

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Abdullah Uğur BİRİNCİ Tarafından Hazırlanan**

**KARADENİZ BÖLGESİ YERLİ AĞAÇ TÜRLERİNDEN ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT)
ÜRETİMİ VE OPTİMUM ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

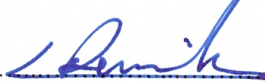
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 30 / 04 / 2019 gün ve 1802 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Semra ÇOLAK



Üye : Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR



Üye : Doç. Dr. Tufan ÇAKIR



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Yüksek Lisans programı kapsamında hazırlanan “Karadeniz Bölgesi Yerli Ağaç Türlerinden Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Üretimi ve Optimum Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmada; Türkiye’de yerli ağaç türlerinden üretilen çapraz lamine ahşap (CLT) malzemelerin ahşap yapılarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen veriler ile Türkiye koşullarında Karadeniz Bölgesi yerli ağaç türlerinden üretilen CLT levhaların depreme dayanıklı ahşap yapı tasarımında kullanılması için gerekli optimum üretim parametrelerinin belirlenerek endüstri ve sanayinin kullanımına sunulması amaçlanmıştır.

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın her aşamasında bilgi, destek, tavsiye ve yakın ilgilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR’a yapıcı eleştirileri ile katkıda bulunan bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım hocalarım Sayın Prof. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU, Prof. Dr. Semra ÇOLAK ve Prof. Dr. İsmail AYDIN’a ve deprem performansı çalışmalarımında yardımcı olan Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK ve Arş Gör. Fatih Yesevi OKUR’a; yapay sinir ağlarıyla modellenmesinde ise Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN’e yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmamın her aşamasında yanımda olan önerileri, ilgi ve destekleri ile çalışmamı kolaylaştıran, Öğr. Gör. Dr. Hasan ÖZTÜRK’e, Arş. Gör. Dr. Aydın DEMİR’e ve Orman Endüstri Mühendisi Okan İLHAN ile tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez TÜBİTAK 2170081 nolu projenin sağladığı destekle tamamlanmış olup, TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda bana her türlü maddi ve manevi desteği veren; aileme de müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Abdullah Uğur BİRİNCİ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karadeniz Bölgesi Yerli Ağaç Türlerinden Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Üretimi ve Optimum Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR’ in sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/05/2019

Abdullah Uğur BİRİNCİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Ahşap Mühendislik Ürünleri	3
1.3. Ahşap Mühendislik Ürün Çeşitleri	6
1.3.1. LVL (Tabakalanmış Kaplama Kereste).....	6
1.3.2. LSL (Tabakalanmış Şerit Kereste)	7
1.3.3. PSL (Paralel Şerit Kereste).....	8
1.3.4. Ahşap I-Kirişler	9
1.3.5. Glulam (Yapıştırılmış Lamine Kereste)	10
1.3.6. CLT (Çapraz Lamine Kereste)	12
1.3.6.1. CLT'nin Dünyadaki Üretimi ve Kullanım Alanları	15
1.3.6.2. CLT'nin Yapısal Kullanımda Sağladığı Avantajlar	17
1.3.6.2.1. Kullanım Ömrü ve Boyutsal Stabilizasyon	17
1.3.6.2.2. Tasarım Esnekliği	19
1.3.6.2.3. Yapım Hızı.....	20
1.3.6.2.4. Deprem Dayanımı.....	21
1.3.6.2.5. Isıl İletkenlik.....	21
1.3.6.2.6. Yangın Dayanımı.....	23
1.3.6.2.7. Çevresel Etki.....	24
1.3.6.3. CLT (Çapraz Lamine Kereste) Üretimi.....	26
1.3.6.3.1. Kereste Seçimi	26
1.3.6.3.2. Kereste Tasnif.....	27

1.3.6.3.3.	Kerestelerin Parmak Birleştirme ile Birleştirilmesi.....	27
1.3.6.3.4.	Kerestelerin Planyalanması ve Boyutlandırılması.....	29
1.3.6.3.5.	CLT Tabaka Oluşumu	29
1.3.6.3.6.	CLT Taslak Hazırlama ve Tutkallama	31
1.3.6.3.6.1.	CLT Üretiminde Kullanılan Tutkal Türleri	31
1.3.6.3.6.1.1.	Fenol Resorsinol Formaldehit (PRF).....	32
1.3.6.3.6.1.2.	Tek Bileşenli Poliüretan (PUR).....	32
1.3.6.3.6.1.3.	Emülsiyon Polimer İzosiyanat (EPI).....	33
1.3.6.3.6.1.4.	Melamin Formaldehit (MF).....	33
1.3.6.3.7.	Presleme.....	33
1.3.6.3.8.	Kenar Düzeltme	36
1.3.7	Dünyada CLT Yapı Örnekleri	39
1.4.	Yapay Sinir Ağları.....	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44
2.1.	Materyal	44
2.1.1.	Ağaç Malzeme	44
2.1.1.1.	Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i>) Odun Özellikleri.....	44
2.1.1.2.	Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i>) Odun Özellikleri.....	45
2.1.1.3.	Doğu Karadeniz Göknarı (<i>Abies nordmanniana</i>) Odun Özellikleri.....	46
2.1.2.	Tutkal	46
2.1.2.1.	Poliüretan Tutkalı	46
2.2.	Çapraz Lamine Kereste (CLT) Panellerin Üretimi	47
2.2.1.	Kerestelerin Seçimi ve Planyalanması.....	47
2.2.2.	Kerestelerin Rutubet ve Ortamın Sıcaklık Kontrolleri	48
2.2.3.	Tutkallama ve Taslak Oluşturma.....	48
2.2.4.	Presleme İşlemi.....	49
2.3.	Yöntem	50
2.3.1.	CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Deneysel Çalışmalar	50
2.3.1.1.	Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	50
2.3.1.2.	Liflere Paralel Basınç Direnci	51
2.3.1.3.	Yüzey Pürüzlülüğü	51
2.3.2.	CLT Panellere Ait Deneysel Çalışmalar.....	52
2.3.2.1.	Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	52

2.3.2.2.	Yoğunluk	53
2.4.	CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar	54
2.5.	Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi	56
2.6.	İstatistiksel Analiz	57
3.	BULGULAR.....	58
3.1.	CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Bulgular	58
3.2.	CLT Panellere Ait Bulgular.....	59
3.3.	CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneylere Ait Bulgular.....	61
3.4.	Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi	64
4.	TARTIŞMA.....	71
4.1.	CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Teknolojik Özellikler.....	71
4.2.	CLT Panellere Ait Teknolojik Özellikler	74
4.2.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	74
4.2.2.	Yoğunluk	76
4.3.	CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	77
5.	SONUÇLAR.....	88
5.1.	CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Teknolojik Özellikler.....	88
5.2.	CLT Panellere Ait Sonuçlar.....	88
5.3.	CLT Duvar Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Sonuçları.....	89
6.	ÖNERİLER.....	91
7.	KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KARADENİZ BÖLGESİ YERLİ AĞAÇ TÜRLERİNDEN ÇAPRAZ LAMİNE
KERESTE (CLT) ÜRETİMİ VE OPTİMUM ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

Abdullah Uğur BİRİNCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR
2019, 106 Sayfa

Bu çalışmada, günden güne pazar payı artan ahşap mühendislik ürünlerinden CLT'nin Türkiye'deki yerli ağaç türlerinden üretilmesi ve en uygun üretim şartlarının ortaya koyulacağı üretim parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ağaç malzeme olarak Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), Doğu Ladini (*Picea orientalis L.*) ve Gökmar (*Abies nordmanniana*), 2 farklı kereste kalınlığı ve iki farklı tutkallama şekli uygulanarak CLT paneller üretilmiştir. CLT üretiminde kullanılan kerestelerin eğilme direnci TS 2474, elastikiyet modülü testleri TS 2478, liflere paralel basınç direnci testleri TS 2595 ve pürüzlülük ölçümleri DIN 4768 standartlarına göre yürütülmüştür. Üretilen CLT panellere uygulanan eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri, ANSI/APA PRG 320 standardına göre yürütülmüştür. Çalışma kapsamında CLT duvar analizi testi ASTM E 72 standardına göre doğrusal yük altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yapay sinir ağları (YSA) modeli kurularak, çalışma kapsamındaki perde duvar gruplarının optimizasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak, Karadeniz Bölgesi yerli ağaç türlerinden CLT üretilebileceği ve önemli bir katma değer sağlayacak performansa sahip olduğu görülmüştür. Yapılan mekanik testler neticesinde yerli türlerden üretilen CLT ürünlerin Avrupa standartlarına uygun kalitede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz Bölgesi, Çapraz Lamine Ahşap, CLT Duvar, Yapay Sinir Ağları,

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF PRODUCTION AND OPTIMUM PRODUCTION
PARAMETERS OF CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) FROM NATIVE TREE
SPECIES IN THE BLACK SEA REGION

Abdullah Uğur BİRİNCİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cenk DEMİRKİR
2019, 106 Pages

In this study, the engineered wood products market share increasing from day to day CLT's the production of native tree species in Turkey and aimed to determine the production parameters to outline the optimal production conditions.

As wood material, Scots Pine (*Pinus sylvestris L.*), Eastern Spruce (*Picea orientalis L.*) and Eastern Black Sea Fir (*Abies nordmanniana*), 2 different timber thickness and two different gluing forms are applied and CLT panels are produced. The bending strength of the timber used in the production of CLT was TS 2474, the modulus of elasticity tests TS 2478, the pressure resistance tests in parallel with the fibers TS 2595 and the roughness measurements were conducted according to DIN 4768 standards. Bending strength and modulus of elasticity tests applied to CLT panels were conducted according to ANSI / APA PRG 320 standard. CLT wall analysis test was performed under linear load according to ASTM E 72 standard. In addition, artificial neural networks (ANN) model has been established and the CLT wall groups in the scope of the study have been optimized. As a result, it is seen that CLT can be produced from indigenous tree species in the Black Sea Region and has a performance that will provide a significant added value. As a result of the mechanical tests, CLT products produced from domestic species were found to be in compliance with European standards.

Key Words: Black Sea Region, Cross Laminated Timber, CLT Wall, Artificial Neural Networks

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ahşap mühendislik ürünleri.....	6
Şekil 2. LVL örnekleri	7
Şekil 3. LSL örnekleri.....	8
Şekil 4. PSL örnekleri	9
Şekil 5. Ahşap I kiriş örnekleri	10
Şekil 6. Yapıştırılmış lamine kereste (Glulam) uygulama alanları.....	12
Şekil 7. 5 Tabakalı CLT örneği ve enine kesiti	14
Şekil 8. Yıllara göre CLT üretim miktarları	15
Şekil 9. 2017 yılı itibarıyla, CLT üretiminin, Avrupa ülkeleri arasındaki dağılımı ve dünyadaki CLT üretici firmaları	16
Şekil 10. CLT'nin çeşitli yapı elemanları olarak kullanımı.....	17
Şekil 11. CLT yapı örnekleri	18
Şekil 12. CLT tasarım örnekleri.....	19
Şekil 13. Yangın testi sonrası CLT	24
Şekil 14. Dikey ve yatay derzli parmak birleştirme.....	28
Şekil 15. Kenar tutkallı CLT tabakası.....	30
Şekil 16. CLT'de kenarları yapıştırılmış tabakalar ve kenar yapıştırmasız şişme ve daralmadan kaynaklanan kontroller.....	31
Şekil 17. Hidrolik pres	35
Şekil 18. Pnömatik pres	35
Şekil 19. Vakumlu pres ve tutkallama makinesi.....	36
Şekil 20. CLT tabakalarına vakum pres uygulaması	36
Şekil 21. Pres sonrası CLT son hali	37
Şekil 22. Çoklu işlem merkezi	38
Şekil 23. Çoklu işlem örnekleri	38
Şekil 24. Çoklu işlem sonrası CLT bitmiş hali	38
Şekil 25. Murray Grove, Bridport House, Wenlock Cross, Dalston Works.....	39
Şekil 26. The Tree, Forté	40
Şekil 27. British Columbia Üniversitesi Öğrenci Yurdu, HoHo	41

Şekil 28.	CLT panel taslağı ve en kesiti	49
Şekil 29.	Hidrolik lamine ahşap presi	49
Şekil 30.	Eğilme direnci test düzeneğı.....	51
Şekil 31.	Mitutoyo Surfrest SJ-301 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	52
Şekil 32.	CLT panellerin eğilme direnci test düzeneğı.....	53
Şekil 33.	Deneyset test düzeneğı şematik gösterimi.....	54
Şekil 34.	CLT duvarların zemine montelenmesi	54
Şekil 35.	CLT duvarın yer değıştirme ölçüm noktaları	55
Şekil 36.	Test sonucu elde edilen grafik	55
Şekil 37.	Eğilme direnci tahmin modeli YSA mimarisi	66
Şekil 38.	Maksimum kuvvet tahmin modeli YSA mimarisi.....	66
Şekil 39.	Yer değıştirme tahmin modeli YSA mimarisi	66
Şekil 40.	Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneyset sonuçların ilişki diyagramları	67
Şekil 41.	Test seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneyset sonuçların ilişki diyagramları	68
Şekil 42.	Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneyset sonuçların karşılaştırılması.....	68
Şekil 43.	Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneyset sonuçların karşılaştırılması.....	68
Şekil 44.	CLT üretiminde kullanılan kerestelerinin eğilme direnci.....	72
Şekil 45.	CLT üretiminde kullanılan kerestelerinin elastikiyet modülü	72
Şekil 46.	CLT üretiminde kullanılan kerestelerinin liflere paralel basınç direnci	73
Şekil 47.	Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri değişimi	74
Şekil 48.	Üretilen levhaların elastikiyet modülü değerleri değişimi.....	75
Şekil 49.	CLT panellerin ortalama yoğunluk değerleri	76
Şekil 50.	CLT duvarların maksimum kuvvet değerleri değişimi.....	77
Şekil 51.	CLT duvarların maksimum yer değıştirme değerleri değişimi	78
Şekil 52.	Deney esnasında 1. grupta meydana gelen deformasyonlar	79
Şekil 53.	Deney esnasında 2. grupta meydana gelen deformasyonlar	79
Şekil 54.	Deney esnasında 3. grupta meydana gelen deformasyonlar	80
Şekil 55.	Deney esnasında 4. grupta meydana gelen deformasyonlar	80
Şekil 56.	Deney esnasında 5. grupta meydana gelen deformasyonlar	81
Şekil 57.	Deney esnasında 6. grupta meydana gelen deformasyonlar	81

Şekil 58.	Deney esnasında 7. grupta meydana gelen deformasyonlar	82
Şekil 59.	Deney esnasında 8. grupta meydana gelen deformasyonlar	82
Şekil 60.	Deney esnasında 9. grupta meydana gelen deformasyonlar	83
Şekil 61.	Deney esnasında 10. grupta meydana gelen deformasyonlar	83
Şekil 62.	Deney esnasında 11. grupta meydana gelen deformasyonlar	84
Şekil 63.	Deney esnasında 12. grupta meydana gelen deformasyonlar	84
Şekil 64.	Duvarlara ait tipik yük-deformasyon eğrisi	85



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Poliüretan tutkalına ait bazı ürün karakteristikleri.....	47
Tablo 2. Çalışma kapsamında oluşturulan levha gruplarının tanıtımı	50
Tablo 3. CLT üretiminde kullanılan kerestelerinin teknolojik özelliklerine ait ortalama değerler	58
Tablo 4. CLT duvarların eğilme direnci ve elastikiyet modülü ortalama değerleri....	59
Tablo 5. CLT panellerin bazı mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları	59
Tablo 6. CLT duvarların yoğunluk ortalama değerleri	60
Tablo 7. CLT panellerin yoğunluk değerleri üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları.....	61
Tablo 8. 1 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	62
Tablo 9. 2 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	62
Tablo 10. 3 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	62
Tablo 11. 4 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	62
Tablo 12. 5 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	62
Tablo 13. 6 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	63
Tablo 14. 7 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	63
Tablo 15. 8 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	63
Tablo 16. 9 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	63
Tablo 17. 10 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	63
Tablo 18. 11 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	64
Tablo 19. 12 numaralı grup için elde edilen test sonuçları	64
Tablo 20. Tahmin modelinde kullanılan veriler ve tahmin modeli sonuçları.....	65
Tablo 21. Eğilme direnci tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları.....	69
Tablo 22. Maksimum kuvvet tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları	69
Tablo 23. Maksimum kuvvet tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları	69
Tablo 24. Duvarlara ait analiz sonuçları özeti	86

SEMBOLLER DİZİNİ

APA	Amerika Kontrplak Birliği (American Plywood Association)
ASTM	Amerikan Standartları (American Society of Testing Materials)
AWC	Amerikan Ahşap Konseyi (American Wood Council)
CNC	Bilgisayar Sayımlı Yönetim (Computer Numerical Control)
EN	Avrupa Standartları (European Norm)
EWP	Ahşap Mühendislik Ürünleri (Engineering Wood Product)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
FPAC	Kanada Orman Ürünleri Birliği (The Forest Products Association of Canada)
IECC	Uluslararası Enerji Koruma Kodu (International Energy Conservation Code)
MÜF	Melamin Üre Formaldehit
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ahşap tarih boyunca insan yaşamında önemli bir rol oynamıştır. Ahşap, eski zamanlardan beri hem inşaat hem de alet, silah ve mobilya üretimi için en önemli malzemelerden biri olmuştur. İlk zamanlardan itibaren, ahşap kullanımında; kalite, maliyet ve bulunabilirliğin yanı sıra kullanım amacı da dikkate alınmıştır (Youngs, 2009).

Ahşap binlerce yıldır çok yönlü ve kullanışlı bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çeşitli zamanlarda ve yerlerde inşa edilen yapıların tarzı ve dayanıklılığı, mevcut kerestenin türüne ve kalitesine, kullanım koşullarına, ayrıca ilgili kişilerin kültürüne ve yaşam biçimine bağlıdır. Kerestenin bol olduğu ormanlık bölgelerde sağlam duvarlar, ağaç gövdeleri veya ağır ahşaplardan yapılmıştır. Taş ve betonla yapılan yapı yaygınlaştıkça, beton formlar ve makaslar ve çatı destekleri gibi ek yapısal bileşenler için ahşap kullanılmıştır (Youngs, 2009).

Dünya ölçeğinde ahşap yapı ve yapısal ahşap malzeme pazarı hızlı büyüyen ve geleceği parlak bir pazar konumuna gelmiştir. Ahşap yapılar; hafif olması, sağlam olması, depreme dayanıklı olması, sağlıklı bir ortam sunması, yalıtımının yüksek olması, uzun ömürlü olması, mimari avantajlar sunması ve estetik görünümü gibi pek çok avantajı ile deprem bölgeleri başta olmak üzere her türlü yerleşim yerleri için uygun yapı türlerinden biri olduğunu göstermektedir. Ahşap yapılara olan ilginin artması ile yapılarda kullanılan yapısal ahşap malzemelerin çeşitliliğinde ve üretiminde artış olduğu görülmektedir. FAO verilerine göre Katma Değerli Ürünler kategorisinde bulunan Mühendislik ürünü ahşap malzeme pazarının; konut inşaatına (yeni inşaat, tamir ve yenileme) ve ofisler, okullar, restoranlar, mağazalar, depolar gibi konut dışı bina inşaatlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Mühendislik ürünü ahşap malzemeler, yüksek boyut stabilitesi, rijitliği ve yüksek dayanım özellikleri ile yapı maksatlı kullanım için bilinen kereste ürününden çok daha büyük boyutlarda kullanılabilir. Mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemeler içerisinde; Yapıştırılmış Lamine Kereste (Glulam), LVL (Tabakalanmış Kaplama Kereste), PSL (Paralel Şerit Kereste), LSL (Tabakalanmış Şerit Kereste), Çapraz Lamine Ahşap (CLT) gibi yapısal lamine ahşap malzemeler bulunmaktadır.

Çapraz Lamine Ahşap (CLT), masif ahşap elemanların farklı tabakalarda her bir tabakasının birbirine dik olacak şekilde tutkalla yapıştırılması ve belirli bir basınç altında preslenmesi ile üretilen sağlam bir ahşap yapı malzemesidir. Türkiye' de ahşap taşıyıcı sistemlerin yaklaşık 45 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde inşa edildiği, fakat betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkması ve gelişmesi ile birlikte ABD, Kanada, Japonya ve Avustralya gibi ülkelerin aksine ülkemizde ahşaptan uzaklaşıldığı belirtilmektedir (Doğangün vd., 2005). Deprem felaketleri nedeni ile pek çok can ve mal kayıpları yaşanan ülkemizde gelecekte de olası depremler nedeniyle benzer kayıpları yaşamamak için ahşap yapılara yönelik çalışmaların artması gerektiği düşünülmektedir (Demirkır, 2012).

CLT' nin dünyada kullanımı özellikle inşaat sektörüne sunduğu pek çok avantaj ve diğer birçok ahşap malzeme de olduğu gibi olumlu çevre etkilerinden dolayı hızla gelişmektedir. CLT üretimi yapan ve CLT' yi yapı maksatlı kullanan ülkeler kendi ağaç türleri için buldukları bölgesel şartları da dikkate alarak kendi standartlarını ve el kitaplarını geliştirmiş ve bu konuda önemli çalışmalar ortaya koymuşlardır. Ancak yapılan araştırmalarda geniş bir pazar potansiyeline sahip bu malzeme için ülkemizde yeterli üretim olmadığı düşünülmektedir. Ülkemizde gelişimi gittikçe hızlanan ahşap mühendislik ürünleri sektörü için, yerli türlerin kullanımı ile hammadde açısından dışa bağımlılığın azaltılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; günden güne pazar payı artan mühendislik ahşap ürünlerinden CLT' nin Türkiye'deki yerli ağaç türlerinden üretilmesi ve en uygun üretim şartlarının ortaya koyulacağı üretim parametrelerinin belirlenmesidir. Ayrıca yapısal davranış performans analizi ile üretilen levhaların duvar paneli olarak kullanılması durumunda gösterecekleri direnç belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında, ülkemizde yetişen ağaç türlerinden üretilen CLT duvarların yapısal davranışları üzerine deprem performansının etkisinin ortaya koyulduğu bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmanın özgün yanlarından biri olarak görülmektedir. Her bir üretim adımında yapılacak değişikliklerin etkisini belirlemek için yapılması gereken deneysel çalışmalar çok uzun zaman ve maliyet gerektireceğinden kurulan bir yapay sinir ağı modeli ile işgücü, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanarak optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

1.2. Ahşap Mühendislik Ürünleri

Ahşap mühendislik ürünleri, kereste, kaplama, kaplama şeritleri veya yongaların genellikle tutkalla bir araya getirilmesiyle üretilen ahşap ürünlerdir. Bu üretim süreciyle birlikte farklı büyüklükteki bina projeleri için, yüksek performanslı boyutsal stabilitesi daha iyi ürünler üretilebilmektedir. Büyük boyutlardaki yapısal ahşap mühendislik ürünleri, duvarlar, kolonlar ve kirişler gibi esas yapısal elemanlar olarak, çok katlı binalar ve köprü gibi binaların yapımında kullanılabilir (Manninen, 2014).

Ahşap mühendislik ürünleri, daha çok yüzey kaplamak için kullanıldığı İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana gelişmeye başlamıştır. Ancak, 1980'den sonra, özellikle Kuzey Amerika'da çeşitli amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. Hafif, güçlü ve büyük çaplı bağlantılı yapılara olan talep nedeniyle, ahşap mühendislik ürünleri bu sektör için geliştirilmiştir (American Wood Council, 2013). Son zamanlarda ortaya çıkan yenilikçi yöntemler ile yük taşıma derzlerinde, daha küçük ölçekli ahşap bile kullanılabilirliğini ve eskisinden daha büyük yapıların elde edilebileceği görülmüştür. Ahşap mühendislik ürünlerinden yapılan yapısal elemanlar günümüzde özellikle çok katlı binalarda, inşaat pazarlarının beton ve çelik tarafından domine edildiği Avrupa'da özellikle ilgi çektiği görülmektedir (Manninen, 2014).

Teknolojinin gelişmesi, artan malzeme çeşitliliği gibi insanların hayatını etkileyen değişimlerden etkilenerek farklı yapı üretim teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu tekniklerin ortaya çıkması belirli bir gelişim sürecinde meydana gelmiştir. İlk çağlardaki ilkel yapım sistemlerinden son zamanlarda tüm dünyada yaygın olarak tercih edilmeye başlanan prefabrik yapı sistemine kadar geçen sürede teknoloji, sosyal yaşam gibi birçok etkendeki gelişmeler her aşamada yapım tekniklerini etkilemiştir. Yapı üretim tekniklerini gelişim sürecine göre üç farklı sınıflandırma yapılmaktadır (Toğay, 2002). Bu yapı üretim teknikleri;

İlkel Yapı Üretim Tekniği: Yapı üretim malzemeleri bu üretim tekniğinde yakın çevreden toplanır ve çok az işlem görmüş veya hiç işlenmemiş halde kullanılmaktadır. Bu yapı sisteminde işlemlerin tümü şantiyede geçmektedir (Çobanoğlu, 1988).

Geleneksel Yapı Üretim Tekniği: Uzun yıllardan beri denenmiş, geleneksel yöntem ve yerel malzemelerin kullanılmasıyla üretilen sistemdir (Halıcıoğlu, 1999). Konvansiyonel yapım tekniği adı da verilen bu sistem, Türkiye'de konut inşaatlarında genellikle şantiye tekniklerini içermektedir. Bu teknikte;

- El işçiliği hakimdir
- Tüm temel işler şantiyede gerçekleştirilir
- Bazı yarı mamul yapı elemanları şantiyeye dışardan hazır halde getirilir
- İş bölümü yer almaktadır (Kaya, 1997).

Endüstriyel Yapı Üretim Tekniği: Endüstrileşmiş yapım tekniklerinde genel anlamda tasarım aşamasından itibaren bütün üretim aşamalarının planlanması, şantiyede iş gücünün ve çalışma süresinin minimuma indirilerek yapılması amaçlanmıştır. Bu yapım sistemleri yüksek teknoloji ve endüstrileşmiş üretim süreçlerinin bir arada kullanılmaları ile oluşan ve günümüzde sanayide gelişmiş ülkelerin yoğun olarak kullandıkları yapım tekniğidir. Yapının tüm malzeme girdilerinin ve yapım süreçlerinin (tasarım, bileşen üretimi, nakliye, montaj vb.) endüstrileştiği, makine ve organizasyon yoğunluğunun maksimum olduğu tekniklerdir (Halıcıoğlu, 1999).

Yapı alanında endüstrileşme; makineleşme, rasyonalizasyon ve prefabrikasyon kurallarının yapı ve yapı elemanlarına uygulanmasını gerektirir. Endüstrileşmiş üretimin temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Kaya, 1997):

- Kesintisiz ve sürekli bir üretim
- İş bölümü
- İşlemlerin sıralanması
- Tekrar eden işlemlerde uzmanlaşma
- Standartlaştırma
- Kaynak israfının azaltılması
- Makineleşme
- Yönetim işlevlerinin yerine getirilmesi

Prefabrikasyon: Endüstrileşme, bir üretim faaliyetinin gelişmişlik düzeyini belirten önemli göstergelerden birisi olarak kabul edilmektedir. İnşaat alanında ise endüstrileşmiş üretimin yapıldığı alan prefabrikasyondur. Prefabrikasyon, bir yapıyı oluşturan belli başlı parçaların, yapı elemanlarının tümünün veya bir bölümünün daha önce fabrika veya atölyede işlenerek yapım alanına getirilmesini ve orada birleştirilerek yapının kurulmasını öngören yapım tekniğidir. Belli parçaların tümü ya da bir bölümü daha önce fabrikalarda işlenerek yapım alanına getirilen ve orada birleştirilerek kurulan yapıya ise “prefabrik yapı” adı verilmektedir (Yıldırım ve Baş, 2001). Sistem genel olarak değerlendirilirken avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi gerekmektedir.

Yapı üretiminde prefabrikasyon teknolojisinin getirdiği bazı avantajlar şu şekilde

sıralanabilir (Bakış, 1995;, Konkur, 2000;, Nascor, 2001;, Mcrae, 2001);

- Optimal boyutlandırma ve üretimler ile malzeme, işçilik gibi unsurlardan tasarruf sağlanabilmekte ve özellikle yapı gereçlerindeki savurganlık önlenmektedir

- Teknolojik yapısı ve olanakları nedeniyle yapım süresi geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında çok kısadır.

- Sistemin fabrika ortamında denenerek sonuçlarının analiz edilmesi ve kusursuzluğundan emin olarak yapıda kullanılması mümkündür.

- Şantiyede geçen sürenin azlığına bağlı olarak kontrol dışı işlemler sınırlıdır. Üretim safhasında meydana gelen kusurlar en aza indirilmektedir.

- Tasarım esnekliği vardır. Mühendislik çözümleri kolaylıkla yapılabildiğinden ve işlenebilirlik özelliğinin yüksek oluşundan dolayı her türlü tasarım uygulanabilmektedir.

- Üretim fabrikada yapıldığı için ön üretim gerçekleştirilen elemanların standartlara uygunluğu sağlanabilmektedir. Böylece belirli bir kalite düzeyini yakalamak mümkündür.

- Zamanın kontrol edilebilirliği sebebi ile kaynak kullanımı daha verimli ve etkili olmaktadır.

Prefabrike modüller, ahşap çerçevelere sahiptir ve içeriği yüzeylere, elektrik tesisatlarına ve HPAC (ısıtma, sıhhi tesisat ve iklimlendirme) tekniklerine kadar tamamlanabilmektedir. Üretim süreçleri hızlı, standardize edilmiş ve fabrikalarda yüksek kalitededir (Bergström, 2004). Ayrıca, geleneksel çok katlı betonarme binaların baştan sona sahada monte edilirken, ahşap mühendislik ürünü tabanlı sistemler prefabrik olarak üretilebildiği için sadece saha montajları bina sahasında tamamlanmaktadır. Bu sebeple, ahşap binalar için şantiyede harcanan zaman çok katlı betonarme inşaat sektöründekine oranla sadece yarısı kadar olabilmektedir (Lehmann, 2012). Tüm bu avantajlar, maliyet tasarrufu sağlarken rekabet gücünü de artırmaktadır (Mahapatra & Gustavsson, 2009). Sonuç olarak; prefabrikasyonun, gelecekteki inşaatlarda önemli bir rol oynaması beklenmektedir (FPAC & FPInnovations, 2013). Mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemelerin sağladığı yenilikler ile ahşap çerçeveli çok katlı konstrüksiyon, beton ve çelik çerçevelerle rekabet edebilir hale gelmiştir (Manninen, 2014).

1.3. Ahşap Mühendislik Ürün Çeşitleri

Ahşap Mühendislik Ürünleri (EWP); kereste benzeri yapısal ürünler oluşturmak için kereste, kaplama veya şerit kaplamaların tutkal yardımıyla birleştirilmesi sonucu oluşan malzemedir. Yapı kerestesi olarak kullanılmak için tasarlanmıştır(URL 1).

Ahşap mühendislik ürün gruplarında çeşitli ürünler bulunmaktadır: LVL (Tabakalanmış Kaplama Kereste), LSL (Tabakalanmış Şerit Kereste), PSL (Paralel Şerit Kereste), Ahşap I-Kirişler, Glulam (Yapıştırılmış Lamine Kereste) ve CLT (Çapraz Lamine Ahşap)(URL 1, 2019).



Şekil 1. Ahşap mühendislik ürünleri

1.3.1. LVL (Tabakalanmış Kaplama Kereste)

Piyasada micro-lam olarak da bilinen LVL, kaplamaların liflerinin birbirine paralel olacak şekilde bir araya getirilip, uygun tutkallarla yapıştırılmasıyla üretilen yapısal levhalardır. Tarihte ilk olarak, 1940'larda uçak yapımında kullanılan parçalar için, yüksek dirençli LVL levhaları kullanılmıştır. 1970'lerde LVL ile ilgili araştırmalarda, 12,7 mm kalınlığa kadar kaplama için işlem değişkenlerinin etkilerini tanımlamaya çalışılmıştır. 1990'lı yıllardan beri, LVL üretimi, 2,5 -3,2 mm kalınlığında kaplamalar kullanılmış ve 2,4 - 18,3 m veya daha uzun levhalar üretilmiştir. Üretiminde en çok fenol-formaldehit tutkalları kullanılmıştır. Bugün ise, LVL, ahşap I-kirişlerde flanş olarak yaygın şekilde

kullanılmaktadır (Wood Handbook, 2010). A.B.D., Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Finlandiya, İsveç, Japonya, ve Endonezya'da daha fazla olmak üzere bir çok ülkede üretimi yapılmaktadır. Kuzey Amerika'daki yeni konut inşaatlarının yaklaşık %40'ında kullanılan Ahşap I-kirişlerin üretiminde birincil malzeme olarak LVL kullanılmaktadır. Türkiye de bazı kontrplak fabrikalarında bükme mobilya üretiminde kullanılmak üzere az miktarda üretilmektedir. Finlandiya'daki LVL fabrikasında bazı son kullanım amaçları için kaplamaların yaklaşık %20 si kadarı diğer kaplamalara dik olarak yerleştirilmektedir (Kerto-Q-LVL). Ancak kaplamaların paralel şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bükme mobilya üretiminde kullanılacak LVL'lerde katların lif yönünün paralel düzenlenmesi gerekir. Kaplamaların kalınlıkları 2,5 mm ile 6,4 mm arasında değişmektedir. Ancak genelde 3,0 –3,2 mm kalınlıklar kullanılmaktadır. LVL kalınlıkları ise normalde 19 – 45 mm arasında olup, fakat istenirse 89 mm kalınlığa kadar üretilir. LVL 1800 mm genişliğe kadar üretilmektedir. Uzunlukları ise 24 m ye kadar olabilmektedir (Çolakoğlu, 2010).



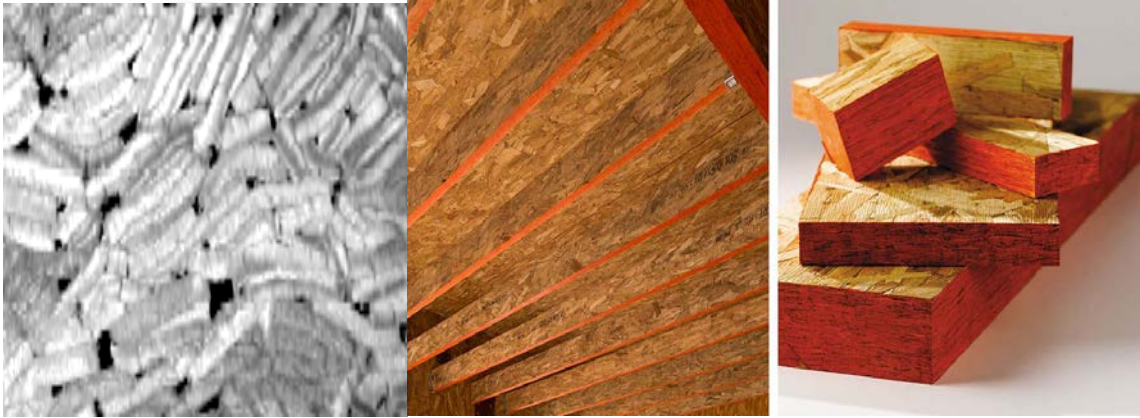
Şekil 2. LVL örnekleri

1.3.2. LSL (Tabakalanmış Şerit Kereste)

LSL, Kanada'da MacMillan Bloedel Limited tarafından geliştirilmiş tescilli bir üründür. 1990'lı yılların başında TimberStrand®LSL ticari adı altında tanıtılmış ve ticari olarak piyasaya sürülmüştür (Timber Engineering Book, 2003). LSL üretiminde amaç, sınırlı miktarda kullanılan ticari ağaç türlerinden faydalanılarak, bazı büyük boyutlu kereste ürünlerinin yerine kullanılacak malzemeyi oluşturmaktır (Barnes, 1988b).

Ahşap mühendislik malzemelerinden piyasaya çıkan en son malzemelerden biridir. Görünüş olarak daha çok OSB'ye benzetilmektedir. Fakat OSB'de kullanılan yonga

boyutlarından farklı olarak daha uzun şerit şeklinde kaplamalar kullanılarak üretilmektedir. LSL üretiminde kullanılan şerit kaplamaların uzunluğu 300 mm kadardır. Şeritlerin kalınlığı ise 0,7 mm ile 1,2 mm kadardır. Uzun şerit kaplamalar, son ürünün uzunluk yönüne paralel olarak dizilerek üretilmektedir. Bu nedenle LSL 'nin uzunluk yönündeki direnci yüksektir. Bu özelliklerinden ötürü konut ve ticari yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılabilir (Çolakoğlu, 2010). Birçok endüstriyel kullanımın yanı sıra, jant, ahşap doğrama ve pencere, kapı ve garaj kapısı gibi çok çeşitli uygulamalar için de kullanılırlar. Bu ürünün kullanım alanları, çerçeveleme elemanı yüksekliğinin uzun olduğu ve rüzgâr yüklerinin önemli olduğu ticari uygulamalarda, düşey elemanlar için artmaktadır (URL-2, 2019).



Şekil 3. LSL örnekleri

1.3.3. PSL (Paralel Şerit Kereste)

PSL, Kanada'da MacMillan Bloedel Limited tarafından geliştirilmiştir. 1986 yılında Parallam® PSL ticari ismi altında ticari tescilli bir ürün olarak piyasaya sunulmasından bu yana ürün, Kuzey Amerika'daki kereste konstrüksiyonunda önemli bir pazar payı kazanmıştır (Timber Engineering Book, 2003). Ticarete Parallam olarak bilinmektedir. ASTM D5456 – 99a (1999) standardına göre PSL, kaplama parçalarının lif yönleri birbirine ve ürünün uzunluk eksenine paralel olacak şekilde yapıştırılarak oluşturulmuş bir ahşap mühendislik ürünüdür. ABD'de iki ve Kanada'da bir fabrikada üretilmektedir (Çolakoğlu, 2010). 1970'lerde orijinal ürün konseptinde, PSL, sonunda daha büyük boyutlu masif biçimli kerestelerin yerine yapısal bir kompozit kereste ürünü oluşturmak için dal ve çalılar gibi orman atıklarını kullanmak için tasarlanmıştır. Pek çok denemeden ve on yıldan uzun bir

araştırma ve geliştirmeden sürecinden sonra, nihai ürün kavramı, yüksek mukavemeti olan yapısal kompozit kereste ürünü olarak PSL oluşturmak üzere, ısı ve basınç altında fenolik bazlı bir yapıştırıcı ile bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur (Timber Engineering Book, 2003).

PSL, direk ve kiriş yapımı için kirişler ve sütunlarda ve hafif çerçeve yapımı için kirişler, başlıklar ve lentolar için kullanılmaktadır. Yaygın olarak aşırı yüklenen sütunlar, yüksek eğilme dayanımı gerektiren kiriş ve başlık uygulamaları için tercih edilmektedirler. PSL, görünümünün önemli olduğu uygulamalar için oldukça uygun ve çekici bir malzemedir. Görünüşün önemli olmadığı gizli yapısal uygulamalar için de, uygun olduğu belirtilmektedir. PSL, koruyucu işlemleri ve çok yüksek bir penetrasyon derecesini kolayca kabul etmektedir ve bu nedenle empenye işlemleri için uygun bir malzeme olduğu ifade edilmektedir (URL-3, 2019).



Şekil 4. PSL örnekleri

1.3.4. Ahşap I-Kirişler

I harfi şeklindeki, ahşap I-kirişler flanş adı verilen iki yatay bileşen ve bir dikey bileşenden oluşmaktadır. Ahşap I kirişler, öncelikle döşemelerde çerçeveleme malzemesi olarak kullanılmış, bununla birlikte uzun ve yüksek yük kapasitesine ihtiyaç duyulan çatı kirişleri olarak da kullanılabilir. Keresteye alternatif olarak kullanılabilir. Ahşap I-kirişler, performansı ve çevresel faydaları nedeniyle inşaatlarda uygulamaları artırmıştır. İnşaatçıların ahşap I-kirişlerini seçmelerindeki sebepleri; standart boyutlarda üretimi olması, hafiflik ve uzun açıklık geçebilme kabiliyetidir. I şekli tasarımı, mühendislik mekaniği sayesinde yükleri taşımak için ahşabın en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Ahşabın verimli olarak kullanılması ancak, flanşlara gereken güç ve sertlikte daha fazla

malzeme yerleştirerek elde edilir. Flanşlar, LVL, LSL, OSL ve PSL gibi yapısal levhalardan oluşurken; bağlantılar, tipik olarak OSB veya kontrplaktan oluşmaktadır (American Wood Council, 2013).



şekil 5. Ahşap I kiriş rnekleri

1.3.5. Glulam (Yapıştırılmış Lamine Kereste)

retiminde 25,4 mm ile 50,8 mm kalınlıklarda kereste kullanılan (TS 3842'ye göre katların her birinin kalınlığı 47 mm'yi geçemez) malzemeye; yapıştırılmış tabakalı ağaç yapı elemanı, yapıştırılmış kereste (leimholz), yapıştırılmış lamine ahşap yapı elemanı, olarak adlandırılmaktadır (olakoğlu, 2010).

Genel olarak ‘‘Glulam’’ olarak adlandırılan yapıştırılmış lamine ahşap, kereste liflerinin birbirine paralel olarak hazırlanıp birbirine tutkal yardımıyla yapıştırılmasıyla oluşan yapısal bir ahşap mühendislik ürünüdür. Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'da, yapıştırılmış lamine ahşap, konut çerçevelerinde başlıklardan veya destek kirişlerinden, konut dışı binalardaki kirişler, sütunlar ve makas elemanları gibi büyük yapı elemanlarına kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Glulam, uzun düz kirişlerden karmaşık kavisli kemer konfigürasyonlarına kadar hemen hemen her istenen şekle ve boyutta üretilbildiği için, inşaatıya / mimara, sanatsal kavramlarını bir binada ifade etmek için istenilen özel gereksinimlerini sağlamaktadır. Glulam birçok mevcut ağaç türüyle retilbilmektedir. Genellikle Glulam retimi için am, ladin ve göknar gibi ağaç trleri kullanılmaktadır (Timber Engineering Book, 2003).

Glulam, ahşabın geleneksel sıcaklığını ve güzelliğini modern mühendislikle birleştirerek olağanüstü yapısal özelliklere sahip bir malzeme oluşturmaktadır. Glulamin bazı faydaları şunlardır:

- Çevre dostu: Ahşap, doğal olarak yenilenebilir bir kaynaktır. Ağaç ürünleri endüstrisi, sürdürülebilir ormancılık uygulamaları konusunda karardır. Kereste ve glulam gibi ahşap mühendislik malzemelerinin işlenmesinde çok az enerji kullanır, fosil yakıtların kullanımını ve atmosferimin kirlenmesini azaltır.

- Estetik: Ahşabın doğal yapısı gereği eşsiz bir güzelliğe sahiptir. Üretilen glulam, diğer yapı malzemelerine kıyasla rakipsiz olduğu sıcaklık ve güzellikte yapılar sunar.

- Güçlü ve sert: Glulam'ın üstün gücü ve sertliği, daha az sütun içeren daha büyük açıklıkta yapılara izin vermektedir. Glulam kirişler, çelikten çok daha güçlüdür.

- Boyutsal olarak karardır: Glulam laminasyon öncesi kurutulan küçük boyutlu keresteden üretilmiştir. Bu, geleneksel biçilmiş keresteden daha az kontrol, eğilme oluklaşma ve burulma anlamına gelir.

- Dayanıklı: Ahşabı kullanım yerine göre rutubet miktarı tasarlandığında, glulam uzun süre boyunca kullanılabilir. Ahşabı kuru tutmanın mümkün olmadığı durumlarda, yapının hizmet ömrünü en üst düzeye çıkarmak için basınç koruma özelliğine sahip ahşap veya doğal olarak dayanıklı bir türün öz odunları kullanılabilir. Glulam'da kullanılan yapıştırıcılar, uzun ömür sağlamak için su geçirmezdir. Odun ayrıca çoğu kimyasal maddeye karşı çok dayanıklıdır.

- Yangına dayanıklı: Glulam mükemmel yangın performansına sahiptir. Bina kodları, uygun şekilde tasarlanmış, açığa çıkan glulam üyeleri için bir veya iki saate kadar çıkan yangın derecesini tanıır. Glulam ayrıca yapı kurallarındaki Ağır Ahşap Yapı gereksinimlerini karşılamak için de kullanılabilir.

- Çok Yönlü Kullanım: Glulam, düz kirişlerden zarif, kavisli kemerlere kadar çeşitli şekillerde üretilir. Üretilen malzemenin boyutları sadece nakliye şartları ile sınırlıdır. Büyük montajlar için bileşenler bir tesiste üretilir, uzun mesafelerde taşınabilir ve şantiyelerde birleştirilebilir.

- Düşük Maliyet: Glulam sistemleri, yapının, yapısal bileşenleri kapsayacak şekilde yüksek maliyetli asma tavanlar olmadan tasarlanmasına ve inşa edilmesine olanak sağlar. Kurulum hızlı ve kolaydır, bu da şantiyelerde maliyetleri düşürür. Yüksek mukavemet ve dirençli malzemenin üretiminde ek maliyet tasarrufu için daha küçük parçalar kullanılabilir.

•Güvenilir: Glulam, ABD'de 75 yıldan uzun bir süredir başarıyla kullanılmaktadır. Avrupa'da, Glulam 100 yıldan uzun süredir başarıyla kullanılmaktadır. Amerikan Ahşap Yapı Enstitüsü'nün kalite programı, tanınmış endüstri standartlarına uygunluk için üretimin tüm aşamalarını denetleyerek tutarlı ve güvenilir ürün performansı sağlamaktadır (Timber Construction Manual, 2012).

Glulam üretim süreci, çok çeşitli şekil ve büyüklükte malzemenin üretilmesini sağlamaktadır. Glulam üretimi için kullanılan kereste ölçülerinin katları olan kerestenin optimum şekilde kullanılmasını sağlamak için standart boyutlar da geliştirilmiştir. Standart boyutlar tasarımcılara, ekonomi ve çok çeşitli tipik uygulamalar için uygun hızlı teslimat sunabilmektedir. Birçok Avrupa ülkesinde, glulam üretimi standart boyutlar ve uzunluklar olduğu için hızlıdır ve bu da diğer malzemelere göre rekabetçi fiyatlarla yüksek mukavemetli ahşap ürünler ortaya çıkarmaktadır. Standart olmayan boyutlar ayrıca üretici tarafından özel olarak sipariş edilebilmekte ve üretilebilmektedir (Timber engineering, 2003).



Şekil 6. Yapıştırılmış lamine kereste (Glulam) uygulama alanları

1.3.6. CLT (Çapraz Lamine Ahşap)

Amerikan Ulusal Standardı tarafından tanımlandığı gibi, 'Xlam' ve 'masif kereste' olarak da bilinen “Çapraz Lamine Ahşap” (CLT), en az üç ortogonal olarak bağlanmış tabakadan oluşturulmuş prefabrik bir masif ahşap paneldir. Diğer bir ifadeyle uzunlamasına ve enine tabakaların yapısal yapıştırıcılar ile yapıştırılmasıyla lamine edilmiş, çatı, zemin veya duvar uygulamaları için kullanılan dikdörtgen biçiminde düz bir kereste oluşturmak için lamine edilmiş yapısal bir ahşap malzemedir (ANSI / APA, 2012).

Genellikle, bir CLT paneli lifleri birbirine dik olarak preslenmiş ve yapısal yapıştırıcılar ile yapıştırılmış veya daha az yaygın olarak dübel veya çivilerle mekanik

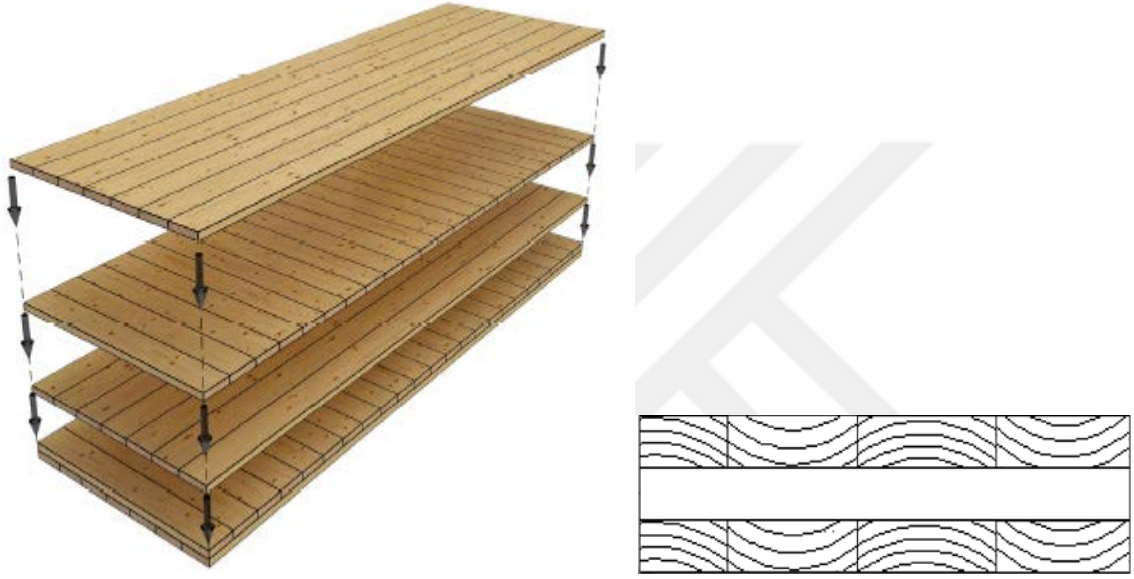
olarak bağlanmış tek sayıdaki tabakadan (3, 5, 7 veya daha fazla) oluşmaktadır. Uygulamaya bağlı olarak, dış tabaka oryantasyonu değişebilir (Gagnon vd., 2013). Duvar olarak kullanılan paneller genellikle duvarın dikey yük kapasitesini en üst seviyeye çıkarmak için, yerçekimi yüklerine paralel olarak boyuna yönde olacak şekilde tasarlanmaktadır (Gagnon vd., 2013).

İnsanlar tarafından yenilenebilir ve doğal malzemelerden biri olarak kullanılan ahşabın, yapılarda tanımı ve uygulamaları günden güne artmaktadır. Son 30 yılda Avrupa'daki yapılarda lamine ahşap kullanma oranında kayda değer bir artış görülmüştür. Bu artış, sadece glulam (Yapıştırılmış Lamine Kereste) kullanımında değil, paneller şeklinde üretilen ülkemizde çapraz lamine ahşap olarak bilinen CLT (Cross Laminated Timber) kullanımında da görülmüştür. Bu tür yapısal ahşap ürünler, inşaat piyasasında ortaya çıktığı andan itibaren, kitlesel ölçekte hızla kullanılmaya başlanmış ve Avrupa'da, özel ve kamu sektörlerindeki inşaatlar için standartlaştırılmıştır. Paneller şeklinde imal edilen CLT, tabakaları birbirlerine göre dik şekilde yerleştirilerek oluşturulan, çok tabakalı bir ahşap levhadır. Bu üretim şekli, nihai malzemenin rijitliğinin ve stabilitesinin uygunluğunu sağlamaktadır. CLT panelleri genellikle üç ila yedi tabakadan oluşur; tipik olarak orta tabakaya simetrik olarak yerleştirilmiş tek sayıda tabaka bulunmaktadır. Üreticilerin üretim alanlarına ve taşıma şartlarına bağlı olarak boyutlar değişiklik göstermektedir. Ticari firmalar, 2,40m ve 3,00m genişlikte 12m'den 20m'ye kadar uzunluklarda standart ölçüler sunmaktadır (Teibinger, 2013). Yapısal kerestelerin tek tek tabakaları arasındaki bağlantıların, stabiliteleri ve dirençleri, uygun tutkalların kullanılmasına bağlıdır. Geleneksel yapı malzemelerine kıyasla kullanılan kompozit ahşap malzemeler arasında CLT; birçok avantajla karakterize edilen bir üründür. Bunlardan en önemlileri:

- Üretimi için kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir tüketimi;
- Malzemeyi çevre dostu yapan enerji verimli bir üretim süreci;
- Mükemmel statik, mekanik ve yalıtım özellikleri;
- Bina yapısını geleneksel malzemelerden yapılan diğer yapılardan kıyaslanamayacak kadar hafif hale getiren hafiflik;
- Tüm yapı rejiminin kısa bir sürede tamamlanmasıyla sonuçlanan prefabrike elemanlar üretme olasılığı (Etkin maliyet yönü);
- Diğer yapı malzemeleriyle (çelik, cam, plastik vb.) kombine edilme olasılığı, maksimum mimari tasarım özgürlüğü;

- Yangın dayanımı

CLT'nin sağladığı avantajlar, uygulama alanlarını, tek katlı binalardan çok katlı konut binalarına, çok katlı kamu binalar, endüstriyel ve ticari binalara ve hatta köprü yapılarına kadar genişletmektedir (Wieruszewski ve Mazela, 2017). CLT duvar panelleri dinamik yüklere de dayanıklı olduğu Avrupa'da yapılan birçok testler ile kanıtlanmış ve CLT depreme karşı dayanıklı bir malzeme olarak nitelendirilmiştir (Ceccotti vd., 2010).

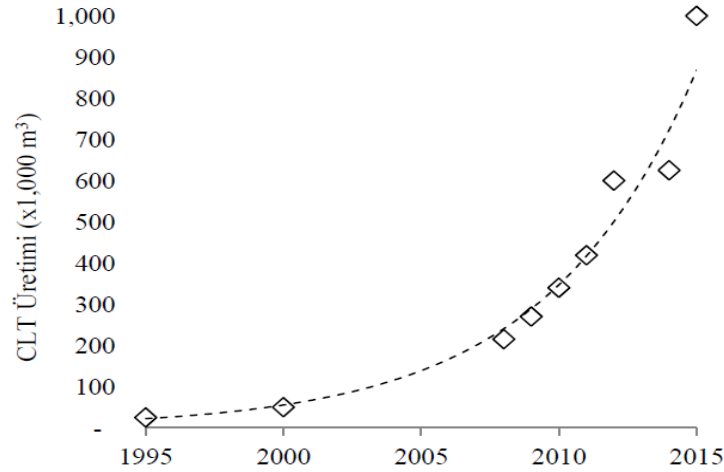


Şekil 7. 5 Tabakalı CLT örneği ve enine kesiti

Avrupa'da CLT kullanılarak bina yapımına başlandığında, temel olarak bir veya iki katlı evler gibi düşük kat sayısına sahip binaların inşası için kullanılmaktaydı. Tek katlı konutlarda CLT'nin artan popülaritesine rağmen, daha iddialı çok katlı projeleri gerçekleştirmek için sıkça kullanılmaktadır. Londra'da (2008) yedi katlı bir Stadthaus, Melbourne'da (2012) on katlı bir konut binası ve Bergen'de (2015) on dört katlı bir gökdelen gibi örneklerde bunu kanıtlamaktadır. En son proje ABD tasarım -Owings ve Merrill Company tarafından kırk iki katlı bir bina tasarlanmıştır. Bazı bölgelerde CLT'den yapılan binalar, gelişmiş deprem performanslarından dolayı daha çok ilgi görmektedir (Popovski, 2010; Pei vd.,2012).

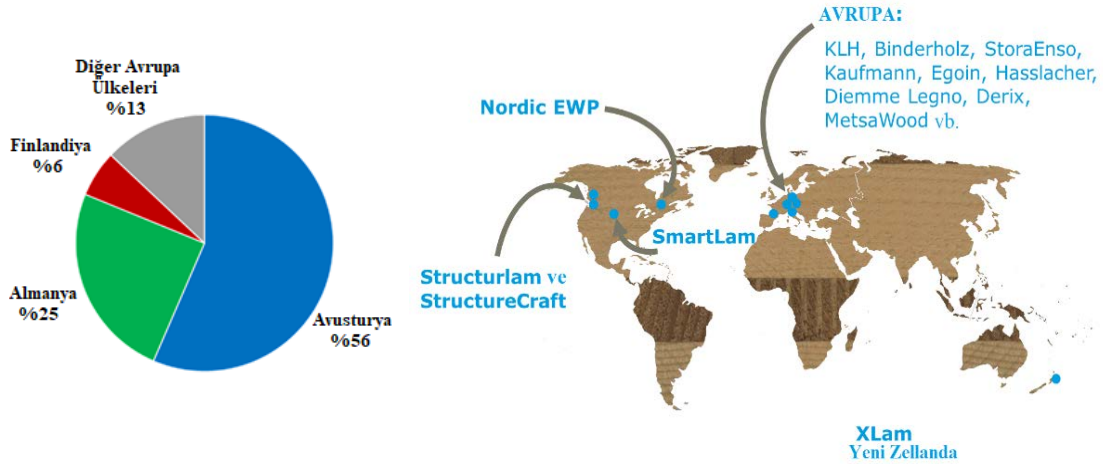
1.3.6.1. CLT' nin Dünyadaki Üretimi ve Kullanım Alanları

1990'lı yılların başında piyasaya girmesinden bu yana, CLT üretimi hızlı bir şekilde artmıştır. 2014 yılında 600.000 m³'ten daha fazla seviyeye çıkan yıllık küresel CLT üretimi, 2016 yılı ile birlikte, Finlandiya, Letonya, Japonya ve ABD gibi ülkelerde başlayan üretimler sayesinde bir milyon m³'e ulaşmıştır. (Plackner, 2015; Espinoza vd., 2016). Plackner'e (2015) göre, CLT üretimi önümüzdeki 10 yıl içinde potansiyel olarak 3 milyon m³'e ulaşacağı ve büyümenin, Batı Avrupa dışında gerçekleşeceği öngörülmektedir. Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Çin ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde CLT ile ilgili araştırma, geliştirme, üretim, kullanım ve standardizasyon alanlarında faaliyetler günden güne artmaktadır (Bradner vd., 2016). Şekil 8'de, 1995 ile 2018 yılları arasındaki CLT'nin üretim hacmi gösterilmiştir.



Şekil 8. Yıllara göre CLT üretim miktarları (x1000 m³)

Orta Avrupa'da, özellikle de 2015 yılı itibariyle küresel kurulu üretim kapasitesinin, %60'ını Avusturya, %17'sini Almanya ve %3'ünü İsviçre olacak şekilde toplamda, %80'ninin Almanca konuşan ülkeler tarafından oluşturulduğu görülmektedir (Plackner, 2015). 2017 yılı itibariyle CLT üretim miktarının, Avrupa'daki başlıca ülkelere göre dağılımının gösterimi Şekil 9'daki grafikte verilmiştir (URL-1, 2019). Dünyada en büyük CLT üreticilerinden olan Stora Enso, Avusturya'da 120.000 m³'lük bir üretimi, iki tesisinde yapmaktadır (Manninen, 2014). Bu firma dışında, dünyadaki diğer CLT üretici firmalarını gösteren harita yine Şekil 9'da verilmiştir (URL-2, 2019).

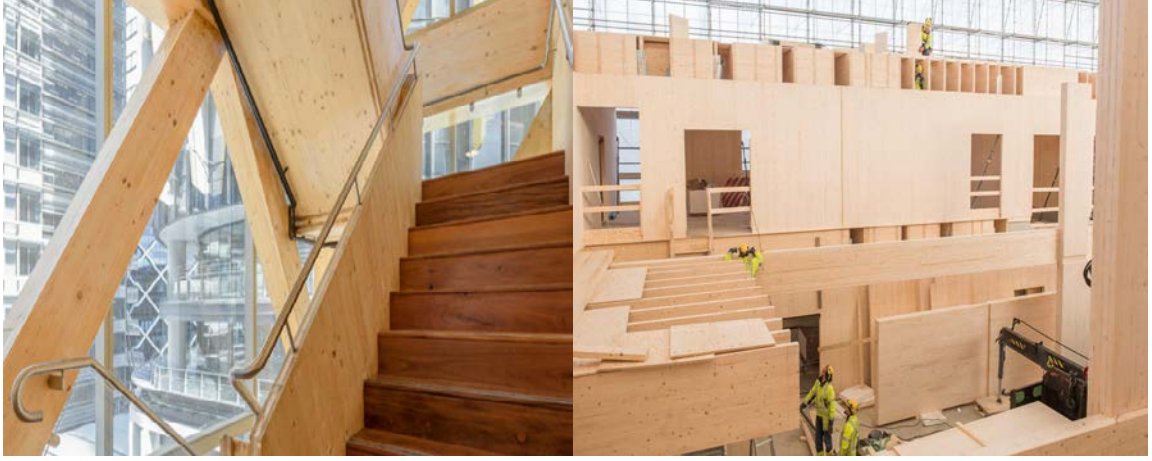


Şekil 9. 2017 yılı itibarıyla, CLT Üretimini, Avrupa ülkeleri arasındaki dağılımı ve dünyadaki CLT üretici firmaları

CLT, çok çeşitli yapısal elemanların yapımında kullanılabilir. Örnek olarak aşağıda sıralan kullanım alanları verilebilir;

- Yapısal ve yapısal olmayan duvar elemanları
- Beton temelli olan veya olmayan çok katlı yapılar
- Kaplamalı veya kaplamasız ara bölme elemanları
- Taban / tavan, balkon duvarı ve çatı elemanları
- Ön yalıtımlı duvar ve çatı kasetleri
- Destekli zeminler / balkonlar
- Taşıyıcı kolonlar
- Merdivenler

Glulam ve LVL gibi diğer ahşap ürünleri ile birleştirilen CLT, tamamen ahşaptan yapılan binaların yapımında çok önemli bir yapı elemanı olarak hizmet etme potansiyelini göstermektedir. CLT, yapı, çevre, ekonomi, fayda ve mimari tasarım açısından çok çeşitli avantajlar sunmaktadır. CLT, kavramsal olarak, konut dışı ve çok aileli orta katlı bina pazarında somut olarak rekabet edebilecek, sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir yapısal ahşap çözüm sunmaktadır (Chen, 2012).



Şekil 10. CLT'nin çeşitli yapı elemanları olarak kullanımı

1.3.6.2. CLT'nin Yapısal Kullanımda Sağladığı Avantajlar

Günümüzde, inşaat sektöründe yeni bir teknoloji olan CLT yapıların, diğer yapılara göre birçok avantajı mevcuttur. Bu da, kullanılan malzemenin hem mühendislik tasarımından hem de hammaddesi olan ahşabın özelliklerinde kaynaklanmaktadır. Bahsedilen bu avantajların yapıya kazandırdıkları, aşağıda sıralanmıştır.

1.3.6.2.1. Kullanım Ömrü ve Boyutsal Stabilizasyon

Çapraz laminasyon, üstün boyutsal stabilite sağlar ve diğer ortak yapısal malzemelere kıyasla çok benzersiz bir ağırlık/direnç oranında, yapıya önemli bir direnç kazandırmaktadır (Malmquist, 2017). Ayrıca uygun tasarım ve bakım ile CLT yapılar, diğer yapı malzemelerine göre daha uzun ve faydalı hizmet ömrü sağlayabilir. Burada önemli husus, bir binayı ömrü boyunca etkilemesi muhtemel çevresel yüklerin ve diğer dış faktörlerin dikkatli bir şekilde planlanması ve anlaşılmasıdır (Malmquist, 2017)

CLT tabakaları, kontrplağa benzer şekilde birbirlerine dik tabakalarla oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonla, bitişik tabakalar, tüm panelin takviye edici işlevi görür, boyutsal stabilite sağlar ve panellerin betona benzer şekilde her iki yönde yayılmasına ve taşınmasına izin vermektedir (Turner, 2010; Van de Kuilen vd., 2011). CLT elementleri üzerinde yapılan birçok deneysel test, özellikle Steiger vd. (2008) ve Steiger ve Gülzow (2010), bu özelliklerin, diğer ahşap tasarımlı ürünlerin aksine, CLT panellerin taşıyıcı plakalar ve kesme panelleri olarak kullanılmasına izin verdiği sonucuna varmıştır. Çapraz laminasyon

ayrıca bireysel tabakalar bitişik tabakaların genişlemesini ve daralmasını kısıtladığından, boyutsal stabilitesini arttırmaktadır (Evans, 2013).

CLT' nin yapısal performansına, özellikle de eğilme ve kayma dayanımı, sağlamlık ve sapma konularında özel dikkat gösterilmiştir. CLT panellerinin sertliği, EN 13353 (DIN, 2003), EN 13986 (DIN, 2005a) ve EN 789 (DIN, 2005b) gibi Avrupa Standartları gibi ürün standartlarına uygun olarak test panelleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Kuzey Amerika'da, CLT panellerinin kalifikasyonu ve kalite güvencesi için gereklilikler ve test metotları yakın zamanda yayınlanan Performansa Dayalı Lamine Ahşap Kereste için Amerikan Standardı (ANSI / APA PRG 320) kapsamındadır (APA, 2013).

Fountain'a (2012) göre, CLT' nin direnç-ağırlık ilişkisi, özellikle orta ve yüksek katlı bina inşaatlarında çelik ve betona uygulanabilir bir alternatif olarak daha geniş bir bina aralığında ahşabın kullanılma fırsatlarını genişletmiştir. Londra'da 8 katlı bir konut olan Stadthaus (KLH, 2013), Avustralya'da 10 katlı bir konut olan Forte Building (Lend Lease, 2013) gibi göze çarpan örneklerle birlikte yüksek binalarda kullanılan birçok CLT örneği vardır. Mimarlık ve mühendislik firması Skidmore, Owings ve Merrill tarafından yakın tarihli bir raporda, Chicago'da "Timber Tower Research Project" adlı 42 katlı bir CLT beton hibrit bina önerildiği rapor edilmiştir (SOM, 2013).



Şekil 11. CLT yapı örnekleri (Stadthaus(a), Forte Building(b), Timber Tower Research Project(c))

1.3.6.2.2. Tasarım Esnekliği

CLT, farklı ve yenilikçi projelere olanak sağlayan, tasarım esnekliğini artıran benzersiz yapısal özelliklere sahiptir. Ahşabın kendi sünekliği ve benzersiz ağırlık/direnç oranı nedeniyle, beton ve çelik gibi diğer geleneksel yapı malzemelerine göre birçok avantaj sunar (Malmquist, 2017).

Bazı yazarlara göre, CLT'nin yapısal özellikleri tasarım sürecinde büyük mimari avantaj sağlamakta, açıklıkların farklı yapı yapılandırmalarına izin vermekte (sayı, boyut ve konum) ve yapının yapısal bütünlüğünden ödün vermeden mekan düzenlemede esneklik sağlamaktadır (Kwan, 2013; Kirkegaard, 2012). CLT ayrıca ara destek elemanı olmadan uzun açıklıkların geçilmesine izin vermektedir. Örneğin, 7 kata kadar (22,86 cm kalınlıkta) bir CLT paneli, 8 metreye kadar yayılma alanlarını kaplamak için kullanılabilir (Malczyk, 2011). “Katlanmış” ve “kaset” zeminler gibi geleneksel CLT panellerinin bazı varyasyonları, elemanların ağırlığını azaltarak, yaklaşık 20 metre uzunluğa kadar kaplamayı mümkün kılan döşeme yapılarının performansını iyileştirmiştir (Fountain, 2012). Silva vd. (2013), ara destek olmadan uzun açıklıkların çözülmesine yardımcı olabilecek derin kirişler gibi çalışan duvar yapılarının özel uygulamalarını değerlendirmiştir. Jaksch vd. (2012), iki düzlemsel yüzeyin belirli bir açıyla kesişimi olarak tanımladıkları katlanmış geometrilere ulaşmak için CLT öğelerinin kullanımını değerlendirmiştir. Çalışma, CLT kullanımının yalnızca uygulanabilir olmadığı aynı zamanda daha büyük düzlemsel yüzeylere dayalı yeni bir ahşap mimari dili temsil ettiği sonucuna varmıştır.



Şekil 12. CLT tasarım örnekleri

1.3.6.2.3. Yapım Hızı

Tek kişilik inşaatçılardan büyük inşaat şirketlerine kadar, CLT yapısal sistemler, yerinde ve hızlı bir şekilde ve doğru bir inşaat süreci ile zamandan ve paradan tasarruf sağlamaya hazır hale gelmektedir (Malmquist, 2017).

CLT, üreticiden üreticiye değişen büyük formatlı, hafif panellere dayalı bir sistemdir. Tipik genişlikler 60cm, 120cm, 240cm ve 300cm'dir; panel uzunluğu 18m veya daha fazla olabilir ve kalınlık 50cm olabilir. Daha az sayıda ancak daha büyük elemanların kullanılması, daha büyük inşaat basitliği anlamına gelir (Waugh, 2010). Kirkegaard'a (2012) göre, CLT, "çerçeve sistemlerden" "hacimsel sistemlere" geçiş için yeni bir yapı inşa yöntemini mümkün kılmaktadır.

CLT'nin kurulum basitliği, esas olarak inşaat sırasında kullanılan bağlantılar tarafından sağlanmaktadır. Paneller, dişli vidalar gibi mekanik tespit sistemleri kullanılarak monte edilir (Evans, 2013). Gavric (2012), bu vidaların hem dikey hem de yatay kuvvetlere etkili tepki veren yapısal olarak sağlam yapıların oluşturulmasını sağladığını tespit etmiştir. Gizli metal plakalar ve dübeller bağlantı olarak da kullanılabilir. Kanada'da FPInnovations (2013) tarafından yapılan araştırma, bu tip bir bağlantı sisteminin, özellikle ahşap ile kaplanmalarından dolayı, özellikle yangına dayanıklılık söz konusu olduğunda, yangına maruz kalan plakalar ve dirsekler üzerinde önemli avantajlar sağladığı sonucuna varmıştır.

CLT'nin bir bina sistemi olarak en çekici özelliklerinden biri, büyük ölçüde prefabrik doğası nedeniyle, CLT binalarının inşa edilme hızı ile ilgilidir. Bu, yüksek hassasiyete (panellerdeki açıklıklar bir CNC makinesi kullanılarak kesilir), daha hızlı tamamlama, daha fazla güvenlik, çevrede daha az bozulma ve sahada daha az atık oluşumu sağlamaktadır (Evans, 2013; FPInnovations, 2013). Yapılan bir çalışmada, tipik beton yapı için kat başına yirmi sekiz güne inşa süresine kıyasla, CLT yapılarda üç ila dört gün kadar kısa sürede yapılabilecek hızda inşa edildiğini vurgulamaktadır (Wilson ve Kosmatka, 2011). İnşaat, dokuz kata kadar olan binalar için beton gibi geleneksel inşaat yöntemleriyle karşılaştırıldığında zamanın yarısından daha az zaman alabilmekte, üç ila dört ay kadar sürebilmektedir (Lehmann ve Hamilton, 2011). Patterson (2013), biri CLT'de ve diğeri betonda olmak üzere on katlı iki konut binasını karşılaştırmış ve bazı durumlarda inşaat zamanlarında on bir ila on iki ay arasında bir düşüşün, eskiyi seçerek elde edilebileceği sonucuna varmıştır.

1.3.6.2.4. Deprem Dayanımı

CLT panelleri, etkili bir yanal yük direnç sistemi oluşturabilmektedir. Araştırmacılar, CLT üzerinde kapsamlı sismik testler uygulamışlar ve özellikle de çok katlı uygulamalarda, kalıcı deformasyon meydana gelmeden, oldukça iyi performans gösterdikleri tespit edilmiştir (Malmquist, 2017).

Bazı araştırmacılar tarafından CLT tabanlı yapıların yanal kuvvetler altında iyi performans gösterdiği ve aynı zamanda çok sayıda küçük bağlantısından dolayı sünekliğinin olduğu öne sürülmüştür (Winter vd., 2010). Dikkat çekici bir deneyde, İtalya'daki Trees and Timber Institute, Japonya'daki dünyanın en büyük sallama masası testi yedi katlı bir CLT binası üzerinde test edilmiştir (Popovski vd., 2010). Şiddetli bir deprem simülasyonuna maruz kalsa bile (Richter ölçeğinde 7,2 büyüklüğünde), yapı, testten sonra 6,35 cm maksimum kolonlar arası sürüklenme ve maksimum 30,48 cm maksimum yanal deformasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, yapıya verilen zararın “ihmal edilebilir” olduğu sonucuna varmışlardır. Hristovski vd. (2012) tarafından yapılan başka bir deneyde, CLT birleşimlerinin sismik kuvvetler altındaki davranışını tahmin etmek için geliştirdikleri bilgisayar modelini doğrulamak için bir CLT bina prototipi için tam ölçekli bir sallama masası testi gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, sabitleme sistemlerinin sismik koşullar altında uygun olan sismik enerjiyi dağıtmaya yardımcı olduğunu göstermiştir.

1.3.6.2.5. Isıl İletkenlik

CLT panelleri, yalıtım gerektirmeyen veya az yalıtım gerektiren malzemelerdir. CLT panelleri hassas toleranslar için, CNC ekipmanı kullanılarak üretilbildiğinden, daha sıkı oturan panel bağlantıları yapı için daha iyi enerji verimliliği sağlamaktadır. Masif paneller ayrıca binada neredeyse sıfır hava sızmasına neden olmaktadır. İnşası tamamlanmış bir CLT yapısının iç sıcaklıkları normalde gereken ısıtma veya soğutma enerjisinin sadece üçte biri ile korunabilir (Malmquist, 2017).

Bir malzemenin ısı iletkenlik performansını tanımlamak için kullanılan ölçümlerden biri, “sıcaklık gradyanına tabi olan malzemenin bir birim kalınlığından geçen ısı oranı” olarak tanımlanan ısı iletkenliktir (Staube ve Burnett, 2005). Isı iletkenliği tipik olarak W/mK cinsinden ölçülür. Bir malzemenin ısı iletkenliği ne kadar düşük olursa, malzeme o kadar az ısı transfer edebilir, bu da malzemenin daha iyi yalıtım özelliklerine sahip olduğu

anlamına gelir. Odunun ısı iletkenliği, metallerden çok daha dūşüktür ve yaygın olarak ısı yalıtımı için kullanılan bir malzeme olan mineral yünün ısı iletkenliğinin yaklaşık iki ila dört katı kadardır (Staube ve Burnett, 2005). Örneđin, yumuşak odun kerestenin iletkenliği değeri yaklaşık $0,1008 \pm 0,1441 \text{ W/mK}$ iken elik için $44,680 \text{ W/mK}$, beton için $0,8647 \text{ W/mK}$ ve mineral yün için $0,0360 \text{ W/mK}$ olduğu belirtilmiştir (Staube ve Burnett, 2005).

Bir malzemenin ısı iletkenlik performansını etkileyen bir başka faktör, kullanılan malzemelerin ısı kütlesidir. CLT masif ahşap bir panel olduğundan, aynı zamanda ısı kütle de sağlar (Cambiaso ve Pietrasanta, 2014), böylece hem bina dışında hem de iç zeminlerde ve duvarlarda CLT paneller, gün boyunca ısı depolayan ve gece ısıyı serbest bırakan bir ısı kütle görevi görmektedir. Bu özellik ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilir ve böylece genel bina enerji kullanımını azaltabilmektedir (Jowett, 2011; Muller, 2010). R değeri, ısı direnç veya yalıtım kabiliyetinin bir ölçüsü bir inşaat malzemesinin ısı performansını tanımlamak için kullanılan başka bir ölçüttür (Staube ve Burnett, 2005). R değerleri daha yüksek olan malzemelerin, daha yüksek yalıtım kabiliyetine sahip olduklarından, tercih edileceği anlamına gelmektedir. Odun için, R değeri yaklaşık $1,25 \text{ ft}^2\text{Fsaat/Btu}$ 'dur (Staube ve Burnett, 2005). Jowett (2011) tarafından yapılan bir çalışma, yaklaşık 18 cm kalınlığında bir CLT panelinin yaklaşık $8 \text{ ft}^2 \text{ F saat / Btu}$ 'luk bir R-değerine sahip olduğunu belirlemiştir. Karşılaştırma için, benzer kalınlığa sahip beton bir duvarın R-değeri ise $1,35 \text{ ft}^2\text{Fsaat/Btu}$ 'dur.

Isı iletkenliğine benzer şekilde, bir binanın “hava sızdırmazlığı”, binanın ısı performansı için önemli bir özelliktir, çünkü havanın içeri sızması, iç mekan ikliminde önemli bir etkiye sahip olabilir (Mardookhy vd., 2014). Staube ve Burnett'e (2005) göre, binayı hava sızdırmaz hale getirmek, nemli havanın dışarıdan veya soğuktan yoğunlaşmasından kaynaklanan bazı sorunların ve inşaattan sızan veya sızıntı yapan (mevsime bağlı olarak) bazı sorunların önlenmesine yardımcı olabilmektedir. Uluslararası Enerji Koruma Kodu (IECC, 2012), kış (ısıtma yükleri) ve yaz aylarında (soğutma yükleri) enerji tüketimini azaltmak için binanın hava sızıntısı için katı gereklilikler içermektedir. Bu konuyla ilgili olarak, CLT yapılarının ısı performansı konusundaki çalışmalarda, Skogstad vd. (2011)'na göre CLT'nin en büyük avantajı, havanın sızabileceği veya azaltılmış sayıda eleman ve bağlantıyı kullanmaya olanak sağlayan büyük paneller nedeniyle hava geçirmez bir yapı oluşturma imkanı sunmasıdır.

1.3.6.2.6. Yangın Dayanımı

Binalarda yangın dayanımı çok önemlidir. Yapılarda; yangınların önlenmesi, itfaiyecilerin yangına karşı savaşabilmeleri ve en önemlisi insanların kurtarılana kadar binadan kaçabilmelerini veya yerinde kalabilmelerini sağlamak için yangın tasarımı yapılması gerekmektedir (Buchanan vd., 2014). Modern bina kodlarının çoğu geleneksel olarak, belirli malzemeler için gereken minimum kalınlıklar gibi kuralcı düzenlemelere dayanmaktadır (Gerard vd., 2013). Bununla birlikte, AB düzenlemelerinde gelişmiş yangın emniyeti sağlamak için kurallardan performansa dayalı düzenlemelere geçiş olmuştur. Bu yeni düzenlemeler; yangın ve duman oluşumunu durdurma ve bu binaların hem de diğer binalara yayılmasını durdurma, bina sakinlerinin binadan kaçmalarını veya yerinde kalmalarını ve kurtarılmalarını, yangın söndürme ekiplerinin güvenliğini ve binanın yük taşıma kapasitesini belirli bir süre boyunca muhafaza etmek gibi kuralları içermektedir (Östman ve Källsner, 2018).

Kalın bir enine kesite sahip olan CLT panel için yangın dayanımı, bu durum çok önemli olup ve üstün yangına dayanıklılık sağlamaktadır. Yangın esnasında, kütleleri yavaş yavaş yanar ve sonunda yapısındaki yanma durur. Bünyesinde daha az boş alan olduğundan dolayı, yangın tespit edilene kadar, yayılamaz. Şiddetli bir yangın olayındaki beton ve çelik yapılarla karşılaştırıldığında, CLT yapılar daha az bozulmaktadır (Malmquist, 2017)

Bir ahşap binanın yangın durumunda daha yüksek bir risk taşıyacağını varsaymak için doğal bir eğilim olsa da, CLT inşa edilmiş binalar bu kadar büyük bileşenlerden yapıldıkları için yangına karşı mükemmel bir direnç göstermektedir. Ayrıca, yangın yavaş ve tahmin edilebilir bir oranda yayılma eğilimindedir (Crespell 2010). Yapılan bir çalışmada bir CLT test örneğinin, başarısız olana kadar 3 saat 6 dakika yandığı gözlenmiştir (AWC 2012).

Bazı araştırmalarda, ahşap binaların bu durumlarda kötü performans gösterdiğine dair ortak algı söz konusu olsa da, CLT'nin yangın durumundaki performansına odaklanmıştır (Frangi vd., 2009; FPInnovations, 2013). Bu çalışmaların yazarları, CLT panelleri gibi büyük bölümlerin ahşap yapı elemanlarının, esasen ahşabın özel kömürleşme özellikleri nedeniyle, istenen yangına dayanıklılık özelliklerine sahip olduğunu belirtmektedir. Forest Product Laboratory (2010) göre, yapısal ahşap elemanları için genellikle 1 saatte 3,81 cm kömür tabakası derinliği beklenmektedir. Buna uygun olarak, Friquin vd. (2010), çeşitli CLT panellerinin farklı yangın koşulları altında değerlendirdiği bir çalışmada, kömür tabakası olmayan ahşap malzemedede, termal bozulma ve kütle kaybına karşı koruyan bir

kömür tabakası oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu davranış, yapısal elemanın sağlam bir şekilde çökmeden, boyutsal stabilitesini korumasını sağlar ve potansiyel olarak bina sakinlerinin tahliyesi için zaman kazandırmaktadır.

Amerikan Ahşap Konseyi tarafından, bağımsız bir yangın test tesisinde bir dizi CLT duvarında bir ASTM E119 deneysel yangına dayanıklılık testi gerçekleştirilmiştir (AWC, 2012). Bütün duvar örnekleri çökmeden önce 180 dakikadan fazla ayakta kalmış, bu sürenin Uluslararası Yapı Kodunda (IBC, 2012) Tip IV (ağır ahşap) inşaatı için belirlenen 90 dakikalık standart sürenin önemli ölçüde üzerinde olduğu gözlenmiştir. Frangi vd. (2009) 3 katlı CLT bir binada, paneller arasında daha sıkı bağlantılar sağlamanın, bir odaya verilen hasarı sınırlayarak duman ve ateşin yayılmasını engelleyebileceğini göstermiştir. Başka bir tam ölçekli yangın testinde elde edilen verilerden, CLT panellerin yanmaz konstrüksiyonun tipik dış duvar düzenekleriyle karşılaştırılabilir yangına dayanıklılık özelliği gösterebildiği sonucuna varmıştır (Evans, 2013).



Şekil 13. Yangın testi sonrası CLT

1.3.6.2.7. Çevresel Etki

Ahşabın bir inşaat malzemesi olarak çevresel faydaları birçok yazar tarafından araştırılmıştır. Ormanlar sürdürülebilir bir şekilde yönetildiğinde ahşabın karbon açısından nötr olduğu ve karbon depoları olarak, büyüyen stoklar veya değerli bir ürün olarak hareket ettiği konusunda bir fikir birliği bulunmaktadır (Oneil ve Lippke, 2010). Ağaçlar, karbondioksiti (CO₂) biyo-kütleyle dönüştürerek, fotosentez işleminin bir sonucu olarak, karbonu etkili bir şekilde depolamaktadır (Lehmann ve Hamilton, 2011). Bir m³ odunun yaklaşık 1,10 ton CO₂ depoladığı tahmin edilmektedir (Puettmann ve Wilson, 2005).

Ahşabın yapı malzemesi olarak çevresel nitelikleri, çelik ve beton gibi diğer malzemelerle karşılaştırılmıştır (Robertson vd., 2012; Chen, 2012; John vd., 2009; Hammond ve Jones, 2008). Robertson vd. (2012), biri betonarme ve diğeri CLT ile inşa edilmiş iki adet beş katlı ofis binasını karşılaştıran bir Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) çalışması gerçekleştirmiş ve hizmet ömrü boyunca ahşap esaslı yapının, betona kıyasla % 15 daha az enerji harcadığı sonucuna varmıştır. Chen (2012), beş katlı CLT bir ofis binasının ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma ve ev aletlerinin enerji ihtiyaçlarını hesaplamış ve CLT binalarının % 10 daha düşük enerji ihtiyacına sahip olduğu sonucuna varmış, daha fazla azalmanın ileri teknoloji ve tasarım optimizasyonu ile mümkün olabileceğini belirtmiştir. John vd. (2009) tarafından yapılan iki orta katlı ofis binasının karşılaştırıldığı bir çalışmada, CLT'nin, beton ile yapılan binaya kıyasla, tüm etki kategorilerinde (ozon tabakasının incilmesi, küresel ısınma potansiyeli, ötrofikasyon) olumlu bir çevresel performansa sahip olduğu gözlenmiştir. Hammond ve Jones (2008) tarafından yapılan bir çalışmada Birleşik Krallıkta yapılan altı katlı beton ve çelik bir binanın yaklaşık 1984 ton CO₂ içerdiğini gösterirken, net bir CO₂ emisyonu olmadan ilk 12 yıl boyunca hizmet verecek eşdeğer bir CLT binanın bu miktarın yarısından daha azına (727 ton) sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanısıra, eğer karbon tutma hesaba katılırsa, CLT binası, yaklaşık 2314 ton CO₂ değeri ile iyi bir karbon tutucu olduğu ortaya çıkmaktadır (Atlee, 2011). Bu nedenle, CLT gibi masif ahşap yapı sistemleri binaları “karbon havuzlarına” dönüştürülebilmektedir (Salazar ve Meil, 2009; Wang vd., 2013).

CLT'nin, az kullanılmış ve düşük kaliteli kerestelerin kullanılması için de uygun olduğu belirtilmektedir (Perkins, 2006). Çalışmalar, küçük çaplı kütüklerin uygun ekipman ve yöntemlerle işlendiğinde yüksek kaliteli malzeme sağlayabileceğini göstermiştir (LeVan-Green ve Livingston, 2003; Lowell ve Green, 2001). CLT bir araya toplanmış ve yapıştırılmış küçük parçalardan yapıldığından, tek tek parçaların kalitesi diğer ahşap esaslı yapı bileşenlerinde olduğu kadar kritik değildir. Çapraz Lamine Kereste (CLT) gibi yeni geliştirilen pazarların artan kullanımından gelen talebin artması, orman yönetim maliyetlerinin artması için ekonomik olarak cazip fiyatlarla bu düşük değeri, ancak mekanik olarak etkilenmeyen malzemeyi kullanma fırsatı sunmaktadır. CLT gibi katma değeri yüksek yeni malzemeler, uygun orman yönetimini desteklemek ve orman ürünleri endüstrisine dayanan kırsal toplulukların ekonomik refahını artırmak için kritik öneme sahiptir (Mallo, 2015).

1.3.6.3. CLT (Çapraz Lamine Kereste) Üretimi

2012'de The Engineered Wood Association (APA), “Performansa Dayalı Çapraz Lamine Ahşap için Standart” olan ANSI / APA PRG 320'yi yayımlamıştır. Standart, Kuzey Amerika'daki CLT gereksinimlerini düzenlemekte ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI / APA, 2012) tarafından onaylanmıştır. Şu anda, iki Kuzey Amerikalı üretici APA sertifikalıdır ve standarda göre CLT üretmektedir. Bu iki Kanadalı üretici “Nordic Engineered Wood” ve “Structurlam Products Ltd.” dir (APA, 2015b).

Genel olarak, CLT üretimi, glulam üretimine oldukça benzerdir. Avrupa'da üretilen bilgilere dayanarak, CLT üretimi aşağıdaki ana adımlara ayrılabilir:

- Kereste Seçimi
- Kerestelerin Tasnifi
- Kerestelerin Finger Joint ile Birleştirilmesi
- Üretilcek Malzemenin Boyutlarına göre Kerestelerin Boyutlanması
- CLT tabakalarının oluşturulması
- CLT tabakalarına tutkal uygulaması ve taslak oluşumu
- Presleme
- Ürün Markalama, Paketleme ve Nakliye

CLT 'nin yukarıda belirtilen üretim aşamaları, aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

1.3.6.3.1. Kereste Seçimi

CLT 'nin üretim sürecinde tutarlı kereste özellikleri ve kalite çok önemlidir. Genellikle kereste, istenen kalite ve nem içeriğini karşılamak için önceden sınıflandırılmış ve fırınlanmış olarak üretim tesisine ulaşmaktadır (Yeh vd., 2013). Kereste için rutubet içeriği, üretim sırasında % 12 ± 3 olmalıdır. Eğer yapısal olarak kullanılıyorsa, rutubet içeriği % 8 ± 3 olmalıdır (ANSI / APA, 2012). Kerestenin rutubet miktarı kullanılan tutkalın gereksinimlerine uymalıdır. Bazı yapıştırıcı türleri rutubet miktarına diğer tutkallara göre daha hassastır (Yeh vd., 2013). Kereste kaliteleri tüm yapısal gereklilikleri yerine getirmek zorundadır (ANSI / APA, 2012). Buna ek olarak, kereste sıcaklığı yapıştırıcının yapıştırma özelliği üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, üretim tesisinde ve kereste deposunda sabit

sıcaklık ve iklim sağlanmalıdır. Son olarak, sınıflandırılmış kerestelerin üretime sabit beslenmesini sağlamak için imalat sahasında yeterli depolama kapasitesi bulunmalıdır. Genellikle kereste paketleri hava sirkülasyonunu kolaylaştırmak için etiketlenmiştir (Yeh vd., 2013).

1.3.6.3.2. Kereste Tasnif

Keresteler, üretim hattına ilk istiflendikleri besleme istasyonunda girmektedir. İstifledikten sonra, her bir kerestenin rutubeti ölçülür. Bir kereste gerekli özellikleri karşılamıyorsa, üretimden çıkarılmaktadır. Daha sonra keresteler görsel olarak veya makine ile sınıflandırılır. Sınıflandırma bir operatör tarafından görsel olarak yapılırsa, ahşap kusurlarını ve arızasını, daha sonra bir testere tarafından tanınacak ve kesilecek şekilde bir kalemle işaretleyebilir. Sınıflandırma makine ile yapılacaksa, şartnamelere uygun olmayan keresteler üretim sisteminden çıkarılır (Grasser, 2015).

1.3.6.3.3. Kerestelerin Parmak Birleştirme ile Birleştirilmesi

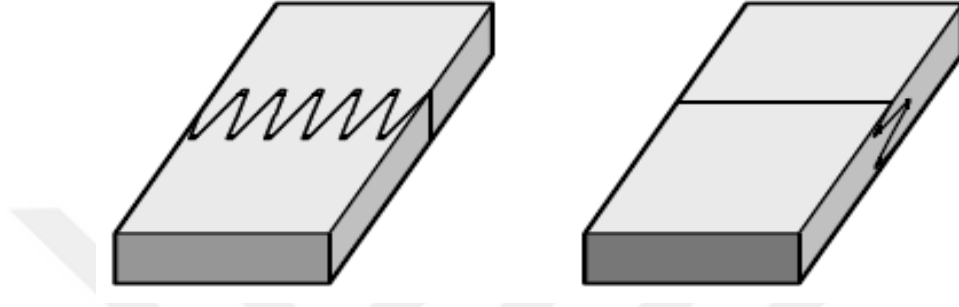
Derecelendirmesi yapılmış ve kusurlardan arındırılmış olan kereste rastgele uzunluktadır. Bu nedenle, paralel ve uzunlamasına CLT tabakaları için keresteler istenen uzunlukta birleştirilir. Bu, keresteleri uzunlamasına doğrultuda birleştirmek için etkili bir yol olan “Parmak Birleştirme” kullanılır (Brandner, 2013). Jokerst'e (1981) göre, parmak birleştirme ile kereste birleştirme işlemi için üretim aşamaları aşağıda sıralanmaktadır:

- Malzeme seçimi ve hazırlanması,
- Ortak profil oluşturulması,
- Yapıştırıcı uygulaması,
- Derz montajı
- Yapıştırıcının sertleşmesi.

Profil geometrisi “tutkal alanını maksimize ederek ve kerestenin uzunlamasına kayıplarını minimize ederek” optimize edilmiştir (Brandner, 2013). Avrupa'da, CLT üretimi için 15-20 mm uzunluğunda parmak birleştirme kullanılır (Brandner, 2013).

Avrupa'daki CLT üreticileri iki farklı parmak birleştirme türü kullanmaktadır. Bunlar, glulam ve masif panel üretimi için de kullanılan geleneksel dikey derzlerdir. Dikey derzli

parmak birleştirmelerin aksine, yatay derzli parmak birleştirme kereste yüzeyinde tanımlanması daha zordur ve bu nedenle bunların bitmiş CLT panellerinin dış tabakalarında tespit edilmesi daha zordur. Bu, panele görsel kalite katmaktadır. Ek olarak, CLT elemanının yapı fiziği, örneğin hava sızdırmazlığı gibi yatay bağlantılar da avantajlı olabilir (Brandner, 2013). Şekil 14'te, dikey ve yatay şekilde parmaklı birleştirme yer almaktadır.



Şekil 14. Dikey (solda) ve yatay (sağda) derzli parmak birleştirme

Bir ürün için yapıştırıcı seçilirken, yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özelliklerinin, iyi bir yapışmanın oluşturulması gereken hızın, sertleştirme yönteminin, maliyetin ve bazen de yapıştırıcının renginin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Avrupa'da, CLT 'deki parmak birleştirme üretimi esas olarak melamin-üre formaldehit (MUF) veya tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılar ile yapılmaktadır. Bu yapıştırıcılar neredeyse renksiz bir bağ çizgisi oluşturmaktadır. Ayrıca, güneş ışığına, neme ve hidrolize maruz kalma direnci ile de karakterize edilirler. Her iki yapıştırıcı sistemin güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır (Brandner, 2013).

Tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılar yüksek esnekliğe sahiptir. Ayrıca, tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılarının formaldehit emisyonu bulunmamaktadır. Bununla birlikte, yetersiz şekilde modifiye edilmiş tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılar, 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kaldığında bozulmaktadır. Diğer bir problem, bağ çizgisi kalınlığı ile artan gaz boşluklarıdır. Bu nedenle, bir CLT tabakaları içindeki kereste kalınlıklarındaki tutarlılık önemli bir faktördür (Brandner, 2013).

MUF yapıştırıcılar, tek bileşenli poliüretan yapıştırıcı sistemlerinden daha yüksek bir sıcaklık direncine sahiptir. Bunun yangın performansı üzerinde olumlu etkileri olabilir. Ek olarak, boşluk doldurma ve delme özellikleri bulunmaktadır. Yüksek frekanslı cihazların kullanılması veya ısı işlemi, MUF yapıştırıcılarının sertleşme süresini hızlandırabilmektedir.

Ancak, bu durumun dezavantajları da bulunmaktadır. MUF yapıştırıcıları formaldehit emisyonuna neden olduğu bilinmektedir (Salem vd., 2011). Ek olarak, tek bileşenli poliüretan yapıştırıcıları sınırlı depolama kararlılığına sahiptir ve 2 bileşenli sistemleri katı bir karışım oranına sahip bir reçine sertleştiricisine ihtiyaç duymaktadır (Brandner, 2013).

1.3.6.3.4. Kerestelerin Planyalanması ve Boyutlandırılması

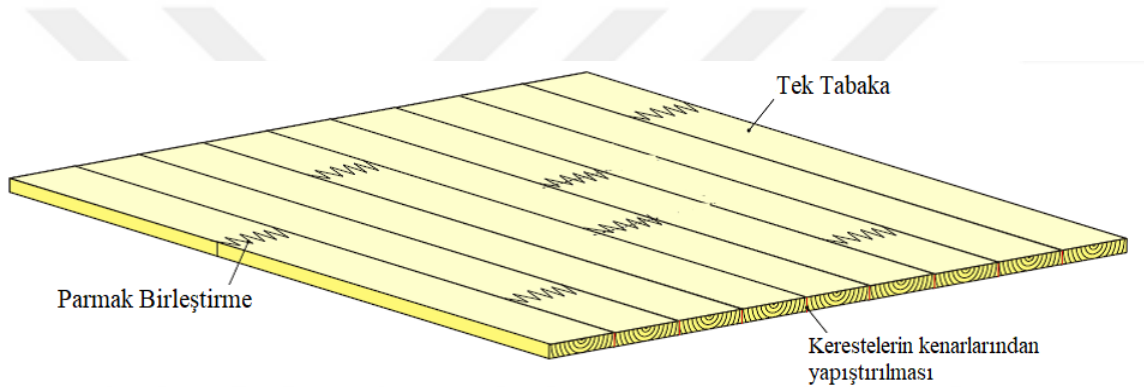
Parmak birleştirme işleminden sonra, CLT oluşturacak keresteler planyalanmaktadır. Genellikle, kerestenin dört tarafında da planyalama işlemi kereste özelliklerinin genişlik ve kalınlık açısından yerine getirildiğinden emin olmak için yapılmaktadır. Genellikle genişlikten 3,8 mm, kalınlıktan 2,5 mm alınır. Planya işlemi, CLT panellerinin yüzeylerinin bağlanması için keresteleri şartlandırır, çünkü oksidasyonu azaltır ve böylece ahşap yüzeyini daha iyi bağlanma için aktive eder (Julien, 2010; Yeh vd.,2013).

Planya ve kurutma işleminden sonra, keresteler istenen uzunlukta kesilir. Bu genellikle CLT presin boyutu ve uzunluğu ve laminasyonun amacına uygun olarak belirlenmektedir. Boyuna tabakalar için kullanıldığında, parmak birleştirme yapılmış kerestelerin maksimum uzunluğu, presin uzunluğu kadar olmaktadır. Tabakalar paralel olarak kullanılıyorsa, keresteler presin genişliği kadar kesilir (Yeh vd., 2013).

1.3.6.3.5. CLT Tabaka Oluşumu

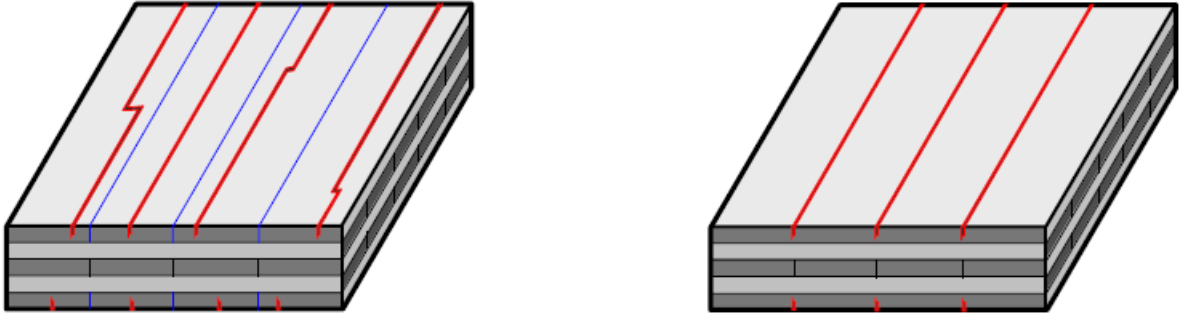
Brandner (2013)'a göre, CLT üreticileri keresteler arası boşlukların genişliğini azaltmayı hedeflemektedir. Keresteler arası boşlukların genişliğini azaltma, yapı tasarımı (özellikle yangın tasarımı, havadaki ses ve hava geçirmezlik açısından) ile ilgili olarak, ayrıca birleştirme teknikleri ile ilgili olarak, özellikle çiviler, vidalar veya dübeller gibi pim şeklindeki bağlantı elemanlarını göz önüne alınarak yapılmaktadır. Keresteler arası boşlukların genişliğini azaltmak, CLT'nin son kullanımda yüzeyinin estetik olarak kalmasını sağlamaktır. Avrupa üretim şekillerine göre, CLT tabaka oluşumu iki şekilde yapılabilir. Üreticilerin bir kısmı boşlukları mutlak bir minimum açıklıkla sınırlamak için kenarlara yapıştırıcılar kullanarak tek tabakalar halinde üretim yapmaktadır. Daha sonra, bu tabakalar, son CLT panellerini oluşturmak üzere işlenebilmektedir. Bazı üreticiler ise, CLT panellerinin üretimini bütün olarak yapmaktadır (Brandner, 2013).

CLT'nin tek tabaka olarak üretilmesinin birçok avantajı bulunmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, kenar tutkallı olarak üretilen tabaka, fiziksel özellikler üzerinde olumlu etkiye sahip olabilir. Çünkü tek bir tabakadaki keresteler arasındaki boşluk miktarı kenarları tutkalsız bütün olarak üretilenlere göre daha azdır. Ek olarak, önceden üretilmiş tabakalar zımparalanabilir ve kalınlık olarak eşitlenebilmektedir. Bu nedenle, son CLT elemanlarının tutkallanması için pres basıncı azaltılabilir (Brandner, 2013). Genel olarak, tek tabakalar iki farklı şekilde üretilebilir. Bir yaklaşım, kerestelerin kenar yapıştırma yoluyla üretilmesidir. İkinci bir yaklaşım, şerit testerenin kullanımıyla glulam gibi aksel olarak bölünmesidir. Kereste kenarlarının yapıştırılması için, aynı yapıştırma sistemleri parmak birleştirmede olduğu gibi kullanılabilir (Brandner, 2013).



Şekil 15. Kenar tutkallı CLT tabakası (Augustin, 2008).

Buna karşılık, CLT'nin üretim sürecinde kenar tutkallama işlemi ihmal edilebilir. Kenarları tutkallı olarak hazırlanmayan tabaka, tek tabakalı oluşum ve montaj için kullanılabilir. Bu yaklaşımı takiben, kereste kenarları aynı zamanda üretim sırasında düzensiz olarak bağlanır (Brandner, 2013). Bir CLT tesisinin üretim hattına kenar yapıştırması dahil olsun ya da olmasın, nihai ürünün uygulanması üzerinde bir etkiye sahiptir. Bir CLT panelde rutubet miktarındaki değişiklikler nedeniyle şişme ve büzülmenin sonucu olan iç gerilmeler yüzeyde ve panel içerisinde kaçınılmaz kaymalara yol açmaktadır. Bu etki ayrıca, zaman içinde fiziksel özellikler açısından kenar yapıştırılmış CLT elemanlarının daha önce tartışılan avantajlarına zarar vermektedir. Ayrıca, kenar tutkallı olarak üretilen CLT panelleri üzerinde kaymalar genellikle yüzeyin tanımsız bölgelerinde gerçekleşir. (Brandner, 2013). Avrupa'da olduğu gibi, CLT Kuzey Amerika Standardı'na göre üretildiğinde kenar bağlama özellikle gerekli değildir (ANSI / APA, 2012).



Şekil 16. CLT'de kenarları tutkallanmış tabakalar (solda) ve kenar tutkallamadan (sağda) şişme ve daralmadan kaynaklanan kontrollere (Brandner, 2013).

1.3.6.3.6. CLT Taslak Hazırlama ve Tutkallama

CLT tabaka üretimi birkaç farklı yolla gerçekleştirilir. Bu üretim hattı tasarımına ve kapasitesine bağlıdır. Örneğin Avrupa'da, bantlı konveyörler veya vakumlu kaldırma sistemleri kullanılır. Düşük kapasiteli tesislerde, CLT yerleştirmeleri insan operatörleri tarafından da yapılabilir.

Birleştirme tekniği, bitişik tabakaların da birbirine dik olarak monte edildiği kontrplak üretimiyle karşılaştırılabilir (Yeh vd., 2013). Her tabaka arasına tutkallama işlemi yapılır. Parmak birleştirme ve kenar yapıştırmaya gelince, MUF veya PUR yapıştırıcı sistemler sıklıkla kullanılmaktadır. Genellikle yapıştırıcı uygulaması mekanik olarak yapılmaktadır (Brandner, 2013). Brandner'e (2013) göre, yapıştırıcı uygulaması "sürekli beslemeli bir cihazdaki keresteler üzerinde veya önceden konumlandırılmış CLT tabakalarındaki bir konumlandırma veya pres yatağında yapılmaktadır."

1.3.6.3.6.1. CLT Üretiminde Kullanılan Tutkal Türleri

CLT tabakalarının birbirine yapıştırmanın birincil yöntemi, her katman arasına bir yapıştırıcı uygulamaktır. CLT üreticileri için, yapıştırıcılar ile ilgili önemli olan özelliklerden bazıları, yapıştırma direnci, sertleşme süresi ve nüfus, neme dayanıklılık, sıcaklık dayanımı ve çevre ile sürdürülebilirlik hususları gibi üretime bağlı özelliklerdir (Pizzi ve Mittal, 2003). Yapıştırıcılar sıcaklık artışıyla birlikte genel olarak azalmış mukavemet gösterdiğinden, yapıştırıcının belirli bir yangına maruz kalma süresi boyunca güvenilir bir işlevsellik sağlaması çok önemlidir (Klippel, 2014).

Avrupa'da CLT üretimi için en yaygın kullanılan yapıştırıcılar Poliüretan (PU) ve Melamin Formaldehit (MF) bazlı yapıştırıcılardır. Ayrıca yapılan bir çalışmada Emülsiyon Polimer İzosiyanat (EPI) ve Fenol Resorsinol Formaldehit (PRF) yapıştırıcı türlerinde kullanıldığı belirtilmiştir (Johansson and Svenningsson, 2018).

1.3.6.3.6.1.1. Fenol Resorsinol Formaldehit (PRF)

PRF olarak da bilinen Fenol Resorsinol Formaldehit, glulam kirişlerinin imalatında Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılan koyu kahverengi bir yapışkandır. Yapıştırıcı piyasada, yüksek yapısal performansı ve yangına maruz kaldığında gösterdiği yüksek gibi birçok faktöre bağlı olarak popüler olmuştur (Yeh, vd., 2013b). PRF ayrıca, glulam imalatının yapısal endüstrisinde kullanılan daha ucuz yapıştırıcılardan biridir (Sikora vd., 2016b).

Yapıştırıcı, 220 °C sıcaklıklarda uzun süreli ısıtmada test edilmiştir ve parmak birleştirmelerin yapısal gereksinimlerini karşılamıştır. PRF'nin yangına karşı direncinin olumsuz bir kısmı, imalat sırasında, sertleşmeden sonra tabakalar arasında büyük hava boşlukları görülebilir olmasıdır. Bu, potansiyel bir yangının tabakalar arasında yayılmasını kolaylaştırır (Klippel, 2014).

1.3.6.3.6.1.2. Tek Bileşenli Poliüretan (PUR)

Avrupa'da, CLT üretiminde en sık kullanılan PU yapıştırıcıdır ve ortam sıcaklığında sertleşme süresi hızlıdır. Genellikle bir ila üç saat arasındaki kısa sertleştirme süresine sahip olmasının yanında formaldehit içermemesi ve uygulamadan önce diğer bileşenlerle karıştırılması gerektirmediği için popüler bir tutkaldır (Fontana, vd., 2009). Yapıştırıcı, renksiz bir bağlanma sağladığı için mimari nedenlerden dolayı da tercih edilmektedir (Kemmsies, 1999). PUR, çoğunlukla çapraz lamine ahşapta olmak üzere tabakalanmış ağaç ürünlerinde kullanılan, formaldehit içermeyen bir yapıştırıcıdır. PUR'un sertleşme süreci, ahşapta buluna rutubet miktarı tarafından belirlenmektedir. Sertleşmiş tutkal bağlantıları neme ve hidrolize karşı dayanıklıdır. Sertleşme işlemi sırasında düşük miktarda CO₂ oluşur ve yayılır. Formaldehit yerine, izosiyanat içerir. İzosiyanat, CLT'nin üretimi ve kullanımı sırasında teorik olarak iç ortama da yayılabilir (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

1.3.6.3.6.1.3. Emülsiyon Polimer İzosiyanat (EPI)

Emülsiyon Polimer İzosiyanat (EPI) olarak bilinen yapıştırıcı türleri, su bazlı bir emülsiyonun bir çapraz bağlayıcı izosiyanat ile kürlendiği iki bileşenli yapıştırıcılardır. EPI-yapıştırıcılar, ahşaba yapışma özelliklerini mükemmel bir şekilde gösterir ve soğuk kürlenmeye, neme karşı dayanıklı olmaları ve uzun süre preslenmeleri gerekmediğinden, çok çeşitli mühendislik amaçlı ahşap ürünlerinde kullanılırlar (Grøstad ve Pedersen, 2010).

1.3.6.3.6.1.4. Melamin Formaldehit (MF)

1970'lerin Melamin Formaldehit (MF) yapıştırıcıları, Üre Formaldehit (UF) ve Fenolik-Resorsinol-Formaldehit (PRF) yapıştırıcılarından sonra geliştirilmiştir (Klippel, 2014). MF yapıştırıcılarının daha önce geliştirilen yapıştırıcı türlerine kıyasla ana özelliklerinden biri, yüksek nem direncinin yanı sıra daha kısa sertleşme süresine sahip olmasıdır. MF yapıştırıcılarındaki melamin bileşeni oldukça pahalı olduğundan, kullanılan MF yapıştırıcılarının çoğu üre katılıp ucuzlaştırarak bir MUF yapıştırıcısı ile sonuçlanmıştır (Pizzi ve Mittal, 2003).

MF / MUF yapıştırıcılar, glulam ve CLT gibi ahşap kompozit malzemeler için iyi çalışan termoset yapıştırıcılar olarak kabul edilir. Ek olarak, yapıştırıcılarındaki melamin bileşeni, yapıştırıcı maddenin ısı direncini artırarak bir bağ yapısı oluşturmasına neden olmaktadır (Zhou vd. 2017). Bununla birlikte, MF / MUF yapıştırıcıları oldukça kırılığandır ve yapıştırıcılarındaki formaldehit bileşeni, insanlara ve çevreye zarar vermekte ve endüstrideki ileriki kullanımlar için daha az cazip hale gelmektedir (Johansson and Svenningsson, 2018).

1.3.6.2.7. Presleme

CLT tabakalarının yerleştirilmesinden sonra panel, bir pres yardımıyla birleştirilir. CLT üretiminde presleme birkaç nedenden dolayı gereklidir. Brandner (2013)'a göre, gerekli yüzey presleme basıncını:

- (i) yapıştırma sisteminin bir işlevi olarak,
- (ii) kereste türlerini,

(iii) yapıştırıcıların yüzeyin pürüzlülüğü ve düzlüğü ile ilgili geometrisini ve izin verilen kalınlık toleransları,

(iv) yapıştırıcı uygulama sistemi ve

(v) uygulamalı yapıştırıcı miktarı etkilemektedir. Uygulanan miktarı, yapışan yüzeyinin pürüzlülüğüne ve dolayısıyla ahşap türlerine bağlı olarak değişebilmektedir. ”Bu parametreler aşağıdaki paragraflarda ele alınmıştır.

Presleme basıncı, yapıştırıcı ile ilgili parametrelerin gereksinimlerini karşılamalıdır. CLT'nin üretilmesinde hangi sistemin kullanıldığına bakılmaksızın, yapıştırıcı tedarikçisinin tavsiyelerine uyulmalıdır. Presleme işleminde çizgi olarak uygulanan yapıştırıcıyı tüm CLT tabaka yüzeyi üzerine eşit olarak dağıtmak, tutarlı ve tanımlanmış bir bağ hattı kalınlığı sağlamak için yeterli basınç kullanmak önemlidir. Ayrıca, tanımlanmış bir bağ hattını elde etmek için yapıştırıcı türü ve miktarının dikkate alınması gerekir (Brandner, 2013). Kairi (2009)'ye göre tutkal özelliklerin gerekli basınç kuvveti üzerinde önemli bir etkisi vardır. Pres basıncı; fenol ve melamin esaslı tutkal türleri için 1,40 – 2,00 N/mm², poliüretan tutkallar için teorik olarak 0,01 – 0,10 N/mm² arası uygulanabilmektedir (Kairi, 2009; Brandner, 2013).

Presleme işlemi için uygulanan basıncın seçimi, kereste özellikleri ve kereste türleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Keresteler parmak birleştirme yapılmış ve planyalanmış olsalar da, kereste kalınlığında doğal değişiklikler bulunabilmektedir. Ayrıca, kerestelerde hala bir takım geometrik kusurlar bulunabilmektedir. Bu nedenle, bu özellikleri düzeltmek için preste uygulanacak basıncın yeterli miktarda olması gereklidir. Bununla birlikte, basınç miktarının çok fazla olması ayrıca ahşap hücre yapısının zarar görmesine ve böylece daha düşük bir yapışkan penetrasyonuna ve daha düşük yapışma direncine yol açabilir. Ağaç türleri, basınç kuvveti seçildiğinde de dikkate alınmalıdır (Brandner, 2013).

Hidrolik (Şekil 17) ve pnömatik preslerin (Şekil 18) genellikle orta - büyük ölçekli CLT üretim hattı tasarımları için kullanıldığı, çünkü otomatik üretim işlemlerine daha kolay entegre edilebileceği belirtilmektedir. Genellikle yapıştırıcı uygulaması içeren döşeme, panelin bir taşıma sistemine girmesinden önce doğrudan presin önünde yapılmaktadır. Ek olarak, bu preslerin bazıları keresteler arası boşlukları azaltmak için yandan basınç da uygulanabilir. Üretim için kullanılan yapıştırıcı türüne bağlı olarak, ayrıca baskı düzeni ve özellikleri sıcak ve soğuk presleme ve yüksek frekanslı presler açısından değişebilir. Bazı çalışmalarda üretim için farklı yöntemlerin kullanılabilirdiği ifade edilmektedir (Brandner, 2013).

Genel olarak, Avrupa'daki bütün büyük üreticiler hidrolik veya pnömatik pres sistemleri kullanmaktadır. Hidrolik cihazlar, pnömatik cihazlardan daha yüksek pres basıncı elde edebilir. Bununla birlikte, pratikte Avrupalı üreticiler genellikle 0,6 - 0,8 N/mm² basınç kuvveti uygular ve her iki sistem de bunu yapabilir. Bu basınç türleri, bu iki tip presin, bütün CLT panelini sertlikte daha güçlü hale getiren kalın tekli tabakaları işleyebilmesini sağlar. Ek olarak, parke CLT paneller de bu preslerle üretilmektedir (Brandner, 2013).



Şekil 17. Hidrolik pres



Şekil 18. Pnömatik pres

CLT tabakalarının preslenmesi için bir başka yaklaşım, bir vakum presinin kullanılmasıdır. Vakum presleri 0,01 - 0,1 N/mm² basınç kuvveti uygulayabilmektedir. Düşük basınç kuvvetleri nedeniyle; ahşap yüzey kalitesi, kalınlık toleransları, eğilme, oluklaşma, burulma gibi ahşap özellikleri ile ilgili gereksinimler, CLT elemanlarının uygun bir tanımlanmış tutkal hattını garanti etmek için daha net ve daha önemlidir. Ayrıca, düşük basınç kuvveti, tabaka kalınlığında ve aynı zamanda ahşap türü seçiminde için sınırlamalara

neden olmaktadır. Bununla birlikte, CLT üretimi için bir vakumlu pres kullanılması, üretimde esneklik sağlar. Örneğin, düzensiz yapılar işlenebildiğinden bu cihazlarla kesikli, eğrilikli veya diğer 3 boyutlu şekillerde CLT paneller üretilebilmektedir. Ayrıca, yatırım maliyetleri ve yıllık üretim kapasitesi (vardiya ve pres başına 2.000 ila 5.000 m³) pnömatik ve hidrolik preslere göre daha düşüktür. Bu nedenle, yeni pazarlarda pazara giriş stratejileri veya küçük ila orta ölçekli işletmeler için ürün portföyü uzantısı için sağlam bir seçenek olabilir. Üretim süreci genellikle yarı otomatiktir. Bununla birlikte, eğer çeşitli presler kullanılıyorsa, bu teknoloji ile büyük ölçekli girişimler de mümkündür (Brandner, 2013).



Şekil 19. Vakumlu pres ve tutkallama makinesi



Şekil 20. CLT tabakalarına vakum pres uygulaması

1.3.6.3.8. Kenar Düzeltme

Presleme işleminde, yapıştırıcının sertleşmesi ile CLT kenarlarında taşma meydana gelmektedir. Kenarlar istenilen düzende bulunmamaktadır (Şekil 18). Bu nedenle, CLT panelleri yüzey yapıştırma işleminden sonra genellikle yapışkan artıklarını ortadan

kaldırmak ve kenarları düzleştirmek için kenar kesme yapılmaktadır. Ek olarak, paneller de planlanyalanabilir veya zımparalanabilir. Ayrıca, CLT'nin son kullanımına bağlı olarak tasarlanmış ahşap panel, alçı veya akustik panel tabakaları uygulanabilir (Brandner, 2013).



Şekil 21. Pres sonrası CLT son hali

Yukarıda tarif edilen detaylar, çoklu bir işlem merkezini kolaylaştırmak için oluşturulmuştur. çoklu bir işlem merkezi; kesme, frezeleme ve delme yoluyla her son uygulama için hassas boyutlandırma ve kişiselleştirme sağlar. Portalın araçları bir zincir testere ünitesi, dikey bir freze ünitesi, işaretleyiciler, 5 eksenli freze ünitesi ve bir dairesel testere ünitesinden oluşur. Ek olarak, bir takım değiştirme ünitesi dahil edilmiştir. İşlem, her iki yüzeyde ve 4 kenar da yapılabilir. Her uzunlukta, 8m genişliğe ve 48cm kalınlığa kadar panelleri işleyebilen farklı ebat ve kapasitede işleme merkezleri mevcuttur (Brandner, 2013, Hundegger, 2015). Çoklu işlem merkezinin bir örneği, Şekil 19'da görülebilir. Şekil 20 ve Şekil 21'de aletlerin örnekleri verilmiştir ve tamamlanmış özelleştirilmiş CLT panelleri, Şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 22. Çoklu işlem merkezi



Şekil 23. Çoklu işlem örnekleri



Şekil 24. Çoklu işlem sonrası CLT bitmiş hali

1.3.7. Dünyada CLT Yapı Örnekleri

İngiltere'de bulunan önemli CLT binalarından birisi, Waugh Thistleton (2018b) Architects tarafından tasarlanan ve 2008 yılında inşa edilen Hackney'deki Murray Grove'dur. Bu dokuz katlı ahşap yapı, yüksek kütleli ahşap yapıların öncüsü olarak görülmektedir (Waugh Thistleton, 2018b). Ayrıca 2011 yılında inşa edilen Hackney'de bulunan Bridport House bir diğeri olarak ifade edilmektedir. Sadece 8 kat yüksekliğinde olmasına rağmen, tamamlandığında İngiltere'deki en büyük ahşap bina haline gelmiştir (Karakusevic Carson, 2018). Daha sonra Wenlock Cross, Birleşik Krallık'taki 10 katlı en yüksek CLT ile çelik konstrüksiyonları beraber kullanılan yapısı olmuştur (Hawkins \ Brown, 2018). 2017 yılında 10 kat yüksekliğinde hacmen dünyanın en büyük CLT binası olan Dalston Works, inşa edilmiştir(Waugh Thistleton, 2018a).



Şekil 25. Murray Grove (a), Bridport House (b), Wenlock Cross (c), Dalston Works (d)

Avrupa'da en yüksek kütleli ahşap yapısı, Bergen, Norveç'teki 'The Tree' glulam sütunları ve CLT'nin bir melezi kullanılarak inşa edilen bu konut binası 14 katlıdır ve 2017'de tamamlanmıştır (Doyle ve Lewis, 2017). Asya Pasifik bölgesindeki Birleşik Krallık dışında, en yüksek CLT binası Melbourne'daki Forté'dir. Lend Lease tarafından tasarlanan ve inşa edilen 10 katlı apartman, The Tree'nin yapımından önceki dünyanın en yüksek CLT yapısıydı, ancak yine de en yüksek saf CLT binasının unvanını korumaktadır (Architecture & Design, 2014).



Şekil 26. The Tree (Sol), Forté (Sağ)

Kuzey Amerika'da Brock Commons, British Columbia Üniversitesi için inşa edilen Vancouver, Kanada'daki öğrenci yurdu, şu anda CLT kullanan dünyanın en yüksek binası. 18 kata kadar ulaşmasını sağlayan beton çekirdekli hibrit bir tasarıma sahiptir. (Healey, 2018). Avusturya, Viyana'da 24 katlı ahşap bir gökdelenin karma gelişimi olan HoHo, bu yıl tamamlandığında bu rekor kırılmıştır. Bu aynı zamanda bir hibrit yapıdır ancak sadece % 76'sı keresteden yapılmıştır (CTI, 2018). Dünyanın dört bir yanındaki bu örnekler, yeni bina kırma yükseklik ve boyut kayıtlarıyla birlikte CLT inşaatının devam eden ilerlemesini göstermektedir.



Şekil 27. British Columbia Üniversitesi Öğrenci Yurdu (Sol), HoHo (Sağ)

Ayrıca hala planlama aşamasında birçok toplu ahşap bina bulunmaktadır. Bu binalar, inşaat yönteminden bağımsız olarak, yalnızca dünyadaki en yüksek kütleli ahşap binaların değil, en yüksek binaların bazılarının sıralamasında yer alacak yüksekliklere ulaşmayı amaçlamaktadır. Bunlardan biri, Stockholm'deki HSB Landmark Projesidir. Önerilen 34 katlı ahşap gökdelen, kütle ahşap kirişler ve panellerle inşa edilecek ve HSB'nin 100 yıllık yıldönümünü kutlamak için 2023'te tamamlanmayı hedeflenmektedir (C.F. Møller, 2018). 2041 yılına kadar tamamlanacağı tahmin edilmese de, Tokyo'daki 70 katlı bir kule şu anda planlanan en yüksek CLT binasıdır (Marsh, 2018). Hibrit yapı% 90 ahşap olacaktır ancak sismik provalara yönelik çelik içermesi planlanmaktadır. Bu bina şu anda inşa edilmiş en yüksek CLT binasından 3 kat daha yüksek, ancak Londra'daki Oakwood Tower'dan hala 10 kat daha kısa olacağı görünmektedir. Bu bina 80 kat yüksekliğinde duracak ve inşaat yönteminden bağımsız olarak İngiltere'deki en yüksek ikinci bina olacaktır (Marsh, 2018). Konsept şu anda, inşaat öncesinde çözülmesi gereken tüm çok yüksek binalara uygulanan yangın standartlarına ilişkin yasal kısıtlamalarla karşı karşıya kalmaktadır (Marsh, 2018).

1.4 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki nöron olarak isimlendirilen birçok sinir hücresinden oluşan biyolojik sinir ağlarının çalışma mekanizmasından esinlenerek geliştirilmiş, beynin temel özelliklerini modellemeye çalışarak, verileri işleyecek şekilde

tasarlanan sistemlerdir (Sağıroğlu vd., 2003).

YSA, s¼reç içinde kendi kendine ¼ğrenebilen ve karar verebilen bir algoritmaya sahiptir (Ataman vd., 1999). Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki bilinmeyen ve tespit edilmesi zor olan ilişkiler, YSA ile varsayımda bulunulmadan ve ¼n bilgiye ihtiyaç duyulmadan ortaya çıkartılabilir. YSA doğrusal modellerden farklı olarak ilgilenilen problemin verileri arasındaki ilişkilerin doğrusal olmadığı, belirsizlik ve kesinsizlik durumlarında da modellemeyi sağlayabilmektedir (Zhang vd., 1998).

YSA, birbirleri ile paralel ve ardışık bir biçimde bağlanan yapay n¼ronlar ile yapay n¼ronların girdisi ¼zerinde etki eden farklı ağırlık değerlerine sahip bilgi ileten bağlantılarından oluşur (Yıldız, 2001; Demir vd., 1999). Bilgi işleme, ağa gelen bilgilerin bu ağırlıklı bağlantılar kullanılarak çıktıya d¼n¼řt¼r¼lmesi ile gerçekleşir. Bu yapı YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini arttırmakta, eř zamanlı çalışarak karmaşık işlemleri yerine getirmesini sağlamaktadır.

YSA; probleme ¼zel basit yapıları, ¼ğrenebilme, genelleme, paralel işlem yapabilme ve hatayı tolere etme kabiliyetlerinden ve modellenmesi g¼ olan, doğrusal olmayan karmaşık problemlere kolay öz¼mler sunabilme gibi ¼st¼nl¼klerinden dolayı karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve denetiminde çok geniş uygulama alanı bulmuştur (Sağıroğlu vd., 2003; Atik, 2004; Haykin, 1994; Skapura, 1995). Bu hesaplama ve bilgi işleme g¼c¼n¼ geleneksel programlama y¼ntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zordur (¼ztemel, 2006).

Yapay sinir ağları çok çeşitli sorunlara öz¼mler ¼retebildiklerinden dolayı uygulamalı bilimlerde ve m¼hendislik problemlerinde yaygın olarak ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadırlar (Schmoldt vd., 2000).

Ağaç malzeme ile ilgili birçok alanda da yaygın olarak kullanılan YSA teknikleri ile yapılan bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Odun kalitesinin belirlenmesinde (Guangsheng ve Li, 2008) odunun bazı mekanik ¼zelliklerinin tahmininde (Samarasinghe vd., 2007; Mansfield vd., 2007) odun kusurlarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında (Gonzalo vd., 2009; Nordmark, 2002) , odun tanıma sistemlerinde (Esteban vd., 2009), odun kaplama kusurlarının sınıflandırılmasında (Castellani ve Rowlands, 2008), yonga levha mekanik ¼zelliklerinin tahmininde (Fernandez vd., 2008), yonga levha ¼retiminde proses parametrelerinin optimizasyonu ve yapışma direncinin tahmininde (Cook vd., 2000), MDF panellerin yapısal hasarlarının belirlenmesinde (Long ve Rice, 2008), yonga ve lif levhaların rutubet dirençlerinin

tespitinde (Esteban vd., 2010) odun dielektrik kayıp faktör tahmininde (Avramidis vd., 2006), odunun termal iletkenliğinin hesaplanmasında (Xu vd., 2007), odunun rutubet analizinde (Zhang vd., 2007), ve odunun kurutma prosesinde (Ceylan, 2008) YSA kullanılmıştır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Ahşap yapılarda, başarılı performansları sebebiyle genel olarak iğne yapraklı ağaçlar tercih edilmektedir. Ülkemizdeki ormanlarımızdaki iğne yapraklı ağaçların yayılış alanlarının incelendiği, Orman Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Orman Atlasında (Orman Atlası, 2014), ilk 5 sırada bulunan, Sarıçam (*Pinus silvestris*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis* L.) ve Gökmar (*Abies nordmanniana*), bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, bu ağaç türlerine ait keresteler, birinci sınıf olmasına dikkat edilerek özel işletmelerden temin edilmiştir.

2.1.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvestris*) Odun Özellikleri

Yetiştirme ortamlarına göre 20-40 metre boylarında, narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, ya da dolgun ve düzgün gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir herdem yeşil ağaçtır. Odunlarının kullanım alanları çok çeşitli olup, değerli odunları vardır (Demir, 2014). Ülkemizde, Eskişehir Yeşilova'dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu yüksek kesimlerini kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas'lara geçen Karadeniz Bölgesi'nde Of, Sürmene dolaylarında deniz kıyısına inen sarıçam; Artvin, Rize çevresinde doğu ladini ile karışık orman kurarak 2100 metreye kadar çıkar (Tutuş vd., 2010).

Sarıçamda diri odun geniş, sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının yaklaşık üçte birini kapsamaktadır (Demirkır, 2014). Tam kuru yoğunluğu 0,496 gr/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,526 gr/cm³ tür. Liflere paralel yönde basınç direnci 550 kg/cm², liflere dik yönde ise 77 kg/cm² dir. Hava Kurusu eğilme direnci ise ortalama 650 kg/cm²'dir (Demirkır, 2012). Özellikle yapı malzemesi olmak üzere mobilyacılık ve oymacılıkta, ayrıca çit kazığı, tel direği ve maden direği, yapı iskelesi, travers, köprü inşaatı, deniz araçları, ambalaj sandığı, yongalevha ve kontrplak sektörü gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Anonim, 1994).

Odonlarının kreozot ve benzeri koruyucu kimyasal maddelerle işleme tabi tutarak, açık alanlarda da kullanım olanakları artmaktadır. Odunu genel olarak yumuşak kullanım alanları için uygun olup, budaksız ve iyi kalite özelliklerine sahiptir (Demirkır, 2014).

2.1.1.2. Doğu Ladini (*Picea orientalis*) Odun Özellikleri

Doğu ladini vatanı dışında, özellikle Avrupa’da bir süs bitkisi olarak sıkça yetiştirilir. Yoğun koyu renkli ve cilalı görünümlü bir yapraklanma sistemi ile dikkati çekmektedir. Parkçılıkta değerli birçok formları bulunur. Son yıllarda çeşitli Avrupa ülkeleri başta Belçika, Avusturya ve İtalya gibi ülkeler Doğu Ladini’ni odunu bakımından da değerlendirmektedirler ve orman ağaçlandırmalarında bu ağaç türünden yararlanmaktadırlar. Süs bitkisi olarak İngiltere’de çok görülür (Akyüz, 1995).

Binalarda yapı malzemesi olarak kullanılır. Radyal kesilmiş kaplama levha olarak, gemi direği, maden direği, mekanik ve kimyasal odun hamuru, ambalaj talaşı, yonga ve lif levha yapımında, dar yıllık halkalı kusursuz kısımlar müzik aletlerinde rezonans tablası olarak kullanılmaktadır. Kabuklarından sepi maddesi elde edilmektedir (Bozkurt, 1992).

Ortalama özgül ağırlık değeri $0,406 \text{ g/cm}^3$ olup, $0,300-0,590 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasında değişmektedir. İlkbahar odunu özgül ağırlık değeri $0,307 \text{ g/cm}^3$, yaz odunu özgül ağırlık değeri ise $0,601 \text{ g/cm}^3$ ’tür ladin odununda yaz odunu arttıkça özgül ağırlık artış göstermektedir. Yıllık halka genişledikçe özgül ağırlık azalır. Olgun odun ve diri odun arasında belirgin bir özgül ağırlık farkı görülmemektedir. Bölgesel faktörler açısından yapılan çalışmalar ladin odununda özgül ağırlığın kuzeyden güneye gidildikçe arttığını bunun yanında yetiştirme muhiti yükseltisi arttıkça özgül ağırlığın düştüğünü bildirmektedir. Gövde içerisinde dip kısımlarında daha ağır olup, yaklaşık 5 m yüksekliğe kadar hafiflemekte, 5-9 m yükseklikleri arasında aynı kalmakta ve tepeye doğru yavaş yavaş ağırlaşma göstermektedir. Özden çevreye doğru özgül ağırlık artış göstermektedir. Eğilme direnci ortalama değeri 780 kg/cm^2 , elastikiyet modülü 6700 kg/cm^2 , çok kolay yarılmakta ve sertlik değeri olarak yumuşak odun grubuna girmektedir (Berkel, 1970).

2.1.1.3. Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana*) Odun Özellikleri

Doğal olarak Kafkasya ile Kuzeydoğu Anadolu'nun dağlık kesimlerinde yetişmektedir. Ancak, asıl geniş yayılışını Kafkasya'da yapmaktadır. Ülkemizde Yeşilirmak Vadisi ile Türkiye Gürcistan sınırı arasında kalan Doğu Karadeniz orman alanlarında yayılır. Bu kesimlerde 800-1700 metre aralarında çoğunlukla kayın, sarıçam gibi ağaç türleri ile karışık ormanlar oluşturur (Anşin, 1994).

İyi ve çabuk kurutulur. Çatlama ve dönüklüğe eğimi azdır. Soyulabilir, fazla miktarda öz ışını bulunması nedeniyle kolay yarılr. İyi işlenir ve yapıştırılır. Bina inşaatında, iç kısımlarda, mobilya yapımında ara ve iç bölmelerde, ambalaj ve kağıt sanayinde kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Ortalama özgül ağırlık değeri 0,408 g/cm³'tür. Yıllık halka genişledikçe başlangıçta özgül ağırlıkta artış görülür, sonra azalma görülmektedir. Olgun odun ve diri odun arasında belirgin bir özgül ağırlık farkı yoktur. göknar odunu gövdesinde, yukarı doğru çıkıldıkça özgül ağırlık düşer fakat daha yükseklerle çıkıldıkça bir miktar artar. Özden çevreye doğru gidildikçe özgül ağırlık artış göstermektedir. Yarıлма direnci olarak çok kolay yarılan odun grubuna girmektedir. Sertlik değeri olarak, yumuşak odun grubuna girmektedir (Tan, 2011).

2.1.2. Tutkal

Bu çalışma kapsamında, Avrupa da CLT üretiminde yaygın olarak kullanılan poliüretan tutkalı (PUR) kullanılmıştır.

2.1.2.1. Poliüretan Tutkalı

Poliüretan tutkalı çift bağı alkolden ve uygun izosiyanattan üretilmektedir. Su geçirmez, 150-200 g/m² (yüzeyin pürüzlü veya pürüzsüz olmasına bağı olarak) su kontrplağı ve benzeri ahşap malzemeleri birbirine veya ahşabı metale, taşa, betona, bazı sentetik maddelere vb. birçok maddeye mükemmel yapıştırılmaktadır. Kohezyon ve adezyon kuvveti çok güçlüdür. Asitlere, yağlara, kaynar suya ve mikroorganizmalara karşı dayanıklı bir tutkal türüdür. Piyasadan temin edilen Kleiberit 506.0 marka, poliüretan tutkalına ait önemli karakteristik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Poliüretan tutkalına ait bazı ürün karakteristikleri*

Görünüş	Kahverengi
Viskozite	1,600 ± 400 mPa
Yoğunluk	1,14 ± 0,02 g/cm ³
İdeal Uygulama Sıcaklığı	+20 °C
İdeal Uygulama Rutubeti	% 8-12
İdeal Uygulama Miktarı	100 - 200 g/m ²
İdeal Presleme Süreleri	20 °C – 90 dakika 40 °C – 40 dakika 60 °C – 20 dakika

*Bilgiler, üretici firmadan temin edilmiştir.

2.2. Çapraz Lamine Kereste (CLT) Panellerin Üretimi

Yapılarda kullanılan CLT panellerin, büyük ölçekli üretimi, HC Panel Orman Ürünleri firmasında yapılmıştır. Tesisteki üretimin her aşaması, alt başlıklar altında aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Kerestelerin Seçimi ve Planyalanması

CLT üretimi için kullanılan kerestelerin yüzeyleri, güçlü ve dayanıklı bir yapışma sağlanabilmesi için oldukça düzgün ve kusursuz olmasına dikkat edilmiştir. Bundan dolayı, kereste yüzeyinden, ince bir yüzey tabakası çıkarılmasının, daha iyi bir yapışma sağlayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, her bir kereste paneli, 4 yüzeyinden de yaklaşık olarak kalınlıkta 2,5 mm genişlikte 3,8 mm azalma olacak şekilde, planya makinesinde planya işlemine tabi tutulmuştur.

CLT üretiminde, genişlikleri 100 mm ve kalınlıkları 25 ile 50 mm olan keresteler kullanılmıştır. 2,4x2,4 m ebatlarındaki 3 tabakalı CLT panellerin üretimi için, her ağaç türünden yeterli sayıda planyalanmış keresteler seçilmiştir.

2.2.2. Kerestelerin Rutubet ve Ortamın Sıcaklık Kontrolleri

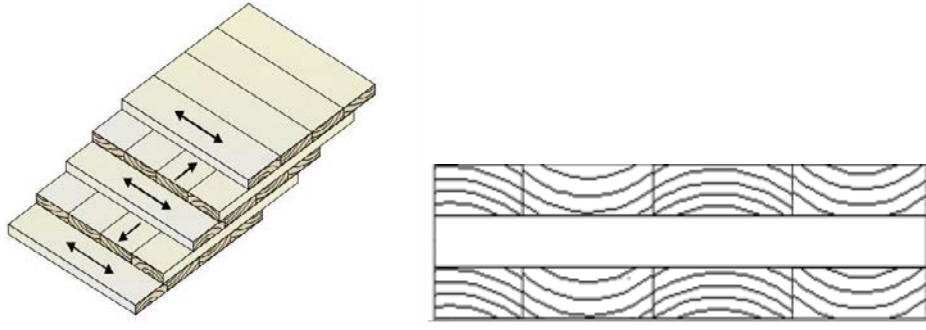
CLT üretiminde % 12 ± 3 kereste rutubeti, ürünün yapıştırılması sırasında doğru bağ kalitesini sağlaması açısından tercih edilmiştir. Bundan dolayı, çalışmadaki CLT üretiminde kullanılan kerestelerin tabakalar arasındaki rutubet farkı % 2'i geçmeyecek şekilde klasik kurutma yöntemi ile kurutma yapan bir fırında % 8 ± 3 rutubet derecelerine kadar kurutulmuş olarak alınmıştır. Rutubet kontrolü yapılmış olarak alınan keresteler, ağaç malzemenin higroskopik yapıda olmasına bağlı olarak, üretime kadar geçen süre içerisinde rutubet değişimine uğramasından dolayı, üretimden hemen önce tekrar rutubet kontrolünden geçilerek istenilen rutubet derecelerinde olup olmadığına bakılmıştır. Kerestelerin rutubet ölçümlerinde, direnç tipi rutubet ölçer kullanılmıştır.

Ahşabın sıcaklığı da yapışma kalitesinde önemli bir rol oynadığı için kullanılan tutkal türüne bağlı olarak üretici firmanın önerileri de dikkate alınmıştır. Çünkü üretim tesisi içinde ki ortam sıcaklığı, açık montaj süresi ve tutkal sertleşme süresi gibi bazı işlem parametreleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, çevre sıcaklığının en az 15 °C olması üretim için uygundur. Kullanılacak kerestelerin ve ortamın sıcaklığının üretim için uygunluğu kontrol edilmiştir.

2.2.3. Tutkallama ve Taslak Oluşturma

Tutkallama işleminde, optimum şartları belirlemek adına keresteler 2 gruba ayrılarak iki farklı tutkallama işlemi yapılmıştır. İlk işlemde; ilk grup keresteler kalınlıkları ve genişlikleri yönünde tutkallanmış olup, diğerinde ise ikinci grup keresteler sadece genişlikleri yönünde tutkallama işlemine tabi tutulmuştur. Poliüretan tutkalı, 160 g/m² olacak şekilde sürülmüştür.

Üretilen CLT panellerde taslak hazırlama işlemi kontrplak üretiminde olduğu gibi, tabakaların birbirine dik olacak şekilde yerleştirilmesiyle yapılmış olup, tek fark olarak her bir tabakada birden fazla kereste kullanılmıştır. Taslak oluşturma esnasında bir tabakada kullanılan kerestelerin enine kesitlerindeki yıllık halka yönü dikkate alınarak, üretilen malzemenin en az çalışmasını sağlayacak şekilde, 3 tabakalı taslaklar oluşturulmuştur. CLT panellere ait taslak şablonu ve enine kesitleri Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. CLT panel taslağı ve en kesiti

2.2.4. Presleme İşlemi

Üç tabakalı CLT taslaklarının preslenmesinde; kereste parçaları arasındaki boşluğu en aza indirebilmek için dikey presleme ile beraber $0,276 - 0,550 \text{ N/mm}^2$ arasında yan presleme yapabilen bir hidrolik lamine ahşap presi kullanılmıştır. Presleme işleminde soğuk pres uygulanmış ve pres basıncı olarak $0,8 \text{ N/mm}^2$ seçilmiştir. Presleme süresi, kullanılan poliüretan tutkalında önerilen süreler doğrultusunda, ortamın sıcaklığına göre 40 dakika olarak belirlenmiştir. $2,4 \times 2,4 \text{ m}$ boyutlarına getirmek için CLT paneller, presleme işleminden sonra ebatlanmıştır. Presleme işleminde kullanılan, hidrolik lamine ahşap presi Şekil 29’da gösterilmiştir.



Şekil 29. Hidrolik lamine ahşap presi

Çalışma kapsamında 3 farklı ağaç türü, 2 farklı kereste kalınlığı ve 2 farklı tutkallama şekli kullanılarak, 12 levha grubu oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan levha grupları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma kapsamında oluşturulan levha gruplarının tanıtımı

Grup No	Ağaç Türü	Tutkallama Şekli	Kereste Kalınlığı (mm)
1	Sarıçam	Yüzey tutkallı	25
2			50
3		Yüzey +Kenar tutkallı	25
4			50
5	Ladin	Yüzey tutkallı	25
6			50
7		Yüzey +Kenar tutkallı	25
8			50
9	Gökmar	Yüzey tutkallı	25
10			50
11		Yüzey +Kenar tutkallı	25
12			50

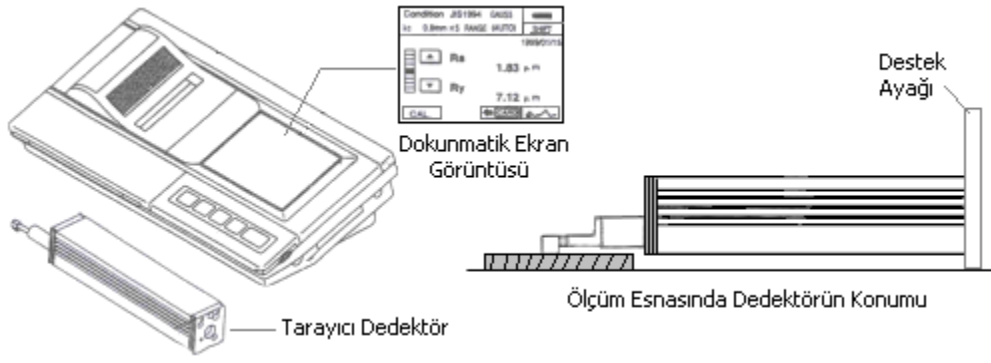
2.3. Yöntem

2.3.1. CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Deneysel Çalışmalar

Çalışma için temin edilen kerestelerin, standartlara uygun olup olmadığını tespit etmek ve yüzey kalitelerini belirlemek amacıyla masif örnekler üzerinde bazı testler yapılmıştır. Bu testler, eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve yüzey pürüzlülüğüdür.

2.3.1.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Çalışmada, CLT üretiminde kullanılan kerestelerin eğilme direnci TS 2474 (TS 2474, 1977) ve elastikiyet modülü testleri TS 2478 (TS 2478, 1978) standartlarına göre yürütülmüştür. Her ağaç türü için, 2 x 2 x 30 cm boyutlarında hazırlanan örnekler, iklimlendirme işleminden sonra radyal yönü en, teğet yönü de kalınlık alınmak suretiyle boyutları uzunluk ekseninin ortasından $\pm 0,1$ mm duyarlıkta ölçülmüştür. Deney örnekleri makineye dayanak noktaları arasındaki açıklık, kalınlığın 12 katı olacak şekilde yerleştirilmiş ve yük deney örneklerinin radyal yüzüne yıllık halkalara teğet yönde ve deney



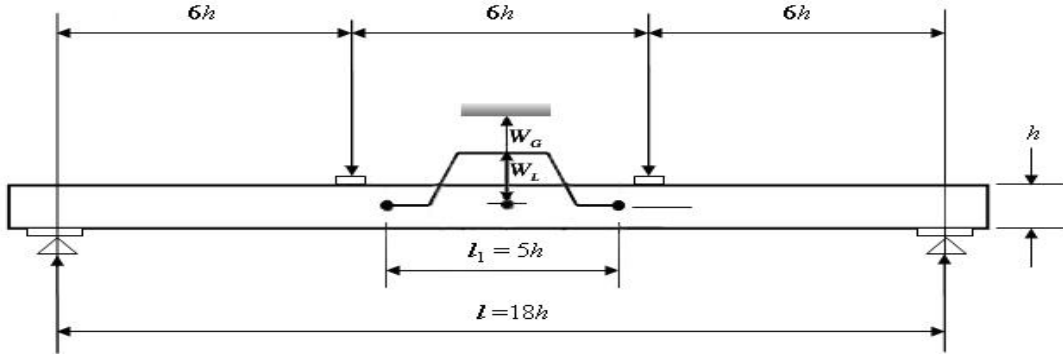
Şekil 31. Mitutoyo SurfTest SJ-301 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Pürüzlülük ölçümleri DIN 4768’de belirtilen esaslara göre yürütülmüştür (DIN 4768, 1990). Ölçümler yapılmadan önce tüm keresteler bir iklimlendirme dolabında klimatize edilerek rutubetleri dengelenmiş, böylece rutubet miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi önlenmiştir. Her ağaç türü için 20 adet kereste parçası kullanılmıştır. Bir kereste parçasında, toplamda 5 ölçüm yapılmıştır. DIN 4768’e göre bu keresteler üzerinde; ortalama pürüzlülük (Ra), 5 tepe 5 çukurun ortalama değeri (Rz) ve maksimum pürüzlülük (Rmax) değerleri ölçülerek ortalamaları hesaplanmıştır. Analiz için Rz değeri kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde; çapı 10µm olan 90° açılı elmas uçlu bir tarama dedektörü kullanılmış ve kesme uzunluğu (sınır dalga boyu) $\lambda_c = 2.5$ mm, örnekleme uzunluğu ise 12.5 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçümler 0.5 mm/sn hızla liflere dik doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

2.3.2. CLT Panellere Ait Deneysel Çalışmalar

2.3.2.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Üretilen CLT panellere uygulanan eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri, ANSI/APA PRG 320 (2012) standardına göre yürütülmüştür. Her bir test grubundan 7’şer adet eğilme direnci ve elastikiyet modülü test numunesi kullanılmıştır. Bu standarda göre hazırlanan eğilme direnci ve elastikiyet modülü test örneği ve test düzeneği Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 32. CLT panellerin eğilme direnci test düzeneği

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tespitinde aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır:

$$E.M. = \frac{\Delta Pa(3l^2 - 4a^2)}{48I3\Delta V} \quad (1)$$

$$E.D. = \frac{3P_{max}(l-s)}{2bh^2} \quad (2)$$

Eşitlikte;

P_{max} : Maksimum kuvvet

ΔPa : Eğilme miktarı (sehim) (N)

ΔV : Eğilme miktarı (sehim) (mm)

l : Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

s : Yükleme noktaları arası açıklık (mm)

b : Genişlik

h : Kalınlık

a : Yükleme noktası ile dayanak noktası arası açıklık (mm)

I : Rijitlik'tir.

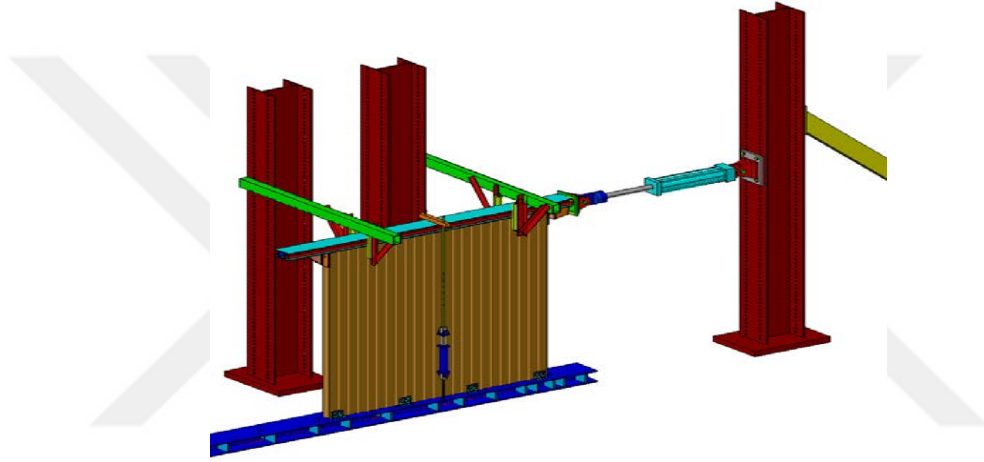
2.3.2.2. Yoğunluk

Üretilen CLT panellerin yoğunlukları TS EN 323 (1999) standardına göre belirlenmiştir. Örneklerin hava kuru ağırlıkları ± 0.01 g hassasiyetli analitik bir terazide

tartıldıktan ve boyutları ± 0.01 mm duyarlıklı kumpas ile ölçüldükten sonra yoğunlukları hesaplanmıştır. Her test grubundan 10'ar adet test numunesi kullanılmıştır.

2.4. CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında CLT duvar analizi testi ASTM E 72 standardına göre doğrusal yük altında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 33' te verilmiştir.



Şekil 33. Deneysel test düzeneği şematik gösterimi

ASTM E 72 standardına göre, 2,4 x 2,4 m ebatlarında üretilen iki farklı kalınlıktaki 3 katmanlı CLT duvarlar, Şekil 34'de gösterildiği gibi uzun ve kısa L bağlantı elemanlarıyla demir zemine montelenmiştir.



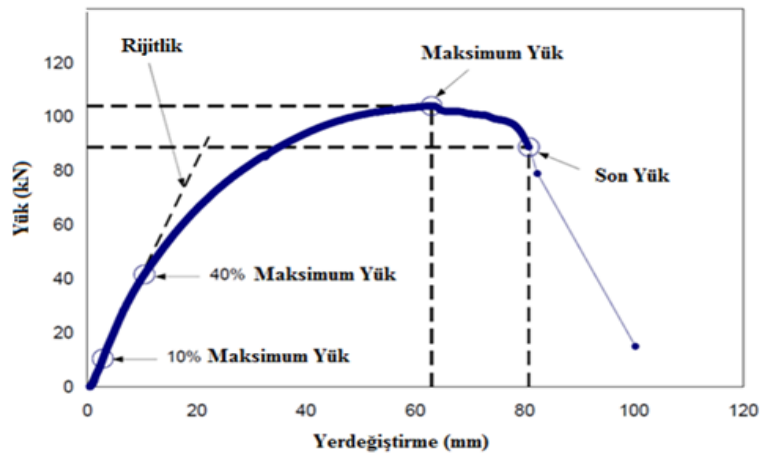
Şekil 34. CLT duvarların zemine montelenmesi

CLT duvarların analizleri ASTM E 72 standardına göre, 354 kg, 712 kg ve 1071 kg yükler altındaki yer değiştirmeleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, Şekil 35' te gösterildiği gibi modelin 5 ayrı noktasından LVDT' ler yardımı ile yapılmıştır. Daha sonra CLT duvarın taşıyabileceği maksimum yüke kadar yükleme yapılmış ve maksimum yükteki yer değiştirmeleri belirlenmiştir.



Şekil 35. CLT duvarın yer değiştirme ölçüm noktaları

Test sonucunda her bir grup için elde edilen grafikler incelenerek o grubu temsil edebilecek yük-yer değiştirme eğrileri belirlenmiş ve elde edilen veriler örnek gruba ait maksimum yük ve bu yükteki yer değiştirmeyi ifade edecek biçimde grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 36).



Şekil 36. Test sonucu elde edilen grafik

Grafik yardımıyla aşağıdaki özellikler de belirlenmiştir:

- Rijitlik: Max yükün % 10-40'ı arasında bulunan eğrinin eğimi ile hesaplanmaktadır.
- Son Yük (Ultimate Load): Max yükün %80'idir.
- Son yük ve bu yüke göre belirlenen yer değiştirme noktasına kadar olan ve eğri altında kalan alanın değeri sistemin enerjisini vermektedir.

2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi

Yapılan çalışmada ağaç türü, tutkallama şekli, kalınlık değerlerine bağlı olarak eğilme direnci, maksimum kuvvet, maksimum kuvvetteki yer değiştirme yapay sinir ağları yöntemiyle modellenmiştir. Bu parametrelerin eğilme direnci, maksimum kuvvet, maksimum kuvvetteki yer değiştirme üzerine etkilerini incelemek amacıyla; deney verileri eğitim ve test verileri şeklinde rastgele ve homojen bir şekilde gruplandırılıp, farklı veri setleri oluşturularak yapay sinir ağlarını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. En uygun ağ mimarisinin ve parametrelerinin belirlenmesinde YSA modellemelerinde halen en çok kullanılan yöntem olan deneme yanılma metodu kullanılmıştır. Denemelerde gizli katman sayıları ve gizli katman(lar)daki nöron sayıları geniş bir yelpazede değiştirilip, farklı parametreler (aktivasyon fonksiyonu, eğitim algoritması, öğrenme kuralı, performans fonksiyonları vb.) ve veri setleri kullanılarak değişik modeller kurulup sayısız denemeler yapılarak eğitimler gerçekleştirilmiş, ağların performansını test etmek amacıyla eğitim setinde kullanılmayan ve test için ayrılan verilerle modeller test edilerek en hassas sonuç elde edilmeye çalışılmış, en uygun ağ mimarileri ve tahmin modelleri belirlenmiştir.

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış, iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan tanı vasıtaları (performans fonksiyonları) olan 3 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), 4 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve 5 numaralı eşitlikle hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (5)$$

Burada t_i , gerçek değeri; td_i , model tahmin değerini; N ise terim sayısını ifade etmektedir.

2.6. İstatistiksel Analiz

CLT panellerin üretiminde kullanılan kerestelere ait; eğilme direnci, elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci değerlerinde optimum sonuçları veren ağaç türünü belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca CLT panellerin bazı teknolojik özelliklerine ait değerlerin optimum sonuçlarını veren ağaç türü, tutkallama şekli ve kereste kalınlığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi ile elde edilen farkların anlamlı bulunması durumunda, Student Newman-Keuls test uygulanarak varyans kaynaklarının ortalamaları karşılaştırılmış ve homojenlik grupları tespit edilmiştir. İstatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde, SPSS 21 for Windows istatistik paket programından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Bulgular

Üretilen CLT panellerde kullanılan kerestelerin bazı teknolojik özelliklerine ait ortalama değerler, standart sapmaları ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen homojenlik grupları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. CLT üretiminde kullanılan kerestelerin teknolojik özelliklerine ait ortalama değerler

Ağaç Türü	Eğilme Direnci (N/mm ²)			Elastikiyet Modülü (N/mm ²)			Liflere Paralel Basınç Direnci (N/mm ²)		
	X	S	H _g	X	S	H _g	X	S	H _g
Sarıçam	67,01	3,72	b	4984,74	604,12	b	35,96	1,11	a
Ladin	58,58	3,54	a	4599,59	953,71	a	36,02	3,66	a
Gökmar	55,15	4,05	a	4324,12	710,05	a	35,81	2,61	a

X: Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, H_g: Homojenlik Grupları

Tablo 3'e göre, kerestelerin eğilme direnci ve eğilmedeki elastikiyet modülleri incelendiğinde; en yüksek değerleri veren ağaç türünün sarıçam olduğu, en düşük değerleri verenin de gökmar olduğu belirlenmiştir. Liflere paralel basınç direnci incelendiğinde; ortalama değerlerin ağaç türleri arasında istatistiksel bir farkın bulunmadığı görülmesine karşın, ladinin diğer ağaç türlerinden biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin hesaplanmasında, profil düzensizliklerinin on nokta yüksekliği, sınır dalga boyu içerisindeki en derin beş profil vadisi derinliği ile en yüksek beş profil tepe yüksekliğinin mutlak değerlerinin ortalaması olan Rz değerleri kullanılmıştır (TS 6956). Bu değerlere göre keresteler arasında çok fark olmamakla birlikte sarıçam (42,42 µm) ve gökmar (42,15 µm) keresteleri ladin (43,06 µm) kerestelerine göre daha düzgün yüzeyler vermişlerdir.

3.2. CLT Panellere Ait Bulgular

Üretilen CLT panellere ait eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri, ağaç türleri, tutkallama şekli ve kalınlığa göre Tablo 4’te, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması maksadıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları ise Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. CLT duvarların eğilme direnci ve elastikiyet modülü ortalama değerleri

Ağaç Türü	Tutkallama Şekli	CLT Duvar Üretiminde Kullanılan Kereste Kalınlığı (mm)	Eğilme Direnci (N/mm ²)		Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	
			X	S	X	S
Sarıçam	Yüzey tutkallı	25	20,97	0,85	8941,42	800,25
		50	13,18	0,55	8164,25	795,12
	Yüzey+Kenar tutkallı	25	28,37	0,77	9101,36	912,03
		50	18,51	0,75	8525,65	755,12
Ladin	Yüzey tutkallı	25	16,04	0,68	8343,01	600,53
		50	14,83	0,40	8054,42	550,25
	Yüzey +Kenar tutkallı	25	18,35	0,65	8507,49	797,12
		50	17,65	0,65	8455,21	752,02
Gökmar	Yüzey tutkallı	25	15,89	0,55	8122,35	688,18
		50	13,78	0,48	7988,15	550,19
	Yüzey +Kenar tutkallı	25	18,71	0,75	8592,23	812,68
		50	16,66	0,84	8322,10	850,31

X: Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma

Tablo 5. CLT panellerin bazı mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları (p<0,05)

Varyans Kaynakları	N	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
Ağaç Türü			
Sarıçam	28	20,28 b	8683 b
Ladin	28	16,72 a	8340 a
Gökmar	28	16,26 a	8256 a
Tutkallama Şekli			
Yüzey Tutkallı	42	15,78 a	8269 a
Yüzey+Kenar Tutkallı	42	19,71 b	8584 b
Kereste Kalınlığı			
25 mm	42	19,72 b	8601 b
50 mm	42	15,77 a	8252 a

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 4'teki ortalama değerler ve Tablo 5'teki homojenlik grupları incelendiğinde, üretilen CLT panellerin eğilme direnci ve eğilmedeki elastikiyet modülü değerlerinin, üretiminde kullanılan kereste kalınlıkları arttıkça düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kerestelerin yüzeyleriyle birlikte, kenarlarının da tutkallandığı gruplar, sadece yüzeyleri tutkallanan gruplara göre daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri vermiştir. Gruplar arasında, en yüksek eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerini, ağaç türü olarak sarıçam CLT panellerin verdiği görülmüştür.

Üretilen CLT panellere ait yoğunluk ve standart sapma değerleri Tablo 6'da, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması maksadıyla yapılan Newman-Keuls testi sonuçları ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. CLT panellere ait ortalama yoğunluk değerleri

Ağaç Türü	Tutkallama Şekli	CLT Duvar Üretiminde Kullanılan Kereste Kalınlığı (mm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	
			X	S
Sarıçam	Yüzey tutkallı	25	0,539	0,0108
		50	0,471	0,0137
	Yüzey+Kenar tutkallı	25	0,554	0,0185
		50	0,456	0,0214
Ladin	Yüzey tutkallı	25	0,432	0,0086
		50	0,467	0,0313
	Yüzey +Kenar tutkallı	25	0,422	0,0078
		50	0,443	0,0140
Gök nar	Yüzey tutkallı	25	0,481	0,0072
		50	0,479	0,0055
	Yüzey +Kenar tutkallı	25	0,461	0,0088
		50	0,463	0,0064

X: Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma

Tablo 7. CLT panellerin yoğunluk değerleri üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Newman-Keuls testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Yoğunluk (gr/cm ³)
Ağaç Türü		
Sarıçam	40	0,505 c
Ladin	40	0,441 a
Gökmar	40	0,471 b
Tutkallama Şekli		
Yüzey Tutkallı	60	0,478 a
Yüzey+Kenar Tutkallı	60	0,466 a
Kereste Kalınlığı		
25 mm	60	0,481 b
50 mm	60	0,463 a

*Farklı harfler istatistiksel olarak belirgin bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 6'daki ortalama değerler ve Tablo 7'deki homojenlik grupları incelendiğinde, üretilen CLT panellerin yoğunluk değerlerinin, üretiminde kullanılan kereste kalınlıkları arttıkça düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kerestelerin yüzeyleriyle birlikte, kenarları da tutkallanan gruplar ile sadece yüzeyleri tutkallanan gruplar arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunamamıştır. En yüksek yoğunluk değerlerini veren ağaç türünün, sarıçam CLT panellerin olduğu görülmüştür.

3.3. CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneylere Ait Bulgular

ASTM E 72 standardına göre yapılan yanal yük deneyinde, CLT duvar öncelikle 354 kg'lık bir kuvvetle itilmekte, yer değiştirmeler elde edilmekte ve yük boşaltılmaktadır. Sonrasında, yük 712 kg'a çıkartılmakta, yer değiştirmeler tekrar ölçülerek yük boşaltılmaktadır. Üçüncü aşamada, 1071 kg'lık yükleme sonrasında meydana gelen yer değiştirmeler değerlendirilmekte olup, son aşamada CLT duvarın maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir. 12 adet duvar sisteminin her biri için, gerçekleştirilen testler sırasında elde edilen yer değiştirme değerleri aşağıdaki tablolarda farklı yük durumları için sunulmuştur.

Tablo 8. 1 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 1	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,15	0,07	0	0,01	1,5
712 kg	-0,45	0,45	0	0	2,5
1071 kg	-0,77	0,83	0,01	0,18	4,5
11542,32	-5,62	25,90	9,25	33,14	87,44

Tablo 9. 2 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 2	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,06	0,06	0,04	0	0,5
712 kg	-0,10	0,09	0,12	0	1
1071 kg	-0,17	0,17	0,22	0	2
12509,25 kg	-6,26	18,37	16,09	26,43	90,94

Tablo 10. 3 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 3	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,13	0,08	0,07	0	1
712 kg	-0,23	0,14	0,21	0,02	1,5
1071 kg	-0,52	0,23	0,56	0,56	2
10619,57 kg	-6,31	25,05	21,52	21,52	84,95

Tablo 11. 4 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 4	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,03	0,06	0,01	0	1
712 kg	-0,09	0,15	0,01	-0,01	2
1071 kg	-0,12	0,23	0	-0,01	2,5
111901,6 kg	0	23,40	23,40	54,90	84,95

Tablo 12. 5 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 5	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,10	0,12	0,18	0	1,5
712 kg	-0,017	0,30	0,49	0	2,5
1071 kg	-0,42	0,49	1,05	0,01	4
6917,05 kg	-0,94	35,61	28,56	49,78	66,77

Tablo 13. 6 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 6	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,10	0,08	0	0,17	1
712 kg	-0,12	0,10	0	0,25	1,5
1071 kg	-0,18	0,17	-0,01	0,47	2,5
9835,02 kg	-4,17	23,75	20,74	56,55	89,33

Tablo 14. 7 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 7	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,13	0,22	0	0,34	1
712 kg	-0,18	0,33	0,01	0,37	1,5
1071 kg	-0,25	0,41	0,01	0,39	2
6856,13 kg	-2,44	11,41	5,82	20,69	52,19

Tablo 15. 8 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 8	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,09	0,07	0	0	1
712 kg	-0,25	0,23	0,37	0,51	5,5
1071 kg	-0,52	0,47	0,91	1,90	8
8009,12 kg	-0,77	22,04	18,26	61,03	93,78

Tablo 16. 9 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 9	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,12	0,13	0,19	0	1,5
712 kg	-0,02	0,28	0,38	0,01	2
1071 kg	-0,41	0,46	1,08	0,01	3,5
6740,1 kg	-0,91	33,24	28,45	48,88	77,62

Tablo 17. 10 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 10	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,18	0,21	0	0,33	1
712 kg	-0,19	0,35	0,01	0,34	2
1071 kg	-0,28	0,48	0,01	0,37	2,5
7850,08 kg	-4,11	22,75	20,61	56,52	83,48

Tablo 18. 11 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 11	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,15	0,21	0	0,32	1
712 kg	-0,16	0,39	0	0,36	1,5
1071 kg	-0,27	0,42	0,01	0,38	2,5
7015,08 kg	-2,38	11,39	5,92	21,69	78,56

Tablo 19. 12 numaralı grup için elde edilen test sonuçları

Grup No: 12	Düğüm Noktaları (mm)				
Yük Durumları	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
354 kg	-0,08	0,09	0	0	1
712 kg	-0,22	0,29	0,42	0,54	3,5
1071 kg	-0,49	0,46	0,98	1,96	6
8200,25 kg	-0,71	21,04	18,54	61,33	90,08

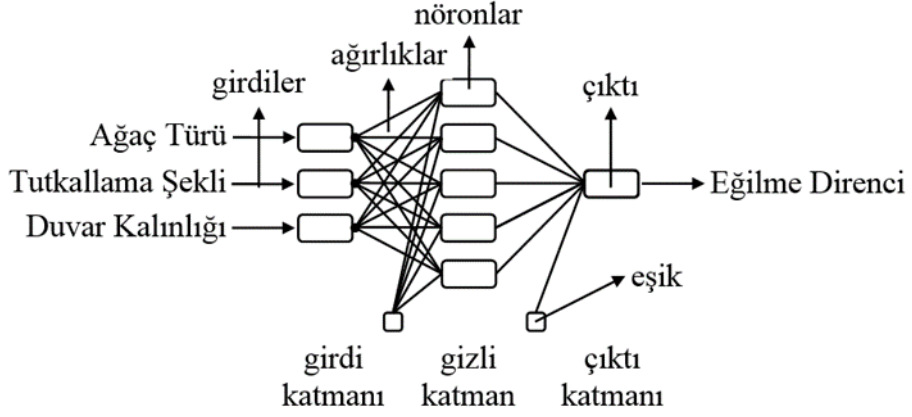
3.4. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modellemesi

Yapılan çalışmada ağaç türü, tutkallama şekli, kalınlık değerlerine bağlı olarak eğilme direnci, maksimum kuvvet, maksimum kuvvetteki yer değiştirme yapay sinir ağı yöntemiyle modellenmiştir. Yapay sinir ağlarının oluşturulması, eğitimi ve optimizasyonu MATLAB paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlgili parametrelerin eğilme direnci, maksimum kuvvet, maksimum kuvvetteki yer değiştirme üzerine etkilerini incelemek amacıyla; deney verileri eğitim ve test verileri şeklinde rastgele ve homojen bir şekilde gruplandırılıp, farklı veri setleri oluşturularak yapay sinir ağlarını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. Tahmin modelinde kullanılan veri setleri Tablo 20 'de gösterilmiştir. Ayrıca, Tablo 20' de, bu tahmin modeli kullanılarak hesaplanan değerler, gerçek değerler, sapma miktarları, yüzde hata oranları ile RMSE ve MAPE değerleri görülmektedir.

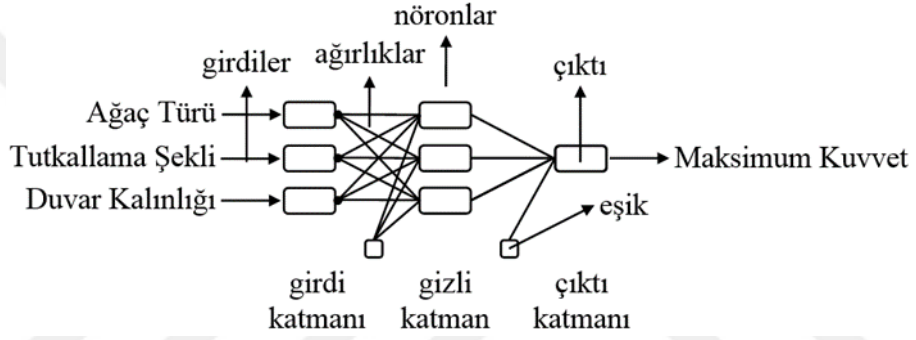
Tablo 20. Tahmin modelinde kullanılan veriler ve tahmin modeli sonuçları.

Eğitim Verileri											
Ağaç Türü	Tutkallama Şekli	Kereste Kalınlığı	Eğilme Direnci			Maksimum Kuvvet			Yer Değiştirme		
			Gerçek	YSA	%Hata	Gerçek	YSA	%Hata	Gerçek	YSA	%Hata
Sarıçam	Yüzey	25	20.97	20.94	0.1	11542.32	11542.21	0.0	87.44	87.38	0.1
Sarıçam	Yüzey +Kenar	25	28.37	28.36	0.0	10619.57	10615.56	0.0	84.95	84.32	0.7
Sarıçam	Yüzey +Kenar	50	18.51	18.73	-1.2	11901.60	11915.73	-0.1	84.95	84.61	0.4
Ladin	Yüzey	50	14.83	14.83	0.0	9835.02	9832.02	0.0	89.33	89.79	-0.5
Ladin	Yüzey +Kenar	25	18.35	18.39	-0.2	6856.13	6856.51	0.0	52.19	52.40	-0.4
Gök nar	Yüzey	25	15.89	15.90	-0.1	6740.10	6739.97	0.0	77.62	77.47	0.2
Gök nar	Yüzey	50	13.78	13.78	0.0	7850.08	8025.12	-2.2	83.48	83.45	0.0
Gök nar	Yüzey +Kenar	50	16.66	16.66	0.0	8200.25	8024.70	2.1	90.08	89.28	0.9
MAPE			0.21			0.57			0.41		
RMSE			0.08			87.81			0.42		
Test Verileri											
Ağaç Türü	Tutkallama Şekli	Kereste Kalınlığı	Eğilme Direnci			Maksimum Kuvvet			Yer Değiştirme		
			Gerçek	YSA	%Hata	Gerçek	YSA	%Hata	Gerçek	YSA	%Hata
Sarıçam	Yüzey	50	13.18	12.94	1.8	12509.25	12699.20	-1.5	90.94	89.03	2.1
Ladin	Yüzey	25	16.04	15.93	0.7	6917.05	6890.77	0.4	66.77	68.38	-2.4
Ladin	Yüzey +Kenar	50	17.65	17.21	2.5	8009.12	7997.15	0.1	93.78	90.92	3.0
Gök nar	Yüzey +Kenar	25	18.71	17.68	5.5	7015.08	6858.72	2.2	78.56	81.65	-3.9
MAPE			2.62			1.07			2.87		
RMSE			0.57			123.86			2.45		

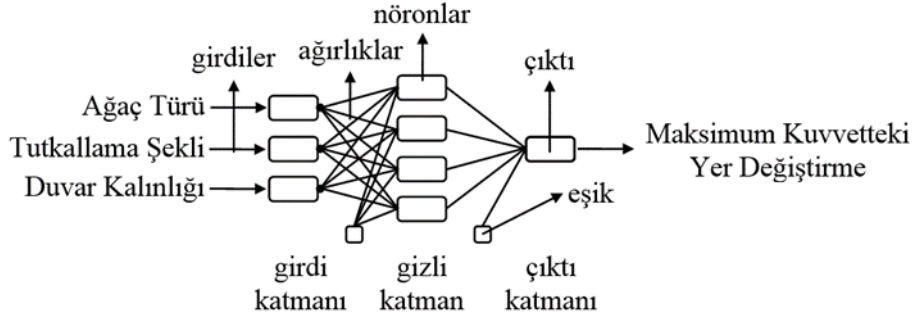
Şekil 37, 38, 39' da sırasıyla eğilme direnci, maksimum kuvvet ve maksimum kuvvetteki yer değiştirme miktarlarının modellenmesi için seçilen ve gerçek değerlere en yakın sonuçları veren 1 giriş katmanı, 1 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşan tahmin modellerinin ağ mimarileri görülmektedir. Modellerde ağaç türü, tutkallama şekli, kalınlık değerleri girdi değişkenlerini oluştururken, eğilme direnci, maksimum kuvvet, maksimum kuvvetteki yer değiştirme ise çıktı değişkenlerini oluşturmaktadır. Tahmin modelleri için gizli katmanlardaki işlem elemanı (nöron) sayıları sırasıyla 5, 3 ve 4'dür.



Şekil 37. Eğilme direnci tahmin modeli YSA mimarisi



Şekil 38. Maksimum kuvvet tahmin modeli YSA mimarisi



Şekil 39. Yer değiştirme tahmin modeli YSA mimarisi

Modelin en tutarlı sonucu verebilmesi için ağ yapısı genelleme yapabilecek en az nöron sayısı ile tasarlanmıştır. Problemin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu çalışmada, aktivasyon (transfer) fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) ile doğrusal transfer fonksiyonu (purelin), eğitim algoritması olarak da levenberg marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş,

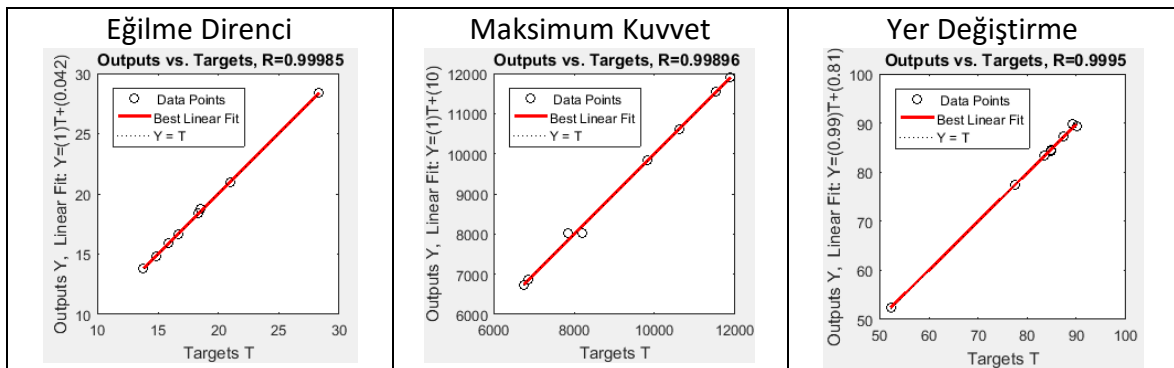
öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması (traingdm), performans fonksiyonu olarak ta 6 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hata (MSE) tercih edilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (6)$$

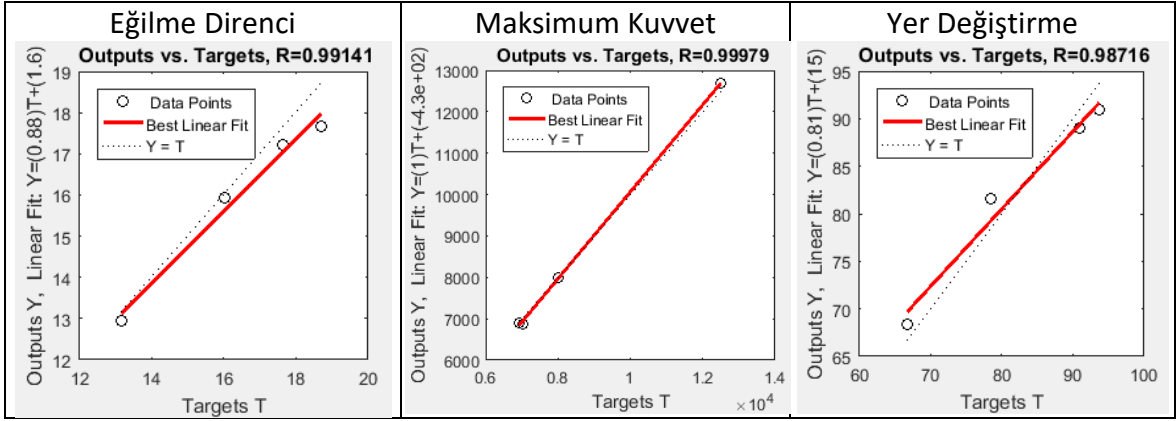
Her bir parametrenin modele eşit katkı sağlaması amacıyla eğitim ve test setindeki veriler, modelde hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanıldığından, (-1,1) aralığında normalize edilerek ağa sunulmuş, daha sonra sonuçların yorumlanabilmesi için veriler ters normalize işlemine tabi tutulmak suretiyle orijinal değerlerine çevrilmiştir. Normalizasyon (ölçeklendirme) işlemleri, 7 numaralı eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte X_{norm} , normalize edilmiş veriyi; X , değişkenin gerçek değerini; X_{min} , veri grubunun minimum değerini; X_{max} , ise veri grubunun maksimum değerini ifade etmektedir.

$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (7)$$

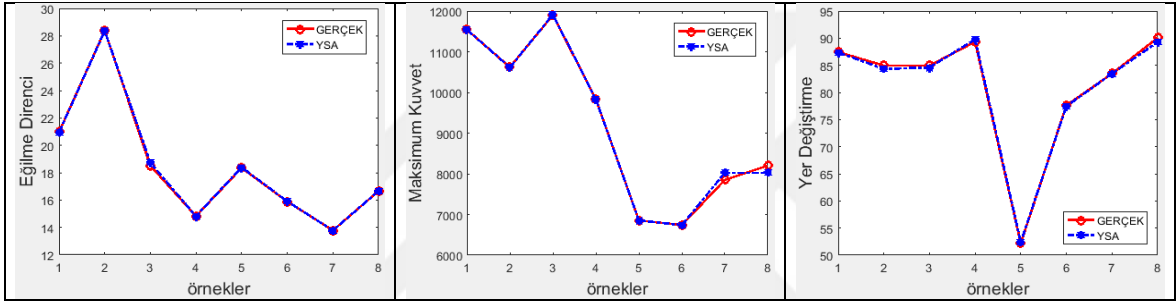
Tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişkileri gösteren diyagramlar Şekil 40 ve 41'de gösterilmiştir. Şekil 42 ve 43'teki grafiklerde bu değerler karşılaştırılmıştır.



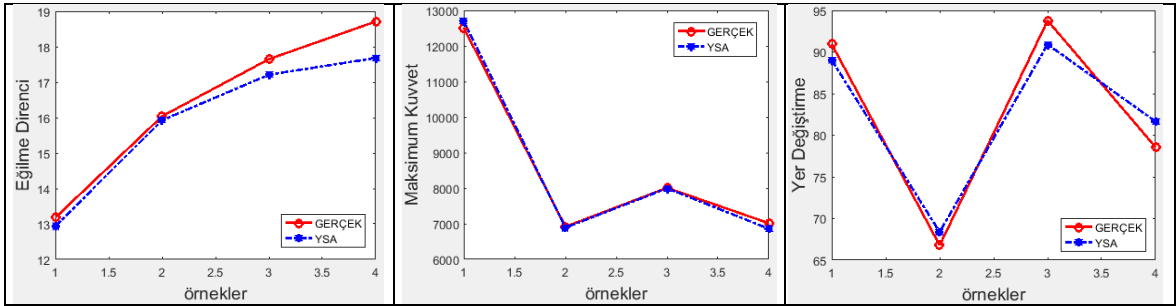
Şekil 40. Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneysel sonuçların ilişki diyagramları



Şekil 41. Test seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneysel sonuçların ilişki diyagramları



Şekil 42. Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 43. Eğitim seti için tahmin modelleri sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.

Yapay sinir ağlarının girdiler için doğru çıktıları üretecek hale gelmesi (istenen çıktı ile ağ çıktısı arasındaki farkın minimize edilmesi) yani ağın eğitilmesi, bağlantı ağırlıklarının ve eşik değerlerinin belirlenmesi ile gerçekleşmektedir. Ağın doğru ağırlık değerine ulaşması, ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuştuğunu diğer bir ifade ile ağın öğrendiğini gösterir. Yapay sinir ağlarında bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine ağırlık değerleri (ağırlıklı bağlantılar veya bağlantı ağırlıkları) ile dağılmıştır. Tablo 21, 22 ve 23'te tahmin modellerinin bağlantı ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 21. Eğilme direnci tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları

Gizli Katman					Çıktı Katmanı		
neron1	neron2	neron3	neron4	neron5	bias1	neron1	bias2
2.243342	-1.154342	0.129720	1.098579	-2.126394	-2.323272	-0.123575	0.322065
-0.811024	2.108160	-2.227978	-1.766849	0.181662	1.332474	-0.438103	
0.328286	-0.429391	1.055547	1.195700	-0.840603	-0.734875	-0.549037	
					1.079147	-0.050818	
					-2.725462	0.981692	

Tablo 22. Maksimum kuvvet tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları

Gizli Katman				Çıktı Katmanı	
neron1	neron2	neron3	bias1	neron1	bias2
-1.969308	5.465455	1.186151	0.532661	-0.202710	-0.800323
1.167102	1.311293	-2.717988	2.502365	-0.813866	
-3.322133	-0.956528	-1.641749	-6.847677	-0.857120	

Tablo 23. Maksimum kuvvet tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları

Gizli Katman					Çıktı Katmanı	
neron1	neron2	neron3	neron4	bias1	neron1	bias2
-0.229553	-3.345679	-2.838832	0.721179	-3.491413	0.110939	0.892790
0.291925	-0.230863	-0.908947	-1.237771	0.238396	-0.816467	
-2.923470	-2.147500	-0.349375	-2.109721	-1.280647	0.893485	
				2.231554	-0.209463	

Önerilen YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmalar deneysel ölçümlerle mukayese edildiğinde YSA modellerinin tatmin edici ve istikrarlı sonuçlar ürettiğini teyit etmektedir.

Tablo 18 incelendiğinde YSA tahmin modellerinin kullanılması ile hesaplanan(tahmin edilen) değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Bu hata düzeyleri ve grafiksel karşılaştırmalar YSA tahmin modellerinin etkili bir şekilde memnun edici sonuçlar ürettiğini ve yeterli doğruluk ve güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Kurulan yapay sinir ağı modeli ile ağaç türü, tutkallama şekli ve kalınlık değerlerine bağlı olarak eğilme direnci, maksimum kuvvet ve maksimum kuvvetteki yer değiştirme

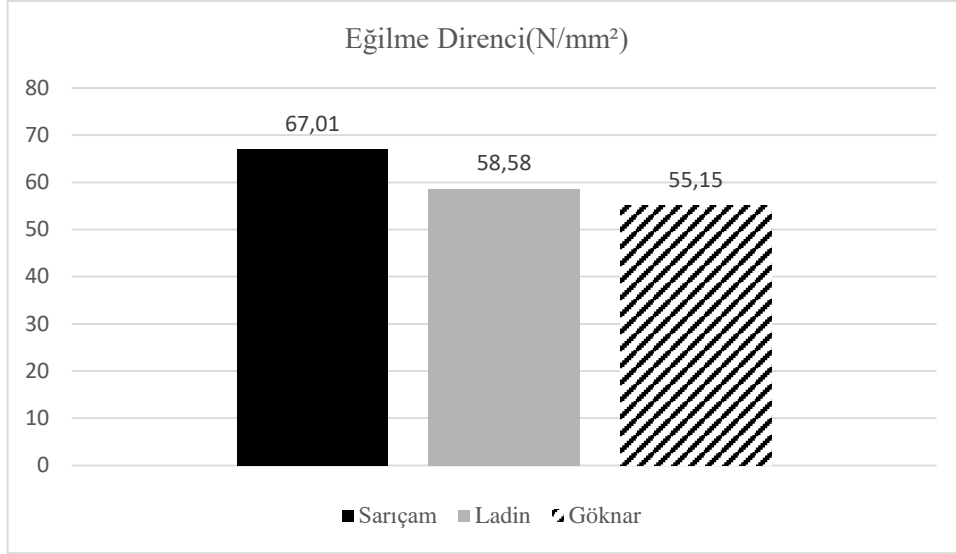
yapay sinir ağı yaklaşımı ile başarılı bir şekilde modellenmiştir. Modelleme sonucunda bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış, iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan tanı vasıtaları (performans fonksiyonları) olan ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve determinasyon katsayısı (R²) dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir. Bu modelleme ile 25 mm ve 50 mm kalınlıklardaki kerestelerden üretilen CLT duvarların teknolojik özelliklerinin bu aralıktaki tüm değerler için hesaplanabileceği bu ortaya konulmuştur. Böylelikle, CLT' nin Türkiye' deki yerli ağaç türlerinden üretilmesi ve en uygun üretim şartlarının ortaya koyulacağı üretim optimizasyonunun sağlanmasında; her bir üretim adımında yapılacak değişikliklerin etkisini belirlemek için yapılması gereken deneysel çalışmaların getireceği işgücü, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanarak optimum sonuçlara ulaşılabiliceği ispatlanmıştır.

4. TARTIŞMA

4.1. CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Teknolojik Özellikler

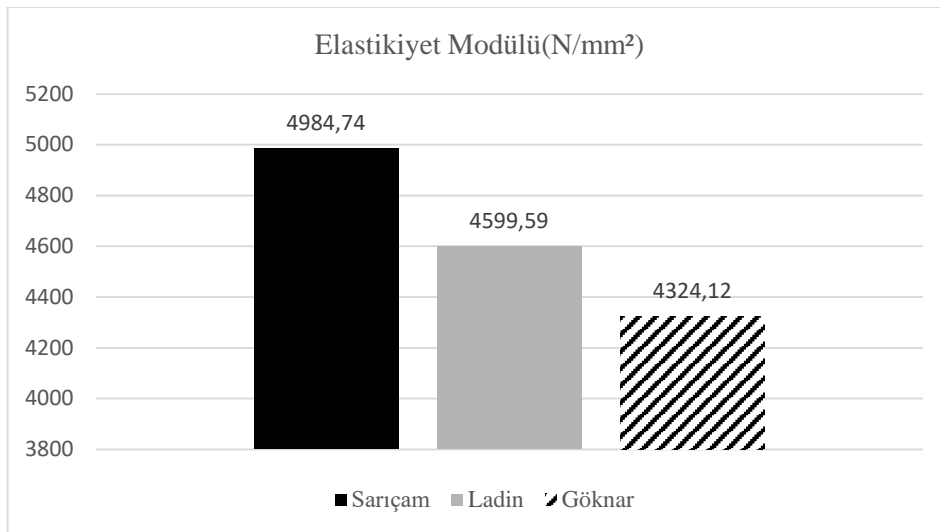
Çalışmada kullanılan masif kerestelerin standartlara ve literatüre uygun olup olmadığını tespit etmek için, kereste numuneleri üzerinden bazı teknolojik özellikler belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda eğilme direncinde Sarıçam 98 N/mm^2 , Doğu ladini 76 N/mm^2 , göknar 77 N/mm^2 olarak verilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2000). As ve Büyüksarı (2016), Türkiye’de yetişen ağaç türlerinin bazı fiziko-mekanik özellikleri bakımından sınıflandırılması adlı çalışmalarında ağaç türlerinin sahip oldukları fiziko-mekanik değerleri esas alarak mevcut ya da oluşturulmuş bulunan sınıf gruplarına dağılımı yapmışlardır. Bu sınıflandırma Türkiye’de yetişen ve özellikleri bilinen bazı ağaç türlerinin sahip olduğu en düşük ve en yüksek değerler dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ağaç türleri bu sınıflandırma esas alındığında; sarıçam odununun yoğunlukta hafif ($< 0,55 \text{ gr/cm}^3$), eğilme direncinde orta ($85\text{-}120 \text{ N/mm}^2$), elastikiyet modülünde orta ($10000\text{-}13000 \text{ N/mm}^2$) ve liflere paralel basınç direncinde ise büyük ($>55 \text{ N/mm}^2$) olarak adlandırılan sınıfa girdiği, ladin odununun yoğunlukta hafif ($< 0,55 \text{ gr/cm}^3$), eğilme direncinde küçük ($<85 \text{ N/mm}^2$), elastikiyet modülünde küçük ($>10000 \text{ N/mm}^2$) ve liflere paralel basınç direncinde ise küçük ($<35 \text{ N/mm}^2$) olarak adlandırılan sınıfa girdiği, göknar odununun yoğunlukta hafif ($< 0,55 \text{ gr/cm}^3$), eğilme direncinde küçük ($<85 \text{ N/mm}^2$), elastikiyet modülünde küçük ($>10000 \text{ N/mm}^2$) ve liflere paralel basınç direncinde ise orta ($35\text{-}55 \text{ N/mm}^2$) olarak adlandırılan sınıfa girdiği, görülmüştür (As ve Büyüksarı, 2016).

CLT üretiminde kullanılan sarıçam kerestelerinin eğilme direnci $67,01 \text{ N/mm}^2$, doğu ladini kerestelerinin eğilme direnci $58,58 \text{ N/mm}^2$ ve doğu karadeniz göknar kerestelerinin eğilme direnci $55,15 \text{ N/mm}^2$, olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan ağaç türlerinin eğilme direnci özellikleri literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin düşük olduğu tespit edilmiştir. CLT panellerin üretiminde kullanılan kerestelerin ağaç türüne göre eğilme direnci değerlerinin değişimleri Şekil 44’ te verilmiştir.



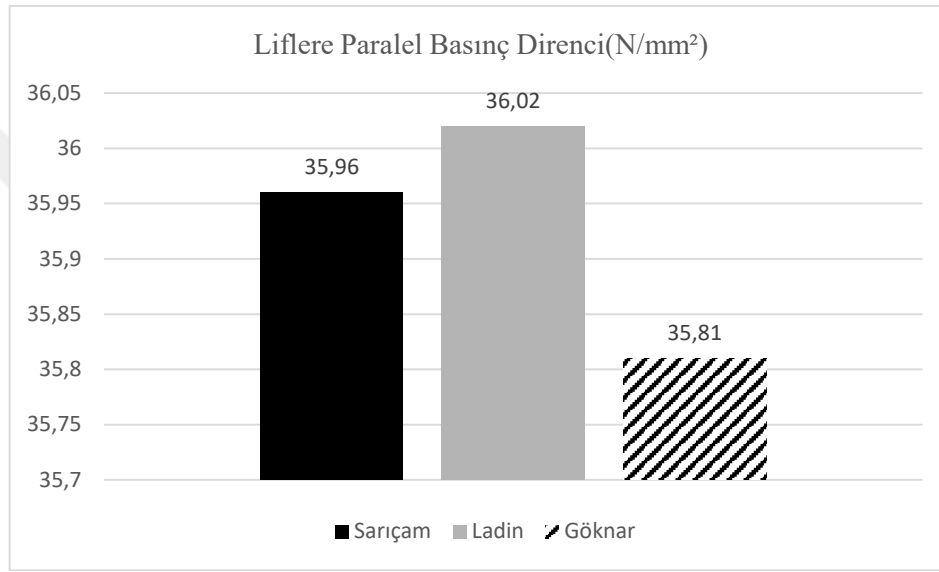
Şekil 44. CLT üretiminde kullanılan kerestelerin eğilme direnci

CLT üretiminde kullanılan Sarıçam kerestelerinin elastikiyet modülü 4984,74 N/mm² doğu ladini kerestelerinin elastikiyet modülü 4599,59 N/mm² ve doğu karadeniz göknar kerestelerinin elastikiyet modülü 4324,12 N/mm² olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan ağaç türlerinin elastikiyet modülü değerleri literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin düşük olduğu tespit edilmiştir. CLT panellerin üretiminde kullanılan kerestelerin ağaç türüne göre elastikiyet modülü değerlerinin değişimleri Şekil 45' te verilmiştir.



Şekil 45. CLT üretiminde kullanılan kerestelerin elastikiyet modülü

CLT üretiminde kullanılan Sarıçam kerestelerinin liflere paralel basınç direnci 35,96 N/mm² Doğu Ladini kerestelerinin liflere paralel basınç direnci 36,02 N/mm² olarak bulunmuştur. Doğu Karadeniz Gökmar kerestelerinin liflere paralel basınç direnci 35,81 N/mm² olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan ağaç türlerinin liflere paralel basınç direnç değerleri literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin düşük olduğu tespit edilmiştir. CLT panellerin üretiminde kullanılan kerestelerin ağaç türüne göre liflere paralel basınç direnci değerlerinin değişimleri Şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 46. CLT üretiminde kullanılan kerestelerin liflere paralel basınç direnci

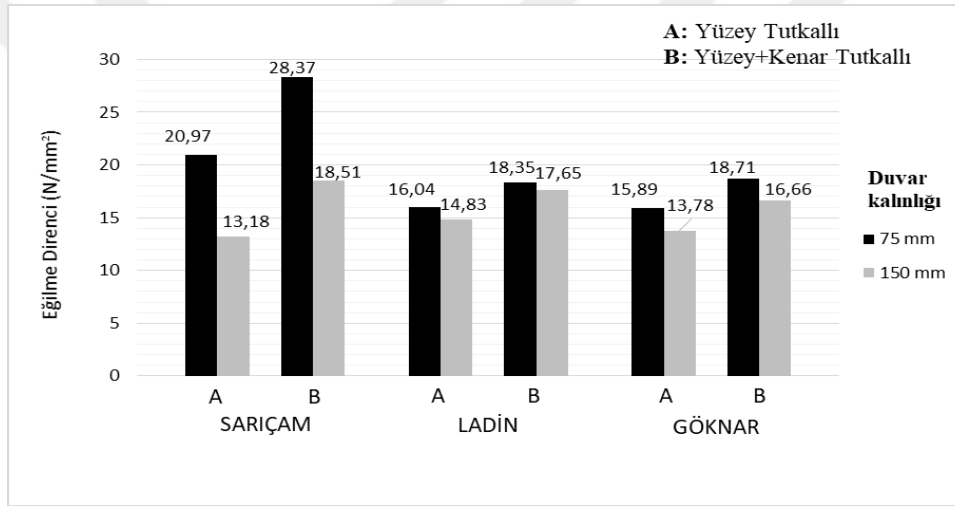
Aynı türden ağaçlar arasında odunun anatomik yapısı ve diğer yapısal özellikleri bakımından farklılıklar vardır. Bunun sebebi her ağacın içinde büyüdüğü mikro-çevre faktörlerinin farklı olmasıdır. Farklılıklar aynı yetiştirme ortamında, yetiştirme ortamları arasında, aynı veya değişik coğrafik mevkiler ve yüksekliklerde bulunmaktadır (Bozkurt, 1982). Ağaçlar dominant karakterde ya da baskı altında olduğunda, açıkta veya orman içerisinde yetiştiğinde farklı odun yapısına sahip olmaları söz konusudur. Ayrıca, ortalama sıcaklık ve yağış farklılıklarının bulunduğu coğrafik bölgeler, aynı türün ağaçları arasında değişimlere neden olabilir. Örneğin; vejetasyon mevsiminde yağışların fazla, ya da az olması yıllık halka genişliğini etkileyebilir. Yıllık halka genişliğindeki farklılık, özgül ağırlığında değişmesine neden olacaktır. Yağışla birlikte, enlem dereceleri de özgül ağırlık üzerinde etkili olmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Çevre ve coğrafik faktörlerin değişmesi

sonucunda ağaçların odun özellikleri değişmekte, fiziksel ve mekanik özelliklerinde farklılıklar olmaktadır.

4.2. CLT Panellere Ait Teknolojik Özellikler

4.2.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Üretilen CLT panellerin eğilme direnci değerlerinin değişimleri, ağaç türü, tabaka kalınlığı ve tutkallama şekline göre Şekil 47’ de verilmiştir.



Şekil 47. Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri değişimi

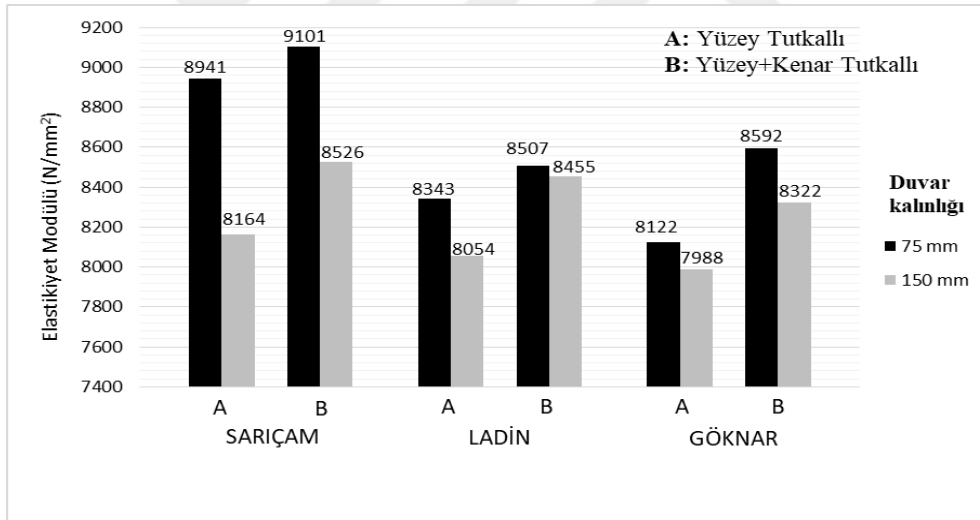
Şekil 47’de üretilen CLT panellerin eğilme direnci sonuçları incelendiğinde, en yüksek direnç değeri (28,37 N/mm²) veren grubun, 25 mm kalınlığındaki sarıçam kerestelerinden yüzeyi ve kenarları tutkallı olarak üretilen paneller olduğu bulunmuştur. En düşük eğilme direnci değeri (13,18 N/mm²) ise, 50 mm kalınlıkta sarıçam ağaç türünden sadece yüzeyi tutkallı üretilen panellerde bulunmuştur. Çalışma kapsamında bulunan eğilme direnci sonuçları, ANSI/APA PRG 320 (2012)’nin belirtmiş olduğu E1 sınıfına giren ağaç türlerinden ladin, çam ve göknar için 7,24 N/mm² direnç değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada, kereste kalınlıkları arttıkça, CLT panellerin eğilme dirençlerinin azaldığı tespit edilmiştir. O’Ceallaigh vd. (2018) tarafından CLT tabaka kalınlıkları üzerine yapılan bir çalışmada, 60 mm, 100 mm ve 120 mm olmak üzere 3 farklı kalınlıktaki örneklerle

yapılan testler sonucunda tabaka sayısına bakılmaksızın kalınlık arttıkça CLT'nin direnç özelliklerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada, 20, 24 ve 40 mm kerestelerin kullanıldığı CLT panellerin eğilme dirençleri incelenmiş ve kalınlıkların artmasına ters orantılı olarak direnç değerlerinin de azaldığı belirlenmiştir (Sikora vd., 2016).

Yapılan bir çalışmada, tutkal miktarının, kullanım yerine göre OSB levhaların mekanik direnç değerleri üzerine etkisi araştırılmış, tutkal miktarı arttıkça çekme direnci, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin arttığı ve direnç özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğu tespit edilmiştir (Özçiftçi vd., 2017). Bu çalışmada da, yüzeylerle birlikte kenarlara sürülen tutkalın, CLT paneldeki tutkal miktarı ve tutkallanan yüzey alanı arttığı için literatürde belirtildiği gibi bu grupların, sadece yüzeyleri tutkallananlara göre daha yüksek sonuçlar vermesi beklenen bir sonuçtur.

Üretilen CLT levhaların elastikiyet modülü değişimleri, ağaç türü, tabaka kalınlığı ve tutkallama şekline göre Şekil 48'de verilmiştir.



Şekil 48. Üretilen levhaların elastikiyet modülü değerleri değişimi

Şekil 48'de üretilen CLT panellerin elastikiyet modülü sonuçları incelendiğinde, en yüksek direnç değerini (9101 N/mm²) veren grubun, 25 mm kalınlıkta sarıçam kerestelerden yüzeyleri ve kenarları tutkallanarak üretilen paneller olduğu bulunmuştur. En düşük elastikiyet modülü değeri (7988 N/mm²) ise, 50 mm kalınlıkta göknar kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilen paneller olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bulunan elastikiyet modülü sonuçları, ANSI/APA PRG 320 (2012)'nin belirtmiş olduğu E1 sınıfına giren ağaç türlerinden ladin, çam ve göknar için 8274 N/mm² direnç değerinin genel olarak

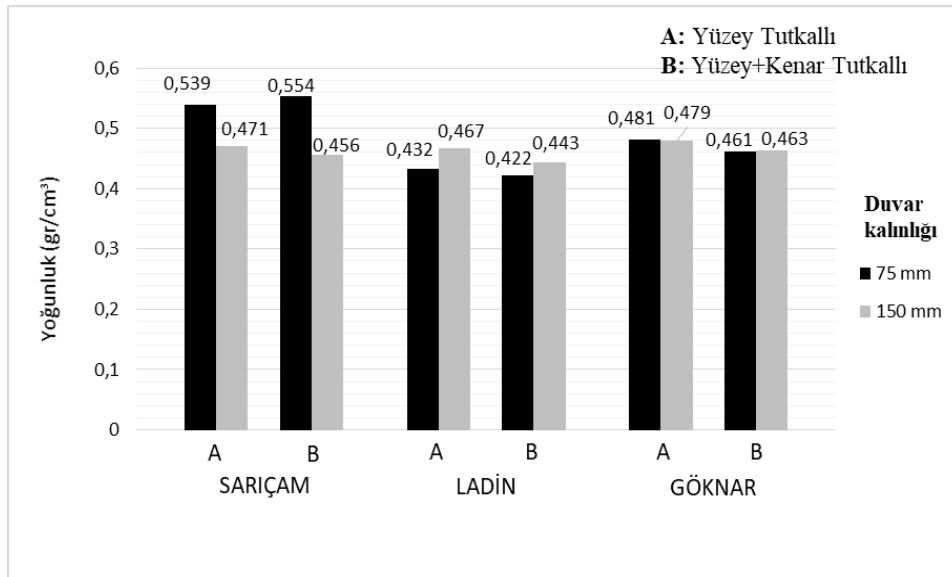
üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada, kereste kalınlıkları arttıkça, CLT panellerin elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Christovasilis vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, CLT paneller üzerinde farklı teoriler kullanılarak mekanik direnç testleri yapılmıştır. Bu testlerden elastikiyet modülü değerlerinde, tüm teorilere göre yapılan testlerde kalınlık artışıyla birlikte azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Genel olarak, tüm gruplar incelendiğinde, yüzeyleri ve kenarları tutkallanan panellerin, yalnızca kenarları tutkallananlara göre daha yüksek elastikiyet modülü değerleri verdiği görülmüştür. CLT panellerde, elastikiyet modülü değerleri; tutkal miktarı ve yüzey alanına göre incelendiğinde hem yüzeyleri hem de kenarları tutkallanan gruplarda elastikiyet modülü değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde tutkal miktarının artması ile mekanik özelliklerde artış olduğu belirtilmektedir (Okino vd., 2004; Gündüz vd., 2011).

Çalışmada elde edilen CLT panellerle ilgili sonuçları özetlemek gerekirse, eğilme direncinin 13,18-28,37 N/mm², elastikiyet modülünün de 7988-9101 N/mm² arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçların, literatürde CLT panel üzerine yapılan benzer çalışmalara yakın olduğu tespit edilmiştir (Yusof vd., 2019; Li vd., 2019; Sikora vd., 2016).

4.2.2. Yoğunluk

Üretilen CLT panellerin yoğunluk değerleri, ağaç türü, tabaka kalınlığı ve tutkallama şekline göre Şekil 49'da verilmiştir.



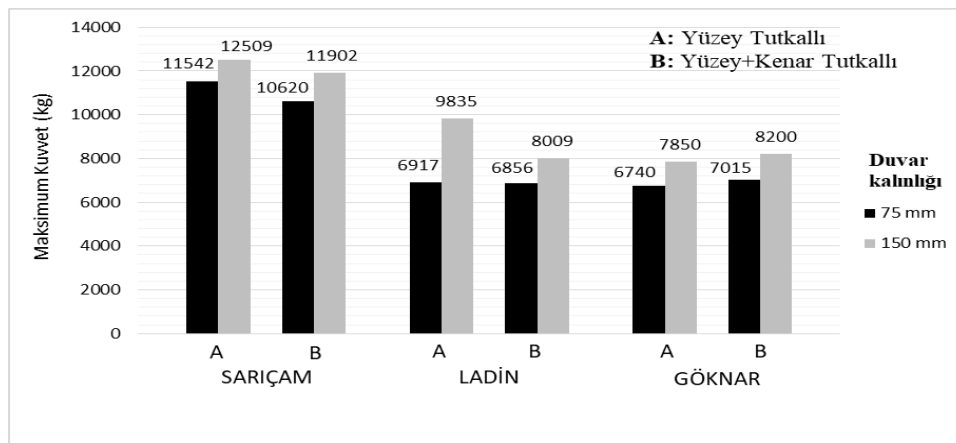
Şekil 49. CLT panellerin ortalama yoğunluk değerleri

Şekil 49’da kereste kalınlığının ve tutkallama şeklinin CLT panellerin özgül ağırlık değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, Sarıçam panellerinin $0,456 - 0,539 \text{ gr/cm}^3$; Doğu Ladini panellerinin $0,422 - 0,467 \text{ gr/cm}^3$ ve Gökmar panellerinin ise $0,461 - 0,481 \text{ gr/cm}^3$ arasında yoğunluk değerleri verdiği görülmüştür. Lamine malzemelerin yoğunluğunu öncelikle üretiminde kullanılan ağaç türü belirler. Ayrıca tutkal karışım çözeltisi (dolgu ve katkı maddelerinin tür ve miktarı) ile kaplama kalınlığının ve pres basıncının da etkisi vardır. Pres basıncı ile tutkal türü ve karışımının etkisi odun türünün etkisine göre daha azdır (Örs vd., 2002; Bal, 2011). Araştırmada kullanılan sarıçam odununun $0,496 \text{ g/cm}^3$ (Demirkır, 2012), gökmar odununun $0,41 \text{ g/cm}^3$ (As vd., 2001) ve ladin odununun $0,406 \text{ g/cm}^3$ (Berkel, 1970) tam kuru yoğunluğa sahip olduğu ifade edilmektedir. Buna göre, yoğunluğu gökmar ve ladine göre daha fazla olan Sarıçam’dan yapılan CLT panellerin yoğunluğunun diğerlerinden yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretilen CLT panellere ait yoğunluk değerlerinin, literatürde belirtilen değerler arasında olduğu belirlenmiştir.

4.3. CLT Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Üretilen CLT duvarların maksimum kuvvet değişimleri, ağaç türü, tabaka kalınlığı ve tutkallama şekline göre Şekil 50’de verilmiştir.

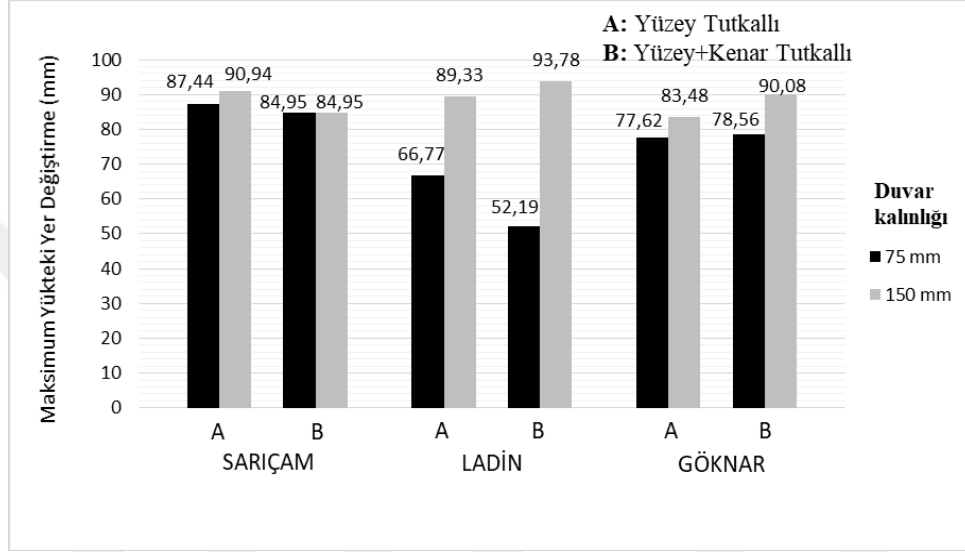


Şekil 50. CLT duvarların maksimum kuvvet değerleri değişimi

Şekil 50’de üretilen CLT duvarların analiz sonuçları incelendiğinde, en yüksek maksimum kuvvet değerini (12509 kg) veren grubun, 50 mm kalınlıkta sarıçam

kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak olarak üretilen duvarın olduğu tespit edilmiştir. En düşük maksimum kuvvet değerini (6740 kg) veren grubun ise 25 mm kalınlıkta göknar kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilen duvar olduğu bulunmuştur.

Üretilen CLT duvarların maksimum kuvvet değişimleri, ağaç türü, tabaka kalınlığı ve tutkallama şekline göre Şekil 51’de verilmiştir.



Şekil 51. CLT duvarların maksimum yer değiştirme değerleri değişimi

Şekil 51’de üretilen CLT duvarların analiz sonuçları incelendiğinde, en yüksek maksimum yer değiştirme değerini (93,78 mm) veren grubun, 50 mm kalınlıkta ladin kerestelerden yüzeyi ve kenarları tutkallanarak olarak üretilen duvarın olduğu tespit edilmiştir. En düşük yer değiştirme değerini (52,19) veren grubun ise 25 mm kalınlıkta ladin kerestelerden sadece yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen duvar olduğu bulunmuştur.

Çalışma kapsamında üretilen 12 farklı CLT duvar kombinasyonunun test edilmesi esnasında meydana gelen deformasyonlar Şekil 52-63 arasında gösterilmiştir.



Şekil 52. Deney esnasında 1. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 53. Deney esnasında 2. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 54. Deney esnasında 3. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 55. Deney esnasında 4. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 56. Deney esnasında 5. grupta meydana gelen deformasyonlar



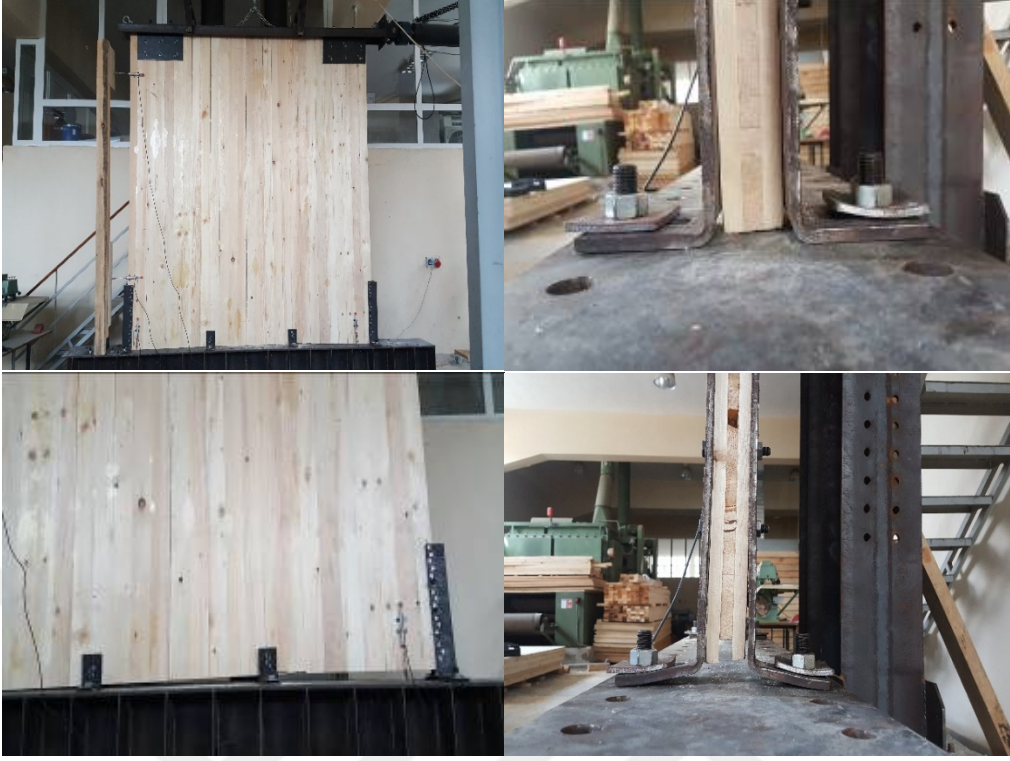
Şekil 57. Deney esnasında 6. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 58. Deney esnasında 7. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 59. Deney esnasında 8. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 60. Deney esnasında 9. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 61. Deney esnasında 10. grupta meydana gelen deformasyonlar



Şekil 62. Deney esnasında 11. grupta meydana gelen deformasyonlar

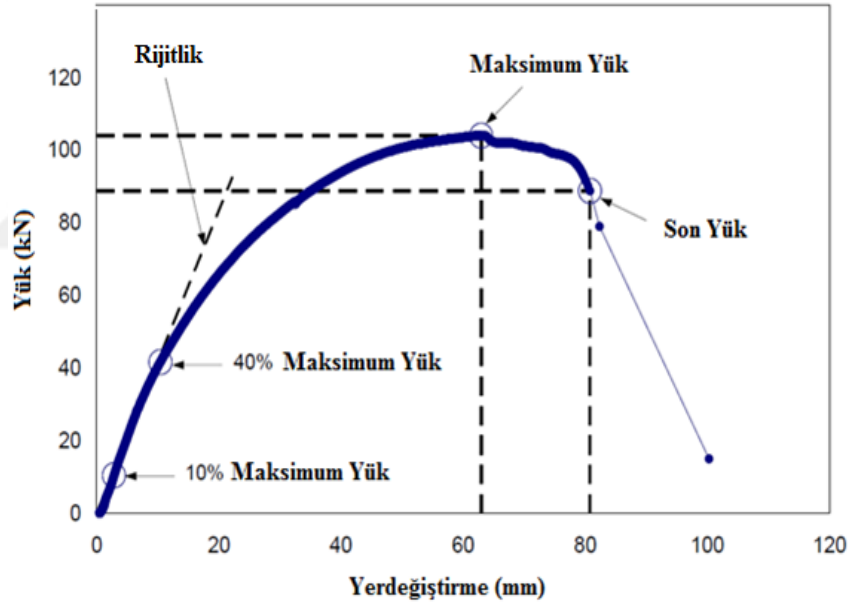


Şekil 63. Deney esnasında 12. grupta meydana gelen deformasyonlar

ASTM E 72 standardına göre analizi yapılan duvarların tamamında kalıcı hasar görülmemiştir. Meydana gelen deformasyonlar genellikle L bağlantı elemanlarında ve CLT

panellerin birleşme yerlerinde meydana gelmiştir. Oldukça yüksek yük değerlerine ulaşan CLT duvarlar, aynı zamanda yüksek yer değiştirme miktarları vermiştir. Buda, CLT duvarların ne kadar esnek olduğunu göstermektedir. Yapılarda, deprem gibi ani yüklemeler neticesinde meydana gelecek yıkılmaların önlenmesi ve kaçış sürelerinin arttırılması için duvarlardaki elastiklik oldukça önemli olduğu göz önüne alındığında çalışmada üretilen CLT'lerin göstermiş olduğu performansın dikkat çekici olduğu düşünülmektedir.

Test sonucunda her bir CLT duvar için elde edilen grafikler incelenerek o grubu temsil edebilecek yük-yer değiştirme eğrileri belirlenmiş ve elde edilen veriler örnek gruba ait maksimum yük ve bu yükteki yer değiştirmeyi ifade edecek biçimde grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 64). Söz konusu grafik yardımı ile üretilen CLT duvarın yük altında gösterdiği davranışlar sayısal veriler olarak Tablo 24'de ortaya koyulmuştur.



Şekil 64. Duvarlara ait tipik yük-deformasyon eğrisi

Grafik yardımıyla aşağıdaki özellikler de belirlenmiştir:

- Rijitlik: Max yükün % 10-40'ı arasında bulunan eğrinin eğimi ile hesaplanmaktadır.
- Son Yük (Ultimate Load): Max yükün %80'idir.
- Son Yükteki Yerdeğiştirme: Son yükteki yer değiştirme miktarıdır.

Tablo 24. Duvarlara ait analiz sonuçları özeti

Grup No	Maksimum Yük (kN)	Maksimum Yükteki Yer Değişirme (mm)	Son Yük (kN)	Son Yükteki Yer Değişirme (mm)	Rijitlik (kN/mm)
1	115,42	87,44	92,34	119,81	2,65
2	125,09	90,94	100,07	127,96	2,81
3	106,20	84,95	84,96	114,48	2,23
4	119,02	84,95	95,21	112,57	2,65
5	69,17	66,77	55,34	86,66	2,08
6	98,35	89,33	78,68	130,4	2,72
7	68,56	52,19	54,85	65,92	2,37
8	80,09	93,78	64,07	128,99	1,25
9	67,40	77,62	53,92	118,31	2,18
10	78,50	83,48	62,80	110,22	1,24
11	70,15	78,56	56,12	118,63	2,36
12	82	90,08	65,60	119,03	1,24

Yükler altında yapının stabil kalma yeteneği olarak tanımlanan rijitlik, yapılarda dayanıklılığı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Tablo 24 incelendiğinde en yüksek rijitlik değerini veren duvarın; grup 2 olarak isimlendirilen 50 mm kalınlıkta sarıçam kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilenin olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak ladin tercih edildiğinde en yüksek rijitlik değerini, 50 mm kalınlıkta kerestelerden sadece yüzeyi tutkallı olarak üretilen 6. grup olarak isimlendirilen duvarın verdiği görülmüştür. Gökmar da ise, 25 mm kalınlığa sahip yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen 11. Grubun en yüksek rijitlik değerini verdiği görülmüştür. Poposovski vd. (2010) tarafından CLT duvarlara yapılan monotonik yanal yük dayanımı testi sonunda elde ettiği rijitlik değerlerinin, 1,5-2,8 kN/mm arasında olduğunu bulmuştur. Bu çalışmada, genel olarak bakıldığında CLT duvarların rijitlik değerleri, 1,24-2,81 kN/mm arasında değişmekte olduğu ve çalışma sonuçlarının literatürdeki bu örnekleriyle örtüştüğü görülmüştür.

Yapılarda rijitliğin yanında özellikle yükün etkisi ile birlikte şekil değiştirme kabiliyeti olarak tanımlanan süneklik de önemli bir etkidir. Elde edilen veriler incelendiğinde yükün etkisi ile birlikte maksimum yer değiştirme miktarı veren duvarın, 50 mm kalınlıkta ladin kerestelerden yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen 8. grup olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak sarıçam tercih edildiğinde en yüksek yer değiştirme değerini, 50 mm kalınlıkta kerestelerden sadece yüzey tutkallanarak üretilen 2. grubun verdiği belirlenmiştir. Gökmar da ise, 50 mm kalınlıkta yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen 12. grup olduğu

belirlenmiştir. Shahnewaz vd. (2018) tarafından yapılan CLT duvarlara yapılan yanal yük testinde, duvarların ulaştıkları maksimum yüklerin 75-153,9 kN, maksimum yükteki yer değiştirmelerinin ise 31,8 - 70 mm arasında değiştiğini belirlemiştir. Bu çalışmada ise, maksimum yük değerlerinin, 67,40-125,09 kN ve maksimum yükteki yer değiştirmenin, 52,19-93,78 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarının, literatür ile uyumlu olduğu bu çalışmayla genel olarak örtüştüğü görülmüştür.

Kullanım yeri ve koşullarına göre tercih edilecek duvar türünün belirlenmesinde rijitlik ve süneklilik önemli iki faktördür. Rijit olarak düşünülen bir diyagram, yatay yükleri her duvarın rijitliği oranında perde duvarlara dağıtmaktadır. Eğer yapı esnek ise gelen yatay yükler her perde duvarın zeminine iletilmektedir. Huang (2013), rijitliğin bir perde duvardaki kuvvetin tahmin edilmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışma kapsamında her bir gruptan elde edilen rijitlik değerlerinin, duvarların bir karkas yapıya dönüştürüldüğünde yapının sağlayacağı rijitlik ve diyagram gücünün tahmin edilmesinde önemli bir veri kaynağı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

5.1. CLT Üretiminde Kullanılan Kerestelere Ait Teknolojik Özellikler

1. CLT panel üretiminde kullanılan kerestelerin eğilme dirençleri ağaç türüne göre incelendiğinde, sarıçamın en yüksek değerler verdiği, en düşük değerleri ise göknar verdiği belirlenmiştir.

2. Elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde, en yüksek değeri veren ağaç türünün, sarıçam olduğu, en düşük değeri ise göknarın verdiği belirlenmiştir.

3. Liflere paralel basınç direnci değerleri incelendiğinde, en yüksek değeri, ladinin verdiği, en düşük değeri ise göknarın verdiği belirlenmiştir.

4. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, ağaç türleri arasında çok fazla bir fark bulunmasa da sarıçam ve göknarın biraz daha düzgün yüzeylere sahip olduğu belirlenmiştir.

5.2. CLT Panellere Ait Sonuçlar

1. Üretilen CLT panellerde ağaç türüne göre eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerine bakıldığında, en yüksek değeri sarıçam kerestelerden üretilen panellerden elde edilirken, en düşük değeri ise göknar kerestelerden üretilen panellerden elde edilmiştir.

2. CLT panellerin eğilme direnci sonuçları incelendiğinde, en yüksek direnç değeri (28,37 N/mm²) veren grubun, 25 mm kalınlığındaki sarıçam kerestelerinden yüzeyi ve kenarları tutkallı olarak üretilen paneller olduğu bulunmuştur. En düşük eğilme direnci değeri (13,18 N/mm²) ise, 50 mm kalınlıkta sarıçam ağaç türünden sadece yüzeyi tutkallı üretilen panellerde bulunmuştur.

3. CLT panellerin elastikiyet modülü sonuçları incelendiğinde, en yüksek direnç değerini (9101 N/mm²) veren grubun, 25 mm kalınlıkta sarıçam kerestelerden yüzeyleri ve kenarları tutkallanarak üretilen paneller olduğu bulunmuştur. En düşük elastikiyet modülü değeri (7988 N/mm²) ise, 50 mm kalınlıkta göknar kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilen paneller olduğu belirlenmiştir.

4. Çalışmada, kereste kalınlıkları arttıkça, CLT panellerin eğilme dirençlerinin ve elastikiyet modülünün azaldığı tespit edilmiştir.

5. Genel olarak, tüm gruplar incelendiğinde, yüzeyleri ve kenarları tutkallanan panellerin, yalnızca kenarları tutkallananlara göre daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri verdiği görülmüştür.

6. Üretilen CLT panellerin yoğunluk değerlerinin, üretiminde kullanılan kereste kalınlıkları arttıkça düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kerestelerin yüzeyleriyle birlikte, kenarları da tutkallanan gruplar ile sadece yüzeyleri tutkallanan gruplar arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunamamıştır. En yüksek yoğunluk değerlerini veren ağaç türünün, sarıçam CLT panellerin olduğu görülmüştür.

5.3. CLT Duvar Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Sonuçları

1. CLT duvarların analiz sonuçları incelendiğinde, en yüksek maksimum kuvvet değerini (12509 kg) veren grubun, 50 mm kalınlıkta sarıçam kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak olarak üretilen duvarın olduğu tespit edilmiştir. En düşük maksimum kuvvet değerini (6740 kg) veren grubun ise 25 mm kalınlıkta göknar kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilen duvar olduğu bulunmuştur.

2. En yüksek maksimum yer değiştirme değerini (93,78 mm) veren grubun, 50 mm kalınlıkta ladin kerestelerden yüzeyi ve kenarları tutkallanarak olarak üretilen duvarın olduğu tespit edilmiştir. En düşük yer değiştirme değerini (52,19 mm) veren grubun ise 25 mm kalınlıkta ladin kerestelerden sadece yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen duvar olduğu bulunmuştur.

3. CLT duvarların analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek rijitlik değerini veren duvarın; grup 2 olarak isimlendirilen 50 mm kalınlıkta sarıçam kerestelerden sadece yüzeyi tutkallanarak üretilenin olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak ladin tercih edildiğinde en yüksek rijitlik değerini, 50 mm kalınlıkta kerestelerden sadece yüzeyi tutkallı olarak üretilen 6. grup olarak isimlendirilen duvarın verdiği görülmüştür. Göknar da ise, 25 mm kalınlığa sahip yüzeyi ve kenarları tutkallanarak olarak üretilen 11. grubun en yüksek rijitlik değerini verdiği görülmüştür.

4. CLT duvarların rijitlik değerleri, 1,24-2,81 kN/mm arasında değişmiştir.

5. Elde edilen veriler incelendiğinde yükün etkisi ile birlikte maksimum yer değiştirme miktarı veren duvarın, 50 mm kalınlıkta ladin kerestelerden yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen 8. grup olduğu belirlenmiştir. Ağaç türü olarak sarıçam tercih edildiğinde en yüksek yer değiştirme değerini, 50 mm kalınlıkta kerestelerden sadece yüzey

tutkallanarak üretilen 2. grubun verdiği belirlenmiştir. Gökna da ise, 50 mm kalınlıkta yüzeyi ve kenarları tutkallanarak üretilen 12. grup olduğu belirlenmiştir.

6. Çalışmada, maksimum yük değerlerinin, 67,40-125,09 kN ve maksimum yükteki yer değiştirmenin, 52,19-93,78 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir.



6. ÖNERİLER

Türkiye'de ahşap yapı ve CLT konusundaki standardizasyon eksikliği göz önüne alındığında, çalışmadan elde edilen sonuçların, hızlı bir gelişme içinde olan orman ürünleri ve inşaat sektörlerinde önemli bir açığı giderebilme kapasitesine sahip olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan yerli ağaç türlerinin yapılarda kullanılabilecek niteliğe sahip olduğu ve CLT üretiminde tercih edilmesi durumunda iyi performans gösterecekleri, literatürdeki benzer çalışmalarla sonuçların örtüşmesinden de anlaşılmaktadır.

Ülkemiz ahşap yapı sektörü için hammadde açısından dışa bağımlılığın azaltılarak yerli türlerin kullanımı ile ahşap yapı üretimine yönelik olarak çalışmaların daha da artırılması gerektiği önerilebilir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin, aynı zamanda ahşap yapıların ekonomik ve hızlı inşası gibi birçok avantajı nedeniyle kentsel dönüşüm projelerinin gündeminde olduğu belediyeler için de bir yardımcı rehber niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan YSA modellemesiyle birlikte, CLT' nin Türkiye' deki yerli ağaç türlerinden üretilmesi ve en uygun üretim şartlarının ortaya koyulacağı üretim optimizasyonunun sağlanmasında; her bir üretim adımında yapılacak değişikliklerin etkisini belirlemek için yapılması gereken deneysel çalışmaların getireceği işgücü, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanarak optimum sonuçlara ulaşılabileceği ispatlanmıştır.

Bu çalışmada, CLT panellerin üretiminde 2 farklı üretim prosesi takip edilmiştir. İlk yöntemde, kerestelerin sadece yüzeylerine tutkal sürülerek taslak oluşturulmuştur. İkinci yöntemde ise ilk yöntemden farklı olarak kerestelerin üst yüzeylerine (genişlik) ilaveten yan yüzeyleri (kalınlık) de tutkallanarak taslaklar oluşturulmuştur. Yapılan teknolojik testler sonucunda kerestelerin sadece üst yüzeylerine (genişlik) tutkal sürülmesinin yeterli olabileceği ekstra iş gücü, zaman ve maliyet kaybına neden olan yan yüzeylere tutkal sürülme işlemine gerek olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda, kullanım yerine göre fazla mukavemet gerektirmeyen düşük katlı yapılarda kerestelerin sadece yüzeylerine tutkal sürülerek üretilen CLT panellerin kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışma ile ülkemizde Karadeniz Bölgesinde yetişen ağaç türlerinden üretilen CLT panellerin ahşap yapı kullanımına uygunluğu araştırılmış ve ilgili sektörler için bir kaynak olarak sunulmuştur. Bundan sonraki çalışmalar için, çalışma kapsamında elde edilen verilerden yola çıkılarak gerçek boyutlarda tam ölçekli bir CLT ahşap yapının üretilmesi ve deprem performansının belirlenmesi önerilebilir.



7. KAYNAKLAR

- Akyüz, M., 1995. Doğu Ladini Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri, I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Mayıs, Trabzon, Bildiriler Kitabı II: 113-122.
- Anonim, 1994. El Kitabı Dizisi:7, Sarıçam. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Muhtelif Yayınlar Serisi: 67. ISBN 975-7829-17-X.
- ANSI/APA PRG 320-2012, 2012. "Standard for performance-rated cross-laminated timber," American National Standards Institute, Washington, DC.
- Anşin, R., 1994. Tohumlu Bitkiler (Açık Tohumlular), II. Baskı, KTÜ Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 122, Fakülte Yayın No: 15 I. Cilt, Trabzon.
- APA 2012. Quality Manual (QM) Review. Tacoma, WA: APA - The Engineered Wood Association.
- APA, Engineered Wood Products for Superior Performance. The Engineered Wood Association. Retrieved 2014 from: https://www.apawood.org/level_b.cfm?content=prd_main, 25/09/2018.
- APA, Cross-Laminated Timber (CLT) [Online]. <http://www.apawood.org>: APA – The Engineered Wood Association. Available: <http://www.apawood.org/cross-laminatedtimber> 03/07/2015.
- Architecture & Design, Forte by Lend Lease. Architecture & Design. [online] Available at: <http://www.architectureanddesign.com.au/projects/multi-residential/forte-by-lend-lease>, 13/04/2018.
- As, N., Dündar, T. and Büyüksarı, Ü., 2016. Classification of wood species grown in Turkey according to some physico-mechanic properties, Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66, 2, 727-735.
- As, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B., ve Erdinler, S., 2001. Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51, 1, 71-88.
- ASTM American Society for Testing and Materials (ASTM) E 72, 2014. Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction, West Conshohocken, A, United States.
- ASTM D5456 - 99a, 1999. Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products, American Society for Testing and Materials.

- Ataman, F., Kaynak, T. ve Yüncü, S., 1999. Bilgisayar ortamında sistem modelleme yoluyla yapay zeka içeren çözümlerin irdelenmesi, Elektrik-Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Sayfa, 677.
- Atik, K., 2004. Direkt Genleşmeli Evaparatorün Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, Teknoloji, 7, 4, 649-658.
- Atlee, J., 2011. Selecting safer building products in practice. Journal of Cleaner Production, 19, 459-463.
- Augustin, M. 2008. Wood Based Panels. Handbook 1 - Timber Structures; Educational Materials for Designing Testing of Timber Structures. Graz: Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology.
- Avramidis, S., Iliadis, L. and Mansfield, S., D., 2006. Wood dielectric loss factor prediction with artificial neural Networks, Wood Science and Technology, 40, 7, 563–574.
- AWC, Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report. AmericanWood Council. Retrieved 2014 from: <http://www.awc.org/Code-Officials/2012-IBC-Challenges/Preliminary-CLT-Fire-Test-Report-FINAL-July2012.pdf>. 21/09/2019.
- Bakış, A. 1995. Türkiye’de Prefabrik Yapı Elemanlarının Teknik, Ekonomik, Seri Üretim ve Uygulama Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Bal, B., C., 2011. Okalıptüs (Eucalyptus grandis) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Lamine Ağaç Malzeme Üretiminde Kullanılması Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, K.S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Barnes D., 1988. Waferboard lumber. US Patent No. 4,751,131.
- Bergström. 2004. Industrialised Timber Frame Housing; managing customization, change, and information. Doctoral thesis 2004:45. Luleå University of Technology. Luleå.
- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no: 147.
- Bozkurt A. Y. ve Erdin N., 2000. Odun Anatomisi. İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 4263, Fakülte Yayın No: 466, İstanbul.
- Bozkurt, A. Y. ve Erdin, N., 1992. Yoğunluk İle Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler, Trabzon, 1, 199-222.
- Brandner, R., 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report., COST Action FP1004, Focus STS–European Conference on Cross-Laminated Timber (CLT), 2-36.

- Buchanan, A., Östman, B. and Frangi, A., Fire Resistance of Timber Structures. A report for the National Institute of Standards and Technology. [online] Available at: https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/fire_research/NIST-Timber-Report-v4-Copy.pdf, 27 Mar. 2018.
- C.F. Møller, HSB 2023 - Västerbroplan. [online] C.F. Møller. Available at: <https://www.cfmoller.com/p/-en/hsb-2023-vasterbroplan-i3048.html>, 01/04/ 2018.
- Cambiaso, F. and Pietrasanta, M., 2014. Innovative timber construction: sustainability and high performance building skin. International Journal of Engineering and Technology, 6, 1, 47-54.
- Castellani, M. and Rowlands, H. 2008. Evolutionary feature selection applied to artificial neural networks for wood-veneer classification, International Journal of Production Research, 46, 11, 3085–3105.
- Ceccotti, A., Sandhaas, C. and Yasumura, M., 2010. Seismic Behaviour of Multistory Cross-laminated Timber Buildings, International Convention of Society of Wood Science and Technology, Geneva, Switzerland.
- CSA S-16., 2009. Design of Steel Structures, Ottawa, Canadian Standards Association.
- Ceylan, İ., 2008. Determination of drying characteristics of timber by using artificial neural networks and mathematical models, Drying Technology, 26, 1469–1476.
- Chen, Y.J., 2012. Comparison of Environmental Performance of a Five-storey Building Built with Cross-laminated Timber and Concrete (Thesis). Department of Wood Science.
- Christovasilis, I. P., Brunetti, M., Follesa, M., Nocetti, M. and Vassallo, D., 2016. Evaluation of the mechanical properties of cross laminated timber with elementary beam theories. Construction and Building Materials, 122, 202-213.
- Cook, D., F., Ragsdale, C.,T. and Major, R., L., 2000. Combining a neural network with a genetic algorithm for process parameter optimization, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 13, 391–396.
- Crespell, Pablo and Sylvian Gagnon, eds. 2010. Cross Laminated Timber: a Primer. Special Publication 52. FP Innovations.
- CTI, World's Tallest Timber Building 'HoHo Tower' Is Taking Shape In Vienna. Confederation of Timber Industries (CTI). [online] Available at: <http://www.cti-timber.org/content/worlds-tallest-timber-building-hoho-tower-taking-shape-vienna>, 03/05/2018.
- Çobanoğlu T., 1998. Ahşap ev yapı sistemleri, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 19-20.

- Çolakoğlu, G., 2010. Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon.
- Demir, A., 2014. Yangın geciktirici emprenye maddelerinin çeşitli ağaç türlerinden üretilen kontrplakların ısıl iletkenliğine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, Y., Tuntaş, R. ve Köksal, M. 1999. Anahtarlamalı devrelerin yapay sinir ağları ile analizi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Eylül, Bildiriler kitabı, Gaziantep, 673.
- Demirkır, C., 2006. Kontrplak Üretimi Sırasında Oluşan Odunsu Atık ve Artık Materyallerin Yongalevha Degerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demirkır, C., 2012. Çam Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Yapı Maksatlı Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demirkır, M., S., 2014. Çeşitli Ağaç Türlerinden Elde Edilen Kontrplakların Teknolojik Özellikleri Üzerine Presleme Süresi ve Tutkal Türünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Doğangün, A., Livaoglu, R., Tuluk, Ö.İ. ve Acar, R., 2005. Geleneksel Ahşap Yapıların Deprem Performansları, Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 797-799.
- DIN 4768, 1990. Determination of Values of Surface Roughness Parameters Ra, Rz, Rmax Using Electrical Contact (stylus) Instruments, Concepts and Measuring Conditions, Deutsches Institut für Norming, Berlin, Germany, May.
- DIN, European Standards EN 13353. Deutsches Institut für Normung. Retrieved 2014 from: <http://211.167.243.154:1012/file/gwbz/DIN%20EN%2013353e2003.PDF>, 27/04/2018.
- DIN, European Standards EN 13986. Deutsches Institut für Normung. Retrieved 2014 from: <http://211.167.243.154:1012/file/gwbz/DIN%20EN%2013986e2005.PDF>, 27/04/2018.
- DIN, European Standards EN 789. Deutsches Institut für Normung. Retrieved 2014 from: <http://211.167.243.154:1012/file/gwbz/DIN%20EN%20789e2005.PDF>, 27/04/2018.
- Doyle, A. and Lewis, B., Wooden 'plyscrapers' challenge concrete and steel. Reuters. [online] Available at: <https://uk.reuters.com/article/us-construction-environment/wooden-plyscrapers-challenge-concrete-and-steel-idUKKBN1611U501/05/2018>.

- Espinoza, O., Rodriguez Trujillo, V., Laguarda Mallo, M. and Buehlmann, U., 2016. Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe. BioResources, 11, 1, 281-295.
- Esteban, L., G., Fernandez, F., G., Palacios, P., D. and Gonzalez, R., B. 2010. Use of artificial neural networks as a predictive method to determine moisture resistance of particle and fiber boards under cyclic testing conditions (UNE-EN 321), Wood Fiber Science, 42, 3, 335-45.
- Esteban, L., G., Fernandez, F., G., Palacios, P., D., Romero, R., M. and Cano, N., N., 2009. Artificial neural networks in wood identification: the case of two juniperus species from the canary islands, Iawa Journal, 30, 1, 87-94.
- Evans, L., Cross-laminated Timber: Taking Wood Buildings to the Next Level. Architectural Records. Retrieved 2013 from: <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=312&C=1138>, 11/06/2018.
- Fontana, M., Hugi, E., Jöbstl, R. and Frangi, A., 2009. Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire, Fire Safety Journal, 44, 1078-1087.
- Forest Products Association of Canada (FPAC) and FPInnovations, Construction Value Pathways: The voice of construction industry. [Internet publication]. FPAC, Ottawa, Ontario. Obtainable: <http://www.fpac.ca/publications/ConstructionValuePathwaysMLReport.pdf>. 20/05/2013
- Forest Products Lab, 2010. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. U.S. Department of Agriculture. Forest Service, Madison, Wisconsin.
- Fountain, H., Wood that Reaches New Heights. The New York Times. Retrieved 2014 from: http://www.nytimes.com/2012/06/05/science/lofty-ambitions-forcross-laminated-timber-panels.html?pagewanted=all&_r=0, 16/07/2018.
- FPInnovations, 2013. CLT Handbook. FPInnovations, Montreal, Canada.
- Frangi, A., Fontana, M., Hugi, E. and Jöbstl, R., 2009. Experimental analysis of crosslaminated timber panels in fire, Fire Safety Journal, 44, 1078-1087.
- Friquin, K.L., Grimsbu, M. and Hovde, P.J., 2010. Charring rates for cross-laminated timber panels exposed to standard and parametric fires. In: World Conference on Timber Engineering, 20-24.
- Gagnon, S., Bilek, E. M. T., Podesto, L. and Crespell, P., 2013. Chapter 1: CLT Introduction to cross-laminated timber. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations.
- Gavric, I., 2012. Seismic Behavior of Cross-laminated Timber Buildings (Doctoral Thesis). Universita Delgli Studi Di Trieste. Tecnica delle Construzioni.

- Gerard, R., Barber, D. and Wolski, A., Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings. [online] Quincy, Massachusetts: Fire Protection Research Foundation. Available at: http://sustainable-fire-83-engineering.sustainable-design.ie/wp-content/uploads/2015/08/NFPA-FPRF_Tall-Wood-Buildings-Fire-Safety-Challenges_2013.pdf, 27/03/2018.
- Gonzalo, A., R., Pablo, A., E. and Ramirez, P., A., 2009. Automated visual inspection system for wood defect classification using computational intelligence techniques, International Journal of Systems Science, 40, 2, 163-172.
- Grasser, K. K., 2015. Development of Cross Laminated Timber in the United States of America, Masters Theses, University of Tennessee, Knoxville.
- Grøstad, K. and Pedersen, A., 2010. Emulsion Polymer Isocyanates as Wood Adhesive: A Review, Journal of Adhesion Science and Technology, 24, 1357–1381.
- GuangSheng, C. and Li, G., 2008. Comparison of forecasting methods for wood quality, Journal of Northeast Forestry University, 36, 6, 30–31.
- Gündüz, G., Yapici, F. I., Özçifçi, A., Kalaycıoğlu, H., ve Eroğlu, H., 2011. The effects of adhesive ratio and pressure time on some properties of oriented strand board. BioResources, 6, 2, 2118-2124.
- Halıçioğlu, F.H., 1999. Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemleriyle üretilen yapılarda betonarme elemanların dayanıklılığını olumsuz etkileyen etkenlerin irdelenmesi, 9 Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Hammond, G.P. and Jones, C.I., 2008. Embodied energy and carbon in construction materials. Proc. Institut. Civ. Eng. Energy 161, 2, 87-98.
- Hawkins\Brown, Wenlock Cross. [online] Hawkinsbrown.com. Available at: <https://www.hawkinsbrown.com/projects/17-21-wenlock>, 12/02/2018.
- Haykin, S., 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation. New York: MacMillan College Publishing Comp. Inc.
- Healey, C., Standing Tall. Canadian Architect. [online] Available at: <https://www.canadianarchitect.com/features/brock-commons-acton-ostry-standing-tall/>, 14/04/2018.
- Hristovski, V., Dujic, B., Stojmanovska, M. and Mircevska, V., 2012. Full-scale shakingtable tests of XLam panel systems and numerical verification: specimen 1. Journal of Structural Engineering, 139, 11, 2010-2018.
- Huang, X., 2013. Diaphragm Stiffness in Wood-Frame Construction, Master Thesis, Master of Applied Science in TheFaculty of Graduate Studies (Civil Engineering), University of British Columbia, Vancouver, Canada.

- Hundegger, Panel Cutting Machine (PBA) [Online]. www.hunegger.de: Hans Hundegger AG. Available: <http://www.hunegger.de/en/machine-building/products/panel-cuttingmachine-pba.html>, 21/03/2015.
- IBC, International Building Code. Chapter 7: Fire-resistance-rated Construction. International Code Council. Retrieved 2014 from: http://www2.iccsafe.org/states/newjersey/nj_building/pdfs/nj_bldg_chapter7.pdf. 21/09/2018.
- IECC, 2012. International Energy Conservation Code: Building Technology Program. Air Leakage Guide. U.S. Department of Energy.
- Jaksch, S., Fadaei, A. and Winter, W., 2012. Folded CLT structures-developments in design and assembly strategies, World Conference on Timber Engineering, 1, 18-22.
- John, S., Nebel, B., Perez, N. and Buchanan, A.H., 2009. Environmental Impacts of Multistorey Buildings Using Different Construction Materials. Report. Department of Civil and Natural Resources Engineering. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Jokerst, R., W., 1981. Finger-Jointed Wood Products, DTIC Document.
- Jowett, O., 2011. The thermal behaviour of cross-laminated timber construction and its resilience to summertime overheating. In: Proceedings of PLEA 2011-the 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 339-344.
- Julien, F. 2010. Manufacturing Cross-Laminated Timber (CLT): Technological and Economic Analysis. Quebec, Canada, Report to Quebec Wood Export Bureau.
- Karakusevic C., Bridport House Karakusevic Carson Architects. [online] karakusevic-carson.com. Available at: <http://karakusevic-carson.com/work/bridport-house>, 17/02/2018.
- Kaya, G., 1997. Yapı Üretim Sisteminde Denetim Mekanizması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kemmsies, M., 1999. Comparison of bond lines in glulam beams adhered with a phenol-resorcinol-formaldehyde (PRF) and one-component polyurethane (PUR) after fire exposure. Borås, SP Swedish national testing and research institute.
- Kirkegaard, A., 2012. Aesthetic Qualities of Cross Laminated Timber (Doctorate dissertation). Department of Civil Engineering, The Faculty of Engineering and Science, Aalborg University, Aalborg, Denmark.
- KLH, Stadthaus. Murray Grove. Retrieved 2014 from: <http://www.klhuk.com/portfolio/residential/stadthaus,-murray-grove.aspx>., 11/09/2018.
- Klippel, M., 2014. Fire safety of bonded structural timber elements, Doctoral Thesis, Zurich, Germany, ETH Zurich.

- Konkur, 2000. Firma Föyü, KONKUR Tic. A.Ş., Ankara
- Kwan, J., 2013. An Investigation of the New Opportunities of Wood in Mid-rise Construction in British Columbia. University of British Columbia, Forestry Undergraduate Essays/Theses, 2012 Winter Session, WOOD 493.
- Lehmann, S. 2012. Developing a prefabricated low-carbon construction system using crosslaminated timber (CLT) panels for multistorey inner-city infill housing in Australia. Journal of Green Building, 7, 3, 131-150.
- Lehmann, S. and Hamilton, C., 2011. Sustainable Infill Development Using Low Carbon CLT Prefabrication: Adaptation for the South Australian Context. Zero Waste SA Research Centre for Sustainable Design and Behaviour: University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Lend Lease, Forte Building. Retrieved 2014 from: <http://www.lendlease.com/australia/projects/forte.aspx>., 11/06/2018.
- LeVan-Green, S.L. and Livingston, J.M., 2003. Uses for small-diameter and low-value forest thinnings. Restoration Ecology, 21, 1, 34-38.
- Linville J.D., 2012. Timber construction manual, American Institute of Timber Construction, Centennial. CO., 639.
- Linville, J. D. (Ed.), 2012. Timber construction manual. John Wiley & Sons.
- Long, W. and Rice, R., W., 2008. Detection of structural damage in medium density fiberboard panels using neural network method, Journal of Composite Materials, 42, 11, 1133-1145.
- Lowell, E.C. and Green, D.W., 2001. Lumber recovery from small-diameter Ponderosa Pine from Flagstaff, Arizona. In: Vance, R.K., et al. (Eds.), Ponderosa Pine Ecosystems Restoration and Conservation: Steps toward Stewardship. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Flagstaff, AZ.
- Mahapatra, K. and Gustavsson, L. 2009. Cost-effectiveness of using wood frames in the production of multi-storey buildings in Sweden. School of Technology and Design Reports, 58, Växjö University. Växjö.
- Malczyk, R., 2011., Cross-laminated timber in british Columbia. In: Presentation. CLT Symposium. February 8-9.
- Mallo, M. F. L., and Espinoza, O., 2015. Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber by the architecture community in the United States. Journal of Cleaner Production, 94, 198-210.
- Manninen, H., 2014. Long-term outlook for engineered wood products in Europe, European Forest Institute.

- Mansfield, S., D., Iliadis, L. and Avramidis, S., 2007. Neural network prediction of bending strength and stiffness in western hemlock (*Tsuga heterophylla* Raf.). Holzforschung, 61, 6, 707-716.
- Mardookhy, M., Sawhney, R., Ji, S., Zhu, X. and Zhou, W., 2014. A study of energy efficiency in residential buildings in Knoxville, Tennessee, Journal of Cleaner Production, 85, 241-249.
- Marsh, J., Tokyo to build world's tallest timber tower. CNN. [online] Available at: <https://edition.cnn.com/style/article/wooden-skyscrapers-timber-trend-catching-fire-duplicate-2/index.html>, 02/04/2018.
- Mcrae, P. Floodman, D. ve Uludoğan, N., 2001, ABD Konus İnşaat Sektörü- Sektör Profili, Amerikan Ahşap Yapı Ürünleri Sempozyum Notları, İstanbul.
- Muller, A., 2010. Structural design for energy efficient multi-storey timber housesstate of the art in Europe. In: Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, Switzerland.
- Nascor, 2001. Tanımlayıcı Rehber, İleri Yapı Teknolojisi, Nascor Tic. A.Ş., Ankara.
- Nordmark, U., 2002. Knot identification from CT images of young *Pinus sylvestris* sawlogs using artificial neural networks, Scandinavian Journal of Forest Research, 17, 1, 72 78.
- O'Ceallaigh, C., Sikora, K., and Harte, A., 2018. The influence of panel lay-up on the characteristic bending and rolling shear strength of CLT, Buildings, 8, 9, 114.
- Okino, E. Y. A., Teixeira, D. E., De Souza, M. R., Santana, M. A. E., and De Sousa, M. E., 2004. Properties of oriented strandboard made of wood species from Brazilian planted forests: Part 1: 80 mm-long strands of *Pinus taeda* L., Holz als Roh-und Werkstoff, 62, 3, 221-224.
- Oneil, E. and Lippke, B., 2010. Integrating products, emission offsets, and wildfire into carbon assessments of inland northwest forests, Wood Fiber Science, 42, 144-164.
- Orman Atlası, 2014. Orman Atlası, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Örs, Y., Çolakoğlu, G., Aydın, İ. ve Çolak, S., 2002. Kayın, Okume ve Kavak Soyma Kaplamalarından Farklı Kombinasyonlarda Üretilen Kontrplakların Bazı Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Politeknik Dergisi, 5, 3, 257-265.
- Östman, B. and Källsner, B., 2018. National building regulations in relation to multi-storey wooden buildings in Europe., Concerto-SESAC - Report 5. Växjö: SP Träteck.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim Bilgisayar Sis. San ve Tic. A.Ş.

- Öztürk, H., 2012. Farklı Bölgelerde Yetişen Sakallı Kızılağaç' dan Elde Edilen Kontrplakların Bazı Teknolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Patterson, D., 2013. Forte creating the World's tallest CLT apartment building. In: US CLT Symposium. Seattle. February 28.
- Pei, S.; Popovski, M.; van de Lindt, J. W., Seismic design of a multi-story cross laminated timber building based on component level testing. World Conference on Timber Engineering, Auckland. <http://www.timberdesign.org.nz/files/00279%20Shiling%20Pei.pdf> 2012, 26/07/2018.
- Perkins, B.R., 2006. A Business Model for a Red Oak Small Diameter Timber Processing Facility in Southwest Virginia, in Wood Science & Forest Products. University Libraries, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va, p. 149.
- Pizzi, A. and Mittal, K. L., 2003. Melamine-formaldehyde adhesives. In: M. D. Inc., ed. Handbook Adhesive Technology, 2nd Edition, Revised and Expanded. New York, USA: CRC Press.
- Popovski, M., Seismic Performance of CLT Construction. FP Innovations. Available at http://www.cecobois.com/index.php?option=com_content&view=article&id=315&Itemid=199, 17/09/2018.
- Popovski, M., Schneider, J., and Schweinsteiger, M., 2010. Lateral load resistance of cross-laminated wood panels. In World Conference on Timber Engineering, 20-24.
- Puettmann, M. and Wilson, J., 2005. Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. Wood Fiber Science, 37, 18-29.
- Robertson, A.B., Lam, F.C. and Cole, R.J., 2012. A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of mid-rise office building construction alternatives: laminated timber or reinforced Concrete, Buildings, 2, 3, 245-270.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları–1:Yapay Sinir Ağları. Kayseri: Ufuk Kitap Kırtasiye–Yayıncılık Tic. Ltd. Şti.
- Salazar, J. and Meil, J., 2009. Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence, Journal of Cleaner Production, 17, 1563-1571.
- Salem MZM., Böhm M., Berankova J. and Srba J., 2011. Effect of some manufacturing variables on formaldehyde release from particleboard: Relationship between different test methods, Building and Environment; 46: 1946-1953.
- Samarasinghe, S., Kulasiri, D. and Jamieson, T., 2007. Neural networks for predicting fracture toughness of individual wood samples, Silva Fennica, 41, 1, 105–122.

- Schmoltdt, D., L., He, J. and Abbott, A., L., 2000. Automated labeling of log features in CT imagery of multiple hardwood species, Wood Fiber Science, 32, 3, 287–300.
- Shahnewaz, M., Alam, S., and Tannert, T., 2018. In-plane strength and stiffness of cross-laminated timber shear walls. Buildings, 8, 8, 100.
- Sikora, K. S., McPolin, D. O., and Harte, A. M., 2016a. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear, Construction and Building Materials, 116, 141-150.
- Sikora, K. S., McPolin, D. O. and Harte, A. M., 2016b. Shear Strength and Durability Testing of Adhesive Bonds in Cross-laminated timber. The Journal of Adhesion, 92, 7-9, 757-777.
- Silva, C.V., Branco, J.M. and Lourenço, P.B., 2013. A Project Contribution to the Development of Sustainable Multi-storey Timber Buildings. Report. Department of Civil Engineering. University of Minho, Guimarães, Portugal.
- Skapura, M., D., 1995. Building Neural Networks, Addison-Wesley, 211-241.
- Skogstad, H., Gullbrekken, L. and Nore, K., Air leakages through cross laminated timber (CLT) constructions. In: 9th Nordic Symposium on Building Physics. Retrieved 2014 from: <http://www.treteknisk.com/fullstory.aspx?m=1585&amid=14888>, 11/06/2018.
- SOM, Timber Tower Research Project. Retrieved 2014 from. http://www.som.com/ideas/research/timber_tower_research_project, 11/06/2018.
- Staube, J. and Burnett, E., 2005. Building Science for Building Enclosures. Building Science Press, Westford, MA, United States.
- Steiger, R., Gülzow, A., and Gsell, D., 2008. Non destructive evaluation of elastic material properties of cross laminated timber (CLT). Paper presented at the Conference COST E53, 29-30 October 2008, Delft, The Netherlands. http://www.coste53.net/downloads/Delft/Presentations/COSTE53-Conference_Delft_Steiger_Guelzow_Gsell.pdf, 11/10/2018.
- Steiger, R. and Gülzow, A., 2010. Validity of bending tests on strip-shaped specimens to derive bending strength and stiffness properties of cross-laminated solid timber (X-lam). In: The Future of Quality Control for Wood and Wood Products, 4-7.
- Tan, H., 2011. Farklı Bölgelerde Yetişen Ladin ve Gökmar Tomruklardan Üretilmiş LVL ve Kontrplakların Bazı Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Thelandersson, S., and Larsen, H. J. (Eds.), 2003. Timber engineering, John Wiley & Sons.

- Toğay, A., 2002. Ahşap Yapılar Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu Sorunları ve Çözüm Önerileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- TS 2474, 1977. Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini. T.S.E. 2.Baskı, Ankara.
- TS 2478, 1978. Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E. 3. Baskı, Ankara.
- TS 2595, 1977. Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara, 2. Baskı, Ankara.
- TS 6956, 1989. Yüzey pürüzlülüğü-Terimler, I. Baskı, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 323, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, Türk Standardları Enstitüsü.
- Turner, A., Structural Performance of Cross Laminated Timber Panels as Walls. Faculty of Engineering and Surveying - Department of Agricultural, Civil and Environmental Engineering. University of Southern Queensland. Retrieved 2014 from: http://eprints.usq.edu.au/18406/1/Turner_2010.pdf., 18/10/2018.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M., H. ve Meriç, H., 2010. Sarıçam Odununun Kimyasal Analizi ve Termal Özellikleri, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Mayıs, Artvin, Bildiriler kitabı V: 1845-1851.
- URL- 1, <https://www.cbi.eu/market-information/timber-products/cross-laminated-timber/europe> 16/02/2019.
- URL- 2, <http://cwc.ca/wood-products/structural-composite/laminated-strand-lumber/> 09/02/2019.
- URL- 3, <http://cwc.ca/wood-products/structural-composite/parallel-strand-lumber/> 16/02/2019.
- Van de Kuilen, J.W.G., Ceccotti, A., Xia, Z. and He, M., 2011. Very tall wooden buildings with cross laminated timber, Procedia Engineering. 14, 1621-1628.
- Wang, L., Toppinen, A. and Juslin, H., 2013. Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK., Journal of Cleaner Production ,1-12.
- Waugh Thistleton, 2018a. Dalston Works | Waugh Thistleton Architects. [online] [Waughthistleton.com](http://waughthistleton.com). Available at: <http://waughthistleton.com/dalston-works/> 30/07/2018.
- Waugh Thistleton, 2018b. Projects | Waugh Thistleton Architects. [online] [Waughthistleton.com](http://waughthistleton.com). Available at: <http://waughthistleton.com/projects/> 08/04/2018.

- Waugh, A., 2010. Bigger, taller, better. PowerPoint presentation. In: Touch with Timber Conference. 18th May. London, England.
- Wieruszewski, M. and Mazela, B., 2017. Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Form of Construction Wood, Drvena Industrija, 68, 4, 359-367.
- Wilson, M. and Kosmatka, S.H., 2011. Design and Control of Concrete Mixtures: the Guide to Applications, Methods, and Materials, fifth ed. Portland Cement Association, Skokie, IL.
- Winter, W., Tavoussi Tafreshi, K., Fadai, A. and Pixner, T., 2010. Development of wood based sustainable construction methods for high-rise buildings under lateral loading. High Rise Towers Tall Build, 1-8.
- Wood Handbook, 2010. Wood as an engineering material. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, Forest products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190.
- Woodtec Fankhauser, Vacuum Press, Number One in CLT Production.
- WoodWorks, Introducing Cross-laminated Timber. New Opportunities for Timber Construction. WoodWorks Presentation. Retrieved 2014 from: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/2013-14-Q4-Introducing-CLT.pdf>, 11/07/2018.
- Xu, X., Yu, Z., Hu, Y., Fan, L., Tian, T. and Cen, K., 2007. Nonlinear fitting calculation of wood thermal conductivity using neural Networks, Zhejiang University Press, 41, 7, 1201–1204.
- Yeh, B., Kretschmann, D. and Wang, B., 2013a. Chapter 2: Manufacturing Cross-laminated timber manufacturing. In: EROL KARACABEYLI, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations.
- Yeh, B., Kretschmann, D. and Wang, B. J., 2013b. Manufacturing - Cross-laminated timber manufacturing. In: F. & B. S. L. Council, ed. CLT Handbook U.S. Canada: FPInnovations & Binational Softwood Lumber Council, 572.
- Yıldırım, H. ve Baş, H.A., 2001. Prefabrik Yapıların Önemi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, Ankara.
- Yıldız, B., 2001. Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Yapay Sinir Ağı Kullanımı Ve Halka Açık Şirketlerde Ampirik Bir Uygulama, İMKB Dergisi, 17, 50-59.
- Youngs, R. L., 2009. History, Nature, and Products of Wood. Owens, John N. and Lund, H. Gyde. Forests and Forest Plants, 2.
- Yusuf, N. M., Tahir, P. M., Lee, S. H., Khan, M. A., and James, R. M. S., 2019. Mechanical and physical properties of Cross-Laminated Timber made from Acacia mangium wood as function of adhesive types., Journal of Wood Science, 65, 1, 20.

- Zhang, G., Patuwo, B., E. and Hu, M., Y., 1998. Forecasting with artificial neural networks: the state of the art, Inter. Journal of Forecasting, 14, 35-62.
- Zhang, J., Cao, J. and Sun, L., A., 2007. Novel Fusion Technique based Functional Link Artificial Neural Network for LMC Measuring, 2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, May, Harbin, Bildiriler kitabı 471–475.
- Zeppenfeld, G. and Grunwald, D., 2005. Klebstoffe in der Holz-und Möbelindustrie. DRW-Verlag Weinbrenner.
- Zhou, J., Yue, K., Lu, W., Chen, Z., Cheng, X., Liu, W., Jia, C. and Tang, L., 2017. Bonding performance of melamine-urea-formaldehyde and phenol-resorcinol-formaldehyde adhesives in interior grade glulam, Journal of Adhesion Science and Technology, 31, 23, 2630-2639.



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2007 yılında Ordu Üniversitesi İnşaat Bölümünü kazandı ve 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Hala görevine devam etmekte olan Abdullah Uğur BİRİNCİ, orta derecede İngilizce bilmektedir.