



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.11.2023
Kabul Tarihi : 11.03.2024

Received Date : 28.11.2023
Accepted Date : 11.03.2024

KARAÇAM ODUNUNDAN ÜRETİLEN ÇAPRAZ LAMİNE AHŞABIN SEÇİLMİŞ MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE RUTUBETİN ETKİSİ

THE EFFECT OF MOISTURE ON SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF CROSS-LAMINATED TIMBER MANUFACTURED FROM BLACK PINE WOOD

Aydanur HIDIR MAHSERECİ¹ (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

Bekir Cihad BAL² (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

Ela Bahşude Görür AVŞAROĞLU^{3*} (ORCID: 0000-0001-9373-1192)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Müh. ABD, Kahramanmaraş/Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ela Bahşude Görür AVŞAROĞLU, elagorur@ksu.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda ahşap ve çapraz lamine ahşap malzemeye ilgi giderek artmaya başlamıştır. Çapraz lamine ahşap birçok ülkede ahşap yapıların inşasında fazlaca kullanılmaktadır. Bu malzeme çok katlı binaların inşasında da kullanılmaya başlanmıştır. Çok katlı binaların inşasında kullanılan yapısal ahşap malzemelerin mekanik performansının yüksek olması gerekir. Ancak ahşap malzeme rutubet aldığı zaman mekanik performansı değişen bir malzemedir. Bu çalışmanın amacı, karaçam kerestesinden üretilen çapraz lamine ahşap malzemenin, seçilmiş mekanik özellikleri üzerine rutubetin etkisini belirlemektir. Bu amaç için, 3 tabakalı çapraz lamine ahşap poliüretan tutkalı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen yapı malzemesi hem hava kurusu hem de yaş halde mekanik testlere tabi tutulmuştur. Çapraz lamine ahşap malzemenin 3 nokta eğilme direnci, elastisite modülü, eğilmede deformasyon miktarı, yapışma direnci, çivi tutma direnci tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre; hava kurusu haldeki test örneklerinin eğilme direnci, elastisite modülü, çivi tutma direnci ve makaslama direnci yaş haldeki test örneklerinden sırasıyla %127, %118, %35 ve %87 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaş haldeki test örneklerinin eğilmede deformasyon miktarının kuru haldeki test örneklerine göre %52 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karaçam odunu, çapraz lamine ahşap, mekanik özellikler

ABSTRACT

In recent years, interest in wooden and cross-laminated Timber (CLT) materials has begun to increase. CLT is widely used in the construction of wooden structures in many countries. This material has also begun to be used in the construction of multi-storey buildings. Structural wooden materials used in the construction of multi-storey buildings must have high mechanical performance. However, wood is a material whose mechanical performance changes when it gets moisture. The aim of this study is to determine the effect of moisture on selected mechanical properties of CLT material produced from Black pine wood. For this purpose, 3-layer cross-laminated wood is produced using polyurethane glue. The produced building material was subjected to selected mechanical tests in both air-dry and wet states. Three-point bending strength, modulus of elasticity, deformation at bending, bonding strength, and nail withdrawal resistance of the CLT material were determined. According to the data obtained; It was determined that the bending strength, modulus of elasticity, nail withdrawal resistance and bonding strength of the air-dry test samples were 127%, 118%, 35% and 87% higher, respectively, than those of the wet test samples. It was determined that the bending deformation amount of the wet test samples was 52% higher than that of the dry test samples.

Keywords: Black pine wood, cross laminated timber, mechanical properties

GİRİŞ

Ahşap malzeme, insanoğlunun ilk kullanmaya başladığı yapı malzemelerinden birisidir. Bu nedenle, geçmişten günümüze önemli bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Bal ve Kılavuz, 2015). Masif ağaç malzemenin doğal halde kullanılmasının yanında, zaman içerisinde odun esaslı kompozit malzemeler de geliştirilmiş ve yapılarda kullanılan ahşap malzeme çeşitliliği artmıştır. Özellikle, yapısal kompozit keresteler ve tutkallanmış tabakalı kereste gibi yük taşıyan malzemelerle beraber, kontrplak gibi kaplama malzemeleri de yapılarda yoğun olarak kullanılan ahşap esaslı malzemelerdendir (Mengeloğlu ve Kurt, 2005). Bu malzemelerin yanında, son yıllarda çapraz lamine ahşap (Cross Laminated Timber-CLT) kullanımı da hızla artış göstermiştir. Piyasada kısa adı CLT olan ve X-lam, smartlam, masstimber, crosslam vs. gibi ticari isimler altında bulunmakta olan bu malzeme, günümüzde çok katlı binaların inşasında da kullanılmaya başlanmıştır (Çavuş, 2019). CLT çok katlı bina inşaatlarında; zemin, duvar paneli, ara bölme duvar malzemesi olarak kullanılabilir (URL1, 2023).

CLT ahşap bir yapı malzemesi olup çeşitli disiplinlerde mekanik özellikleri ile ilgili birtakım çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Oran (2012) çalışmasında, hindistan cevizi ağacını polivinil asetat, melamin-üre formaldehit ve üre formaldehit tutkalları ile yapıştırarak test örnekleri hazırlamıştır. Yapılan ölçümler sonucunda deney grubunun kontrol grubu değerlerinin üzerinde mekanik ve fiziksel özellikler gösterdiğini gözlemlemiştir. Hekimoğlu (2014) çalışmasında göknar ve sarıçam odunlarından nanokil takviyeli çapraz lamine ahşap üretim olanaklarını incelemiştir. Çalışmada polivinil asetat tutkalı ile kontrol ve tutkala nanokil ilavesi çeşitli oranlarda yapılmıştır. Nanokil ilavesi olan örneklerde eğilimde kayma direnci göknarda daha fazla artarken, suda bekletilen örneklerin %50' sinde tutkal hattında ayrılma meydana gelmiş ve sonuçlar daha düşük çıkmıştır. Basınç direncinde nanokil ilaveli göknar da %12 sarıçam da %31 oranında artış gözlemlenmiştir. Özcan (2017) sarıçam ve Uludağ göknarını poliüretan yapıştırıcı kullanarak birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Isıl işlem gören çapraz lamine ahşap ile ısıl işlem görmemiş çapraz lamine keresteyi karşılaştırmış ve çapraz lamine ahşabın daha sağlam olduğu sonucuna ulaşmıştır. Şanlı (2020) yaptığı çalışmada, çapraz lamine ahşabın özelliklerini ortaya koyarak sürdürülebilirlik ve performans açısından avantajlarını değerlendirmek amacıyla ve Türkiye'de üretimine katkı sağlayacak çeşitli örnekler üzerinde analiz yapmıştır. Bu analize göre çapraz lamine ahşap sistemi ile 10 kata kadar, hibrit yapı sistemi ile 24 kata kadar yapı inşa edilebileceği ve buna bağlı olarak sürdürülebilirlik ve performans açısından olumlu etkilere sahip olduğunu tespit etmiştir. Ceylan (2021), çapraz lamine ahşabın birleşimini sağlayan vida ve çivilerin tutma direncini incelemiştir. Fosfat ve reçine kaplamalı halkalı çivilerin sıyrılmaya davranışı, çakılma biçimi ve CLT örneğin lif yapısının çekme direncine etkisi ile çekme enerjileri incelenmiştir. Barutçu (2020) yaptığı çalışmada çapraz lamine ahşap kullanılarak inşa edilmiş tekil konut yapıları ile betonarme taşıyıcı sistemli tekil konut yapılarının çevresel performansını karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Çapraz lamine ahşap örneklerin çevresel etkilerinin betonarme örneklere kıyasla çoğu etki kategorisi için daha az olduğu görülmüştür. Artun (2021) yürüttüğü çalışmada CLT malzemeli duvar katmanının ısı iletkenlik katsayısını belirlemek için deneysel ölçümler yapmıştır. Çalışma sonucuna göre CLT'nin geleneksel yapı malzemeleriyle inşa edilen binalara göre enerji performansının daha iyi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Knorz vd. (2017), ladin ağacından üretilen CLT'nin delaminasyonunun test numunelerinin şekliyle etkilenip etkilenmediğini belirlemiştir. Ayrıca üretim parametrelerinden olan; tabaka sayısı, tabaka kalınlığı ve yapıştırmanın delaminasyon üzerindeki etkisini incelemiştir. Wang vd. (2018) çapraz lamine ahşabın blok kesme ve delaminasyon testleri ile yapılaşma kalitesini ve dayanıklılığını incelemiştir. Çalışmada, tek bileşenli poliüretan ve emülsiyon polimer izosiyanat kullanılmıştır. Tutkal türü ve basınç miktarının CLT'nin delaminasyonunu önemli ölçüde etkilediğini belirlemiştir. Hu vd. (2016) yaptıkları çalışmada, hızlı büyüyen okaliptüs ağacı odunundan ürettikleri çapraz lamine ahşap imalatının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada yapıştırıcı yayılma oranı, basınç ve presleme süresinin blok kayma mukavemeti, ahşap kırılma yüzdesi ve delaminasyon üzerindeki etkisini incelemek için testler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre; okaliptüs ağacından elde edilen çapraz lamine ahşabın mekanik özelliklerinin, yumuşak ağaçlardan elde edilenlere eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Çavuş (2019) mühendislik ürünü ağaç malzemelerde yükselen trend; çapraz tabakalı kereste başlıklı çalışmasında, bu malzemenin üretimi, özellikleri ve bu konuda yapılan çalışmalar hakkında genel bilgiler derlemiş ve yayınlamıştır.

Yukarıda verilen literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve çapraz lamine ahşabın, hava kurusu hal ile yaş haldeki mekanik performansı üzerine yapılan bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı; karaçam odunundan üretilen çapraz tabakalı kerestenin bazı mekanik özelliklerini iki farklı rutubet seviyesinde inceleyerek, rutubetin bu malzemenin mekanik performansı üzerine etkisini belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

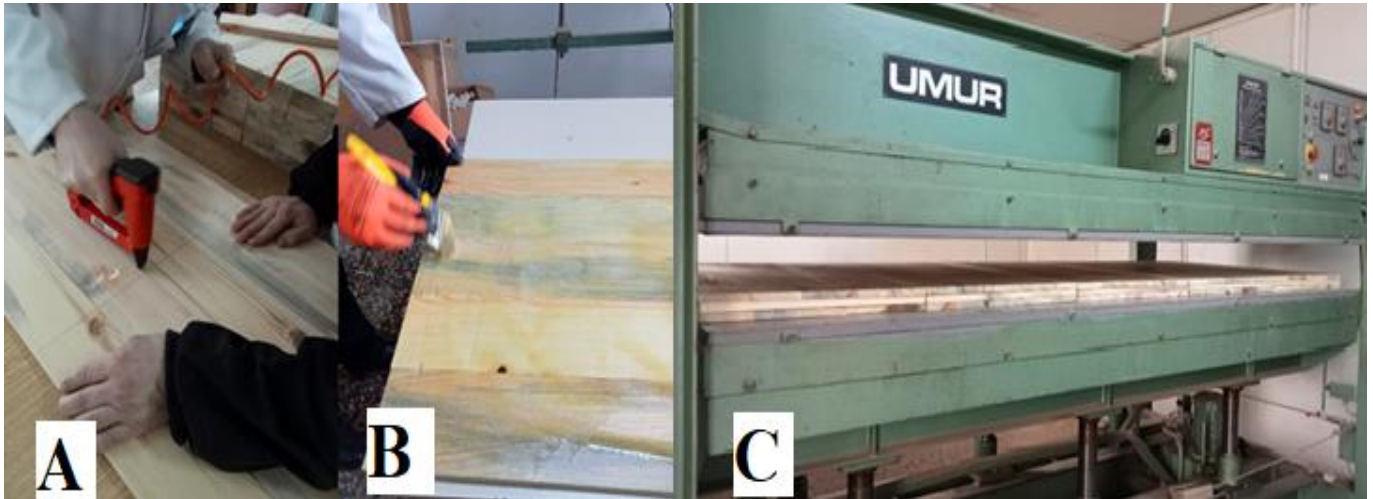
Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak karaçam (*Pinus nigra*) kerestesi kullanılmıştır. Karaçam kerestesi düşük maliyetli olması, kolay işlenebilmesi ve Türkiye’de birçok bölgede bulunması nedeniyle CLT üretimine uygun bir kereste türüdür. Bu nedenle çalışmada materyal olarak kullanılmıştır. Kahramanmaraş bölgesinde de yetişen bu ağaç türü satın alma yöntemi ile Kahramanmaraş sanayisinden 5.5 x 30 x 200 cm boyutlarında temin edilmiştir. Kerestenin düzgün lifli, budaksız, çürüksüz kısımları seçilerek deneme materyalinin üretilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada tutkal olarak, piyasada deniz tutkalı olarak da adlandırılan, tek bileşenli, poliüretan tutkalı (4.4'-methylenediphenyl diisocyanate) kullanılmıştır. Suya ve çözücülere karşı son derece dayanıklı (D4 grubu) olması, iyi yapışma direnci göstermesi, kolay uygulanabilmesi ve akışkan olması nedeniyle tercih edilmiştir. Tutkal, satın alma yolu ile plastik tüplerde temin edilmiştir.

Çapraz Lamine Ahşabın Üretilmesi

Karaçam kerestesi, 16 mm kalınlığa getirmek için, şerit testere, planya ve kalınlık makinesinde işlenmiştir. CLT ile ilgili çalışmalarda referans eser olarak kabul edilen *CLT Handbook cross-laminated timber* (Karacabeyli ve Douglas 2013) adlı çalışmada, CLT’yi oluşturan tabakaların minimum kalınlığı 16 mm olarak tanımlandığı için bu ölçü esas alınmıştır. Toplam 50 adet 1.6x10x50 cm boyutlarında ve 50 adet 1.6x10x100 cm boyutlarında parçalar kesilmiştir. Bu parçalar lif yönü uzun kenara paralel olacak şekilde hazırlanmıştır. Ebatlara ayrılan bu parçalardan her biri 3 tabaka olacak şekilde beş farklı CLT taslağı üretilmiştir. Her tabaka hazırlanırken, tabakaların birleştirilmesinde herhangi bir kayma ve boşluk oluşmaması amacıyla zımba yardımı ile birleştirilerek sabitlenmiştir. Tabakalar yerleştirilirken homojen dağılım yapılmasına özen gösterilmiştir. Zımba ile birleştirilen tabakalar 3 kat birbirine dik olacak şekilde poliüretan tutkalı ile tutkallanmış, sonra preslenmiş ve yapıştırılmıştır. Tutkal, kereste parçaların yüzeylerine fırça ile uygulanmıştır. Parçaların kenar kısımlarına tutkal sürülmemiştir. Tutkal hiçbir katkı veya dolgu malzemesi katılmadan kullanılmıştır. Tutkal metrekareye 250-300 gram olacak şekilde sürülmüştür. Birleştirilen üç tabakalı beş adet CLT hidrolik pres makinasında Şekil 1’de görüldüğü gibi, oda sıcaklığında, 230 bar basınçta 22 saat bekletilmiştir. Daha sonra presten çıkarılan CLT taslaklarının kenarlarındaki tutkal fazlalıkları temizlenmiş ve test örnekleri kesilip hazırlanmıştır.

Yapılan testler için 2 homojen grup oluşturulmuş ve bu gruplardan birisi hava kurusu halde diğeri ise yaş halde test edilmiştir. Birleştirme, tutkallama ve presleme aşamalarına ait görüntüler Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. CLT’nin (A) Birleştirme (B) Tutkallama ve (C) Presleme Aşamalarına Ait Görüntüler

Yöntem

CLT test örneklerinin rutubeti TS EN 322’e göre ve yoğunluk değeri ise TS EN 323’e göre ölçülmüştür. Yoğunluk ölçümleri anma ölçüleri 50 x 50 x 50 mm olarak hazırlanan test örnekleri üzerinde yapılmıştır. CLT test örneklerinin hava kurusu yoğunluklarının belirlenmesinde TS EN 323 numaralı standartta belirtilen esaslara uyulmuştur. Bu

standarda göre; deney parçaları küp biçiminde hazırlanmıştır. Deney parçalarının hava kuruğu yoğunluk değeri aşağıdaki formülle (1) hesaplanmıştır.

$$D_{12} = \frac{W_{12}}{V_{12}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Burada; W_{12} : deney parçası hava kuruğu ağırlığı (kg), V_{12} : deney parçasının hava kuruğu hacmidir (m^3)

CLT test örnekleri TS EN 310 standardına uygun olarak 3 nokta eğilme direnci testine tabi tutulmuştur. Eğilme direnci için test hızı 10 mm/dk, ön yük 0.02 kN, mesnet arası mesafe 480 mm olarak ayarlanmıştır. CLT'nin eğilme direnci testi için 48 adet 48x48x500 mm ebatlarında numune hazırlanmış ve bu 2 gruba ayrılmıştır. Eğilme direnci testi Şekil 2-A'da görüldüğü şekilde uygulanmış ve aşağıdaki formülle (2) hesaplanmıştır.

$$\sigma_{SF} = \frac{3.P_{max}.L}{2.b.h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Burada; P_{max} : Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N), b : Deney parçasının eni (mm), h : Deney parçasının kalınlığı (mm), L : Mesnetler arası açıklıktır (mm).

Her deney parçasının elastisite modülü (σ_{EM}) aşağıda verilen formülle (3) hesaplanmıştır;

$$D_{12} = \frac{\Delta F.L^3}{\Delta f.4.b.h^3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Burada; ΔF : Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (N), Δf : Örnekteki eğilme miktarı (sehim) farkı (mm), L : Mesnetler arası açıklıktır (mm).

CLT örnekleri üzerinde çivi tutma testi TS EN 13446 standardına uygun olarak yapılmıştır. Test örnekleri anma ölçüsü 50 x 50 x 50 mm ebatlarında kesilmiştir. Toplam 48 adet test örneği hazırlanmıştır. Çivi tutma direnci testi Şekil 2-B'de görüldüğü şekilde uygulanmış ve aşağıda verilen formülle (4) hesaplanmıştır.

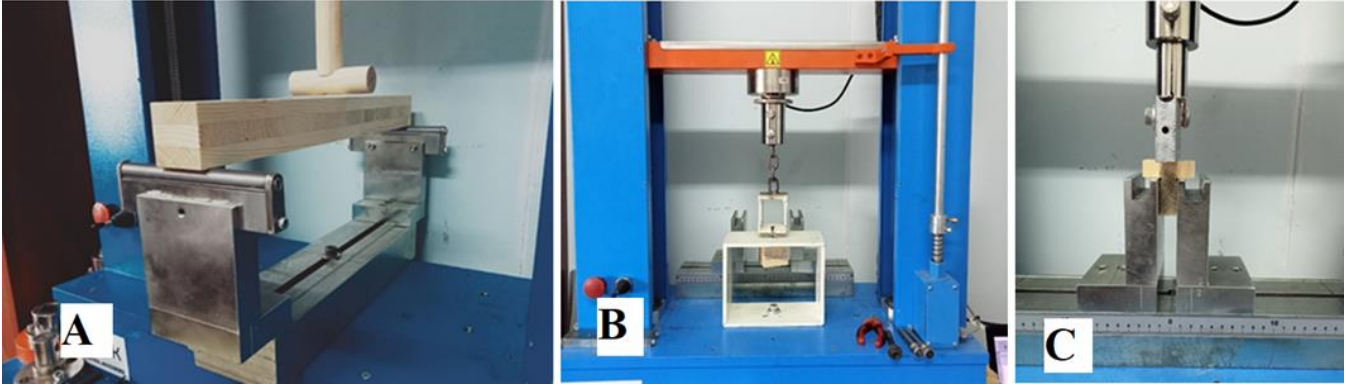
$$f = \frac{F_{max}}{d.l_p} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Burada, f vida tutma direncini (N/mm^2), F_{max} test sonunda belirlenen maksimum yükü (N), d vida anma çapını (mm), l_p ise malzemeye saplanan vida boyunu (mm) göstermektedir.

CLT malzemenin yapışma performansının ölçülmesi için ASTM D 905 standardı veya EN 16351 numaralı standartlarda belirtilen blok makaslama testi kullanılmaktadır. Bu standartlarda tutkal hattındaki yapışma performansı, test örneğinin yerleştirildiği bir metal aparat içerisinde basınç kuvveti uygulayarak yapışan yüzeylerin ayrılmaya zorlanması ile ölçülmektedir. Ancak, bu test için gereken metal aparatın mevcut olmaması nedeniyle, bu teste benzer olan bir test düzeneği oluşturularak bu test TS 3459 standardında belirtilen basınç kuvvetiyle makaslama direncinin ölçülmesi şeklinde yapılmıştır. Bu test içinde 48 adet test örneği olmak üzere 2 grup hazırlanmıştır. Bu gruplardan birisi hava kuruğu halde, diğeri ise yaş halde test edilmiştir. Yaş halde test edilecek test örnekleri 48 saat suda bekletilmiş ardından bir bez yardımı ile fazla suyu alınmış ve sonra teste tabi tutulmuştur. Makaslama direnci Şekil 2-C'de gösterildiği gibi uygulanmış ve aşağıdaki formülle(5) hesaplanmıştır.

$$\sigma_m = \frac{F_{max}}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

Burada; σ_m makaslama direncini (N/mm^2), F_{max} test esnasında ölçülen maksimum kuvvet (N) ve A birbirinden ayrılan yüzeylerin toplam alanını (mm^2) göstermektedir.



Şekil 2. Eğilme Direnci Testi (A) Çivi Tutma Direnci Testi (B) Makaslama Direnci Testi (C) Görüntüleri

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular

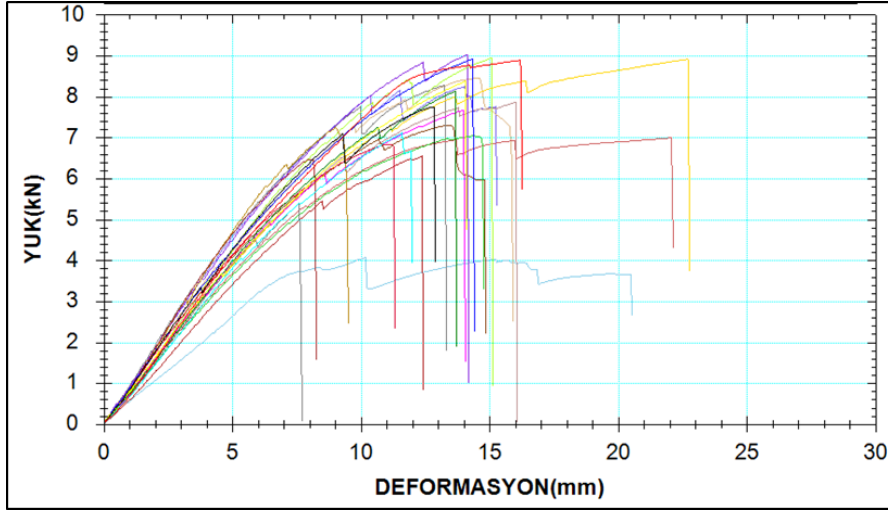
Denemeler için üretilen CLT malzemenin hava kuru yoğunluk değeri 513 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Malzemenin, testleri yapılan mekanik özelliklerinden eğilme direnci, eğilmede elastisite modülü ve eğilmede deformasyon miktarı, çivi tutma direnci ve yapışma performansını gösteren makaslama direnci testlerine ait hava kuru ve yaş haldeki veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, hava kuru test örneklerinin rutubet yüzdesinin %9.7, yaş haldeki test örneklerinin %57.74 olduğu belirlenmiştir. Yaş örneklerin rutubet yüzdesinin %30 lif doyunluk noktasının üzerinde olması yapılan mekanik testler bakımından önemlidir. Ahşap malzemenin lif doyunluk noktası altındaki rutubet yüzdesinde azalma veya artma olması durumunda masif ahşap malzemenin mekanik özellikleri de artış veya azalış gösterir. Eğilme direnci hava kuru haldeki test örneklerinde 49.81 N/mm^2 ve yaş test örneklerinde 22.23 N/mm^2 ’dir. Eğilmede elastisite modülü değeri, hava kuru test örneklerinde 4510 N/mm^2 ve yaş test örneklerde ise 2066 N/mm^2 ’dir. Çivi tutma direnci hava kuru test örneklerinde 4.6 N/mm^2 ve yaş haldeki test örneklerinde ise 3.43 N/mm^2 ’dir. Makaslama direnci ise hava kuru test örneklerinde 3.03 N/mm^2 ve yaş haldeki test örneklerinde ise 1.61 N/mm^2 ’dir. Eğilme direnci, eğilmede elastisite modülü, çivi tutma direnci ve makaslama direnci değerleri yaş örneklerde, hava kuru örneklere göre önemli derecede azalmıştır. Ancak, bu sonucun tersi olarak, eğilmede deformasyon ve çivi tutmada deformasyon miktarları hava kuru test örneklerine göre yaş haldeki test örneklerinde artış göstermiştir.

Çizelge 1. Mekanik Özelliklere Ait Veriler (Mahşereci, 2023)

		Rutubet (%)	Eğilme Direnci (N/mm^2)	Elastisite Modülü (N/mm^2)	Eğilmede Deformasyon (mm)	Çivi Tutma Direnci (N/mm^2)	Çivi Tutmada Deformasyon (mm)	Makasla ma Direnci (N/mm^2)
Hava kuru örnekler	x*	9,7	49,81	4510	13,94	4,6	0,74	3,03
	ss**	0,5	8,30	538	3,95	1,19	0,71	0,59
Yaş örnekler	x	57,74	22,23	2066	29,33	3,43	4,05	1,61
	ss	12,06	5,94	412	13,84	0,59	2,12	0,42

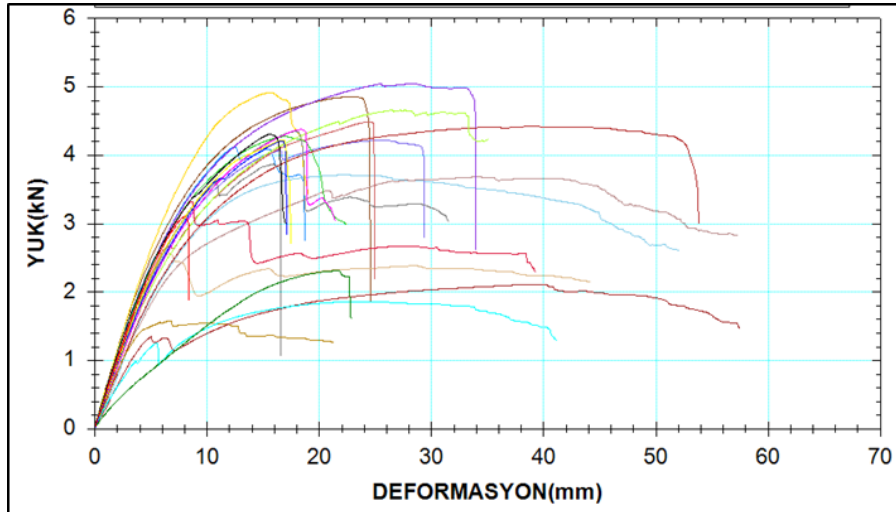
*x: aritmetik ortalama değerleri, **ss: standart sapma değerleri

Hava kuru test örneklerine ait eğilme direnci testi yük-deformasyon grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, CLT malzemenin eğilme direnci esnasında 6-9 kN yüklere kadar kırılmadan dayandığı ancak bu yükten sonra ani kırılma olduğu görülmektedir. Grafikteki yük-deformasyon eğrileri incelendiğinde lineer elastik bölgenin bittiği nokta veya elastiklik sınırının, çoğu test örneği için belirgin olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Kırılmalar anidir ve bazı örneklerde kademelidir. Bu durumun en önemli nedeni, hava kuru haldeki ahşap malzemenin, gevrek bir karaktere sahip olmasıdır. Hava kuru rutubet seviyesinden itibaren lif doyunluk rutubet seviyesine doğru rutubet alan ahşap malzemenin gevrekliği azalır ve daha esnek bir malzemeye dönüşür. Deformasyon değeri 7 mm ile 23 mm arasında değişmektedir. Ortalama deformasyon miktarı ise 13.94 mm dir ve Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 3. Hava kuru CLT Örneklerine Ait Eğilme Direnci Yük Deformasyon Grafiği

Yaş test örneklerine ait eğilme direnci testi yük-deformasyon grafiği Şekil 4'de verilmiştir. Şekildeki grafik incelendiğinde, yük-deformasyon grafiğinde lineer elastik bölge çoğu test örneği için belirgindir. Bazı örneklerde maksimum yük değerlerine göre düşüktür. Genel olarak maksimum yük yaklaşık 5 kN olarak belirlenmiştir. Eğilmeye deformasyon miktarı ise 8 mm ile 58 mm arasında değişmiştir. Ortalama deformasyon miktarı 29 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda, yaş örneklerin kuru örneklerle göre çok daha esnek bir kırılma sergilediği söylenebilir. Bu durumun yük altındaki ahşap malzemelerin ani yüklemelere maruz kalması durumunda esnek bir kırılma göstermesi açısından avantaj ancak daha az yük taşıması bakımından ise dezavantaj olduğu açıktır.



Şekil 4. Yaş CLT Örneklerine Ait Eğilme Direnci Yük Deformasyon Grafiği

Tartışma

CLT üretimi ve özellikleri üzerine yapılan önceki çalışmalarda, farklı ağaç türü ve farklı tutkallar kullanılarak CLT üretilmiş ve bazı teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Örneğin; Hekimoğlu (2014) çalışmasında göknar ve sarıçam odunlarından nanokil takviyeli çapraz lamine kereste üretim olanaklarını incelemiştir. Çalışmada PVAc D3 tutkalı ile yapılan CLT'ye %1, %2 ve %4 oranlarında nanokil ilave edilmiş ve epoksi tutkalı kullanılmıştır. Farklı boyutlarda deney numunesi hazırlanmış ve bu numunelerden 2x3x44 cm boyutlarındaki örneklerin eğilmeye kayma değerleri sarıçam odununda daha yüksek iken %1 ve %2 nanokil ilave edildiğinde göknar odununun daha yüksek değerleri olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda kullanılan epoksi tutkalında ise sarıçam ve göknar odununun aynı değerleri verdiği sonucuna ulaşılmıştır. 2 x 2.5 x 44 cm ebatlarındaki PVAc D-3 tutkalı kullanılan numunelerin yarısı 24 saat suda bekletilmiş ve bunun sonucunda tutkal hattından yarılarak kullanılamaz hale gelmiştir. Geri kalan numunelerde eğilmeye kayma direncinin nanokil takviyesi ile doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Epoksi tutkalı ile yapılandırılan numuneler 24 saat suda bekletildikten sonra eğilmeye kayma değerlerinin sarıçam odununda

daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ancak suda bekletilen numunelerin direnç değerlerinin normale göre %40-%50 oranında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar, bizim yaptığımız çalışmada da yaş haldeki test örnekleri üzerinde elde edilmiştir. Ancak, sunulan bu çalışmada, kullanılan tutkal türünün suya karşı dayanımının son derece yüksek olması nedeniyle (D4 sınıfı), yaş test örneklerinde tutkal hattında ayrılma sadece birkaç test örneğinde gözlemlenmiştir.

CLT üretiminde farklı ağaç türleri ile PU tutkalı kullanılarak yapılan önceki çalışmalarda, PU tutkalı ile CLT'nın başarılı bir şekilde üretilebildiği rapor edilmiştir. Örneğin; Gülcemal (2019) tarafından yapılan çalışmada, üretilen tabakalı kereste ve tabakalanmış ağaç malzemenin bazı teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Kereste olarak Uludağ göknarı, sarıçam ve ısıtılmış görmüş çam türleri kullanılmıştır. Tutkal olarak poliüretan ve melamin formaldehit kullanırken bazı örneklerde yapıştırıcıya ek olarak üst tabakalarda silan muamelesinde bulunmuştur. Poliüretan tutkalı kullanılan CLT ve Tabakalı Ağaç Malzeme (TAM) kirşilerinin kereste türü fark etmeden melamin formaldehit kullanılanlardan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Silan muamelesi yapılan poliüretan tutkallı örneklerde direncin arttığı gözlemlenmiştir. Isıtılmış görmüş kerestelerde mekanik özelliklerde azalmalar tespit edilmiştir.

CLT üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise, ısıtılmış işlem ile modifiye edilmiş kereste parçalarından üretilen CLT'nın bazı teknolojik özellikleri Özan (2017) tarafından araştırılmıştır. Araştırmada, sarıçam (*Pinus Sylvestris* Lipsky) ve Uludağ göknarından üretilen CLT'nın, masif (ısıtılmış işlem görmeyen) çapraz tabakalı kereste ile ısıtılmış işlem gören kerestenin çekmede makaslama direnci, eğilmeye makaslama direnci, eğilmeye elastisite modülü ve yüzeylere dik çekme direnci özelliklerini incelenmiştir. Üç tabakalı çapraz tabakalı keresteler poliüretan tutkalı ile birleştirilirken deney numunelerinden bazılarında tutkala ek olarak üst tabakalarda silanla ön muamele yapılmıştır. Silan astar muamelesi yapılan masif CLT malzemelerin ısıtılmış işlem görmüş CLT malzemedeki daha sağlam olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine bu çalışmada ısıtılmış işlem gören çapraz tabakalı kerestede silan ile ön muamele yapılan numunelerin mekanik özelliklerinde azalmalar olduğunu gözlemlenmiştir.

Ahşap esaslı yapısal kompozit malzemelerin su ile temas etmesi sonrası hızlı bir şekilde su almaya başladıkları ve bunun bir sonucu olarak mekanik performansında azalmaların meydana geldiği, yapılan önceki çalışmalarla ortaya konmaya çalışılmıştır. Juciene vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, ladin odunundan üretilen yapısal kompozit kerestenin (LVL) su ile temas etmesi sonrası hızlı bir şekilde su almaya başladığı ve 48 saatlik bir temas sonrası test örneğinin %34 oranında su aldığı ve bu rutubet seviyesinde yapılan eğilme direnci testinde LVL malzemenin eğilme direncinin kontrol grubu test örneklerine göre %45 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, bu yapılan çalışmada, test örnekleri suya kısmı olarak ve sadece bir yüzeyleri suya değecek şekilde temas ettirilmiştir. Bizim yaptığımız çalışmada ise test örnekleri tamamen suya daldırılmıştır. Bir başka çalışmada ise, Bal vd. (2013) tarafından; masif ağaç malzeme ve tabakalı kaplama kerestenin vida tutma direnci üzerine kuvvet uygulanan yüzeyin ve rutubetin etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre; rutubetin vida tutma direncini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada ise; Bal (2016) tarafından huş ve çam kontrplak malzemenin vida tutma direnci üzerine rutubetin etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen verilere göre; %0, %10, %20, %30 ve %40 rutubet seviyelerinde vida tutma dirençleri arasında önemli farklılıklar olduğu, ancak, %40 rutubet seviyesi ile %60 rutubet seviyesindeki kontrplak test örneklerinin vida tutma dirençleri arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Rutubetin ahşap malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi konusunda Hıdır vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu çalışmalar arasında; rutubet yüzdeleri arasındaki farklılık, test metodundaki farklılık, ağaç türündeki farklılık ve üretilen malzemedeki farklılık olduğu ve bunun bir sonucu olarak, yapılan önceki çalışmalar ile bu sunulan çalışma arasında bazı farklılıkların meydana geldiği söylenebilir.

CLT malzemenin mekanik performansını etkileyen önemli faktörlerden biriside yapıştırıcıda kullanılan tutkal türü ve uygulanan tutkal miktarıdır. Tutkal miktarının artması ile yapışma performansı iyileşmekte ve tutkal hattında meydana gelebilecek delaminasyon azalmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada Amin vd. (2023) bu iki faktörün etkisini kesin bir şekilde ortaya koymuştur. Yapılan bir diğer çalışmada ise, Yang vd. (2022), Çin göknar odunu ve bambu ile üretilen CLT malzemenin yapışma performansı üzerine 2 farklı tutkalın (PU ve FRF) etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre; PU tutkalı ile üretilen CLT test örneklerinin yapışma performansı (blok makaslama testi) FRF tutkalı ile yapıştırılanlara göre daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca, tutkal hattındaki yapışma performansının bir göstergesi olan odun kırılması yüzdesi (wood failure pertengate) PU ile yapıştırılan test örneklerinde daha yüksek ölçülmüştür.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, karaçam kerestesinden 3 tabakalı CLT, poliüretan tutkalı kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen malzemenin eğilme direnci, elastisite modülü, çivi tutma direnci, yapışma direnci araştırılmıştır. Yaş halde ve hava kuru halde teste tabi tutulan CLT örneklerinin literatürdeki diğer çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Yaş halde test edilen CLT örneklerinin mekanik performansı azalırken, tutkal hattında delaminasyona uğramamış ve iyi bir yapışma direnci göstermiştir. Hava kuru haldeki test örneklerinin eğilme direnci, elastisite modülü, çivi tutma direnci ve makaslama direnci yaş haldeki test örneklerinininkinden, sırasıyla %127, %118, %35 ve %87 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaş haldeki test örneklerinin eğilmede deformasyon miktarı kuru haldeki test örneklerinin eğilmede deformasyon miktarından %52 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Suyu dayanıklı poliüretan tutkalının yaş halde teste tabi tutulan örneklerde iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kırılan ve ayrılan test örneklerinin sadece iki tanesinde tutkal hattından ayrılma saptanmış olup bu ayrılma sınırlıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı tarafından 2021/6-11 YLS numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı KSÜ BAP birimine teşekkür ederiz. Bu çalışmada sunulan veriler, Aydanur Hıdır MAHSERECİ isimli yazarın yüksek lisans tezinden alınmıştır.

KAYNAKLAR

- Amin, Y., Adji, R. P., Lubis, M. A. R., Nugroho, N., Bahtiar, E. T., Dwianto, W., & Karlinasari, L. (2023). Effect of Glue Spread on Bonding Strength, Delamination, and Wood Failure of Jabon Wood-Based Cross-Laminated Timber Using Cold-Setting Melamine-Based Adhesive. *Polymers*, 15(10), 2349. DOI: 10.3390/polym15102349.
- Artun, H. (2021). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzemenin Bina Enerji Performansına Etkisi: Trabzon İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Avrasya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 156s.
- Bal, B. C., Özdemir, F., & Altuntaş, E. (2013). Masif ağaç malzeme ve tabakalı kaplama kerestenin vida tutma direnci üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 9(2), 14-22.
- Bal, B. C. & Kılavuz, M. (2015). İlk Mobilya, Selçuk Üniversitesi Teknik Online Dergisi, (özel sayı): 56-69. ISSN:1302-6178
- Bal, B. C. (2016). The effect of moisture content on the screw holding capacity of birch and pine plywood. In *International Forestry Symposium* (pp. 1020-1025) Kastamonu, Türkiye.
- Barutçu, N. (2020). Çapraz Lamine ahşap Ve Betonarme Taşıyıcı Sistemli Tekil Konut Yapılarının Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması Deđerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 229s.
- Ceylan, A. (2021) Çapraz Lamine Ahşap Panel Yapı Sistemleri ve Birleşim Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çavuş, V. (2019). Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemelerde Yükselen Trend; Çapraz Tabakalanmış Kereste. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 560-569. DOI: 10.24011/barofd.518169.
- Gülcemal, (2019) Sarıçam Ve Gökmar Odunlarından Elde Edilen Lamine ve Çapraz Lamine Kirişlerin Mukavemetinin Karşılaştırılması Ve İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Bartın.
- Hekimoğlu, V. (2014). Gökmar Ve Sarıçam Odunlarından Nanokil İlaveli Çapraz Lamine Kereste Üretim Olanaklarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 75s. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/594289>.
- Hıdır, A. , Bal, B. C. & Aşşaroğlu, E. (2022). Film kaplı kontrplağın bazı mekanik özellikleri üzerine rutubet içeriğinin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(2),102-109.DOI: 10.33725/mamad.1186623
- Hu, C., Dengyun, T., Liao, Y., & Zhang, W. (2016). Feasibility of Manufacturing Cross-laminated Timber Using Fast-grown Small Diameter Eucalyptus lumbers. *Construction and Building Materials Journal*, 132, 508-515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.027>.
- Karacabeyli E. and Douglas B., (2013) CLT: handbook cross-laminated timber, FPInnovations.

Knorz, M., Torno, S., & van de Kuilen, J. W. (2017), Bonding quality of industrially produced cross-laminated timber (CLT) as determined in delamination tests. *Construction and Building Materials*, 133, 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.057>.

Jucienė, M., Dobilaitė, V., & Albrektas, D. (2023). An Investigation of the Impact of Water on Certain of the Mechanical and Physical Properties of Laminated Veneer Lumber (LVL) as Used in Construction. *Applied Sciences*, 13(2), 925. <https://doi.org/10.3390/app13020925>.

Mahşereci A.H. (2023), Karaçam odunundan üretilen çapraz tabakalı kereste (ÇTK) malzemenin farklı koşullardaki mekanik dayanımı üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 79s.

Mengeloğlu, F. & Kurt, R. (2004). Mühendislik ürünü ağaç malzemeler 1 tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM). *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 39-44.

Oran, B. (2012). Hindistan Cevizi (Cocos nucifera L.) Odunu İle Üretilen Çapraz Yapıştırılmış Lamine Kerestelerin Bazı Teknolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 89s. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/480008>.

Özan, Z. E. (2017) Isıl İşlem Görmüş Ahşap Malzemenin Çapraz Lamine Kereste Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 61s. <http://hdl.handle.net/11772/405>,

Şanlı, E. (2020) Çapraz Lamine Ahşabın Strüktürel Kullanımının Ve Performans Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 437s.

TS 3459, (1980), Odunda Liflere Paralel doğrultuda Makaslama Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 310, (1999), Ahşap esaslı levhalar- Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, TSE, Ankara.

TS EN 322, (1999), Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 323, (1999), Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini, TSE, Ankara.

TS EN 13446, (2005), Ahşap esaslı levhalar-bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini, TSE, Ankara.

URL 1 (2023) Cross-Laminated Timber (CLT): Feature and Benefits <https://theconstructor.org/building/cross-laminated-timber-clt-features-and-benefits/565439/>

Yang, S., Li, H., Fei, B., Zhang, X., & Wang, X. (2022). Bond quality and durability of cross-laminated flattened bamboo and timber (CLBT). *Forests*, 13(8), 1271. <https://doi.org/10.3390/f13081271>.

Wang, J. B., Wei, P., Gao, Z., & Dai, C. (2018). The evaluation of panel bond quality and durability of hem-fir cross-laminated timber (CLT). *European Journal of Wood and Wood Products*, 76, 833-841. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1283-7>.