. Işık isteği az, rutubet ve toprak isteği fazla, gölgeye dayanıklıdır. Kozalak, iğne yaprak gibi öteki tüm morfolojik özelliklerce Doğu Karadeniz Göknaarı'nın hemen tümüyle aynıdır (Bozkurt, 1992'ye atfen Özan, 2017).

1.3.2.4 Türkiye'de Yayılış Alanları

Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana* Mattf) ülkemize özel bir ağaç türüdür. Kuzey Anadolu'da Kızılırmak vadisinden başlayarak batı yönünde Uludağ'a kadar yayılış gösterir (Çepel, 1977). Uludağ göknaarının Türkiye'de yayılış alanları Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1. 2: Uludağ Göknaarının Türkiye'deki yayılış alanı (OGM, 2012)

Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Uludağ göknaarının mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. 2: Uludağ göknarı Mekanik ve fiziksel özellikleri (Merev, 1984'e atfen Özan, 2017).

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
D ₀	0,40 gr/cm ³	σ _B	37 N/mm ²
D ₁₂	0,429 gr/cm ³	σ _E	73 N/mm ²
R	0,35 g/cm ³	E.mod	8300 N/mm ²
β _r	%4,3	σ _{ç//}	62 N/mm ²
β _t	8,6	σ _M	5 N/mm ²
β _v	13	a	0,26 kN/cm ²
		B _{s//}	37 N/mm ²

1.4 Ağaç Malzeme Hakkında Genel Bilgi

İnsanların kullandığı en eski malzemelerden birisi olan ahşap malzemelerdir. Medeniyetin başlangıcından bu yana insanların temel ihtiyaçlarının karşılanmasında orman ürünleri başta gelmektedir. Ormanlardan elde edilen ürünler doğanın insanlara sunduğu sayısız imkânlardan biridir. Ağaç malzeme yemek pişirme, barınma ve ısınma gibi ihtiyaçların giderilmesinde öncelikli olarak kullanılan bir malzeme olmuştur. Teknolojinin gelişmesi ile çok fazla yeni malzemeler ile rekabetine rağmen, dekoratif görünüşü, sağlıklı olması, kolay işlenebilmesi, yüksek direnç özellikleri, yalıtım vb. özelliklerinden dolayı ahşap malzeme her zaman tercih edilmektedir.

1.4.1 Ağaç malzemedeki olumsuz örneklerin giderilmesi

Ağaç malzemenin kendisine has estetik renk ve desen görselliği, kolaylıkla işlenebilmesi, yoğunluklarına oranla yüksek dirençlere sahip olma özellikleri gibi kendine özgü özelliklerinin yanı sıra kullanım alanlarında istenilmeyen bazı özellikleri de bulunmaktadır. Bunlar: su ve nem gibi fiziksel etkilere karşı kullanım süresinin kısalması, böcek ve mantar gibi biyolojik canlılara karşı düşük direnci, çarpma, sürtünme, yük taşıma gibi mekanik kuvvetlere karşı ilk günkü niteliklerini yitirmesi sayılabilir.

Ağaç malzemenin olumsuz özelliklerinin çeşitli yöntemlerle giderilmesi ya da en az seviyelere indirilmesi ve olumlu özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan ve yapılmakta

olan birçok endüstriyel ve bilimsel çalışmalar vardır. Bu çalışmalar sonucuyla meydana gelen yöntemlere ise “Odun Modifikasyon Yöntemi” denilmektedir.

Odun modifikasyonu denilince ilk akla kimyasal yöntemlerle olumsuz özelliklerin giderilmesi geliyor. Ancak ısı ile muamele kimyasal maddeler kullanmadan ahşabın modifikasyonu için kullanılan bir yöntem olup endüstriyel olarak Türkiye’de yakın zamanda uygulanılmaya başlamış bir yöntemdir (Bourgois vd, 1998’e atfen Tjeerdsma vd,1998).

1.4.2 Isıl İşlem Hakkında Genel Bilgi

Odun modifikasyon yöntemlerinden birisi olan ısıl işlem hakkında bilgiler aşağıda belirtilmiştir

1.4.2.1 Isıl İşlemin Tarihçesi

Ahşabın ısı ile etkileşimi çok uzun zamanlardan beri kullanılmaktadır. Vikingler dış ortamda kullanacakları ahşap malzemelerin dayanıklılığını artırmak için ateşle muamele ederek başlamışlardır (Perçin vd, 2016’ye atfen Özan, 2017).

Ağaç malzemenin ısıl işleme tabii tutulması üzerinde yapılan araştırma ve çalışmalar 1990’lı yıllarından sonraları Finlandiya, Hollanda ve Fransa bu konu üzerine araştırmacı ve bilim insanları tarafından daha ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilerek yakın tarihimizde daha çok yoğunlaşmaya başlanmıştır (Mayes and Oksanen, 2002’ye atfen Akkılıç vd, 2014).

Isıl işlem ismiyle günümüzde bilinen, ancak piyasada “ThermoWood” ismi ile yaygın olarak kullanılmakta olan modifikasyon yöntemi Avrupa'nın bir sürü ülkesinde başka yöntem ve adlarla gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ahşap malzemeyi ısıtılmak için, Finlandiya da buhar yöntemi (Thermowood, Almanya’da OHT (sıcak yağ) yöntemi, Hollanda da Plato yöntemi (sıcak hava ve buharın bir arada kullanıldığı), Fransa da Rectification (inert gaz kullanılan) yöntemleridir (Mayes ve Oksanen, 2002’ye atfen Akkılıç, 2014).

1.4.2.2 Isıl işlem görmüş kereste

Ahşap 'da ısıl işlem, kimyasal bileşiklerdeki kalıcı değişimler ile oluşan fiziksel bir olaydır. Bu metotta temel amaç yüksek sıcaklıklar ile ahşap malzemenin ısı ile muamele edilmesi işlemidir (Boonstra, 2008'e atfen Akkılıç vd, 2014). Şekil 1.3'de ısıl işlem muamelesinin ağaç malzemeye kattığı olumlu özellikler gösterilmektedir.



Şekil 1. 3: Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemeye sağladığı olumlu özellikler (URL-1,2012).

Isı ile muamele edilmiş ahşap malzeme dış mekân uygulamalarında kapı, pencere, dış cephe kaplaması ve bahçe mobilyası gibi, iç mekân uygulamalarında banyo, yer döşemesi, lambri ve sauna gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir (Viitaniemi, 2000'e atfen Özçifçi vd, 2009).

1.4.2.3 Isıl İşlem Uygulanmış Ahşap Malzemenin Dış Cephe Malzemesi Olarak Kullanımı

Ülkemiz ve Dünyada dış cephelerin kaplanmasında birden fazla malzeme kullanılmaktadır. Bunların bazıları taş, granit, kompakt laminat duvar kaplamaları, mermer, alüminyum ile cephe kaplaması, ağaç esaslı duvar kaplamaları, Werzalit duvar kaplaması, , kompozit duvar kaplaması gibi sıralanabilir (Akkılıç vd, 2014).

Isıl işlem ile muamele edilmiş ağaç malzemeler dış cephelerin kapı ve doğraması, dış

cephenin kaplanması, panjur (Şekil 1.4) ve kereste olarak Türkiye de ve dünya üzerinde uzun zamandan bu yana üretilmek ve kullanılmaktadır. Isıl işleme tabi tutulmuş ağaç malzemelerden masif paneller üretilip dış cephelerde kullanmak mümkün ve tamamıyla tasarımlara bağlıdır (Akkılıç vd, 2014) (Şekil 1.5).



Şekil 1. 4: Ahşap malzemenin panjur ve dış cephe kaplaması olarak kullanımı (URL-1,2012).



Şekil 1. 5: Ahşap malzemenin panel cephe olarak kullanımı (URL-1,2012).

Dış cephe kaplaması olarak kullanılacak ahşap malzemedeki beklenen özellikler

- Estetiklik: Sıcak bir ortam oluşturmak ve duvarın soğuk görüntüsünden kurtulmaktır. Uygulandığı ortamlara güzel ve zengin bir görünüm kazandırır,

- Sağlık: Alt kısımlarında bulunan ızgaralar ile duvar arasındaki boşluklar sayesinde yapının içi ve dışardaki ortam arasında oluşan ısı değişimlerini engellediğinden dolayı sağlıklıdır,
- Akustik: Ağaç malzeme akustik özellikleri ve değerleri yüksek bir malzeme olduğundan, akustik özelliklerin arandığı yapılarda ağaç malzemeler ile kaplanmaları ideal bir çözümdür,
- Psikolojik: Yapılarda lambri uygulamasında ortaya çıkan desen, ölçü, renk ve şekil gibi özellikleri bakımından görsel bakımdan insanın ruhunu etkiler,
- Değer kazandırmak: Uygulandığı yapılarda maddi açıdan değerlerini artırmaktadır,
- Kolay Uygulanabilirlik: İşlenmesi kolaydır ve kısa sürelerde montajı yapılabilirliği,
- İzolasyon: Isı izolasyonu bakımından sıcak ve soğuk hava koşullarına karşı rakipsiz bir üründür,
- Çevrecidir: Geri dönüşüm özelliklerinden ve karbon depolama özelliğinden dolayı çevre dostudur (Akkılıç vd, 2014).

1.4.2.4 Isı Uygulanmış Ağaç Malzemenin Özellikleri

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemelerin kimyasal, mekanik, fiziksel ve biyolojik özellikleri geri dönüşümü olmaksızın değişmektedir. Ahşap malzemede termal bozunma 100°C'nin üzerinde başlamaktadır. 200 °C'nin üzerine çıktığında ahşap malzemede bileşenler tamamen dönüşmekte, yapısal hasar ve gaz fazında meydana gelen bozunma ürünleri açığa çıkması vb. olaylar olmaktadır. 270 °C'nin üzerine çıktığında ağaç malzemede yanma ve piroliz olayları başlamakta olmaktadır (Fengel and Wegener, 1989'a atfen Akkılıç vd, 2014).

Ağaç malzemenin fiziksel özelliklerindeki değişimler

Ağaç malzemeye ısıl işlem uygulanması odunun su adsorpsiyonunu önemli ölçüde düşürür. Isıl işlem uygulanması süresince ağaç malzemede yoğunluk ve ağırlık değişime uğramaktadır. Ağaç malzemeye ısıl işlem uygulandıktan sonra ahşap malzemenin yoğunluğunda oluşan azalmaların ana faktörleri; ısı ile muamele süresince ilk olarak

hemiselülozun ve odun bileşenlerinin buharlaşan uçucu ürünlere dönüşmesi, ısı ile muamele uygulaması sonucu ağaç malzemenin az higroskopik olması, ekstraktif maddelerin buharlaşması sonucu düşük denge rutubet miktarlarıdır (Akkılıç vd, 2014).

Kütle Kaybı

Ağaç malzemenin ısıtılması; uygulama metodu, zaman ve sıcaklığa bağlı olarak ahşabın kütleinde ve hacminde azalışa neden olur. Düşük sıcaklıklarda ısı işlem, uçucu su ve bağlı suyun kaybıyla kütleinde kayba sebebiyet verir (Fengel and Wegener, 1989'a atfen Akkılıç vd, 2014).

Ahşabın Rengindeki Değişim

Ahşabın ısı ile muamelesi boyunca ortaya çıkan hidrolitik (hidrolizle ilgili) ve oksidatif reaksiyonlarının sonucunda ağacın rengi koyulaşır (Johansson, 2005'e atfen Akkılıç vd, 2014). Isı ile muamele edilen kerestelerin kahve renk oluşumu kullanım alanlarını sınırlar ya da kullanım alanlarını artırır. Literatürlere bakıldığında ısı ile muamele uygulandığı süre içinde ağaç malzemenin rengindeki değişimlerin kimyasal olarak nedenleri tam olarak açıklanamamıştır. Ancak yapılan çalışmalara bakıldığında renk değişiminde ana nedenler olarak hemiselüloz, lignin ve bazı ekstraktif maddelerdeki bozulmalar gösterilmiştir (Nuopponen, 2005'e atfen Akkılıç vd, 2014).

Ahşap Malzemenin Mekanik Özelliklerindeki Değişimler

Ağaç malzemeye ısı ile muamele uygulaması sonucu direnç özelliklerine etki eden diğer bir faktör ağacın termo-plastik davranışındır. Ağaç malzemede en fazla etkilenen mekanik direnç özellikleri eğilme ve dinamik eğilme (şok) dirençleri, en az etkilenen ise eğilmede elastikiyet modülüdür (Yildiz, 2002'ye atfen Akkılıç vd, 2014).

Eğilme ve Dinamik Eğilme (Şok) Direnci:

Hemiselüloz bozunmaları ile eğilme direncinde oluşan azalmalar arasında ilişki vardır. Odunun en hassas bileşeni olan hemiselülozun azalması eğilme direncindeki azalmaların ilk sorumlularındandır. Isı ile muamele uygulamasında eğilme direncindeki azalma,

sıcaklık ve süre arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi yüksek sıcaklık ve uzun süreli ısı ile mumalesi uygulaması sonucunda hemiselülozda meydana gelen bozulma miktarının artması doğrulamaktadır (Boonstra, 2008'e atfen Korkut vd, 2009).

Eğilmede Elastikiyet Modülü:

Isıl işleme tabi tutulmuş ahşabın ısı ile muamele edilmemiş ahşaba göre hücre çeperlerinde bağlı su miktarı az olması sonucu daha az higroskopik olması ile ağaç mazemenin daha az esnek yaptığından dolayı elastikiyet modülüne etki etmektedir (Boonstra, 2008'e atfen Korkut vd, 2009).

1.5 Ahşap ve Ahşap Esaslı Ürünler

Ahşap dolaylı veya doğrudan olmak üzere bir sürü sektör ile ilgilidir. Mobilya ve inşaat sektörleri için ana eleman veya yardımcı eleman olarak sık sık kullan bir malzemedir. Ülkemiz aktif deprem kuşağı üzerinde yer aldığı için betonarme yapılardan vazgeçilip ahşap yapıların tercih edilmesi gerekmekte ve önerilmektedir. Ancak ülkemizde ahşap yapıların sayısı sınırlıdır. Bunun nedeni uygun yapıda ahşap malzeme bulunamaması, maliyetleri yüksek olması ve zaman içinde deformasyona uğraması gibi sebeplerle ülkemizde bulunan ahşap yapı sayısı oldukça azdır (Tankut ve Sözen, 2014).

Dünyada en çok fiyat artışına uğrayan kerestelerin ormanlarda kesim işlemlerinde kısıtlanmalar, çeşitli kuruluşlarından gelen baskılar, ormanlarımızda ki azalmalar sebebiyle temin edilmesi her geçen gün daha da güçleşmektedir. Aynı zamanda ahşap malzemenin konstrüksiyon amaçlı kullanılacak boyutlarda bulunabilme zorlukları nedeniyle bu malzemelerin farklı yollar kullanarak üretimleri zorunlu hale gelmiştir. Bu zorunluluk sonucunda küçük boyutlu ve ekonomik açıdan değeri düşük olan ahşap malzemeleri orman endüstrisine "mühendislik ürünü ağaç malzemeler" olarak kazandırılması sağlanmıştır (Mengeloğlu ve Kurt 2004'e atfen Tankut ve Sözen, 2014).

Levha, talaş, lif, yonga vb. ahşap malzemenin yapıştırıcı veya bağlayıcı maddeler ile çeşitli şekillerde ve formlarda fabrika ortamında bir araya getirilmesi ile oluşan, homojen ve izotrop malzemeye endüstriyel ahşap denir. Bu malzemeler, mekanik ve teknolojik özellikleri bakımından masif ahşap malzemeye göre daha yüksek değerde sahip olmakla

birlikte, masif malzemenin kusurlarını taşımayan, yüksek değerde malzemelerdir. Dünyada azalışa uğrayan orman kaynaklarımızın ağaç endüstrisinde daha akılcı bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayan endüstriyel ahşap teknolojisi tüketicinin ihtiyaçlarını karşılayacak ve tüketiciyi memnun edecek şekilde ürünler elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Endüstriyel ahşap ürünler, ucuz oldukları, küçük değeri olmayan ahşapların değerlendirilebilmesi, kullanımı ve işlenebilmeleri kolay, geri dönüşebilir olmaları vb. özellikleri açısından, aynı zamanda çevreci bir malzeme olduğundan dolayı giderek artan bir öneme sahiptirler (Güzel, 2015).

1.5.1 Lamine Ahşap Teknolojisi

Bu teknoloji ilk olarak Avrupa'da ortaya çıkmıştır. 16. Yüzyılda Leonardo Da Vinci, ahşap malzemenin taşıyıcı yapı malzemesi olarak değişik tasarımlar üzerinde çalışmıştır. Ahşap malzeme, taşıyıcı eleman olarak daha çok doğal ağaç gövdesinin şekillendirilmesi şeklinde kullanılmaktaydı o çağlarda. Da Vinci ahşap kütüklerin biçilmesi ve biçilmiş kerestelerin kenarlarına dişler açılması, üst üste yapıştırılması veya ahşap kamalar yardımı ile birbirine bağlanması ile oluşturulabilecek birleşik kesitlerin, daha büyük açıklıkların geçilebileceği taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılabilmesini belirlemiştir. Daha sonra araştırmacılar, aynı prensibi ele alarak değişik form ve boyutlarda taşıyıcı yapı elemanları tasarlamaya devam etmişlerdir (Yesügey, 2010).

Laminasyon teknolojisi ahşap malzemenin gerek anatomik yapısından, gerekse dış etkilerden kaynaklanan olumsuz özellikleri giderilerek, yapı malzemesi olarak kullanılacak yüksek performanslı yeni ürünlere dönüştürülmesi, kusurları giderilmiş, biçimlendirme ve işleme kolaylıkları sağlanan yapı elemanlarına lamine yapı elemanları denir (Güray vd., 2003).

1.5.2 Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler

Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde olması nedeniyle, ahşap yapıların tercih edilmesi önerilmektedir betonarme yapıların yerine. Dünyada en çok fiyatı artan malzemelerden biriside kerestelerdir. Kereste üretiminde, çevre kuruluşlarının oluşturduğu baskılar, orman kesiminde uygulanan kısıtlamalar, ormanlardaki kesimlerin azalması sebepleriyle temin edilmesi her geçen gün daha da zorlaşmaktadır (Mengeloğlu vd., 2004).

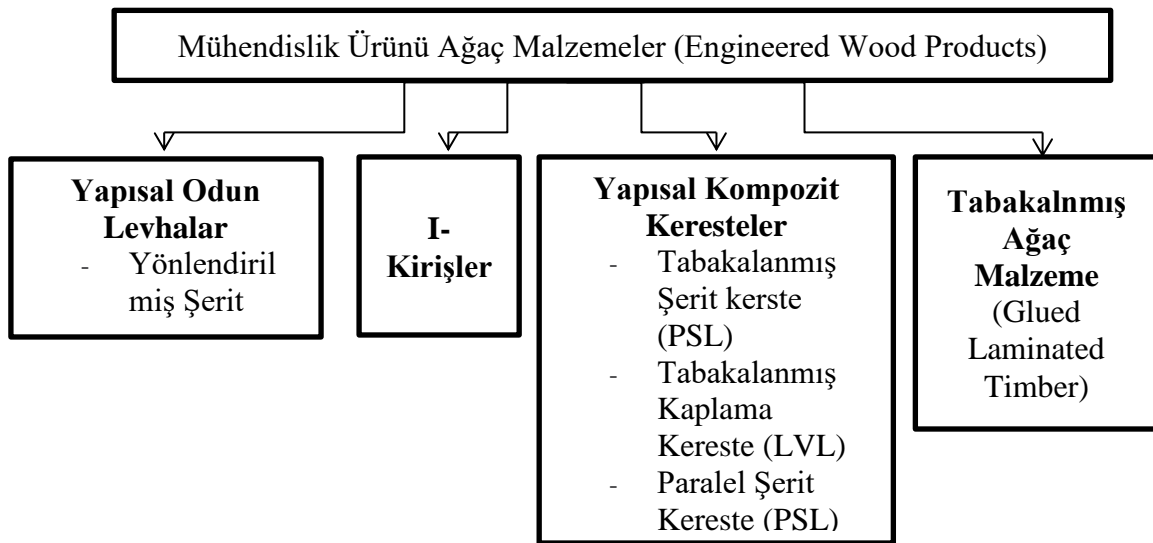
Berglund ve Rowell (2005) MAM ürünlerin sağladıkları bazı avantajları aşağıdaki şekilde özetlemiştir.

- Küçük boyutlardaki ağaçların kullanılması
- Farklı üretim süreçlerinden fire-atık olarak çıkan kullanılmaya odun parçacıklarının kullanılması
- Odunda bulunan istenmeyen kusurların giderilmesi veya dağıtılması
- Daha çalışkan ve şekil değiştiren formlarda bileşenlerin üretilmesi
- Kompozit malzemeleri geliştirerek kerestelerden daha iyi özelliklere sahip ürünler üretilmesi
- Değişik formlarda kompozitler elde edilmesi.

Mühendislik ürünü ağaç malzemeler, uçak endüstrisinde II. Dünya savaşının öncelerinde kanatlarda, destek kirişlerinde ve bazı yapısal elemanlarda kullanılmıştır (Nelson, 1997'ye atfen Çavuş, 2008).

MAM'lerden istenilen boyut ve şekillerde malzemeler üretilir. Kerestelerde meydana gelen; eğilme, çukurlaşma, burulma ve çarpılma gibi kusurlar olurken bu durum Mühendislik ürünü ağaç malzemeler'de daha azdır (Nelson, 1997'ye atfen Çavuş, 2008).

Şekil 1,6'da mühendislik ürünü ağaç malzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 1. 6: Mühendislik ürünü ağaç malzemelerin sınıflandırılması (Çavuş, 2008).

1.5.2.1 Yapısal Kompozit Keresteler

Odunların (yonga, lif veya parçacık) sentetik lifler, tutkal, dolgu maddeleri, plastik vb. malzemelerle sıcaklık ve basınç altında bir araya getirilmesi ile elde edilen ürünlere Ahşap Kompozit malzeme denilmektedir.

Ormanlardaki kısıtlamalar ve orman varlıklarının dünya genelinde azalması ve buna bağlı olarak odun fiyatlarındaki artış, ayrıca tutkal ve kimya endüstrilerinin gelişmesine paralel olarak, ahşap kompozit malzemelerde gelişim göstermiştir. Ahşap kompozit malzemeler, masif ağaç malzemenin kusurlarının minimize edilmiş şekilde, homojen, dayanıklı ve tüketicinin taleplerini karşılayan mühendislik tasarımı levha ürünleri olarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Değeri düşük yapacak maksatla kullanılmayan küçük boyutlu ağaç malzemelerden direnç özellikleri iyi ve büyük boyutlarda ürünler elde edilmesi kompozit malzemelerin önemli avantajlarındanır.

1.5.2.2 Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM)

Glued laminated timber (glulam), laminasyon tekniği kullanılarak yapıştırılan ağaç malzeme veya tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) olarak isimlendirilebilir. Amerika Birleşik Devletleri (Anonim, 1984) ve Büyük Britanya (BS 4169) (Anonim, 1988) (Test ve Malzeme için Amerika Kurumu) standartlarında Tabakalanmış Ağaç Malzeme uygun biçimde hazırlanmış ve seçilmiş ahşap malzemelerin eğri ya da düz formda dört ya da daha çok tabakaların paralel olarak birleştirilmesi ile elde edilen bir üründür. TAM'ın genel olarak görünümü Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

Tabakalanmış ağaç malzeme en eski mühendislik ürünü ağaç malzemelerden biridir. Chugg (1964) TAM sisteminin uygulanmasının İsviçre'de 1905'de başladığını bildirmiştir. Anonim (1987) raporuna göre İsviçre'nin Basel şehrinde bir oditoryum inşasında kullanıldığı bildirilmiştir. Anonim (1989) İngiltere'de TAM sistemi ile yapılan Southampton şehrinde bulunan binanın dünyanın en eski hala içinde yaşanan en eski binası olarak raporlanmıştır. Başka bir örnek de 1913 yılında yapılan Zürih kulesidir (Chugg, 1964'e atfen Mengeloğlu vd., 2004).



Şekil 1. 7: Tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) görünümü (URL-2, 2018).

TAM Kullanım Alanları

TAM isteğe ve ihtiyaca bağlı olarak çeşitli şekiller ve boyutlarda üretilebilir. TAM üretimindeki bu durum; mimarlar, yüklenici ve inşaat mühendislerince dikkate alınması gereken önemli sebeplerden biridir.

Tabakalanmış ağaç malzeme; çatı bileşenleri olarak, yapısal ve yapısal olmayan diğer amaçlar içinde geniş bir uygulama alanında kullanılabilir. İkinci dünya savaşından sonraki gelişmeler sonucunda yapıştırıcılar ve empenye metotlarındaki gelişmeler TAM'ın iç ve dış mekânlarda strüktür elemanı olarak uygulanabilirliğinin artırılmasında etkili olmuştur. TAM, eğitimsel, ticari, konut ve endüstriyel amaçlı yapılarda kullanılmaktadır. Yapılarda, kubbe tavanı, merdiven basamağı, park kapısı başlığı, sırt kirişi, ankastre kirişi bodrum kirişi ve cam başlığı olarak kullanılabilir (Mengeloğlu vd., 2004).

TAM'ın Avantajları ve Dezavantajları

TAM diğer lamine ahşap malzemelere ve keresteye göre daha avantajlı bir yapı malzemesidir. TAM'ın önemli avantajlarından bazıları;

- Keresteye göre TAM sertlik ve direnç özelliklerinde daha az değişkenlik gösterir.
- Mantar ve böceklere karşı doğal dayanıklı malzeme veya kimyasal maddeler ile empenye edilerek koruma sağlanabilir.

- Kerestelerin eğilme özelliği kullanılarak üretim sırasında çok zor, imkânsız görünen kemer ya da eğme formları yapılabilir. Bireysel iç tasarım ve mimariye uygun olarak TAM değişik uzunluk ve şekillerde üretilebilir.
- Küçük boyutlardaki kurutulmuş parçalar kullanılarak, büyük boyutlarda kusurları minimize edilmiş, direnç özellikleri iyileştirilmiş malzeme.
- TAM'larda yüksek derecede boyutsal sabitlik sağlanıp, burkulma, çekme ve çalışmayı ortadan kaldırır.
- Standart dışı, birden fazla tür ve küçük boyutlardaki keresteler kullanılabilir (Mengeloğlu vd., 2004).
- TAM korozyona ve kimyasal maddelere karşı yüksek dayanım gösterir. Mükemmel bir enerji emici özelliğe sahiptir (nem, akustik, sismik) (Gardner vd., 1994'e atfen Mengeloğlu vd., 2004).
- Tabakalanmış ağaç malzemeler diğer mühendislik ürünü ağaç malzemelere yada çelik kirişlere göre maliyetleri daha uygun ve genellikle ekonomikliği açısından yatırımcıların binalarda tercihleridir (Stabholz, 1991'e atfen Mengeloğlu vd., 2004). Yerel olarak TAM, ağır yapı sanayisinin olmadığı ya da ufak ölçekli işyerlerinde üretilebilir. Birleşimi kolay, bakım masrafları düşük ideal bir yapı malzemesidir.

TAM'ın dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- TAM'ın kullanımını ekonomik faktörler (fabrika, kalifiye işçi, donatım için yatırım vb.) etkileyebilir.
- Büyük boyutlarda ve özellikle eğri TAM malzemelerinin taşıma sorunları ve zorlukları vardır.
- TAM üretiminde yapıştırma safhasında ve son haline gelene kadar gelişmiş üretim tekniklerine ihtiyaç duyulmasıdır (Mengeloğlu vd., 2004).

Tabakalı Ağaç Malzemenin Kullanımı

CENTRO COMERCIAL SANCHINARRO İspanya Madrid Şekil 1.8'de genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1. 8: Centro Comercial Sanchinarro genel görünümü (URL-3, 2010).

İspanya Ordizia şehrinde futbol tribünleri Şekil 1.9’da gösterilmiştir.



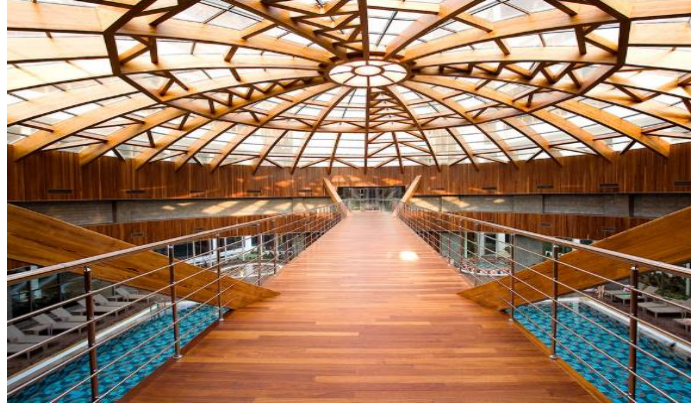
Şekil 1. 9: İspanya Ordizia şehri futbol tribünleri (URL-3, 2010).

Mavi Bahçe AVM İzmir’de Şekil 1.10’da TAM kullanımına örnekler görülmektedir .



Şekil 1. 10: Mavi Bahçe AVM İzmir (URL-1, 2011).

Cornelia Diamond Golf Resort & Spa Otel Antalya'da Şekil 1.11'de TAM kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 11: Cornelia Diamond Golf Resort & Spa Otel Antalya (URL-1, 2010).

Leyla Restaurant Bakü Azerbeycan'da Şekil 1.12'de TAM kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 12: Leyla Restaurant Bakü Azerbeycan girişlerde TAM kullanımı (URL-1, 2012).

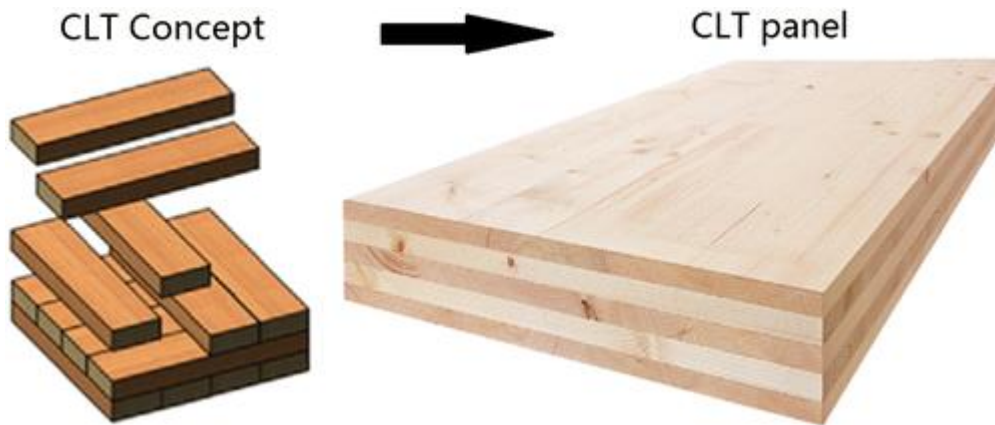
Seramik Genel Müdürlüğü Çanakkale'de Şekil 1.13'de TAM kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 13: Seramik Genel Müdürlüğü Çanakkale'de TAM kullanımı (URL-4, 2017).

1.5.3 Çapraz Lamine Kereste (ÇLK)

Çapraz lamine kereste (ÇLK) mühendislik ürünü ağaç malzemelerin (MAM) yeni bir türüdür. Çapraz lamine kereste (ÇTK); X-lam, mass timber, smartlam veya crosslam isimleriyle de bilinmekte olup kullanımı yaygınlaşmaktadır (Espinoza, 2015'e atfen Çavuş, 2019). ÇLK yapısal olarak prefabrik panel uygulamalarda kullanılmaktadır. ÇLK üretimi kontrplak üretiminde olduğu gibi her katmanın lif yönleri birbirine dik açı (90°) yapacak şekilde yapıştırılması ile üretilmektedir. ÇLK'nın kontrplak üretimi ile arasındaki en büyük özellik üretiminde kaplama levhaları yerine ahşap kerestelerin kullanılmasıdır (Lepage, 2012'ye atfen, Çavuş, 2019). ÇLK, 3-5-7-9 kereste katmanlarının birbirine dik olarak yerleştirilmesi ile üretilmektedir. ÇLK, konut, zemin ve çatı elemanları konut dışı ve ticari yapılarda prefabrik duvarlar olarak başarılı bir şekilde kullanılması ile birlikte çok katlı ahşap bina yapımı için yeni bir çözüm olarak önerilmektedir (Mohammad vd., 2013'e atfen, Çavuş, 2019). ÇLK, popülerliğinin artışıdaki ve yapısal alanlarda kullanılmasındaki en önemli faktör "yeşil bina hareketinden" kaynaklanmaktadır (Thiel, 2014'e atfen Çavuş, 2019). ÇLK'nın beton ve çelik gibi geleneksel inşaat malzemeleri üzerindeki üstünlüğü, daha düşük maliyet ve montaj kolaylığından kaynaklanmaktadır (Zumbrunnen ve Fovargue, 2012'ye atfen Çavuş, 2019). ÇLK'nın genel görünümü ve tabakaların yöneliş biçimleri Şekil 1.14'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 14: Çapraz Lamine Kiriş genel görünümü (URL-5, 2018).

ÇLK duvar panelleri dinamik yüklere oldukça dayanıklıdır (Ceccotti vd, 2013'e atfen Güzel, 2015). ÇLK paneller yüzey özelliklerine göre kaplamalı veya kaplamasız olabilmektedir. ÇLK paneller piyasadaki tüm yapı malzemeleri ile birleştirilebilir. Yangına karşı betonarme ve çelikden daha çok dayanıklı olduğu görülmüştür. ÇLK panellerinin

tabaka sayılarına ve kalınlıklarına bağılı olarak ses yalıtım özellikleri de değişmektedir (Güzel ve Yesügey, 2015).

1.5.3.1 Çapraz Lamine Kerestenin Avantajları ve Dezavantajları

Çapraz lamine kereste (ÇLK) keresteye göre ve diğer yapısal malzemelere göre birçok avantajları vardır. Çapraz lamine kerestenin (ÇLK) keresteye göre avantajları şunlardır.

- Çapraz lamine kereste (ÇLK) panel üretiminde kullanılan keresteler görsel ve mekanik olarak sınıflandırılmaktadır.
- Yüksek değerlikteki kerestelerin üst yüzey tabakalarında, düşük değerlikteki kerestelerin de orta tabakalarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum da hem maliyetlerin düşmesine hem de düşük değerlikteki kerestelerin kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Bükülme, eğilme, çarpılma ve çukurlaşma daha azdır. Ağaç malzemelerde bulunan kusurlar (lif kıvrıklığı, budak vb.) istenmeyen özelliklerin minimize edilmiş veya dağıtılmışlardır. ÇLK diğer yapısal malzemelere göre; düşük karbon ve sera gazı salınımı azaltması, depreme dayanıklılık, , sürdürülebilir olması, akustik performansı, daha az atık, , termal iletkenlik gibi vb. yapısal avantajlara sahiptir. ÇLK, beton ve çelik kullanılmış yapılarla karşılaştırıldığında, gerekli estetik ve mimari gereklilikleri, inşaat maliyetlerini ve süresini azaltmaktadır (Pogrebnoy vd, 2008'e atfen Çavuş, 2019).
- Sürdürülebilir malzeme olan keresteden üretilen ÇLK, mükemmel bir termal performansa sahiptir ve çevreye faydalı bir malzemedir. Ahşap malzeme, hava, enerji ve su kirliliği açısından beton ve çelikten çok daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Bowyer vd., 2005'e atfen Çavuş, 2019).
- Çapraz lamine keresteler (ÇLK) geleneksel inşaat malzemelerine göre geri dönüşümleri kolaydır, çelik ve beton yapılara göre daha az bozulma gösterir. Boyutsal stabiliteleri ve rijitlikleri ile, ÇLK paneller etkili yanal yüklere dirençli sistem oluşturur. Yapılan bazı sismik araştırmalarda, ÇLK malzemeler enerji dağıtımı ve sünek davranışlar gösterdiğini tespit edilmiştir (Brander, 2013'e atfen Çavuş, 2019).
- Çapraz lamine kereste (ÇLK) akustik performansa katkıda bulunduğundan,

etkili ses iletimi için yeterli gürültü kontrolü sağlamaktadır. Montaj esnasında ses yalıtımını iyileştirmek için sızdırmazlık maddeleri ve diğer tip membranların kullanılması, akustik özelliklerin artmasına katkıda bulunmaktadır (Gagnon ve Crespell, 2010'a atfen Pagnoncelli ve Morales, 2016).

- Yapılan araştırmalar sonucunda, ÇLK çelik, beton ve duvar yapı tipleriyle karşılaştırıldığında daha düşük temel maliyet ve daha hızlı inşaat süresi avantajları hesaba katılmamakla birlikte maliyetlerin strüktür tipine göre yüzde 15 ila 50 daha az olduğu tespit edilmiştir (Gagnon ve Crespell, 2011'e atfen Çavuş, V., 2019).
- ÇLK malzemesinin kullanımı, çelik ve betona göre sera gazı yayımında yaklaşık %55 azalma sağlanabilmektedir. Çelik, beton ve diğer inşaat malzemelerine göre çok daha düşük bir termal iletkenlik sağlamaktadır.

Çapraz lamine kerestenin (ÇLK) dezavantajları ise;

- Üretim ile ilgili konularda profesyonel personellere ihtiyaç duyulması, geniş boyutları yüzünden birleştirmelerin cıvata ve metal plaka ile yapılması, depolanması ve üretimi için ek yatırım gerektirmesidir.
- Çapraz lamine kereste (ÇLK) panelleri nakliyat taşıma zorluklarıdır.
- ÇLK panellerin termal iletkenlik katsayısının bazı bölgelerdeki inşaat katsayılarından (Kuzey Amerika) daha düşük olması.
- ÇLK panellerin çerçeve konstrüksiyonda kullanılmasında ekstra yalıtım malzemelerine ihtiyaç duyulması da bir diğer dezavantajdır (Alvarez 2007'ye atfen Çavuş, 2019).

1.5.3.2 Çapraz Lamine Kerestenin Uygulama Alanları ve Kullanımı

Çapraz lamine kereste (ÇLK) panelleri önceden tespit edilmiş direnç özelliklerine sahip olmaları nedeniyle birçok yapısal ve yapısal olmayan alanda kullanılmalarını sağlar (Crespell ve Gagnon, 2010'a atfen Çavuş, 2019). ÇLK panellerinin kullanımı, Avrupa'da özellikle yapı sanayinde popüler ve başarılı bir inşaat yöntemi haline gelmiştir. Günümüzde kulübeler, evler, kiliseler, güç hattı kuleleri ve köprülerden, ofis binalarına ve yüksek katlı apartmanlara kadar her çeşit yapı için kullanılmaktadır. ÇLK panellerin

yapısal kullanımında dört ana bağlantı düzeneği vardır (Augustin, 2008'e atfen Çavuş, 2019). Bunlar sırasıyla

- Duvar-temel bağlantıları;
- Duvardan duvara bağlantılar;
- Duvar-zemin-duvar bağlantıları ve Zemin-zemin bağlantılarıdır.

Zemin bağlantısı, vida, çivi ve dübel gibi mekanik bağlantı elemanları ile yapılmaktadır (Crespell ve Gagnon, 2010'a atfen Çavuş, 2019). Bu paneller taşıyıcı olmayan, yapısal ve sağlamlaştırıcı olmayan duvarlar, çatı elemanları ve tavanlar olarak veya diğer inşaat malzemeleriyle birleştirilerek kullanılabilirler.

ÇLK malzemesinin çok katlı strüktürlerde kullanımları

Stadthaus Londra'da 2009 yılında ÇLK malzemesi kullanılarak inşa edilmiş çok katlı binalara bir örnektir. Şekil 1.15'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 15: Stadthaus, dış görünümü Londra (URL-6, 2009).

Limnologen İsviçre'de bulunan 8 katlı ve 4 bloktan oluşan toplamda 134 konut yerleşimi bulunduran en büyük ahşaptan yapılmış konut yapı yerleşimidir (Güzel ve Yesügey, 2015).

Şekil 1.16’da dış görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1. 16: Limnologen, dış görünümü İsviçre (URL-7, 2009).

Londra’da bulunan Whitmore Road binasının yapımı 2012 yılında tamamlanmış olup yapımında ÇLK teknolojisi kullanılmıştır. Şekil 1.17’de ÇLK teknolojisinin çok katlı strüktürlerde kullanımına bir örnektir (Güzel ve Yesügey, 2015)



Şekil 1. 17: Whitmore Road konutu yapım aşaması ÇLK kullanımı (URL-8, 2012).

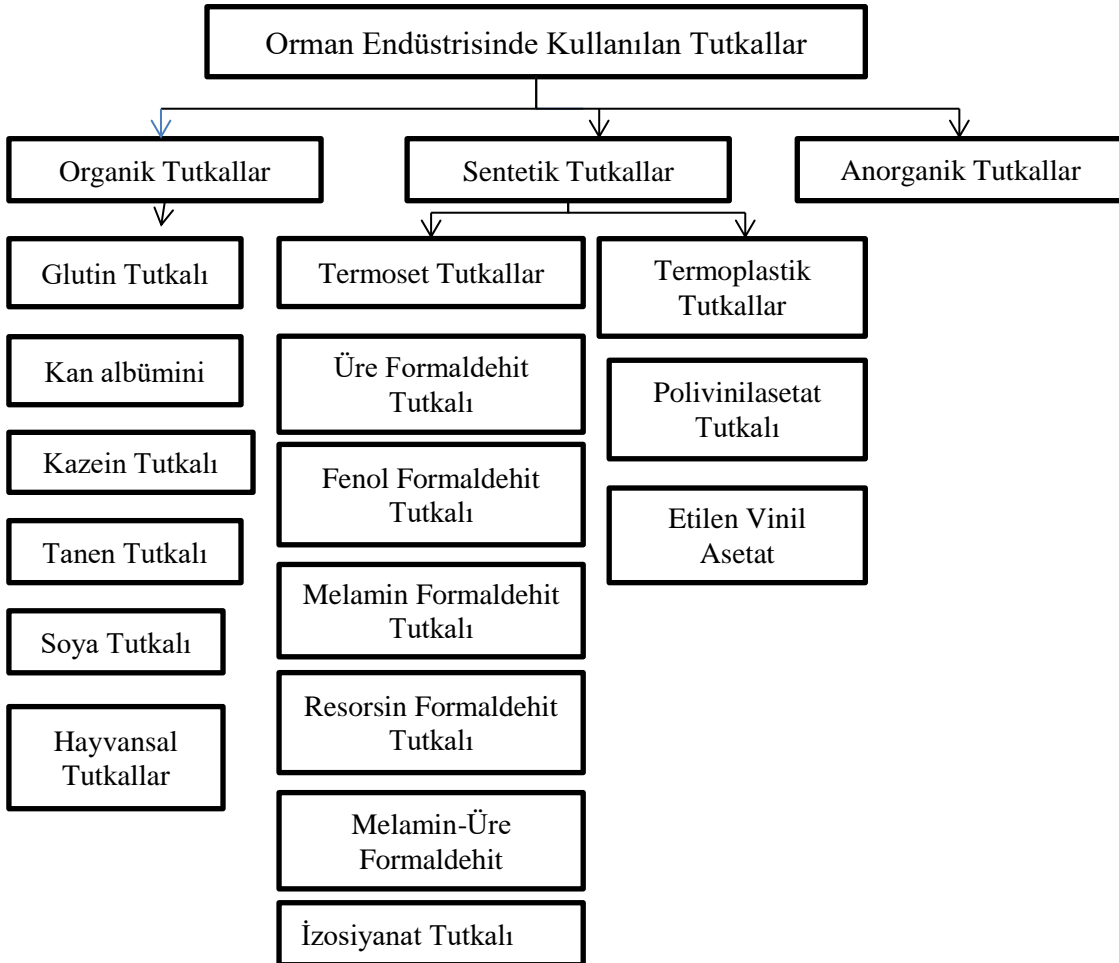
Avustralya’nın Melbourne şehrinde 2012 yılında ÇLK teknolojisi kullanılarak yapılan ve dünyanın en yüksek binası olan Forte binası, 10 kat ve 23 daireden oluşmaktadır. Şekil 1.18’de forte binasının genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1. 18: Forte binası genel görünümü (URL-9, 2012).

1.6 Ahşap Endüstrisinde Kullanılan Tutkal Çeşitleri

Şekil 1.19’da ahşap endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmakta olan bazı tutkal çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 19: Ahşap endüstrisinde yaygın kullanılan bazı tutkallar (Çavuş, 2008).

1.6.1 Sentetik Tutkallar

Çoğunlukla bir veya iki basit bileşimin polimerizasyon ya da kondenzasyonu sonucu üretilen organik amorf maddelerdir.

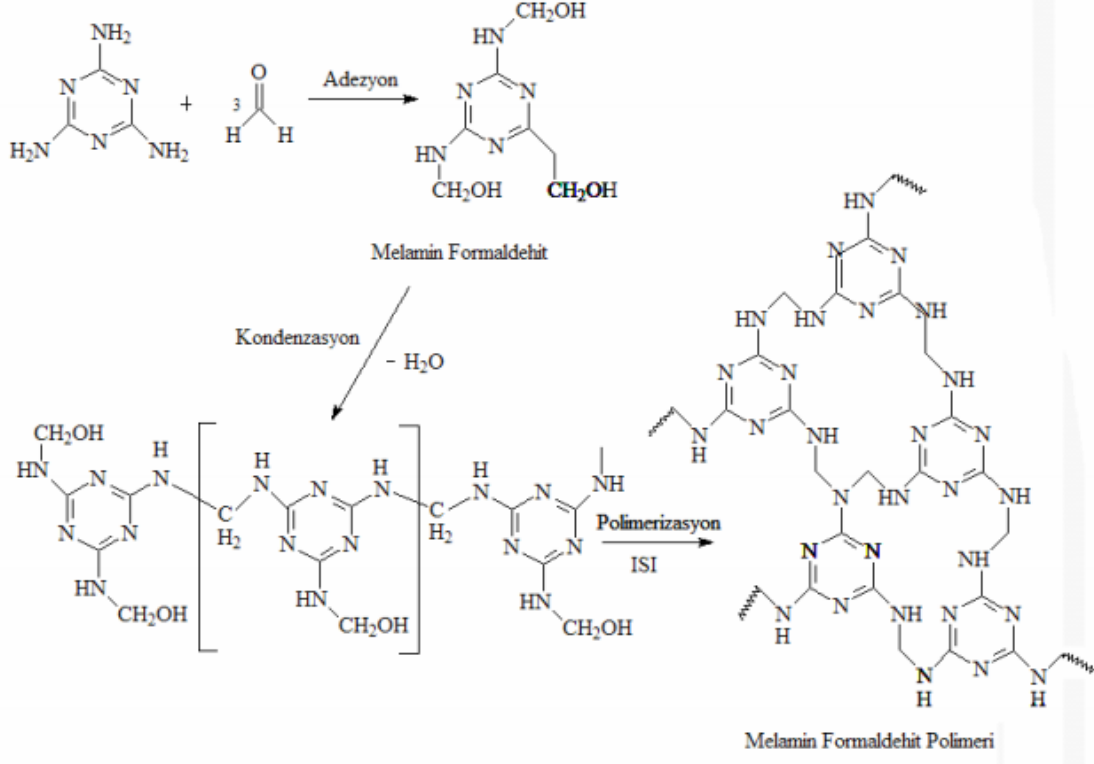
1.6.1.1 Termoset Tutkallar

Isı yoluyla sertleşen, çapraz bağlara sahip polimerlerdir. Çoğunlukla sentetik tutkallar olarak bilinmektedir. Isı veya katalizör yardımı ile sertleşir ve bozunmadan tekrar sıvılaşması yada yumuşaması imkansızdır (Korucu ve Mengeloğlu, 2007'ye atfen Çavuş, 2008).

1.6.1.2 Melamin Formaldehit Tutkalı

Melamin formaldehit tutkalı, melamin ve formaldehitin kondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. Melamin formaldehit üretiminde: 1 mol melamin 6 mol formaldehitin, reaksiyon pH'ı 5-6 ortamında karıştırılmasıyla başlar (Şekil 1.20) ve kademeli olarak ilerler. MF tutkalı, suya karşı direnci diğer tutkallara göre fazla, ısı stabilitesi yüksek ve düşük sıcaklıklarda sertleştirici olmadan sertleşebilmektedir (Hus, 1977'ye atfen Çavuş, 2008).

Bu reçine için dolgu maddeleri %50'ye kadar kullanılabilir. Bu amaçla; nişasta, kaolin, hindistan cevizi kabuğu unu, odun pudrası vb. organik dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Suya karşı direnci katı madde oranı arttıkça artar (Pizzi, 1994'e atfen Çavuş, 2008).



Şekil 1. 20: Melamin formaldehit'in kondenzasyonu (Frihart, 2005).

1.6.1.3 İzosiyanat Tutkalı

İzosiyanat tutkallar, emülsiyon polimer izosiyanat tutkalı ve PMDİ (polimerik difenilmetan diizosiyanat) tutkalı olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Rutubete karşı yüksek dayanım göstermesi, presleme süresinin düşük olması ve fenol formaldehit tutkalına göre üstün mukavemet özelliklerine sahip olması gibi çok avantajının olmasına rağmen yüksek fiyatlarda olması, kullanımına başladığı yıllarda özellikle yonga levhanın pres plakalarına yapışması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Schmidt, 1998'e atfen Çavuş, 2008).

Poliüretan Tutkalı (PU)

Poliüretan tutkalı, uygun izosiyanat ve çift bağlı alkolden üretilmektedir. Adezyon ve kohezyon kuvvetleri oldukça güçlüdür. Mikroorganizmalara, asitlere, kaynar su ve yağlara karşı yüksek dirençli bir tutkaldır. PU tutkalının bileşenleri Tablo 1.3'de gösterilmiştir. Sertleşme süresi ile sıcaklık arasında ters orantı vardır, sıcaklık arttıkça sertleşme süresi azalır. Presleme sıcaklığı, 60°C'nin üstünde yapılması tavsiye edilmektedir. 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklara çıkıldığı zaman ortamda insan sağlığına zararlı gazlar çıkmaktadır.

Havadaki nem oranı ile sertleşmektedir. PU tutkalının teknik özellikleri Tablo 1.4’de gösterilmiştir. Suya karşı dayanıklıdır, ahşabı betona, bazı sentetik maddelere, metale, betona vb. maddeye mükemmel bir şekilde yapışma sağlamaktadır. Oda sıcaklığı olan ortamlarda sertleşme süresi 60 dakikadır (Özalp vd., 2009’a atfen Özcan, 2017).

Tablo 1. 3: Poliüretan tutkalı bileşenleri (Yılmaz, 2018).

Kimyasal Adı	CAS No	EEC No	% İçerik	Tehlike İşareti	Risk İbareleri R	Güvenlik Durumları S
4-diphenylmethane-diisocyanete	101-68-8	-----	18-20	Xn	20,36/37/38,42/43	2, 23,36/37,45
Tosyl isocyanete	4083-64-1	-----	0,21-0,28	Xn	14,36/37/38,42	2,26,28,30

Tablo 1. 4:Poliüretan Tutkalın Teknik Özellikleri (Yılmaz, 2018).

Özellikleri	Birim	Değerler	Test Metodu
Viskozite	cps	3500-5500	ASTM D 2186
Parlama Noktası	°C	>200	ASTM D 93
Isocyanete Miktarı	%	15-17	ASTM D 2572
Yoğunluk	gr/cm ³	1,1-1,14	ASTM D 1475-98

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizde sıkça rastlanan malzemelerden olan lamine ahşap malzemelere ek olarak günümüzün yeni mühendislik ürünlerinden, Avrupa’da sık kullanım alanına sahip olan çapraz lamine kereste (ÇLK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) strüktür malzemeleri hakkında yeterince çalışma bulunmadığı yapılan literatür taraması sonucu belirlenmiştir.

Aydemir ve Gündüz (2009) Ahşabın ısıyla muamelesini kimyasal, mekanik, fiziksel ve biyolojik özelliklerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklıklarda işlem görmüş ahşap, işlem görmemiş ahşaptaki birçok dezavantajları iyileştirdiğini. Ancak bu işlem süresinde direnç kayıpları olduğunu ve yük taşıyacak yerlerde kullanılmamasını tavsiye etmişlerdir.

Özçifçi vd., (2009) ısı ile ahşap malzemenin muamelesi ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, sarıçam odunu (*Pinus sylvestris L.*) kullanmışlardır. Sarıçam odunu 4 saat, 6 saat ve 8 saat süre ile 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıkta ısı ile muamele etmişler ve eğilmede elastikiyet modülü (EM), eğilme direnci (ED), basınç direnci (BD), ağırlık kaybı (AK), toplam renk değişimi (ΔE^*) ve hacimsel şişme (HŞ) değerleri belirlemişler. Yapılan testlerden sonra ısı işlem sarıçamın EM ve ED değerlerini düşürürken, BD değerini arttırdığını, en fazla etkilenen mekanik direncin ED olduğunu belirlemişler. Isıl işlem sarıçamın renginde koyulaşmaya neden olurken hacimsel şişmesi yaklaşık % 50 azalma olduğunu belirlemişler. Sonuç olarak, ısı işlem sarıçamın teknolojik özelliklerini değiştirdiğini, uygulanan sıcaklık ve süre arttıkça doğru orantılı olarak ağırlık kaybının arttığını ve renginin koyulaştığını, hacimsel genişlemenin azaldığı ve böylelikle boyutsal stabilizasyonu geliştirilebildiğini, eğilme direnci ve elastikiyet modülünde azalmalara neden olurken basınç direncinde artış olduğunu, mekanik dirençler arasında Isıl işlem uygulamasından en fazla eğilme direnci etkilendiğini bulmuşlardır. Mekanik direncin önemli olduğu yük taşıyıcı yapı elemanlarında, yüksek sıcaklıkta ve uzun süre ısı işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanımı uygun olmayabildiğini, ancak herhangi bir kimyasal kullanılmadan hacimsel genişlemenin yaklaşık % 50 düşürülebilmesi, ısı işlem uygulanmış sarıçamın özellikle boyutsal kararlılığın önemli

olduğu rutubetli ortamlarda kullanılma imkânını arttıracaklarını belirlemişlerdir.

Çavuş, (2019) Mühendislik ürünü ağaç malzemelerde üzerine yaptığı çalışmada, binaların, insan ve çevre sağlığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu, binalarda kullanılan malzemelerin sürdürülebilir olması, az atık çıkarmaları, daha az sera gazı salgılamaları, üretimlerinde daha az su ve enerji kullanılması, insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin az olması günümüzde öne çıkan en önemli unsurlardan olduğunu belirtmiştir. Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) hem sürdürülebilir ve çevreci bir yapı malzemesi olması, üretiminin kontrolünün olması, üretim sırasında istenmeyen kısımların çıkarılması, daha iyi akustik ve termal iletkenliklere sahip olması, beton ve çeliğe göre avantajlarının olduğunu, üretim teknikleri ve tutkal teknolojilerindeki gelişmeler bu ürünün daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasının önünü açtığını, Türkiye’de çok fazla tanınmayan hatta üretimi bile yok denecek kadar az olan bu ürünün hakkında farkındalık oluşturmak gerektiğini, ÇTK yapı kerestesinin tanıtımının artırılması, kullanıcılara, mimar mühendis ve sanayicilere bilgi verilmesi, gerekli akademik araştırma sayısının artması ve elde edilen verilerin sanayi toplum kuruluşları ile paylaşılması gerektiği ve çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) deprem kuşağında bulunan ülkemiz için oldukça faydalı bir ürün olduğunu savunmuştur.

Mengeloğlu ve Kurt (2004) mühendislik ürünü ağaç malzemeler tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme üzerine yaptıkları çalışmada, ağaç malzemenin en önemli özelliklerinin birisi olan depreme karşı dayanımı olduğunu, son yıllarda ahşap malzemelerin kullanımlarının deprem bölgelerinde hızlı bir şekilde arttığını belirtmiştir. Ülkemizde tam anlamıyla tanınmayan tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM) bu amaçla en çok kullanılmakta olan mühendislik ürünü ahşap malzemeler olduklarını ve bu malzemelerin konut yapımında ve ticari, eğitimsel ve resmi yapılarda kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Gardner vd., (1995) Pultruded fiber ile güçlendirilmiş plastiğin ahşapla yapıştirilmasında yaptıkları çalışmada, tabakalanmış ağaç malzeme (TAM), kemerler, kubbeler ve köprüler gibi geniş açıklıklı yapılar için yaygın olarak kullanıldığını, diğer malzemelere göre birçok avantajları olan, hafif, konik ve kavisli elemanların ekonomik üretimi, mükemmel enerji emme özellikleri (sismik, sönümleme ve akustik tepkiler), yüksek kimyasal ve korozyon direnci, çelikten daha iyi yangın direnci ve estetik görünümü olduğunu savunmuşlardır.

Bununla birlikte düşük bükülme sertliği ve kuvvetine sahip olduğunu belirtmiş, sertlik ve kuvveti arttırmak için fiber takviyeli plastik kullanılabilceğini tavsiye etmişlerdir.

Crespell ve Gagnon (2010), Cross laminated timber çalışmasında kuzey Amerika da yapılar da kullanılmasının önemini ifade etmiştir. 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.

Özalp vd., (2009) yaptıkları çalışmada, kavak, kayın ve oküme kaplamalarını kullanarak üretilmiş kontrplaklarda epoksi, PVAc, poliüretan (PU) ve D3 tutkallarının eğilme mukavemetine etkilerini incelemişler ve bu tutkalların kontrplaklarda eğilme direncine etkilerinin min. seviyede olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre kontrplakların sıvı ile temasları olabileceği ortamlarda kullanılacak ise tutkalların kimyasal yapılarına dikkat edilerek seçilmesini belirtmişler. Sıvı ile teması olan yerlerde poliüretan tutkalının tercihinin daha uygun olduğunu ve malzemenin kalitesini artırarak kullanım ömrünü uzatacağını belirtmişlerdir.

Keskin vd., (2003) yaptıkları araştırmada; lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmesi üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Bu amaçla sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) odunundan Polivinilasetat (PVAc D-4) tutkalı ile beş katmanlı olarak hazırlanan lamine edilmiş ağaç malzemeler kullanılmıştır. Hazırlanan test örneklerinin, mekanik özelliklerini incelemişler ve 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 etmişlerdir.

Kasal vd., (2010) yaptıkları araştırmada, masif ve lamine edilmiş ağaç malzemelerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesi üzerinde çalışmışlar. Doğu kayını, Sarıçam ve Kavak türleri üzerinde yapılan deneylerin sonucunda, sarıçamın eğilme direnci doğu kayınından düşük fakat kavaktan yüksek çıktığını belirlenmiştir.

Perçin vd., (2009) yaptıkları araştırmada, lamine ahşap malzemenin farklı tutkallar kullanılarak mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. Yapılan araştırmalar 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.

Ceccotti vd., (2014) yaptıkları çalışmada çok katlı yapılarda neden çapraz lamine kereste malzeme kullanılacağını araştırılmışlar ve yapılarda çapraz lamine ahşap malzemenin mukavemeti ve enerji tüketimi açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Peruzzo vd., (2014) yaptıkları çalışmada, ahşap uygulamalarında nanokil ve PVAc tutkal karışımının faydalarını araştırmışlar. Araştırmalar 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) yaptıkları çalışmada, ÇLK'da kayma modülünün belirlenmesi için çalışmalarda bulunmuşlardır. Mesnet açıklığı ve örnek kalınlığı 6 olan 3 noktalı eğilme metodu sonucunda, poliüretan bazlı ÇLK'nın kayma modülünü 2,74 (N/mm²) olarak belirlemişlerdir.

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

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Ağaç Malzeme

Bu çalışmada, orman endüstrisinde sıklıkla kullanılan Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak çam ve göknar örnekleri Bartın ilinde yerel kereste ticaretinden Kartal Ağaç San. Tic. Firmasından temin edilmiştir. Isıl işlemler (ThermoWood) çam örnekleri ise Bolu ilinin Gerede ilçesinde Novawood kereste fabrikasından temin edilmiştir. Ağaç malzemelerin çürüksüz, düzgün lifli ve budaksız olmasına dikkat edilmiştir.

3.2 Tutkal

Bu çalışmada, yapıştırıcı malzemeler; poliüretan deniz tutkalı ve melamin formaldehit tutkalları kullanılmıştır.

Poliüretan deniz tutkalı; tek kompenetli bir ahşap yapıştırıcı olan bu tutkal, ortamdaki nem yardımıyla kurlaşmaktadır. Suyu, neme ve kimyasallara karşı dayanıklılığı, kolay uygulanabilmesi, düşük viskozitesi ve yüksek yapışma gücüne sahip olması tercih edilme nedenidir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybetmemektedir.

Difenilmetan-4, 4 di-izosiyanat içerdiği için gözleri, deriyi ve solunum sistemini tahriş edebilmektedir. Çalışırken koruyucu giysi ve eldiven kullanılması gerekmektedir (Özalp vd., 2009'a atfen Özan, 2017).

Melamin formaldehit tutkalı, melamin ve formaldehitin kondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. Melamin formaldehit tutkal 90-140 °C sıcaklıklarda herhangi bir sertleştirici maddeye gereksinim duymadan sertleşebilmektedir (Hus, 1977'ye atfen Çavuş, 2008).

Bazı deneylerde tutkala ön muamele olarak silan astar kullanılmıştır. Ahşap yüzeylere uygulanan bu ürün; silan esaslı yüzey koşullandırıcı bir malzemedir. Bir ucu uygulanan yüzeyle, diğer ucu malzeme ile reaksiyona girerek yapışmayı kimyasal olarak

güçlendirmektedir. Bu sayede malzemede üçüncü bir katman olmadan yapışmayı sağlamaktadır.

Kurduğunda herhangi bir iz bırakmaz ve gözle görülebilir bir film oluşturmamaktadır. Bu durum uygulama yapılan yüzeyi ayırmakta daha dikkatli olmayı gerektirmektedir. Yüksek oranda solvent içerdiği için temizlik amaçlı kullanılması düşünülmemelidir. Cilde temasından kaçınılmalıdır.

3.3 Deney Örneklerinin Hazırlanışı

Sırasıyla 96x 9x 2 cm, 96x 10x 2 cm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında olan sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*), ısıtılmış (ThermoWood) çam ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana Mattf.*) malzemeleri direkt güneş ışığına maruz kalmayan ve iyi havalandırılan ortam şartlarında Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında istifleterek bekletilmiştir.

3.3.1 Rutubet- Yoğunluk Tayini

Rutubet tayini, TS 2471 esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Elektrikli rutubet ölçer ile ölçülen nem oranı değeri göknar odunu %19, sarıçam %16, olarak ölçülmüştür. Örnek ağırlıkları (Mr.) $\pm 0,01$ g duyarlılıkta ölçüm yapan analitik terazide tartıldıktan sonra Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarında bulunan iklimlendirme cihazında 103 ± 2 C sıcaklıkta ağırlıkları değişmeye kadar kurutulmuştur (Şekil 3.1). İklimlendirme cihazından çıkarılan malzemeler, soğutulduktan sonra tam kuru haldeki ağırlıkları (Mo) ölçülmüştür. Bu değerlere göre Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3. 1: Test Örneklerinin iklimlendirme cihazında kurutulması ve istiflenmesi (Foto; M. GÜLCEMAL, 2018).

Bunlara göre rutubet (R) Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır :

$$R = \frac{M_r - M_o}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlik 1'de

M_r : Rutubetli ağırlık

M_o : Tam kuru ağırlık eşitliğinden hesaplanır.

Yoğunluk ise TS 2472 standardında belirtilen esaslara göre sarıçam, D_{12} : 0,580 g/cm³, D_o : 0,540 g/cm³, uludağ göknarı, D_{12} : 0,386 g/cm³, D^0 : 0,359 g/cm³ olarak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Deney malzemeleri 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nemdeki iklimlendirme cihazında ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilmiştir. Rutubetler sarıçam, %12, uludağ göknarı, %14 olarak belirlenmiştir. Bu durumda ağırlıkları ± 0,01 gr duyarlıklı analitik terazide tartılarak (m), boyutları ±0,01 mm duyarlılıkta mikrometrik dijital kumpasla belirlendikten sonra hacimleri (v) hesaplanmıştır.

Bu değerlere göre hava kurusu yoğunluk Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.:

$$d_{12} = \frac{m_{12}}{v_{12}} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de

d: Özgül ağırlığı (gr/cm³),

m: örnek ağırlığı (gr),

v: örnek hacmi (cm³) denkleminde hesaplanmıştır.

3.3.2 Çapraz Lamine Kereste Örneklerinin Hazırlanması

Yaklaşık 96x 9x 2 cm, 96x 10x 2 cm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında olan Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.), ısıtılmış (ThermoWood) çam ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) keresteleri, yapacağımız deneylere doğru sonuçlar vermesi için Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde bulunan Planya makinesinde radyal kesit yüzey düzgünlüğü, kalınlık makinesinde ise teğet kesit yüzeyi düzgünlüğü sağlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2: Kalınlık makinasında teğet yüzey, planya makinasında radyal yüzey düzgünlüğünün sağlanması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

ÇLK'ların mekanik testlerinde üst tabakalarda kullanılacak olan ısıtılmış örnekler NOVAWOOD fabrikasından THERMOWOOD yöntemiyle ısıtılmış olarak temin edilmiştir.

Yüzeyleri pürüzsüz hale getirilen deney malzemeleri daire testere makinesinde alt ve üst tabakaları aynı genişlikte kesilmiştir (Şekil 3.3). Orta tabakada kullanılacak olan örnekler baş kesme makinası ile 18 cm genişlikte kesilmiştir (Şekil 3.4). Boyutları ve yüzey düzgünlükleri sağlanan alt ve üst tabaka deney örnekleri iki parça yan yana olacak şekilde poliüretan tutkalı ile yapıştırılmıştır. Düzgün ve sağlam bir yapışma gerçekleştirebilmek için ikili parçalar işkence yardımı ile sıkıştırılmıştır (Şekil 3.5). Tutkalın üretici firma önerilerine uyularak tam kuruma sağlanmıştır.

Yapışma sonrası; tutkalın dışarı taşması, odunda meydana gelen deformasyonlar vb. çeşitli olumsuzluklardan bertaraf edilmesi adına titreşimli zımpara makinesi ile yüzey düzgünlükleri sağlanmıştır. Bu işlem kat aralarında kullanılan tutkalın yapışma performansını etkilememesi stabil bir yapışma sağlanması için yapılmıştır. Silan astar uygulanacak örnekler bir fırça yardımı ile üretici firma talimatlarına göre sürülerek kurumması beklenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 3: ÇLK alt ve üst deney malzemelerinin genişlikleri boyutlandırması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 4: ÇLK orta tabaka parçalarının baş kesme makinasında hazırlanışı (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 5: ÇLK üst- alt tabaklarının tutkallananarak işkence yardımı ile sıkıştırma işlemi (M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 6: ÇLK örneklerine silan astar uygulanışı (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Üç tabakalı, çapraz lamine kereste deney örneklerinde orta tabakadaki 18x 9x 2 cm olan örneklerin alt ve üst tabakadaki 96x 18x 2 cm olan deney örneklerine 90 ° açılı olacak şekilde ayarlanarak (Şekil 3.7); tabakalar arasında poliüretan tutkalı kullanılan örnekler için: 1 m²'de 200 gr olacak şekilde poliüretan tutkalı uygulanmıştır. Hazırlanan örnekler alt ve üst tabaka sıcaklığı olmaksızın 0,4 N/mm² basınç altında tutkalın firma tavsiyelerine uyularak Cemil Usta SSP 180 pres makinesinde en az 2 saat süreyle preslenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 7: ÇLK örneklerinin presten önce hazırlanışı (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Tabakalar arasına melamin formaldehit tutkalı kullanılan örnekler için: 1 m²'de 200 gr olacak şekilde melamin formaldehit tutkalı uygulanmıştır. Hazırlanan örnekler pres sıcaklığı 105 °C ve 0,4 N/mm² basınç altında preslenmiştir.



Şekil 3. 8: ÇLK malzemelerinin yapışmada presleme işleme (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Presten çıkarılan örnekler deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmış 96x 18x 6 cm ebatlarında, göknar ve çam ağaç türleri için 3 adet, ısıl işlemlili (ThermoWood) çam ağaç türleri için 12 adet ÇLK örneği Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde uygun bir şekilde istiflenerek 1 hafta süreyle bekletilmiştir.

3.3.2.1 Eğilmede Makaslama Direnci ve Elastikiyet Modülü

Eğilmede makaslama direnci ve eğilme elastikiyet modülü deneyleri TS-EN 310 (1999) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deney örnekleri 96x7,5x6 cm boyutlarında daire

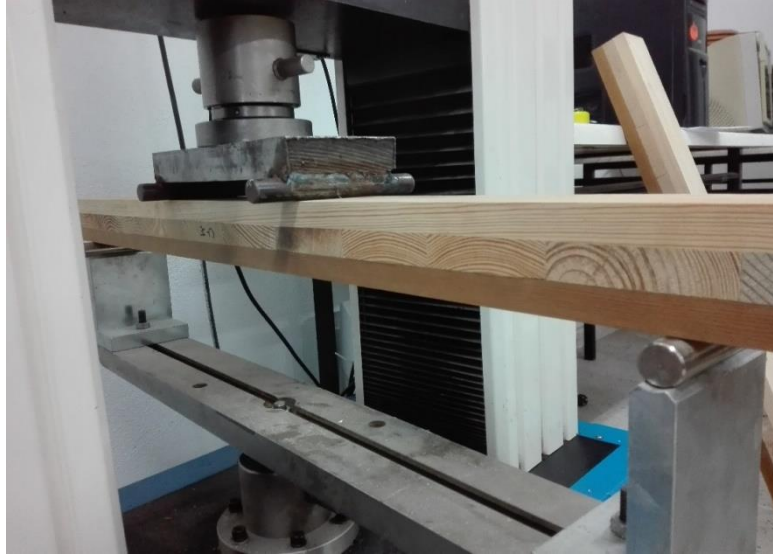
testere makinasında ebatlanması yapılmıştır (Şekil 3.9). Deney örnekleri $\% 65 \pm 5$ °C nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında kütlesi değişmeyinceye kadar kondisyonlanarak toplam 30 adet örneğin klimatize edilme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.10). Deney örneklerine uygulanacak yük noktaları eşit olacak şekilde ölçülerek markalama işlemleri yapılmıştır. Deneyler U test cihazında yapılmıştır. Eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü deney örnekleri Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3. 9: ÇLK malzemelerinin ebatlanması işlemi (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 10: ÇLK malzemelerinin klimatize işlemi (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 11: ÇLK malzemelerinin U test cihazında, eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deney uygulaması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

ÇLK eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deneylerinde aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır :

Eğilme direnci hesaplamaları Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\sigma_e = \frac{3}{2} \times \frac{F.(L_s-L)}{b.h^2} \quad (3)$$

Eşitlik 3’de

σ_e : Eğilme direnci (N/mm²)

F : Kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (N)

L_s : Alt iki mesnet arasındaki mesafe (mm)

L : Üst mesnet arasındaki mesafe (mm)

b : Örnek genişliği (mm)

h : Örnek yüksekliği (mm)’dir.

Eğilmede elastikiyet modülü direnci hesaplamaları Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$EMOE = \frac{11.F.l_o}{64.b.h^3.Y_e} \quad (4)$$

Eşitlik 4’de

EMOE: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

F: Kırılma anındaki uygulanan max kuvvet (N)

l_0 : Destekler arasındaki mesafe (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek yüksekliği (mm)

Y_E : Elastikiyet deformasyon bölgesinde yüklemenin üst ve alt limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N), (F_2-F_1) 'dir.

3.3.3 Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM) Hazırlanışı

Yaklaşık 96x 9x 2 cm, 100x 10x 2 cm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında olan sarıçam (Pinus Sylvestris L.), Uludağ göknarı (Abies bornmülleriana Mattf.) ve ısıtılmış (ThermoWood) çam keresteleri, yapacağımız deneylere doğru sonuçlar vermesi için Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde bulunan Planya makinesinde radyal kesit yüzey düzgünlüğü, kalınlık makinesinde ise teğet kesit yüzeyi düzgünlüğü sağlanmıştır (Şekil 3.12). Yüzeyleri pürüzsüz hale getirilen deney malzemeleri daire testere makinesinde de hepsi aynı genişlikte kesilmiştir.



Şekil 3. 12: ÇLK deney malzemelerinin yüzey düzgünlüklerinin sağlanması (M. GÜLCEMAL, 2018).

TAM'ların mekanik testlerinde alt tabakalarda kullanılacak olan ısıtılmış örnekler NOVAWOOD fabrikasından ThermoWood yöntemiyle ısıtılmış olarak temin edilmiştir. Boyutları ve yüzey düzgünlükleri sağlanan tabakalar deney örnekleri iki parça yan yana olacak şekilde poliüretan tutkalı ile yapıştırılmıştır. Düzgün ve sağlam bir yapışma

gerçekleştirebilmek için ikili parçalar işkence yardımı ile sıkıştırılmıştır (Şekil 2.13). Tutkalın üretici firma önerilerine uyularak tam kuruma sağlanmıştır. Yapışma sonrası; tutkalın dışarı taşması, odunda meydana gelen deformasyonlar vb. çeşitli olumsuzluklardan bertaraf edilmesi adına titreşimli zımpara makinesi ile yüzey düzgünlükleri sağlanmıştır. Bu işlem kat aralarında kullanılan tutkalın yapışma performansını etkilememesi stabil bir yapışma sağlanması için yapılmıştır.



Şekil 3. 13: TAM örneklerinin tutkalanarak, işkence yardımı ile sıkıştırma işlemi (M. GÜLCEMAL, 2018).

Üç tabakalı, 100x 18x 2 cm olan tabakalanmış ağaç malzeme deney örneklerinde diziliş yönleri alt tabakanın yıllık halka yönleri aşağı, orta ve üst tabakaların yıllık halkaları yukarı bakacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Tabakalar arasına poliüretan kullanılan tutkal örnekler için: 1 m²'de 200 gr olacak şekilde poliüretan tutkalı uygulanmıştır. Hazırlanan örnekler alt ve üst tabaka sıcaklığı olmaksızın 0,4 N/mm² basınç altında tutkalın firma tavsiyelerine uyularak Cemil Usta SSP 180 pres makinesinde en az 2 saat süreyle preslenmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14: TAM yapışmada presleme işleme (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Presten çıkarılan örnekler deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmış 100x 18x 6 cm ebatlarında göknar ve çam ağaç türleri için 3 adet, ısıl işlemlili (ThermoWood) çam ağaç türleri için 12 adet TAM örneği Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde uygun bir şekilde istiflenerek 1 hafta süreyle bekletilmiştir.

3.3.3.1 Eğilmede Makaslama Direnci ve Elastikiyet Modülü

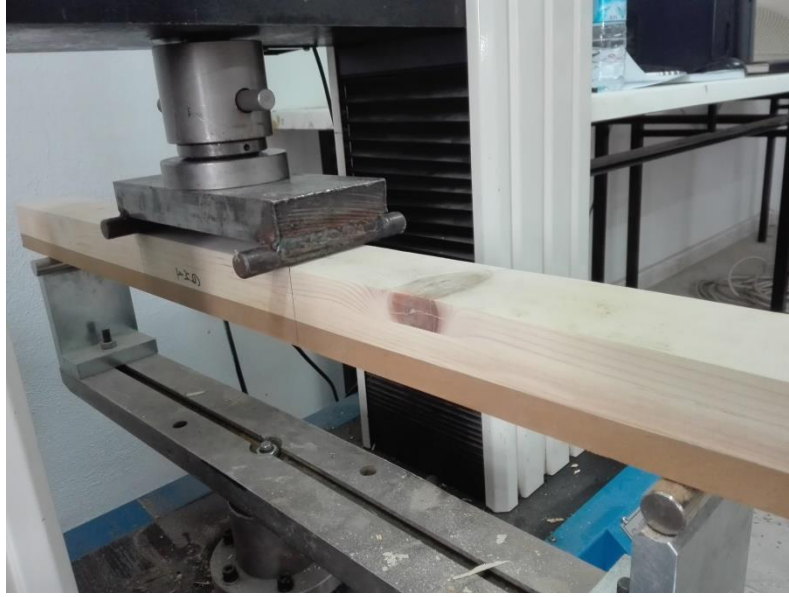
Eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deneyleri TS-EN 310 (1999) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deney örnekleri 96x7,5x6 cm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında ebatlanmıştır (Şekil 3.15). Deney örnekleri % 65 ± 5 °C nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında kütlesi değişmeyinceye kadar kondisyonlanmıştır. Toplam 30 adet örneğin klimatize edilme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.16). Deney örneklerine uygulanacak yük noktaları eşit olacak şekilde ölçülerek markalama işlemleri yapılmıştır. Deneyler U test cihazında yapılmıştır. Eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü deney örnekleri Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3. 15: TAM ebatlanması işlemi (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



Şekil 3. 16: TAM klimatize işlemi (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).



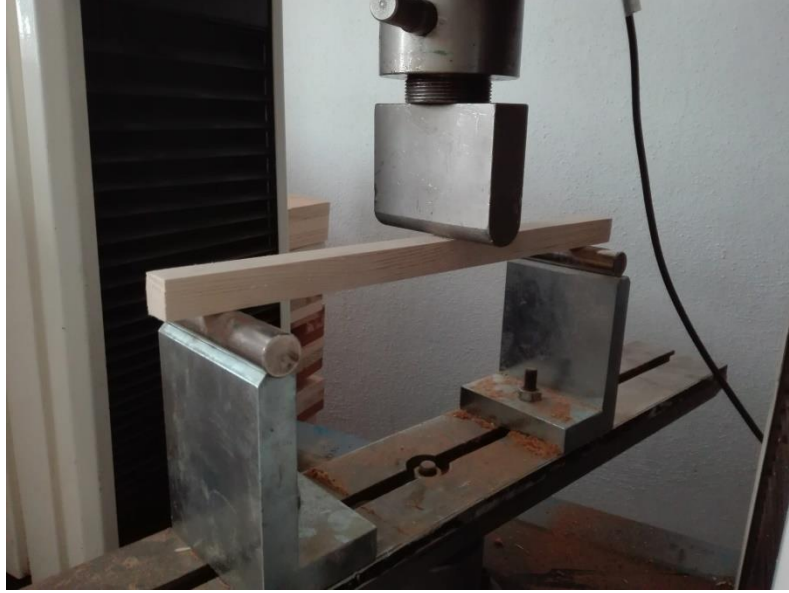
Şekil 3. 17: TAM U test cihazında, eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deney uygulaması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

TAM eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü deneylerinde Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'deki formüller kullanılmıştır.

3.3.4 Eğilme Deney Örneklerinin Hazırlanışı

Ağaç malzemelerin eğilme deneyi için 10 adet Sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*) ve 10 adet Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana Mattf.*) yapacağımız deneylerde doğru sonuçlar vermesi için Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde bulunan Planya makinesinde radyal kesit yüzey düzgünlüğü, kalınlık makinesinde ise teğet kesit yüzeyi düzgünlüğü sağlanmıştır, test örneklerinin kalınlıkları 2 cm'ye düşürülmüştür. Yüzeyleri pürüzsüz hale getirilen deney malzemeleri daire testere makinesinde de 300x 20x 20 mm

(uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında ebatlanmıştır. Deney rnekleri 65 ± 5 °C nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında kütlesi değişmeyinceye kadar kondisyonlanmıştır. Toplam 20 adet örneğin klimatize edilme işlemi tamamlanmıştır. Deney örneklerine uygulanacak yk noktaları eşit olacak şekilde ölçülerek markalama işlemleri yapılmıştır. Deneyler U test cihazında yapılmıştır. Eğilme deney örnekleri şekil 3.18’da verilmiştir.



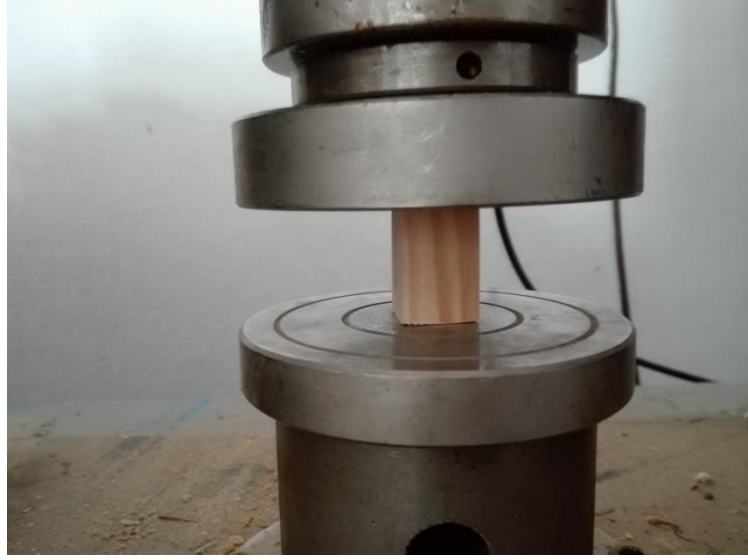
şekil 3. 18: Eğilme deney uygulaması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Yapılan eğilme direnci deneyleri aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplanmıştır. Eğilme direnci hesaplamaları Eşitlik 3’deki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

Basınç deney örneklerinin hazırlanışı

Ağaç malzemelerin basınç deneyi için 10 adet Sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*) ve 10 adet Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana Mattf.*) yapacağımız deneylerde doğru sonuçlar vermesi için Bartın Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde bulunan Planya makinesinde radyal kesit yüzey düzgünlüğü, kalınlık makinesinde ise teğet kesit yüzeyi düzgünlüğü sağlanmıştır, test örneklerinin kalınlıkları 2 cm’ye düşürülmüştür. Yüzeyleri pürüzsüz hale getirilen deney malzemeleri daire testere makinesinde de 30x 20x 20 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında ebatlanmıştır. Deney rnekleri 65 ± 5 °C nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında kütlesi değişmeyinceye kadar kondisyonlanmıştır. Toplam 20 adet örneğin klimatize edilme işlemi tamamlanmıştır.

Deney örneklerine uygulanacak yük noktasının tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Deneyler U test cihazında yapılmıştır. Basınç deney örnekleri Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3. 19: Basınç deney uygulaması (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

Yapılan basınç direnci deneyleri aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Basınç direnci hesaplamaları Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır:

:

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{axb} \quad (5)$$

Eşitlik 5’da

σ_B : Basınç direnci

F_{max} : Maksimum yük miktarı (N)

axb : Teğet ve radyal kenar uzunlukları (mm²)

İstatiksel Değerlendirme

Yapılan bu çalışmada; yapılan deney sonuçlarına ait veriler, tek yönlü varyans analizi, duncan testi ve homojenlik testi yapılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, ısıl işlem görmüş çam, sarıçam ve Uludağ göknarı ağaç türleri kullanılarak hazırlanılan ÇLK ve TAM örneklerinin bazı mekaniksel ve fiziksel analizleri istatistiksel olarak verilmiştir.

4.1 Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

Fiziksel özelliklere ait bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1.1 Rutubet-Yoğunluk Tayinine Ait Bulgular

Sarıçam odununa ait rutubet ve yoğunluk tayini bulguları aşağıdaki Tablo 4.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4. 1:Sarıçam örneklerine ait rutubet ve yoğunluk tayini bulguları.

Örnekler	Hava Kuru Ağırlık (gr)	Tam Kuru Ağırlık (gr)	Hava Kuru Yoğunluk (g/cm ³)	Tam Kuru Yoğunluk (g/cm ³)	Rutubet (%)
Sarıçam 1	6,79	6,05	0,565	0,539	12,23
Sarıçam 2	7,43	6,58	0,596	0,570	12,92
Sarıçam 3	6,8	6,07	0,579	0,525	12,03
Sarıçam 4	6,93	6,16	0,588	0,530	12,5
Sarıçam 5	6,8	6,04	0,572	0,537	12,58
Ortalama			0,580	0,540	12,45

Sarıçam örneklerinde yapılan rutubet/yoğunluk tayininde değerler %12 rutubete yakın çıktığı gözlenmiştir.

Göknar odunun rutubet/yoğunluk tayinine ait bulgular aşağıdaki Tablo 4.2’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4. 2: Uludağ Göknarı örneklerine ait rutubet ve yoğunluk tayini bulguları.

Örnekler	Hava Kuru Ağırlık (gr)	Tam Kuru Ağırlık (gr)	Hava Kuru Yoğunluk (g/cm³)	Tam Kuru Yoğunluk (g/cm³)	Rutubet (%)
U.Göknarı 1	4,72	4,11	0,404	0,365	14,84
U.Göknarı 2	4,66	4,05	0,395	0,368	15,06
U.Göknarı 3	4,43	3,89	0,374	0,350	13,88
U.Göknarı 4	4,44	3,9	0,375	0,351	13,85
U.Göknarı 5	4,52	3,97	0,383	0,363	13,85
Ortalama			0,386	0,359	14,30

Tablo 4.2’de çıkan sonuçlar göknar örneklerinin hava kuru yoğunluğu, tam kuru yoğunluğu ve rutubet değerlerinin normal değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. 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.

4.2 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

Mekanik deneyler sonucunda Sarıçam ve Uludağ göknarı kerestelerinden hazırlanan TAM ve ÇLK kirişlerinde kullanılan PU ve MF tutkalları ve Silan yüzey koşullandırıcı astar kullanılan örnekler üzerinde eğilmede makaslama ve elastikiyet modülü deneyleri yapılmış ve hesaplanmıştır. Ayrıca eğilme direnci ve liflere dik basınç deneyleri de yapılmıştır.

Çalışma kapsamında oluşturulan varyasyonlar ve özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir:

Tablo 4. 3: Çalışma kapsamında oluşturulan varyasyonlar ve özellikleri,

Varyasyon Özellikleri	Ağaç Türü	Örnek Kodu
3 kat masif, katlar arası PU tutkalı kullanılarak hazırlanan deney örnekleri	Sarıçam	A1
	U. Göknarı	B1
Üst tabakalarda ısıtılmış çam, diğer tabakalar masif, katlar arası PU tutkalı kullanılarak hazırlanmış test örnekleri	Sarıçam	A2
	U. Göknarı	B2
Üst tabakalarda ısıtılmış çam, diğer tabakalar masif, katlar arası MF tutkalı kullanılarak hazırlanmış test örnekleri	Sarıçam	A3
	U. Göknarı	B3
Üst tabakalarda ısıtılmış çam, diğer tabakalar masif, katlar arası silan astar ile desteklenen, PU tutkalı kullanılarak hazırlanmış test örnekleri	Sarıçam	A4
	U. Göknarı	B4
Üst tabakalarda ısıtılmış çam, diğer tabakalar masif, katlar arası silan astar ile desteklenen, MF tutkalı kullanılarak hazırlanmış test örnekleri	Sarıçam	A5
	U. Göknarı	B5

4.2.1 ÇLK Eğilmede Makaslama Direncine Ait Bulgular

Eğilmede makaslama direncine ait istatistiksel veriler Tablo 4.4’de verilmiştir,

Tablo 4. 4: Eğilmede Makaslama Direncine ait istatistiksel veriler.

Deney Türü	Örnek Sayısı	Xort(N/m ²)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)	Min. Değer	Max. Değer
A1	5	53,77	1,17	2,18	55,03	55,12
A2	5	35,21	1,4	3,98	33,62	36,22
A3	5	34,61	0,44	1,27	34,2	35,08
A4	5	47,56	0,5	1,05	47,08	48,07
A5	5	31,98	1,23	3,85	30,57	32,84
B1	5	47,8	1,08	2,26	46,73	48,88
B2	5	37,48	0,55	1,47	36,91	38
B3	5	16,42	0,28	1,71	16,14	16,71
B4	5	29,81	0,39	1,31	29,42	30,2
B5	5	18,15	0,33	1,82	17,81	18,48

Eğilmede makaslama direncine ait elde edilen istatistiksel sonuçların önemli olup olmadıkları varyans analizi ile irdelenilmiştir. Yapılan varyans analizi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4. 5: Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Gruplar arası	4033,406	9	448,156	633,768	0,000
Gruplar içi	14,143	20	0,707		
Toplam	4047,548	29			

*p<0,05

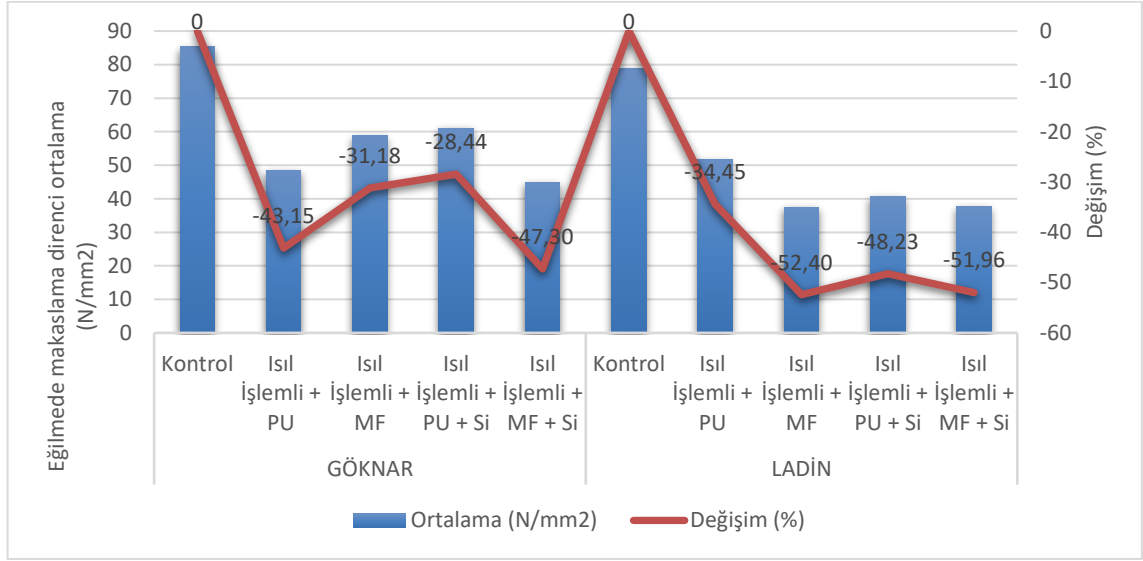
Eğilmede makaslama direncinde elde edilen sonuçların varyans analizi tablosuna baktığımızda gruplar arası (10 grup arasındaki fark), gruplar içi ve toplam değerlerine ait kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F oranı ve P değeri verilmiştir. F oranı test istatistiği 633,768 olarak hesaplanmış. P-değeri 0 olasılığına sahiptir. P değerinin 0,05’den küçük olması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla yapılan Duncan testine ait veriler Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4. 6: Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçlar.

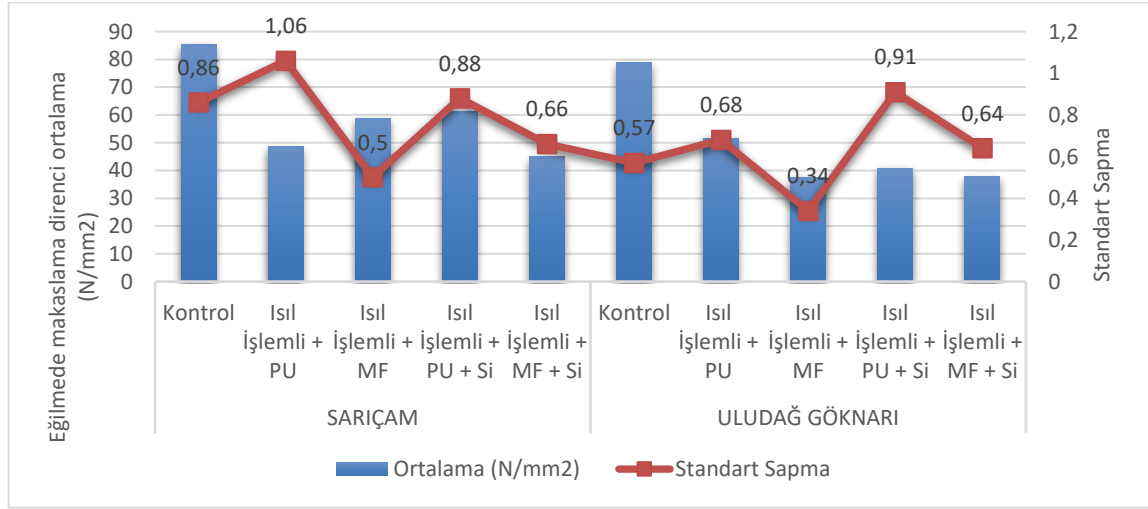
Deney Türü		N	X_{ort} (N/mm ²)	HG
SARIÇAM	Kontrol	5	51,7852	E
	Isıl işlemlili + PU tutkalı	5	35,2067	C
	Isıl işlemlili + MF tutkalı	5	34,6133	C
	Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar	5	49,5567	D
	Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar	5	31,9833	B
ULUDAĞ GÖKNARI	Kontrol	5	50,7967	E
	Isıl işlemlili + PU tutkalı	5	37,4833	C
	Isıl işlemlili + MF tutkalı	5	17,9680	A
	Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar	5	30,1595	B
	Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar	2	18,1533	A

%95 güven aralığında yapılan Duncan testi sonucuna göre Sariçam ve Uludağ göknarı kontrol grupları ile diğer gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Sariçam Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (d) örnekler diğer örneklerle farklı homojen gruplarda olmasına rağmen, Isıl işlemlili + PU tutkalı (c) örnekleri ile Isıl işlemlili + MF tutkalı (c) örnekler arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Sariçam, Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (b) ile Uludağ göknarı Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (b) örnekleri aynı homojenlik grubunda yer almaktadır, aralarında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Uludağ göknarı, Isıl işlemlili + PU tutkalı (c) örnekler diğer örneklerle farklı homojen gruplarda olmasına rağmen, Isıl işlemlili + MF tutkalı (a) örnekleri ile Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar (a) örnekler arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir.

ÇLK eğilmede makaslama direncine ait, ortalama ve yüzde değişim grafiği (Şekil 4.1), ortalama ve standart sapma grafiği (Şekil 4.2) aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. 1: ÇLK Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.



Şekil 4. 2: ÇLK Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri.

4.2.2 ÇLK Eğilmede Elastikiyet Modülü Direncine Ait Bulgular

Eğilmede elastikiyet modülü direncine ait istatistiksel veriler Tablo 4.7’de verilmiştir,

Tablo 4. 7: ÇLK Eğilmede Elastikiyet Modülüne ait istatiks el veriler.

Deney Türü	Örnek Sayısı	Xort (N/mm ²)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)	Min. Değer	Max. Değer
A1	5	7304,88	639,36	1189,06	6627,15	7897,32
A2	5	6749,84	786,01	2232,35	6078,78	7614,59
A3	5	4471,54	360,78	1042,42	4120,07	4840,96
A4	5	7786,47	2071,8	4356,18	5942,6	10028,42
A5	5	6753,54	426,11	1332,43	6500,02	7245,49
B1	5	6181,45	228,31	477,64	6033,35	6444,37
B2	5	13651,41	2362,62	6303,68	11491,73	16174,79
B3	5	6791,27	344,1	2095,62	6416,16	7092,29
B4	5	6057,04	365,36	1225,63	5668,27	6393,31
B5	5	5804,54	463,82	2555,48	5499,62	6338,31

Eğilmede makaslama direncine ait elde edilen istatiks el sonuçların önemli olup olmadıkları varyans analizi ile irdelenilmiştir. Yapılan varyans analizi Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4. 8: ÇLK Eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Gruplar arası	1,628E8	9	1,809E7	15,417	0,000
Gruplar içi	2,346E7	20	1173157,941		
Toplam	1,862E8	29			

*p<0,05

Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi tablosuna baktığımızda gruplar arası (10 grup arasındaki fark), gruplar içi ve toplam değerlerine ait kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F oranı ve P değeri verilmiştir. F oranı test istatistiği 15,417 olarak hesaplanmış. P-değeri 0 olasılığına sahiptir. P değerinin 0,05’den küçük olması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla yapılan

Duncan testine ait veriler Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4. 9: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçları.

Deney Türü		N	X_{ort} (N/mm ²)	HG
SARIÇAM	Kontrol	5	7,3049E3	HG
	Isıl işlemlı + PU tutkalı	5	6,7498E3	B
	Isıl işlemlı + MF tutkalı	5	4,4715E3	B
	Isıl işlemlı çam + PU tutkalı + Silan astar	5	7,7865E3	A
	Isıl işlemlı çam + MF tutkalı + Silan astar	5	6,7535E3	B
ULUDAĞ GÖKNARI	Kontrol	5	6,1815E3	B
	Isıl işlemlı + PU tutkalı	5	1,3651E4	AB
	Isıl işlemlı + MF tutkalı	5	6,7913E3	C
	Isıl işlemlı çam + PU tutkalı + Silan astar	5	6,0570E3	AB
	Isıl işlemlı çam + MF tutkalı + Silan astar	2	5,8045E3	AB

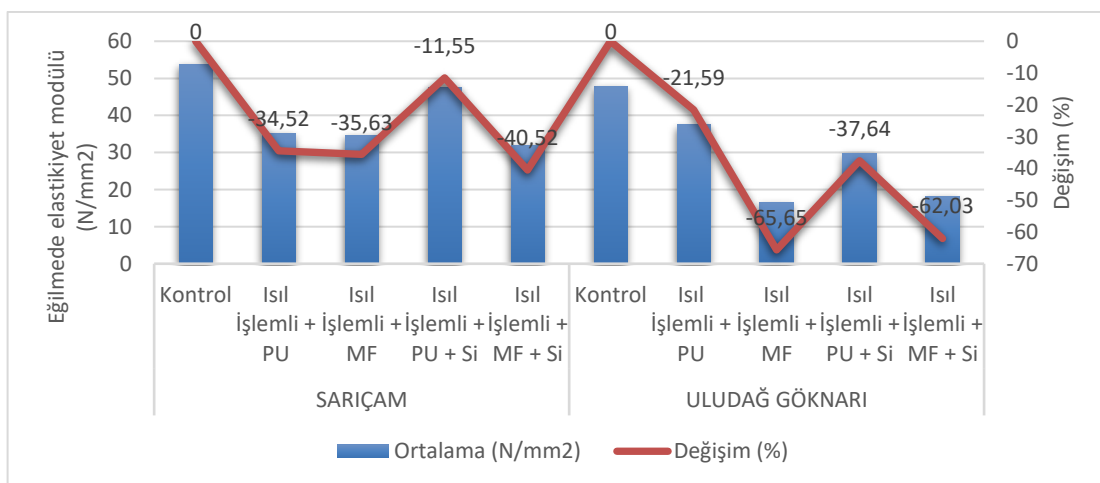
%95 güven aralığında yapılan Duncan testi sonucuna göre Sarıçam Isıl işlemlı + MF tutkalı (a) ile diğır sarıçam örnek grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Sarıçam Kontrol (b), Isıl işlemlı + PU tutkalı (b), Isıl işlemlı çam + PU tutkalı + Silan astar (b) ve Isıl işlemlı çam + MF tutkalı + Silan astar (b) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Uludağ göknarı, Isıl işlemlı + PU tutkalı (c) ile örnek grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Uludağ göknarı Kontrol (ab), Isıl işlemlı + MF tutkalı (ab), Isıl işlemlı çam + PU tutkalı + Silan astar (ab) ve Isıl işlemlı çam + MF tutkalı + Silan astar (ab) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Uludağ göknarı Kontrol (ab), Isıl işlemlı + MF tutkalı (ab), Isıl işlemlı çam + PU tutkalı +

Silan astar (ab) ve Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar (ab) ile Sarıçam Kontrol (b), Isıl işlemlili + PU tutkalı (b), Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (b) ve Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar (b) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülmezken, istatistiksel olarak bir fark bulunmuştur. Ortalama değerlerin aynı çıkması fakat istatistiksel bir fark olduğu için farklı homojenlik grubunda gösterilmiştir.

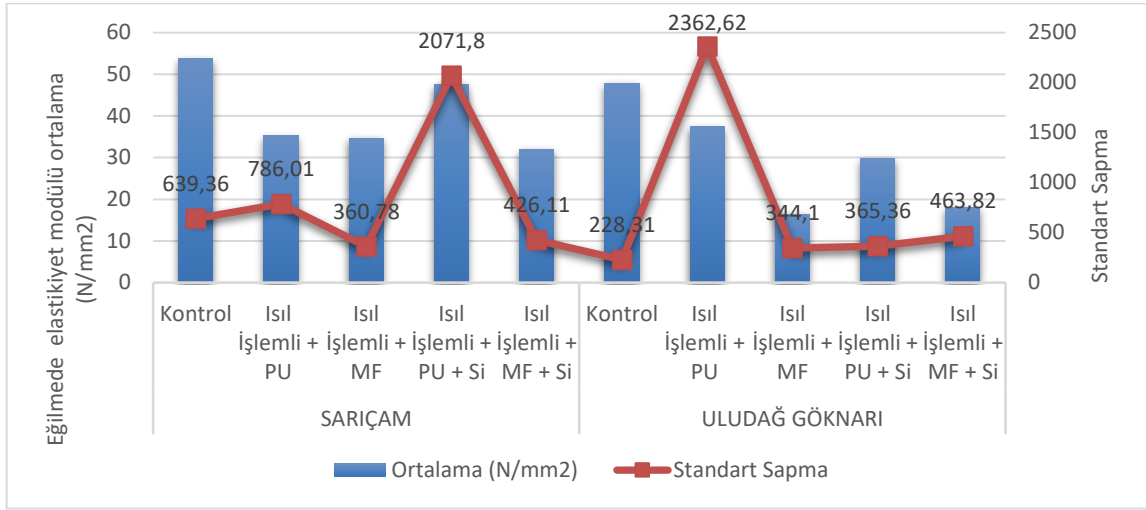
Özan, 2017’de ÇLK üzerine yaptığı çalışmada, ÇLK malzemesinin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Silan yüzey koşullandırıcı astar kullanımının, tutkalın yapışmasını arttırdığını ve mekanik özelliklerini iyileştirdiğini gözlemiştir, Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin yaptığı çalışmada mekanik özelliklerde, çekmede makaslama, eğilmede makaslama, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme dirençlerinde azalmalarına neden olduğunu gözlemiştir.

Hekimoğlu, 2014’de ÇLK üzerine yaptığı çalışmada, ÇLK malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini, iki farklı tutkal ve %1,%2 ve %4 oranlarında nanokil ilave edilerek hazırlanan örnekleri incelemiştir. Sonuçlara bakıldığında, sarıçam ÇLK örneklerinde eğilmede elastikiyet modülü deneylerinde ilave edilen nanokil miktarlarında %1 ve %2 oranlarındaki örneklerde artış, %4 oranındaki örneklerde ise azalış olduğunu gözlemiştir. Göknaç ÇLK örneklerinde ilave ettiği nanokil miktarlarına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülünde ve eğilme dirençlerinde artış olduğunu tespit etmiştir.

ÇLK eğilmede elastikiyet modülü direnci ortalama ve yüzde değişim grafiği (Şekil 4.3), ortalama ve standart sapma grafiği (Şekil 4.4) aşağıda verilmiştir.



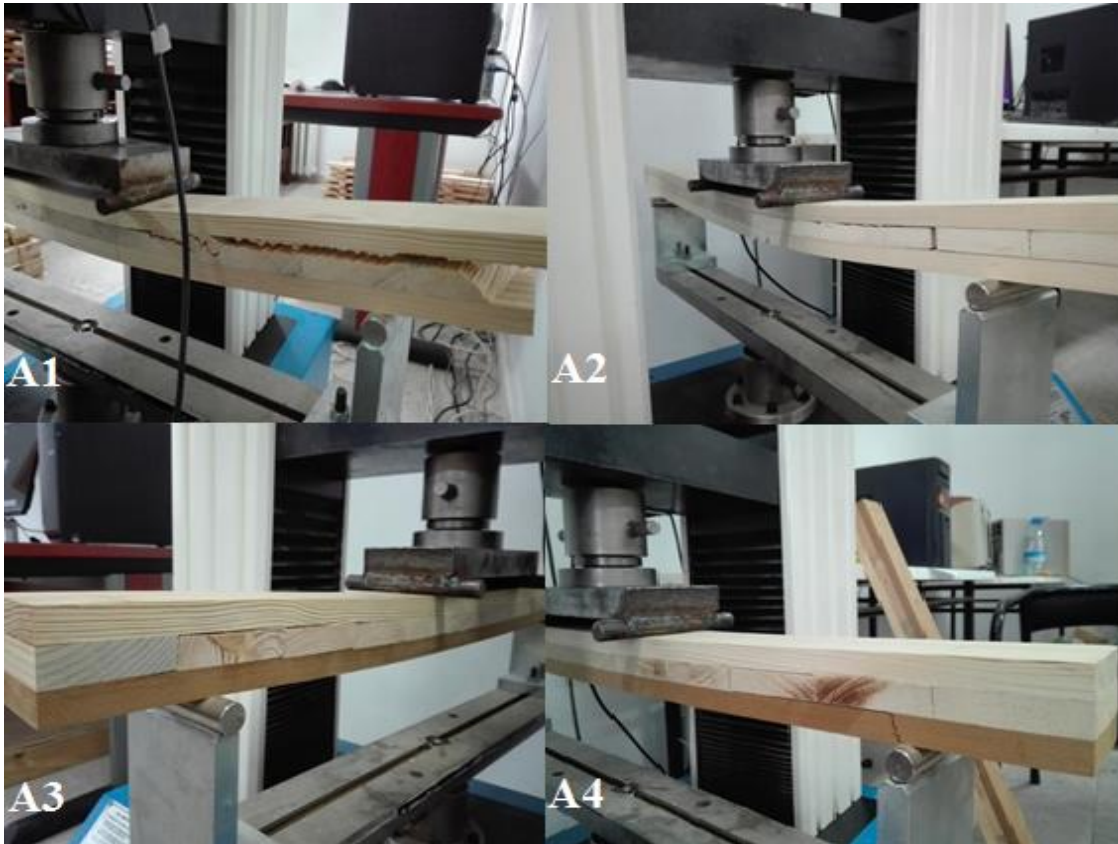
Şekil 4. 3: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.



Şekil 4. 4: ÇLK Eğilmede elastikiyet modülü göre ortalama ve standart sapma değerleri.

4.2.3 Çapraz Lamine Kereste Deney Örnekleri Kırılma Tipleri

ÇLK deney örneklerine ait kırılma tipleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 5: ÇLK deneyi kırılma tipleri (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

ÇLK eğilmede makaslama direnci deney türlerinde kırılma çeşitleri incelendiğinde çoğunlukla kırılma çeşitleri Şekil 41’de gösterilmiştir. Katlar arası PU tutkalı kullanılarak hazırlanan, üç kat masif kontrol test örneklerine bakıldığı zaman (A1-A2) örneklerde orta tabakadan parçalanarak kırılma meydana geldiği görülmektedir. Sarıçam katlar arası MF tutkalı kullanılarak hazırlanan, alt tabaka ısıtılmış çam, orta ve üst tabaka masif ağaç test türüne bakıldığı zaman (A3) tutkal hattından kırılma söz konusudur. Gökmar katlar arası MF tutkalı ve Silan astar ile desteklenen, alt tabaka ısıtılmış çam, orta ve üst tabakalar masif ağaç olan (A4) test örneğinde ise alt tabaka ısıtılmış çam ağaç türünde kırılma meydana gelmiştir. Buda silan astarın yapışmayı kuvvetlendirdiğini göstermektedir.

4.2.4 TAM Eğilmede Makaslama Direncine Ait Bulgular

Eğilmede makaslama direncine ait istatistiksel veriler Tablo 4.10’da verilmiştir,

Tablo 4. 10: TAM Eğilmede Makaslama Direncine ait istatistiksel veriler.

Deney Türü	Örnek Sayısı	Xort(N/m m ²)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)	Min. Değer	Max. Değer
A1	5	85,34	0,86	1,01	84,38	86,06
A2	5	48,52	1,06	2,18	47,6	49,68
A3	5	58,73	0,5	0,85	58,2	59,19
A4	5	61,07	0,88	1,44	60,31	62,03
A5	5	44,97	0,66	1,47	44,39	45,69
B1	5	78,72	0,57	0,72	78,25	79,36
B2	5	51,6	0,68	1,32	50,84	52,15
B3	5	37,47	0,34	0,91	37,08	37,72
B4	5	40,75	0,91	2,23	39,73	41,45
B5	5	37,82	0,64	1,69	37,09	38,13

Eğilmede makaslama direncine ait elde edilen istatistiksel sonuçların önemli olup olmadıkları varyans analizi ile irdelenilmiştir. Yapılan varyans analizi Tablo 4.11’da verilmiştir.

Tablo 4. 11:TAM Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların varyans analizi,

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Gruplar arası	7473,042	9	830,338	1,524E3	0,000
Gruplar içi	10,895	20	,545		
Toplam	7483,937	29			

*p<0,05

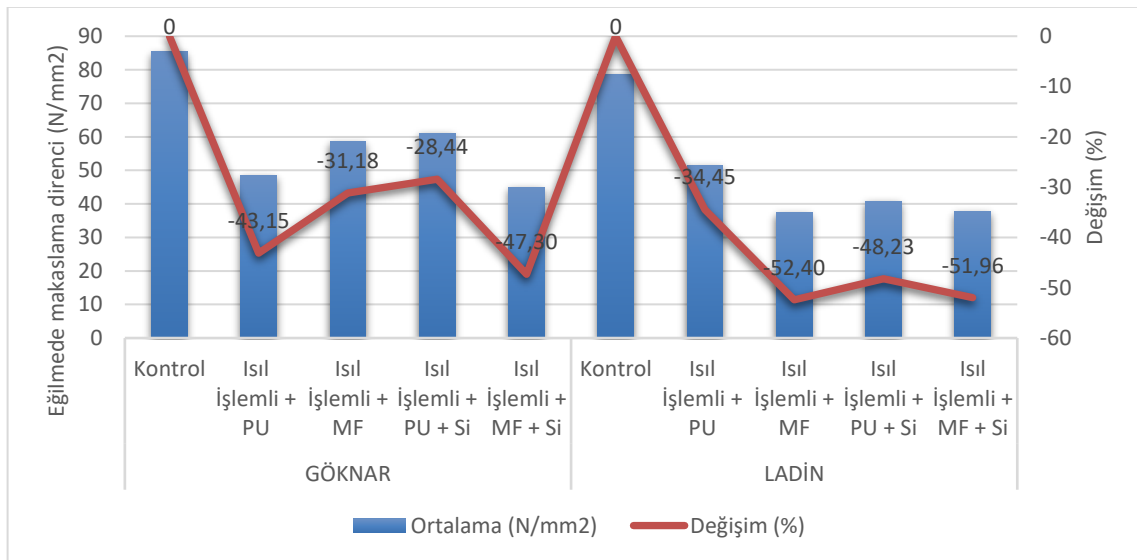
TAM eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların varyans analizi tablosuna baktığımızda gruplar arası (10 grup arasındaki fark), gruplar içi ve toplam değerlerine ait kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F oranı ve P değeri verilmiştir. F oranı test istatistiği 1,524E3 olarak hesaplanmış. P-değeri 0 olasılığına sahiptir. P değerinin 0,05'den küçük olması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla yapılan Duncan testine ait veriler Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4. 12:Eğilmede makaslama direncinden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçlar.

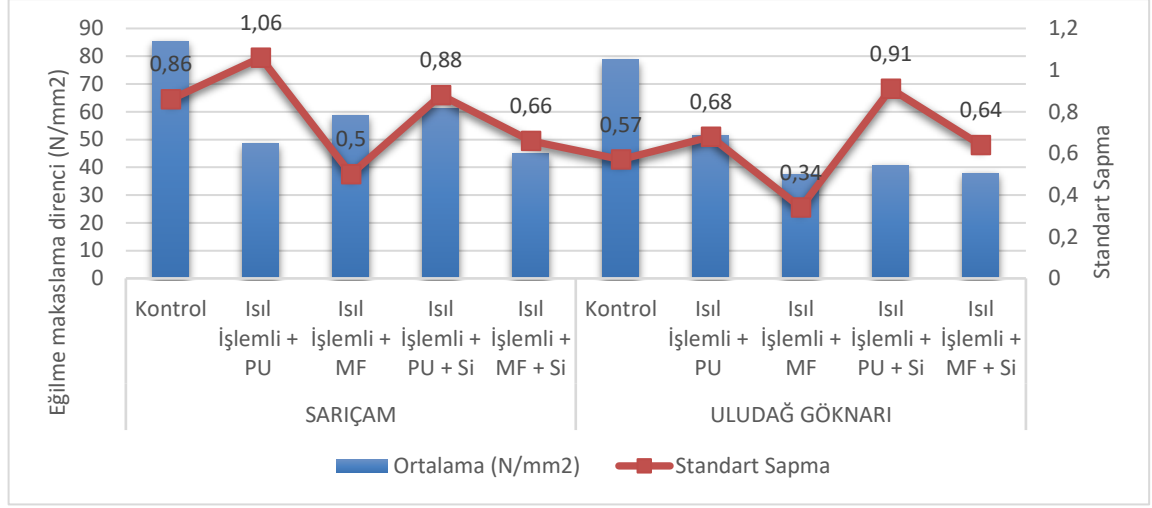
Deney Türü		N	X _{ort} (N/mm ²)	HG
SARIÇAM	Kontrol	5	85,3367	D
	Isıl işlemler + PU tutkalı	5	45,5200	B
	Isıl işlemler + MF tutkalı	5	58,7267	C
	Isıl işlemler çam + PU tutkalı + Silan astar	5	61,0767	C
	Isıl işlemler çam + MF tutkalı + Silan astar	5	44,9733	B
ULUDAĞ GÖKNARI	Kontrol	5	84,4862	D
	Isıl işlemler + PU tutkalı	5	51,5967	C
	Isıl işlemler + MF tutkalı	5	37,4633	A
	Isıl işlemler çam + PU tutkalı + Silan astar	5	44,7533	A
	Isıl işlemler çam + MF tutkalı + Silan astar	5	37,8200	A

%95 güven aralığında yapılan Duncan testi sonucuna göre Sarıçam ve Uludağ göknarı kontrol grupları ile diğer gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Sarıçam Isıl işlemlili + PU tutkalı (b) örnekleri ile Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar (b) örnekler arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Sarıçam Isıl işlemlili + MF tutkalı (c) ile Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (c) örnekler arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Uludağ göknarı, Isıl işlemlili + PU tutkalı (c) örnekler diğer örneklerle farklı homojen gruplarda olmasına rağmen, Isıl işlemlili + MF tutkalı (a) örnekleri, Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (a) ve Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar örnekler arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir.

TAM eğilmede makaslama direncine ve kontrol örneklerine göre, ortalama ve yüzde değişim grafiği (Şekil 4.6), ortalama ve standart sapma grafiği (Şekil 4.7) aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. 6: TAM Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve yüzde değişim değerleri.



Şekil 4. 7: TAM Eğilmede makaslama direnci deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri.

TAM Eğilmede Elastikiyet Modülü Direncine Ait Bulgular

Tablo 4. 13: TAM Eğilmede Elastikiyet Modülü Direncine ait istatistiksel veriler.

Deney Türü	Örnek Sayısı	Xort(N/m m ²)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)	Min. Değer	Max. Değer
A1	5	6975,79	316,3	370,64	6745,25	7336,39
A2	5	10403,81	1112,26	2292,37	9382,4	11588,8
A3	5	7964,65	382,48	651,25	7555,8	8313,72
A4	5	7143,16	158,74	259,93	6974,81	7290,12
A5	5	9128,71	769,43	1710,99	8337,52	9874,36
B1	5	4564,04	335,28	425,91	4221,27	4891,29
B2	5	7450,87	599,7	1162,21	6799,12	7979,37
B3	5	5944,93	485,52	1295,76	5562,55	6491,19
B4	5	7034,77	197,18	483,88	6890,84	7259,53
B5	5	6523,01	490,35	1296,54	5994,9	6963,9

Eğilmede elastikiyet modülüne ait elde edilen istatistiksel sonuçların önemli olup olmadıkları varyans analizi ile irdelenmiştir. Yapılan varyans analizi Tablo 4.14’da verilmiştir.

Tablo 4. 14: TAM Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi,

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Gruplar arası	7,070E7	9	7855344,119	25,440	0,000
Gruplar içi	6175591,279	20	308779,564		
Toplam	7,687E7	29			

*p<0,05

TAM elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların varyans analizi tablosuna baktığımızda gruplar arası (10 grup arasındaki fark), gruplar içi ve toplam değerlerine ait kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F oranı ve P değeri verilmiştir. F oranı test istatistiği 25,440 olarak hesaplanmış. P-değeri 0 olasılığına sahiptir. P değerinin 0,05'den küçük olması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla yapılan Duncan testine ait veriler Tablo 4.15'de verilmiştir.

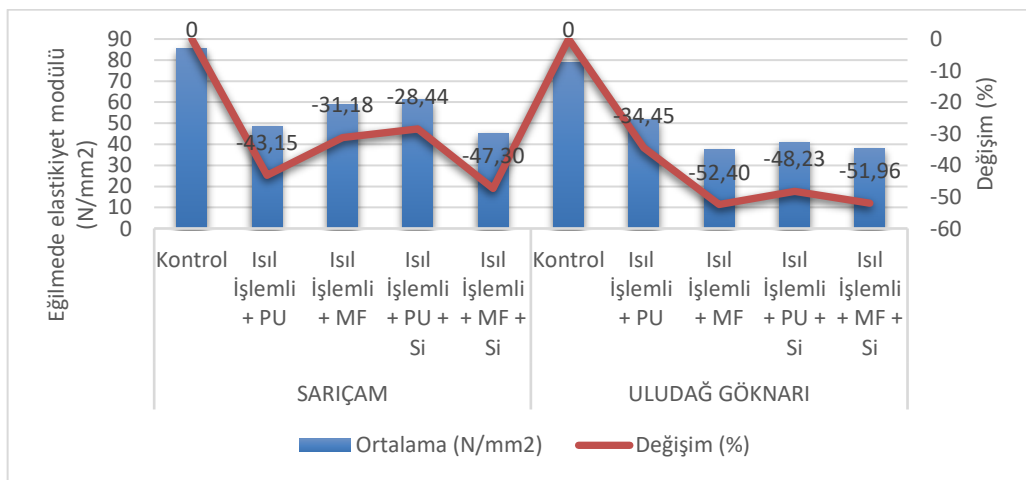
Tablo 4. 15: TAM Eğilmede elastikiyet modülünden elde edilen sonuçların Duncan testine ait sonuçları.

Deney Türü		N	X _{ort} (N/mm ²)	HG
SARIÇAM	Kontrol	5	6,9758E3	BC
	Isıl işlemlili + PU tutkalı	5	9,1843E3	D
	Isıl işlemlili + MF tutkalı	5	7,9647E3	C
	Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar	5	7,1432E3	BC
	Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar	5	9,1287E3	D
ULUDAĞ GÖKNARI	Kontrol	5	5,8947E3	A
	Isıl işlemlili + PU tutkalı	5	7,4509E3	BC
	Isıl işlemlili + MF tutkalı	5	5,9449E3	A
	Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar	5	7,0348E3	BC
	Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar	2	6,5230E3	AB

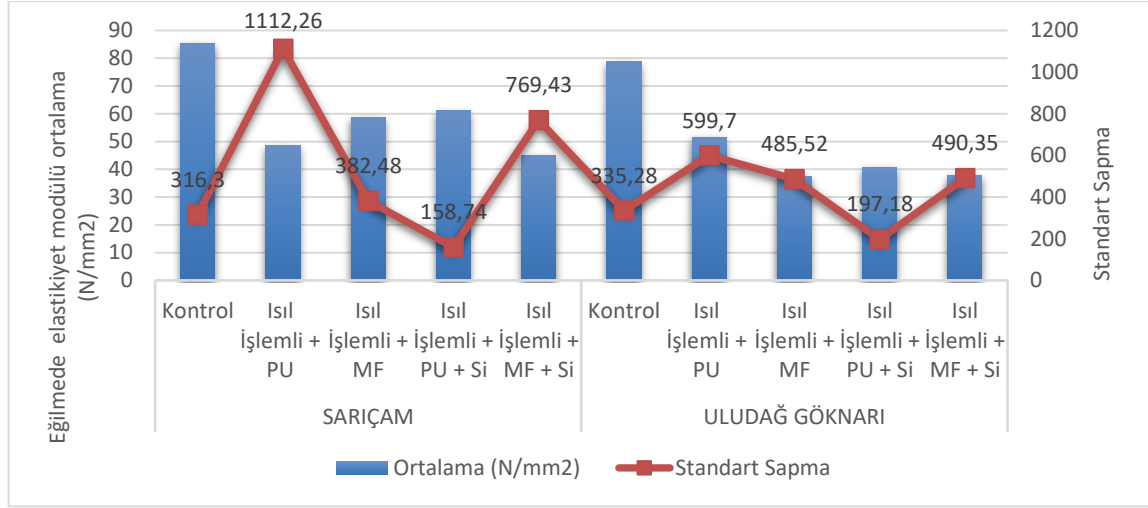
%95 güven aralığında yapılan Duncan testi sonucuna göre Sarıçam, Isıl işlemlili + MF tutkalı (c) ile diğler sarıçam örnek grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Sarıçam Isıl işlemlili + PU tutkalı (d) ile Sarıçam Isıl işlemlili çam + MF tutkalı + Silan astar (d) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Uludağ göknarı, Kontrol (a) ile Isıl işlemlili + MF tutkalı (a) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülürken, istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ortalama değerlerinin birbirine yakın çıkması nedeni ile aynı homojenlik grubunda gösterilmiştir. Sarıçam, Kontrol (bc) ve Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (bc) örnek grupları ile Uludağ göknarı, Isıl işlemlili + PU tutkalı (bc) ve Isıl işlemlili çam + PU tutkalı + Silan astar (bc) örnek grupları arasında matematiksel olarak fark görülmezken, istatistiksel olarak bir fark bulunmuştur. Ortalama değerlerin aynı çıkması fakat istatistiksel bir fark olduğu için farklı homojenlik grubunda gösterilmiştir.

Boonstra, 2008'de yaptığı çalışmada ısıll işleme tabii tutulmuş ahşabın ısıll işleml uygulamamış ahşaba göre hücre çeperinde daha az bağıll su içermesi sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilediğini belirtmiştir.

TAM eğilmede elastikiyet modülü ve kontrol örneklerine göre, ortalama ve yüzde değışim grafiğı (Şekil 4.8), ortalama ve standart sapma grafiğı (Şekil 4.9) aşağıda verilmiştir.



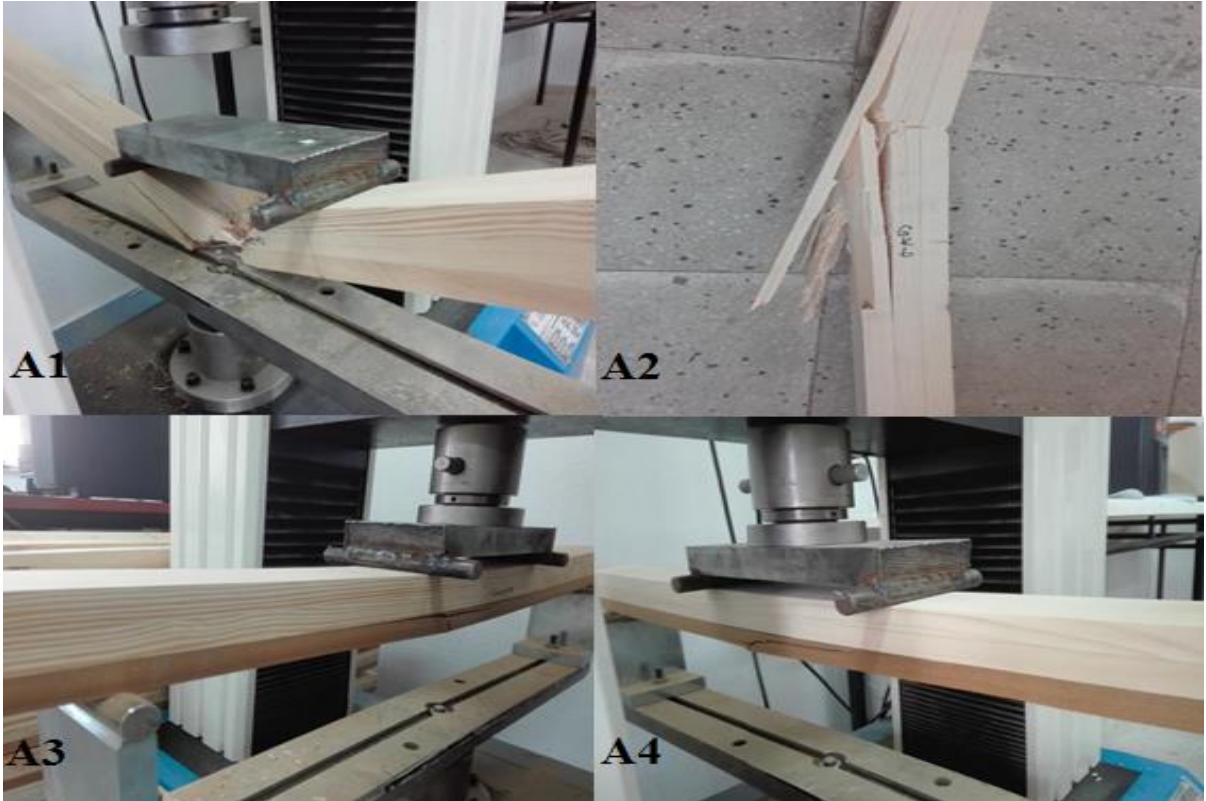
Şekil 4. 8: TAM Eğilmede elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve yüzde değışim değerleri.



Şekil 4. 9: TAM Eğilmeye elastikiyet modülü deneyleri ortalama ve standart sapma değerleri

Tabakalanmış Ağac Malzeme Deney Örnekleri Kırılma Tipleri

TAM deney örneklerine ait kırılma tipleri Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 10: TAM deneyi kırılma tipleri (Foto: M. GÜLCEMAL, 2018).

TAM eğilmeye makaslama direnci deney türlerinde kırılma çeşitleri incelendiğinde çoğunlukla kırılma çeşitleri Şekil 42'de gösterilmiştir. Katlar arası PU tutkalı, 3 kat masif

kontrol test örneklerine (A1-A2) bakıldığında tamamen parçalanarak kırılma olduğu görülmektedir. Sarıçam katlar arası PU tutkalı ve silan astar kullanılarak hazırlanan, alt tabaka ısıl işlemlili çam, orta ve üst tabaka masif ağaç test türüne bakıldığı zaman (A3) alt tabaka ısıl işlemlili çam türünde kırılma söz konusudur. Gökmar katlar arası MF tutkalı kullanılarak hazırlanan, alt tabaka ısıl işlemlili çam, orta ve üst tabaka masif ağaç test türüne bakıldığı zaman (A4) çam türünde olduğu gibi alt tabakada kırılma söz konusudur.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; ülkemizde kullanılmakta olan Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM) ve fazla tanınmayan ve üretimi pek fazla olmayan Çapraz Lamine Kerestenin (ÇLK) mukavemetinin karşılaştırılması ve iyileştirilmesi incelenmiştir. Ülkemizde doğal olarak yetişmekte olan sarıçam (*Pinus slyvestris* Lipsky) ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ağaç türleri kullanılmıştır. İki farklı tutkal, poliüretan ve melamin formaldehit tutkalları ile yapıştırılan TAM ve ÇLK'ya ilave olarak bazı test örneklerinde silan yüzey koşullandırıcı astar kullanılarak hazırlanan TAM ve ÇLK örnekleri incelenmiştir.

Eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü sonuçlarında 96x7,5x6 cm ebatlarında toplamda 50 adet ÇLK örnek üzerinde deneyler yapıldı. Yapılan deneylere bakıldığında en yüksek değeri üç kat masif, katlar arası PU tutkallı kullanılan kontrol (A1) test örnekleri vermiştir (55,12 N/mm²). Bir tabakası ısıl işlemlili çam ve diğer tabakaları sarıçam olan deney örneklerinde, en yüksek değeri (48,07 N/mm²) katlar arası PU tutkalı ve silan yüzey koşullandırıcı astar kullanılan örnek (A4), en düşük değeri ise (29,61 N/mm²) katlar arası MF tutkalı ve silan yüzey koşullandırıcı astar kullanılan örnek (A5) vermiştir.

Bir tabakası ısıl işlemlili çam ve diğer tabakaları Uludağ göknarı olan deney örneklerinde, en yüksek değeri (38,11 N/mm²) katlar arası PU tutkalı kullanılan test örneği (B2), en düşük değeri (15,50 N/mm²) ise katlar arası MF tutkalı kullanılan test örnekleri (B3) vermiştir. Uludağ göknarı ağaç türünde PU tutkalı, sarıçam ağaç türüne göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sarıçam örneklerinde ise silan astar ve PU tutkalı bir arada kullanımı direnci arttırdığı görülmüştür.

Eğilmede makaslama direnci ve elastikiyet modülü sonuçlarında 96x7,5x6 cm ebatlarında toplamda 50 adet TAM örnek üzerinde deneyler yapıldı. Yapılan deneylere bakıldığında en yüksek değeri üç kat masif, katlar arası PU tutkallı kullanılan kontrol test örnekleri (A1) vermiştir (86,06 N/mm²). Bir tabakası ısıl işlemlili çam ve diğer tabakaları sarıçam olan deney örneklerinde, en yüksek değeri (62,26 N/mm²) katlar arası PU tutkalı ve silan yüzey

koşullandırıcı astar kullanılan örnek (A4), en düşük değeri (43,27 N/mm²) ise katlar arası MF tutkalı ve silan yüzey koşullandırıcı astar kullanılan örnek (A5) vermiştir.

Bir tabakası ısıtılmalı işlemli çam ve diğer tabakaları Uludağ göknarı olan deney örneklerinde, en yüksek değeri (52,15 N/mm²) katlar arası PU tutkalı kullanılan test örneği (B2), en düşük değeri (35,23 N/mm²) ise katlar arası MF tutkalı kullanılan test örnekleri (B3) vermiştir. Sarıçam ağaç türünde PU tutkalı ve silan yüzey koşullandırıcı astar, Uludağ göknarı ağaç türüne göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda çıkan sonuçlara bakıldığında, ÇLK ve TAM kirişlerinde PU tutkalı her iki ağaç türü için MF tutkalından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Silan yüzey koşullandırıcı astar ile PU tutkalı bir arada kullanıldığında direncin arttığı sonuçları ortaya çıkmıştır. Isıl işleme tabi tutulan malzemelerin kullanıldığı testlerin mekanik özelliklerine bakıldığında dirençte azalmalar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise, ısıtılmalı işlem uygulanan ahşabın hücre çeperlerinde daha az bağlı su kaldığından daha az higroskopik oluyor bu durumda ahşabı daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilediğini belirtmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, TAM ve ÇLK yapı malzemesinin üretimleri sırasında PU tutkalı ile bir arada silan astar kullanıldığı zaman dayanımı yüksek ve yük taşıma potansiyeli olan ahşap panel sistemleri elde edilebileceği sonuçlarına varılmıştır. Silan yüzey koşullandırıcı astarın TAM ve ÇLK üretiminde kullanımının mümkün olabileceği görülmüştür.

Bu çalışma ile Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan ÇLK strüktür malzemesi ile ülkemizde çok az kullanılmakta olan ve pek bilinmeyen TAM strüktür malzemesini ülkemize tanıtmak, diğer yapı malzemelerine göre daha avantajlı, düşük maliyetli, sağlıklı olduğunu ve yapılarda kullanılabilirliği hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

Beton yapıların ağırlığına oranla yük taşıma, ısıyı izole etme özelliği, enerji tüketiminin az oluşu ve betonarme yapılara göre kısa sürede inşa edilmesinden dolayı ahşap yapı sektörü daha uygun kılınmaktadır. Ahşap malzemelerin yenilenebilir bir malzeme olması diğer malzemelere göre çok önemli bir özelliğidir.

Uludağ göknarı ve sarıçamın ülkemizde sürdürülebilir olduğu için kullanımını arttırılarak ülkemize hem ekonomik katkı sağlanarak hem de dışa bağıllık azaltılabilir.

Ülkemiz deprem bölgesinde yer aldığından dolayı betonarme yapılarla aynı yükleri taşıyabilen daha sağlıklı, ekonomik ve en önemlisi depreme daha dayanıklı olan ahşap yapı sektörüne yönelme gerekmektedir.

Isıl işleme tabi tutulan ahşap malzemeler, görselin önemli olduğu, dış hava koşullarına dayanıklılık ve stabilite istenilen yerlerde kullanılması daha uygundur.

KAYNAKLAR

- Alvarez, M. (2007). The State of America's Forests. Bethesda, MD: Society of American Foresters. Bethesda. pp.68.
- Anonim. 1994. Product and Application Guide; Glulams, American Wood Systems (AWS), Form No:EWS-Q455A, Tacoma
- Akkemik, Ü. (2007). Dendroloji (Dendroloji, Odunsu Bitkiler be Birki Materyali Dersleri İçin) Ders Notları, İstanbul, 26s.
- Boonstra MJ 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Universite Henry Poincare - Nancy 1, 297 p. ISBN 978-90-5989-210-1.
- Brandner, R. (2013). Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. in Focus Solid Timber Solutions- European Conference on Cross Laminated Timber (CLT). 21 May 2013. Graz, Austria: University of Bath, Bath, pp. 3-36,
- Bowyer, J., D. Briggs, L. Johnson, B. Kasal, B. Lippke, J.Meil, M. Milota, W. Trusty, C. West, J. Wilson, Winistorfer. P. (2001). Corrim: A report of progress and aglimpse of the future. Forest Prod. J. 51(10):10-22.
- Ceccotti, Ario; Sandhaas, Carmen; Okabe, Minoru; Yasumura, Motoi; Minowa, Chikahiro; Kawai, Naohito, 2013, "SOFIE Project-3D Shaking Table Test On A Seven-Storey Full-Scale Cross-Laminated Timber Building", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, cilt:42, sayı:13, John Wiley & Sons Ltd, New York, ss.2003–2021.
- Chugg, W.A. 1964. Glulam: The Theory and Practice of the Manufacture of Glued Laminated Structures, Benn, London, 423 s.
- Eliçin, G. (1971). Türkiye sarıçam (Pinus Sylvestris L.)'larında morfogenetik araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, no: 180, İstanbul
- Espinoza, O. (2015). Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe. BioResources, 11(1), 281-295.
- Fengel, D. and Wegener, G. 1989. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De, Germany
- Gagnon, S., Pirvu, C. (2012). Cross-laminated timber (ÇTK) handbook. FPInnovations, Vancouver, Canada. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations. pp. 594.
- Gavrić, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A. (2015a). Cyclic Behavior of CLT Wall Systems: Experimental Tests and Analytical Prediction Models. Journal of Structural Engineering, 141:11.

- Gavrić, I., Fragiacomio, M., Ceccotti, A. (2015b). Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73:2, 179-191.
- Güzel, N., Yesügey, S. C. (2015). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar. *Mimarlık*, 382, 60-65.
- Head, P., Arup, T. (2008). Entering the ecological age: the engineer's role. 7th Brunel International Lecture. ICE: London. pp. 2-9.
- Johansson, D 2005. Strength and Colour Response of Solid Wood to Heat Treatment, Licentiate Thesis, Lulea University of Technology, Department of Skelleftea Campus, Division of Wood Technology, Skelleftea-Sweden, ISSN 1402-1757 / ISRN LTU-LIC--05/93--SE / NR 2005:93
- Kamdern, D.P., Pizzi, A., Jermannaud, A.,(2002). Durability of heattreated wood. *Holz als Roh-und Werkstoff* 60, 1–6.
- Kurt, R. 2002. Applications of Fiber Reinforced Plastics (FRP) for Glued Laminated Timber (glulam). IV. GAP Engineering Conference (6-8 June), Sanliurfa.
- Laguarda Mallo, F., Espinoza, O. (2014). Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States *BioResources*, 9(4): 7427-7443.
- Lepage, R. (2012). Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates. MSc Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada
- Mataracı, T. (2002). Doğa Severler İçin Rehber Kitap (Ağaçlar), Marmara Bölgesi Doğal Egzotik Ağaç ve Çalıkları, TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul, 371 s.
- Mayes, D., Oksanen, O., 2002, ThermoWood Handbook, Finnforest, Finland
- Mengelöglü, F. ve Kurt, R., 2004. Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler Tabakalanmış Kaplama Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM). *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 39-44.
- Mohammad, M., Douglas, B., Rammer, D., Pryor, S. E. (2013). Chapter 5: Connections Connections in cross-laminated timber buildings. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) *CLT handbook: cross-laminated timber*. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations. pp. 60-77.
- Nelson, S., (1997). Structural Composite Lumber. In: *Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users*, PFS Research Foundation, Madison, pp.147–172.
- Özalp, M., Atılgan, A., Esen, Z., & Kaya, S. (2009). Comparing the resistance and bending in the plywood which each made with different glues. *Journal of the institute of science and technology of Dumlupınar University*, 18, 99-104.

- Örs, Y., ve Keskin, H., (2002). Lamine Masif Karaçam (*Pinus nigra* var. *Pallasiana*) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri ve Kullanım İmkanları. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(3), 699-707.
- Öztürk, R.B., ve Arıoğlu, N., (2006). Türk Sarıçamından Lamine Ahşap Kirişlerin Mekanik Özellikleri, İTÜ dergisi, mimarlık, planlama, tasarım, 5(2), 25-36.
- Pagnoncelli, L., Morales, F. (2016). Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation. EuroRegio 2016, June 13 -15, Porto, Portugal pp:1-8.
- Percin, O., Peker, H., & Atilgan, A. (2016). The effect of heat treatment on the some physical and mechanical properties of beech (*Fagus orientalis lipsky*) wood. *Wood Research*, 61(3), 443-456.
- Pogrebnoy, I.O., Kuznetsov V.D. (2008). Non-nogging prestressed building frame with flat-slab deck. *Magazine of Civil Engineering*, 3 (13): 5–12.
- Polastri, A., Giongo, I., Angeli, A., Brandner, R. (2017). Mechanical characterization of a pre-fabricated connection system for cross laminated timber structures in seismic regions. *Engineering Structures*, 27 (4): 502-511.
- Polastri, A., Giongo, I., Angeli, A., Brandner, R. (2018). Mechanical characterization of a pre-fabricated connection system for Cross Laminated Timber structures in seismic regions. *Engineering Structures*,t 167:705–715.
- Serrano, Erik, 2009, “Documentation of the Limnologen Project, Overview and Summaries of Sub Projects Results”, School of Technology and Design Reports, no:56, Växjö University, Växjö, İsveç. [Inu.diva-portal.org/smash/get/diva2:234455/FULLTEXT01.pdf](http://nu.diva-portal.org/smash/get/diva2:234455/FULLTEXT01.pdf) [Erişim: 09.06.2014]
- Smulski, S. 1997. Engineered Wood Products – A Guide for Specifier’s, Designers, and Users, PFS Research Foundation, Madison, 356 s.
- Tankut, N., Sözen, E. Ülkemiz Orman Endüstrisinde Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeleri ve Orman Varlığına Etkileri, 2014.
- Thiel, A. (2014). ULS and SLS Design of CLT and its implementation in the CLT designer. COST Action FP1004, Focus Solid Timber Solutions, European Conference on Cross Laminated Timber, 2nd Edition, Graz, Austria, pp. 77 -102.
- TS EN 310, (1999). Ahşap esaslı levhalar- eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini. TSE.
- Uibel T., Blaü H. J., (2007). Edge joints with dowel type fasteners in cross-laminated timber. Proceedings of the CIB Working Commission W18–Timber Structures. 40th meeting, 2007, Bled, Slovenia.
- URL-1 (2012). <http://www.novawood.com/referanslar/>, (26.10.2012)

- URL-2 (2018). <https://www.oikiacy.com/en/products/timber/glued-wood-laminates-gluelam.html>, (23.08.2018).
- URL-3 (2010). <http://www.lanik.com/en/centro-comercial-sanchinarro>, (11.12.2010).
- URL-4 (2017). <https://www.ahsapkarkas.com/projeler/gunumuz-ahsap-yapi-projeleri/canakkale-seramik-genel-mudurluk-binasi-levent/>, (31.12.2017).
- URL-5 (2018). <https://insapedia.com/capraz-lamine-ahsap-teknolojisi-clt-cross-laminated-timber/>, (22.08.2018).
- URL-6 (2009). <https://woodawards.com/portfolio/the-stadthaus/>, (06.04.2009).
- URL-7 (2009) <http://www.martinsonstra.com/default.aspx?id=3699&unitid=5&ptid=7564>, (10.11.2009).
- URL-8 (2012). <https://www.themodernhouse.com/past-sales/whitmore-road/>, (03.12.2012).
- URL-9 (2012). <https://www.thefifthestate.com.au/articles/clt-could-spark-local-manufacturing-industry/>, (09.15.2012).
- Viitanen, H., Jämsä, S., Paajanen, L., Nurmi, A. and Viitaniemi, P. 1994. The effect of heat treatment on the properties of spruce, A preliminary report, International Research Group on Wood Preservation, 03 – 06 May, Doc. No. IRG/WP 94-40032, Nusa Dua, Bali, Indonesia.
- Viitaniemi, P., New properties for thermally-treated wood. *Indust Horizons*. March, 9, 2000.
- Yalıtırık, F. (1993). ‘‘İğne Yapraklılardan: Göknarlar’’, *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, Sayı 313, 18 s.
- Yildiz S. 2002. Physical, mechanical, technological, and chemical properties of *Fagus orientalis* and *Picea orientalis* wood treated by heating. PhD thesis, Blacksea Technical University, Trabzon, Turkey, p 245
- Zumbrunnen, P., Fovargue, J. (2012). Mid-rise CLT buildings, the UK’s experience and potential for Australia and New Zealand. *Proceedings, 12th World Conference on Timber Engineering, WTCE 2012, Auckland, New Zealand*, pp. 91-98.

BİBLİYOGRAFYA

- Akkılıç, H., Kaymakçı, A., Ünsal, Ö. (2014). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli, *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 3-4.
- Aydemir, D., Gündüz, G. (2009). Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 11(15), 61-70.
- Ceccotti, A., Lauriola, M.P., Pinna, M. ve Sandhaas (2006). sofie project - cyclic tests on cross-laminated wooden panels. WCTE 2006 - 9th World Conference on Timber Engineering - Portland, OR, USA - August 6-10, 2006).
- Çavuş, V. (2008). I-214 (*Populus X euramericana*) melez kavak klonundan fenol formaldehit ve üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş paralel şerit kerestelerin (PŞK) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş*, 7-8.
- Çavuş, V. 2019 Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemelerde Yükselen Trend; Çapraz Tabakalanmış Kereste. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2).
- Çepel, N., 1977. Türkiye'nin önemli yetişme bölgelerindeki saf sarıçam ormanlarının gelişimi ile bazı edafik ve fizyografik etkenler arasındaki ilişkiler İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, İ.Ü. Sayı No: 2, O.F. Cilt No: 26, İstanbul,
- Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar, Mimarlık Dergisi, sayı:382 2015.
- Güray, A., Kilic, M., Doğru, G., & Özer, M. (2003). Meşe (*Quercus Robur L.*) Odunun'dan Üretilen Lamine Ağaç Malzemedeki Kuvvet Yönü ve Tutkal Türünün Eğilme Direncine Etkileri. *Teknoloji*, 6.
- Hekimoğlu, V. 2014. Göknar ve sarıçam odunlarından nanokil ilaveli çapraz lamine kereste üretim olanaklarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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., 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.
- Korkut, S., Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- Mengeloğlu, F., & Kurt, R. (2004). Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler 1 Tabakalanmış

Kaplama Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM). *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 39-44.

- Özan, Z. E. (2017). Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin çapraz lamine kereste üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 91 s
- Özalp, M., Atılğan, A., Esen, Z. ve Kaya, S. (2009). Kontrplaklarda eğilme direncine tutkal türünün etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18: 99 -104.
- Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F. Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi Effects Of Heat Treatment On Technological Properties Of Wood. 2009
- Öztürk, H , Birinci, A , Demirkır, C . (2017). Yapısal Ahşap Ürünlerinin Isı Yalıtım Özellikleri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (3), 522-527. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/duzceitbd/issue/33124/364511>
- 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., Bonfond, 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.
- Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M. ve Militz, H. (1998). Thermal modification of non-durable wood species2. Improved wood properties of thermal treated wood. In *Proceedings of 29th Annual meeting, Maastricht- The Low Countries, 14-19 May, Doc. No. IRG/WP/98-40124.*
- 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.
- Yesügey, C., (2010) Tutkallı Tabakalı Ahşap Strüktürlerin Malzeme Özellikleri Yönünden İncelenmesi, *Ulusal Yapı Malzemesi Kongre ve Sergisi, 2010*
- Yılmaz, F. (2018). Ahşap H2O kirışlerin üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa GÜLCEMAL
Doğum Yeri ve Tarihi : Çubuk / 01.01.1994

Eğitim Durumu

Ön lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu,
Mobilya ve Dekorasyon Bölümü
Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi/ Orman Endüstri
Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman
Endüstri Mühendisliği A.B.D, Odun Mekaniği ve
Teknolojisi Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (orta)
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Onat S.M., Gülcemal M. ve Kavkav Y. OSB Gövdeli
Ahşap Masif Başlıklı I-Kirişlerde Yıllık Halka ve Kesit
Alanının Eğilme Özelliklerine Etkisi. 4th International
Multidisciplinary Studies Congress, pp: 411-418. 18-19
October 2018. Kyrenia/Turkish Republic of Northern
Cyprus.
Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar : Liva Mob. Üretim Bölümü/Ankara (2012), Liva Mob.
Tasarım ve Planlama/Ankara (2013).
Projeler ve Kurs Belgeleri :
Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi : Mustafagulcemal3@gmail.com

Tarih : 06/09/2019 (Tez Savunma Tarihi)