

## Uludağ göknarı ve karaçam odunlarından elde edilen çapraz lamine kerestelerinin eğilme özelliklerinin incelenmesi

Mesut Uysal<sup>a,\*</sup>, Orhan Eren<sup>a</sup>, Halil Karatay<sup>a</sup>, Doğan Memiş<sup>a</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, EUROCODE 5 kapsamına alınan yerli iğne yapraklı ağaç türlerinden uludağ göknarı ve karaçam keresteleri ve polivinil asetat (PVAc) tutkalı kullanılarak elde edilen çapraz lamine keresteler (ÇLK) malzemesinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü incelenmiştir. 3 katmalı olarak hazırlanan ÇLK'lar 0.4 N/mm<sup>2</sup> basınç altında 35°C sıcaklıkta 150 dk süre ile preslenmiştir. Üç nokta eğme deneyi yük-deformasyon eğrileri elde edilen hem masif Uludağ göknarı ve karaçam hem de bu malzemelerden elde edilen ÇLK'ların eğilme direnci ve elastikiyet modülü belirlenmiştir. Masif Uludağ göknarı ve karaçamın eğilme direnci 65 N/mm<sup>2</sup> ve 83.8 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu malzemelerden elde edilen ÇLK'ların eğilme direnci ise 38.4 N/mm<sup>2</sup> ve 64.6 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Elastikiyet modülünde ise bu değerler sırasıyla, 9093.5 N/mm<sup>2</sup>, 11068.8 N/mm<sup>2</sup>, 5273.4 N/mm<sup>2</sup> ve 8657.0 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre karaçam odunundan elde edilen hem masif hem de ÇLK'lar göknar odunundan elde edilenlere göre daha dayanıklı olarak bulunmuştur. Çalışmanın varyans analizi de hem masif hem de ÇLK için odun türünün istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, yerli iğne yapraklı ağaçlarımızın EUROCODE 5 kapsamında alınması, bu malzemelerden ÇLK'ların üretilmesi ve malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi Türkiye ahşap yapı sektöründe bu malzemelerin yapı analizinde ve yapı eleman tasarımında önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Çapraz lamine kirişler, Uludağ göknarı, Karaçam, Eğilme Direnci, Elastikiyet modülü

## Investigation of bending properties of cross laminated timber made of Uludağ fir and black pine

**Abstract:** In this study, flexural strength and modulus of elasticity (MOE) of cross-laminated timber (CLT) made of the Uludag fir and black pine wood, which are domestic coniferous tree species included in the scope of the EUROCODE 5, and polyvinyl acetate (PVAc) adhesive were investigated. CLTs, prepared with three layers, were pressed under the pressure of 0.4 N/mm<sup>2</sup>, the temperature of 35°C and the time of 150 min. Three-point bending tests were applied to determine flexural strength and MOE by obtaining load-deformation curves of solid wood and CLTs made of the Uludag fir and black pine wood. The average flexural strength of the solid Uludag fir and black pine was 65 N/mm<sup>2</sup> and 83.8 N/mm<sup>2</sup>. The average flexural strength of the CLTs made of the Uludag fir and black pine wood was 38.4 N/mm<sup>2</sup> and 64.6 N/mm<sup>2</sup>, respectively. Those of MOEs were 9093.5 N/mm<sup>2</sup>, 11068.8 N/mm<sup>2</sup>, 5273.4 N/mm<sup>2</sup> and 8657.0 N/mm<sup>2</sup>, respectively. It resulted that solid wood and CLT made of black pine wood had more strength than those of Uludag fir. Analysis of variance also showed that wood species have a statistically significant effect on flexural strength and MOE of the materials. Consequently, the acquisition of domestic coniferous trees, the production of the CLTs made of these woods and the determination of their mechanical properties are vital in the structural analysis and member design of these materials in the wood construction industry in Turkey.

**Keywords:** Cross laminated timbers, Uludag fir, Black pine, Flexural strength, Modulus of elasticity

### 1. Giriş

Tarih boyunca, insan yaşamındaki en zaruri ihtiyaçlarından biri barınma olmuştur. İnsanlar bu ihtiyaçlarını karşılamak için ilk zamanlarda ağaç kovukları ve mağaralarda yaşamışlardır. Gün geçtikçe farklı malzemeler kullanılarak farklı yapılar inşa edilmiştir (Yesügey vd., 2014). Yapıda kullanılan malzemelerden ilki, ahşaptır. Ahşap; kolay bulunabilir, işlenebilir, yenilenebilir, sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir bir malzemedir. Bu avantajları doğrultusunda geçmişten günümüze varıncaya kadar ahşabın yapıda kullanımı artarak devam etmiştir (Kurt, 2021). 19. yüzyıla kadar ahşap yapı

üretimi geleneklere dayanmıştır. Geleneksel ahşap yapı üretimi; toplumların kültürlerine, coğrafi koşullara ve iklimsel özelliklere bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Geleneksel ahşap yapılar genellikle yığma ve iskelet sistemlerden oluşmaktadır. Ahşabın yanı sıra kerpiç veya taş gibi malzemeler kullanılarak karma yapılar da oluşturulmuştur. 20. yüzyılın başlarında ise çivi, tutkal ve ağaç işleme makinelerindeki gelişmelerle beraber modern ahşap yapılar üretilmeye başlamıştır (Uluğ ve Odabaşı, 1972).

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmeler ve nitelikli orman kaynaklarındaki azalma ile beraber ahşap malzemenin etkin ve verimli kullanımını sağlamak için mühendislik ürünü

✉ <sup>a</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

@ \* **Corresponding author** (İletişim yazarı): mesut.uyosal@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 24.08.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 02.11.2022



**Citation** (Atıf): Uysal, M., Eren, O., Karatay, H., Memiş, D., 2022. Uludağ göknarı ve karaçam odunlarından elde edilen çapraz lamine kerestelerinin eğilme özelliklerinin incelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 23(4): 313-319. DOI: [10.18182/tjf.1166361](https://doi.org/10.18182/tjf.1166361)

aşap malzemeler (MAM) geliştirilmiştir. Bunların arasında; kontrplak, kontrtabla, yapıştırılmış lamine kereste (glulam), tabakalanmış kaplama kereste (LVL), paralel şerit kereste (PSL), tabakalanmış şerit kereste (LSL), çapraz lamine edilmiş kereste (ÇLK), yönlendirilmiş şerit kereste (OSL), çivili lamine aşap (NLT), kavelalı lamine edilmiş kereste (DLT), yönlendirilmiş şerit levha (OSB), I-kiriş, Holz, lif kereste (scrimber) gibi malzemeler bulunmaktadır (Yesügey vd., 2014).

ÇLK kereste tabakalarının lifleri birbirine 90 derece zıt olacak şekilde, basınç altında yapıştırılması suretiyle elde edilmektedir. ÇLK malzemedeki tabaka sayıları genellikle 3, 5, 7 ya da daha fazla olacak şekilde tek sayılar ile oluşturulmaktadır. ÇLK üzerine ilk çalışmalar 1990'lı yıllarda Avrupa'da başlamıştır. Diğer malzemelerle kıyaslandığında üretim, montaj, nakliye ve kurulum sürelerinin kısa olması ÇLK'nin daha avantajlı bir durumda olmasını sağlamaktadır. Hafif olduğu kadar güçlü ve esnek olması nedeniyle deprem dayanımı yüksektir. Masif aşaba kıyasla uzun ömürlü bir malzemedir (Yesügey vd., 2014).

Kullanılan odun türü, katman sayısı, katman kalınlığı, tutkal tipi ve pres basıncı gibi farklı parametrelerin ÇLK'ların mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Oran (2012) Hindistan cevizi odunu ile yapmış olduğu 3 katmanlı ÇLK'ların dış katmanlarında 9 mm ve iç katmanında ise 22 mm kalınlık kullanmış ve polivinil asetat (PVAc), melamin-üre formaldehit (MÜF) ve üre formaldehit (ÜF) tutkallarının mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. MÜF tutkallarının daha iyi mekanik özellikler sağladığı ortaya koymuştur. Wang vd. (2015) masif kereste ve (LSL) kullanılarak elde ettiği ÇLK ve hibrit-ÇLK'ları incelenmiştir. 3 katman olarak hazırladığı ÇLK'larda orta katman da masif ve dış katmanlarda LSL kullanılması ile sadece masif kullanılan ÇLK'lara göre daha iyi mekanik özellik elde ederken, 3 katmanında LSL olması durumunda ise en dayanıklı malzemeyi elde ettiğini bildirmiştir. Christovasilis vd. (2016) yaptıkları çalışmada ÇLK'nin farklı katman kalınlığı ve katman sayısı elastik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. ÇLK'da katman kalınlığı artarken elastik özelliklerin arttığı ama katman sayısının artması ile azaldığını bildirmişlerdir. Galih vd. (2020) iç katmanı bambu lamine levha ve dış katmanları akasya odunundan elde edilen keresteler ile hibrit ÇLK üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre hibrit ÇLK'lar ladin-çam-göknar (SPF)'dan elde edilen ÇLK'lara göre 3 kat daha fazla elastikiyet modülüne, 1.35 kat daha iyi eğilme direncine sahipken 0.8 kat kesme modülüne sahiptir. Özen (2017) sarıçam ve Uludağ göknarı odunlarından elde ettiği ÇLK'larda poliüretan (PÜ) tutkalı ve silan ilave edilmiş PÜ tutkalı kullanarak malzemenin mekanik özelliklerinin incelemiş ve katkılı tutkal kullanımı ile daha yüksek yapışma direnci elde etmiş ve ÇLK'nin mekanik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmiştir. Choi vd. (2018) melez çamı ve kontrplak kullanılarak elde ettiği hibrit ÇLK'ların mekanik özellikleri kontrplak kullanımı ile artarken, katman sayısı arttıkça da azaldığını tespit etmiştir. Gülcemal (2019) Uludağ göknarı, sarıçam, ladin ve göknarı masif ve ısıtılmış olarak kullandığı ÇLK'larda PÜ, melamin formaldehit (MF), MF+silan ve PÜ+silan kullanmıştır. Isıtılmış malzemelerin mukavemet özellikleri düşerken PÜ tutkalı ve silan kullanımı malzeme özelliklerini iyileştirmiştir. Birinci (2019) sarıçam, doğu ladin ve göknar odunundan elde edilen ÇLK'lar mekanik özelliklerini incelediğinde en yüksek mukavemete sarıçam olduğunu gözlemlerken katman

sayısının artması ile de mekanik özelliklerin azaldığını belirtmiştir. Li vd. (2021) melez çam odunu kullanarak elde ettikleri ÇLK'larda izosiyanat (EPI), fenol resorsinol formaldehit (PRF) ve PÜ tukalları ve pres basıncını (0.8, 1.2 ve 1.5 MPa) etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada EPI tutkalının yapışma kalitesini iyileştirmek için pres basıncının 1.5 MPa, PRF ve PÜ içinse 1.2 MPa olması gerektiğini bildirmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapı üretiminde kullanılan ve gün geçtikçe dünyadaki pazar payı giderek artan ÇLK'nin yerli iğne yapraklı ağaç türleri ile üretilerek bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan ağaç türleri; Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü bünyesinde yürütülen "Yerli İğne Yapraklı Ağaç Türlerimizin Mukavemet Sınıflarının Belirlenmesi-I" isimli proje ile EUROCODE 5 kapsamına alınan yerli karaçam ve göknar odunundan elde edilen masif ve ÇLK malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü incelenmiştir (OGM, 2021).

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışmada orman ürünleri sanayinde sıklıkla kullanılan Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold) kullanılmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan Uludağ göknarı ve karaçam keresteleri Bursa ilinde yerel bir kereste firmasından alınmıştır.

Çalışmada yapıştırıcı malzeme olarak tek bileşenli polivinil asetat (PVAc-D3) tutkalı kullanılmıştır. Raftery vd. (2008) PVA tutkalı kullanılarak glulam malzemesinin bazı mekanik özelliklerini incelenmiştir. Bu çalışmada da PVAc tutkalı kullanılarak elde edilen ÇLK'ların bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. PVAc tutkalları asetilen ile asetik asitten imal edilir ve polimerizasyonu basittir. Çözücüsü olarak su kullanılırken, uygulaması kolay ve kullanıma hazır halde bulunan bir tutkal çeşididir. Soğuk uygulamalarda kullanılan bu tutkal 50°C'nin altında kullanılması tavsiye edilirken, sıcaklık 60°C üzerine çıktığında termoplastik bir tutkal olan PVAc yumuşamaya başlar.

### 2.2. Çapraz lamine kerestelerinin hazırlanması

Bu çalışmada, Uludağ göknarı ve karaçam keresteleri pres baskı alanı dikkate alınarak toleranslı bir şekilde 12.5x60x650 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) işlenerek her bir katmanda 10 adet kereste kullanılacak şekilde en 30 adet hazırlanmıştır.

22°C ve %65 rutubet miktarında en az 72 saat bekletilen keresteler, ilk aşamada beşli parçalar halinde işkence yardımıyla PVAc tutkalı kullanılarak birleştirilmiştir ve 12.5x300x650 mm boyutlarında katmanlar elde edilmiştir. İkinci aşamada ise katman kalınlıkları kalınlık makinesinde 10 mm'ye düşürülmüştür. İkili parçalar halinde işkence yardımıyla yine PVAc tutkalı kullanılarak birleştirilmiş ve 10x600x650 mm boyutlarında katmanların uç kısımları temizlenerek her odun türü için 3'er adet 10x600x600 mm boyutlarında tabakalar elde edilmiştir. Bu katmalar presleme öncesinde de en 72 saat 22°C ve %65 rutubet miktarına sahip şartlı odada bekletilmiştir.

3 tabakalı olarak hazırlanacak olan ÇLK'ların yüzeylerine PVAc tutkalı 200 g/m<sup>2</sup> miktarında birleşecek

katman yüzeylerine homojen bir şekilde uygulanmıştır. Tabakalar, lif yönlerinin 90°'lik açı yapacak şekilde üst üste konularak Cemil Usta SSP-180 T laboratuvar tipi presinde 35°C pres sıcaklığında, 0.4 N/mm<sup>2</sup> basınç altında ve 150 dk süre ile preslenmiştir. Hazırlanan ÇLK'lar %65 nispi rutubet ve 22°C sıcaklık şartlarında iklimlendirme odasında en az 72 saat bekletilerek hem yapıştırma işleminin daha etkili olması hem de denge rutubetini yakalaması için dinlendirilmiştir. 3 katmanlı ÇLK boyutları Şekil 1'de verilmiştir.

### 2.3. Rutubet miktarı ve yoğunluk tayini

TS EN 326-1 (1999), TS EN 322 (1999), TS EN 323 (1999), TS 2471 (1976) ve TS 2472 (1976) standartlarına hem masif hem de ÇLK örneklerinin rutubet miktarı, hava kuru yoğunluk ve tam kuru yoğunluk tayinleri yapılmıştır. Örneklerin boyutları ±0.01 mm duyarlılıkta mikrometrik dijital kumpasla ve ağırlıkları ise ±0.01 g duyarlılıkta analitik terazide tartılmıştır. Daha sonra, örnekler 103 ± 2 °C'de 72 saat süre ile etüve bekletildikten sonra boyutları ve ağırlıkları tekrardan ölçülmüştür.

Rutubet tayininde;

$$RM = \frac{M_{12} - M_0}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

RM: Rutubet miktarı (%)

$M_{12}$ : Hava kuru ağırlık (g)

$M_0$ : Tam kuru ağırlık (g)

Hava kuru yoğunluk tayininde;

$$d_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (2)$$

$d_{12}$ : Hava kuru yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

$M_{12}$ : Hava kuru ağırlık (g)

$V_{12}$ : Hava kursunda sahip olduğu hacim (cm<sup>3</sup>) eşitliğinden yararlanılmıştır.

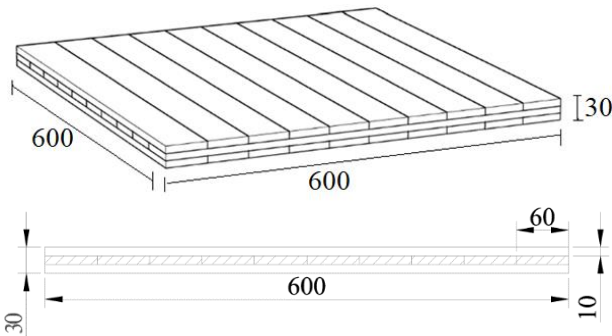
Tam kuru yoğunluk tayininde;

$$d_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (3)$$

$d_0$ : Tam kuru yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

$M_0$ : Tam kuru ağırlık (g)

$V_0$ : Tam kuru halde sahip olduğu hacim (cm<sup>3</sup>) eşitliğinden yararlanılmıştır.



Şekil 1. 3 katmanlı ÇLK ve katman boyutları (mm)

### 2.4. Eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tayini

20 x 20 x 360 mm boyutlarında hazırlanan masif ve ÇLK (Şekil 2) örnekleri Şekil 3'de verilen deney düzeneği ile 50 kN yük kapasitesine sahip SHIMADZU universal test cihazında 10 mm/dk test hızı ile statik yüke maruz bırakılmıştır. Deney, uygulanan kuvvet kırılma kuvvetinin %80'ine düşene kadar devam ettirilmiştir. Deney sonucunda yük-deformasyon eğrisi elde edilerek örneklerin eğilme direnci ve elastikiyet modülleri hesaplanmıştır (TS 2474, 1976 ve TS 2478, 1976).

Eğilme direncini hesaplanmasında;

$$\sigma_E = \frac{3 \times F_{max} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (4)$$

$\sigma_E$ : Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{max}$ : Kırılma kuvveti (N)

$L$ : Destek noktaları arası açıklık (mm)

$b$ : Örnek genişliği (mm)

$h$ : Örnek kalınlığı (mm) eşitliği kullanılmıştır.

Elastikiyet modülünün hesaplanmasında;

$$E = \frac{\Delta F \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times \Delta d} \quad (5)$$

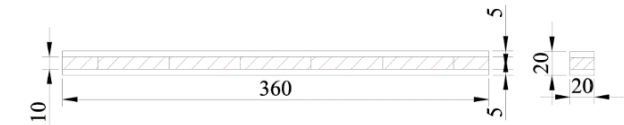
$E$ : Elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>)

$\Delta F$ : Yük-deformasyon grafiğinde elastik bölgede bulunan iki kuvvetin farkı (N)

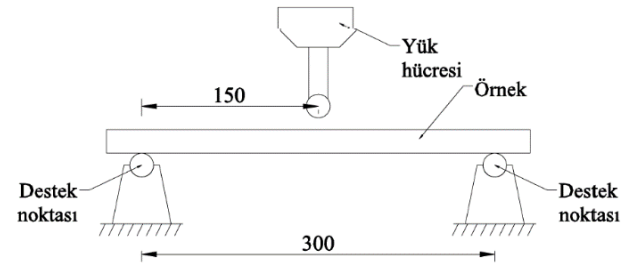
$\Delta d$ : Yük-deformasyon grafiğinde elastik bölgede bulunan iki deformasyonun farkı (mm) eşitliğinden yararlanılmıştır.

### 2.5. Verilerin değerlendirilmesi

Sonuçların değerlendirilmesinde eğilme direnci ve elastikiyet modülü veri olarak kullanılmıştır. RStudio yazılımı kullanılarak gruplar arası varyans analizi (ANOVA) ile faktör etkisi incelenmiştir.



Şekil 2. Eğilme testi deney örnekleri için boyutlar (mm)



Şekil 3. Eğilme deney düzeneği (mm)

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1. Rutubet miktarı ve yoğunluk

Uludağ göknarı ve karaçam odunlarından elde edilen masif ve ÇLK malzemelerin ortalama rutubet miktarı ve yoğunluk değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu sonuçlar karaçam odunundan elde edilen hem masif hem de ÇLK malzemelerin hava kuru ve tam kuru yoğunluğunun göknar odunundan elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### 3.2. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü

Eğilme deneyinden elde edilen yük-deformasyon eğrileri masif malzemeler için Şekil 4 ve ÇLK’lar için ise Şekil 5’de verilmiştir. Eğilme deneyinde, masif karaçam grubunda en yüksek ve en düşük kırılma kuvveti 1732.8 N ve 1346.2 N olarak bulunmuştur. Ortalama kırılma yükü ise 1541.3 N, standart sapması 160.2 N ve varyasyon katsayısı ise %9.9 bulunmuştur. Masif Uludağ göknarı örneklerinde en yüksek ve en düşük kırılma kuvveti 1274.4 N ve 1167.2 N iken ortalama kırılma yükü 1206.8 N, standart sapması 40.3 N ve varyasyon katsayısı %3.3 olarak tespit edilmiştir. Karaçam

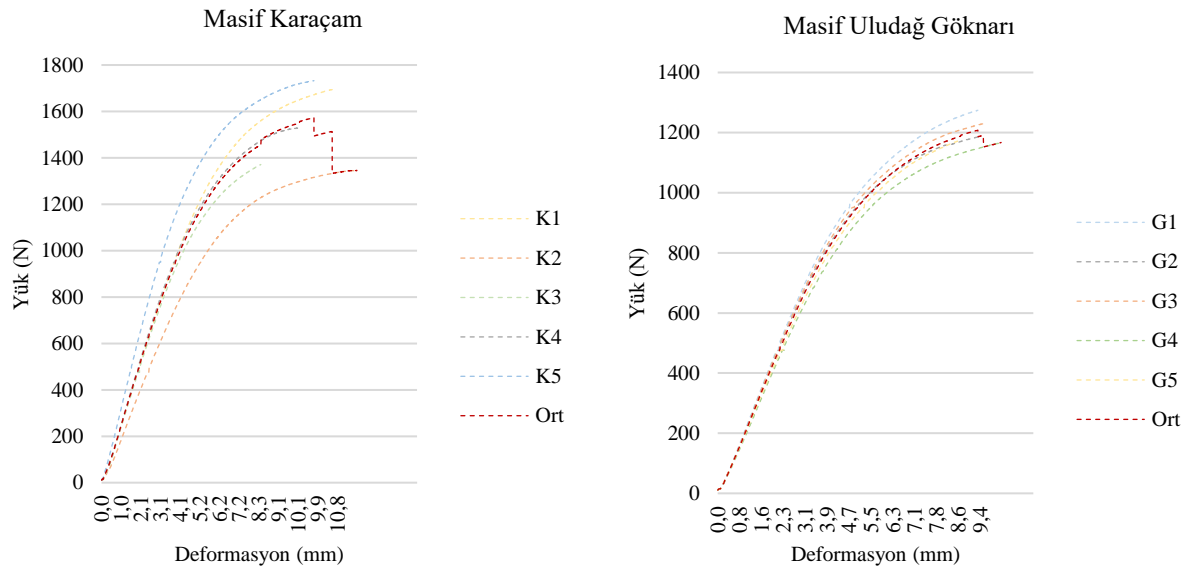
keresteleri kullanılarak elde edilen ÇLK’larda en yüksek ve en düşük kırılma yükleri sırasıyla 1407.8 N ve 954.1 N’dir. Ortalama kırılma kuvveti ise 1196.3 N iken standart sapması 191.3 N ve varyasyon katsayısı da %15.9’dur. Uludağ göknarı keresteleri kullanılarak elde edilen ÇLK’larda en yüksek ve en düşük kırılma yükleri sırasıyla 729.9 N ve 589.1 N’dir. Ortalama kırılma kuvveti ise 679.9 N, standart sapması 55.7 N ve varyasyon katsayısı da %8.2’dir.

Uludağ göknarı ve karaçam odunlarından elde edilen masif ve ÇLK’ların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri Çizelge 2, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre karaçam odunundan elde edilen hem masif hem de ÇLK’lar Uludağ göknarına göre daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü sahiptir. Ayrıca, masif malzemelerin dayanımı da ÇLK’lara göre daha yüksek bulunmuştur. Uludağ göknarı odunundan elde edilen masif malzeme ÇLK’ya göre %77.1 daha yüksek eğilme direncine sahipken, %72.4 daha iyi elastikiyet modülüne sahiptir. Karaçam odunundan elde edilen masif ve ÇLK’larda ise bu oranlar sırası ile %29.8 ve %27.8’dir. Gülcemal (2019) ve Özen (2017) çalışmalarında da masif malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü ÇLK’lardan daha yüksek bulunduğu gözlemlenmiştir.

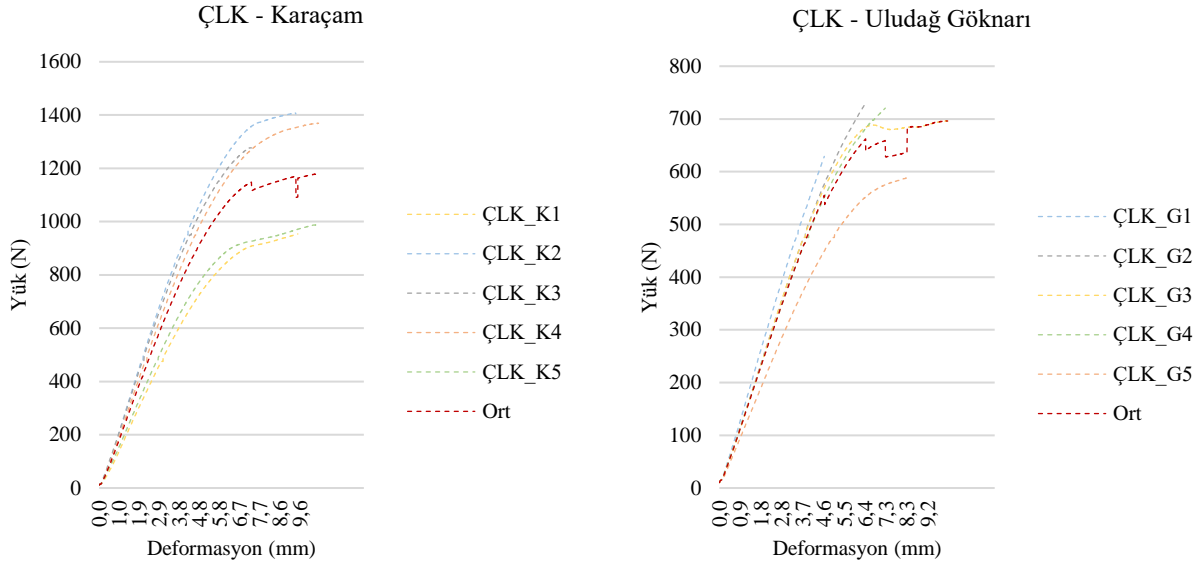
Çizelge 1. Malzemelerin rutubeti hava kuru yoğunluk ve tam kuru yoğunluk değerleri

Malzeme	Odun türü	Rutubet miktarı (%)	Hava kuru yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tam kuru yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tablolanmış hava kuru yoğunluk ile fark*	Tablolanmış tam kuru yoğunluk ile fark*
Masif	U. Göknarı	14.10	0.42 (5.30)	0.40 (6.10)	%2.3	%0.1
	Karaçam	13.60	0.54 (9.60)	0.51 (10.50)	%3.5	%1.9
ÇLK	U. Göknarı	12.53	0.43 (5.20)	0.41 (5.20)	-	-
	Karaçam	12.83	0.57 (9.60)	0.54 (9.30)	-	-

\* Çizelge 1’de bulunan değerlerdir, \*\* Parantez içindeki değerler varyasyon katsayısıdır (%)



Şekil 4. Masif Uludağ göknarı ve karaçamın yük deformasyon grafikleri (K: Karaçam ve G: Uludağ göknarı)



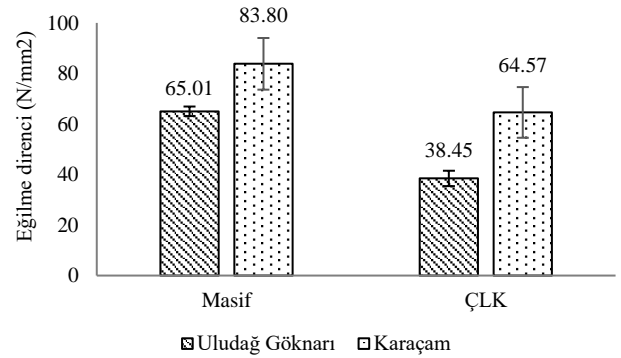
Şekil 5. ÇLK Uludağ göknarı ve karaçamın yük deformasyon eğrileri (K: Karaçam ve G:Uludağ göknarı)

Çizelge 2. Masif ve ÇLK'ların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri

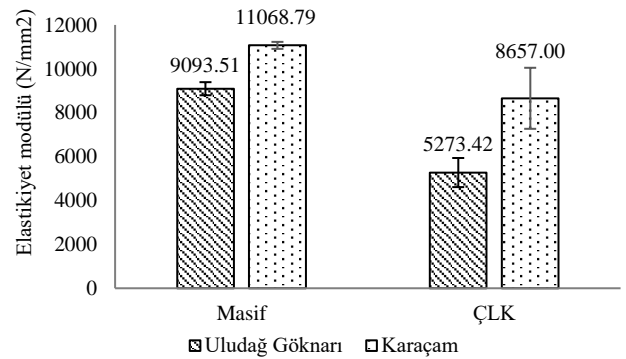
Malzeme	Odun türü	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )			Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )		
		Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Masif	Uludağ Göknaarı	65.01	1.89	2.9%	9093.51	298.57	3.3%
	Karaçam	83.80	10.22	12.2%	11068.79	1657.82	15.0%
ÇLK	Uludağ Göknaarı	38.45	3.04	7.9%	5273.42	663.25	12.6%
	Karaçam	64.57	10.03	15.5%	8657.00	1390.86	16.1%

Deney sonuçlarına göre Uludağ göknarının ortalama eğilme direnci 65.01 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 1.89 N/mm<sup>2</sup>'dir. Karaçam odununun ortalama eğilme direnci 83.8 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 10.2 N/mm<sup>2</sup>'dir. Masif malzemelerde karaçam odunundan elde edilen örnekler Uludağ göknarına göre %28.9 daha iyi sonuçlar vermiştir. Uludağ göknarının elde edilen ÇLK'ların ortalama eğilme direnci 38.45 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 3.04 N/mm<sup>2</sup>'dir. Karaçam odunundan elde edilen ÇLK'ların ortalama eğilme direnci 64.57 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 10.03 N/mm<sup>2</sup>'dir. Yine karaçam odunundan elde edilen ÇLK'lar Uludağ göknarına göre %67.9 daha iyi sonuçlar vermiştir. Literatür de ise çam odunlarında yapılan ÇLK'ların göknar odununa göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Gülcecal, 2019).

Masif malzeme ve ÇLK'ların elastikiyet modülünde de aynı eğilim izlenmiştir (Şekil 7). Hem masif karaçam hem de karaçam ÇLK'nın elastikiyet modülü Uludağ göknarına göre %72.4 ve %27.9 daha iyi sonuçlar vermiştir. Uludağ göknarının elde edilen masif malzemelerin ortalama elastikiyet modülü 9093.51 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 298.57 N/mm<sup>2</sup>'dir. Karaçamdan elde edilen masif malzemelerin ise ortalama elastikiyet modülü 11068.79 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 1657.82 N/mm<sup>2</sup>'dir. Uludağ göknarının elde edilen ÇLK'ların ortalama elastikiyet modülü 5273.42 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 663.25 N/mm<sup>2</sup>'dir. Karaçamdan elde edilen ÇLK'ların ortalama elastikiyet modülü 8657.00 N/mm<sup>2</sup> ve standart sapması da 1390.86 N/mm<sup>2</sup>'dir.



Şekil 6. Masif ve ÇLK'ların eğilme direnci



Şekil 7. Masif ve ÇLK'ların elastikiyet modülü

Gülcemal (2019) sarıçam ve Uludağ göknarı kullanarak elde ettiği ÇLK'ların eğilme direnci sırası ile 53.77 N/mm<sup>2</sup> ve 47.8 N/mm<sup>2</sup>'dir. Bu malzemelerin elastikiyet modülü ise 7304.88 N/mm<sup>2</sup> ve 6181.45 N/mm<sup>2</sup>'dir. Özen (2017) yine sarıçam ve Uludağ göknarı ile elde ettiği çalışmada da eğilme direnci değerlerini 38.45 N/mm<sup>2</sup> ve 51.63 N/mm<sup>2</sup> bulurken bu malzemelerin elastikiyet modülünü ise 2302 N/mm<sup>2</sup> ve 3025.4 N/mm<sup>2</sup> bulmuştur. Literatürde sarıçam, karaçam ve Uludağ göknarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü ile ilgili bazı çalışmalar incelendiğinde, Efe ve Kasal (2007) yaptıkları çalışmada sarıçam odununun eğilme direnci 73.24 N/mm<sup>2</sup> ve elastikiyet modülü 11760 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlemiştir. Uludağ Göknarı odununun eğilme direnci 73 N/mm<sup>2</sup> ve elastikiyet modülü 8300 N/mm<sup>2</sup>'dir. Karaçam odununda ise bu değerler 109.6 N/mm<sup>2</sup> ve 10000 N/mm<sup>2</sup>'dir (Yaman, 2015). Bu çalışmalar göstermektedir ki masif malzemenin eğilme direnci ve elastikiyet modülü bu masif malzemelerden yapılan ÇLK'ların eğilme özelliklerinden daha yüksek bulunmuştur. ÇLK malzemelerinde, katmanların makta, cumba ve yüzeylerinden tutkal ile birleştirmeleri yapıldığından dolayı panel boyunca birleşme noktalarında/yüzeylerinde dayanım tutkalın kesme dayanımına da bağlı olmaktadır. Kırılmalarda ÇLK'ların tutkal tabakalarında gerçekleştiğinden ve tutkalın kesme dayanımı, ahşabın kesme dayanımından daha düşük olmasından dolayı ÇLK'ların kırılma kuvveti daha düşük değerlere sahip olması ile birlikte eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde daha düşük elde edilmiştir. Literatürde aynı odun türleri kullanılarak yapılan iki farklı çalışmada masif malzemenin kesme dayanımının lamine edilmiş malzemelerin dayanımından daha fazla çıktığı gösterilmiştir. Efe ve Çağatay (2011) yaptıkları çalışmada kestane ve meşe odununun kesme dayanımını sırası ile 10.16 N/mm<sup>2</sup> ve 19.41 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit etmiştir. Söğütü ve Döngel (2007) ise kestane ve meşe odunları ile PVAc-D3

tutkalı kullanarak elde ettikleri lamine edilmiş malzemelerin kesme dayanımını ise 6.29 N/mm<sup>2</sup> ve 10.63 N/mm<sup>2</sup> olarak saptamıştır.

### 3.3. Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Masif malzemeler ve ÇLK'ların eğilme direnci ve elastikiyet modülüne odun türüne etkisi tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir (Çizelge 3). Yapılan analiz sonucuna göre odun türünün eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerine etkisi hem masif malzemeler hem de ÇLK'lar için istatistiksel olarak önemlidir.

## 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında ülkemizde doğal olarak yetişmekte olan Karaçam ve Uludağ göknarı ağaç türleri kullanılmıştır. Çalışmada masif malzeme ve PVA tutkalı kullanılarak hazırlanan masif malzemeler ve ÇLK'lar incelenmiştir.

Hem karaçam hem de Uludağ göknarından elde edilen ÇLK'ların hava kurusu ve tam kuru yoğunlukları masif malzemelere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun kullanılan tutkal kullanılarak preslenen malzemenin birim hacimde ağırlığının artması ile ortaya çıktığı söylenebilir.

Malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde masif malzemeler ÇLK'lara daha yüksek bir değere sahiptir. Bununla birlikte karaçam odunundan elde edilen hem masif hem de ÇLK'lar göknar odununa göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışma EUROCODE 5 kapsamına alınmasına planlanan yerli iğne yapraklı ağaç türlerinden olan ladin ve sarıçam ile genişletilecek olup gelecek çalışmalarda farklı tutkal tipleri ile de çalışmalar yapılacaktır.

Çizelge 3. Eğilme direnci ve elastikiyet modülüne odun türünün etkisine ilişkin varyans analizi

Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P-değeri(≤0,05)
Eğilme direnci (Masif)					
Odun türü	1	882.8	882.8	13.06	0.00684
Hata	8	540.7	67.6		
Eğilme direnci (ÇLK)					
Odun türü	1	1705.7	1705.7	24.83	0.00108
Hata	8	549.6	68.7		
Elastikiyet modülü (Masif)					
Odun türü	1	9754308	9754308	5.5	0.047
Hata	8	14187540	1773442		
Elastikiyet modülü (ÇLK)					
Odun türü	1	28621636	28621636	19.29	0.00231
Hata	8	11872005	1484001		

**Kaynaklar**

- Birinci, A.U., 2019. Karadeniz bölgesi yerli ağaç türlerinden çapraz lamine ahşap (CLT) üretimi ve optimum üretim parametrelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Choi, C., Kojima, E., Kim, K.J., Yamasaki, M., Sasaki, Y., Kang, S.G., 2018. Analysis mechanical properties of crosslaminated timber (CLT) with plywood using korean larch. *Bioresources*, 13(2): 2715-2726.
- Christovasilis, I.P., Brunetti, M., Follesa, M., Nocetti, M., Vassalo, D., 2016. Evaluation of the mechanical properties of cross laminated timber with elementary beam theories. *Construction and Building Materials*, 122: 202-213.
- Galih, M.N., Yang, S.M., Yu, S.M., Kang, S.G., 2020. Study on the mechanical properties of tropical hybrid cross laminated timber using bamboo laminated board as core layer. *Journal of Korean Wood Science and Technology*, 48(2): 245-252.
- Gülcemal, M., 2019. Sarıçam ve göknar odunlarından elde edilen lamine ve çapraz lamine kirişlerin mukavemetinin karşılaştırılması ve iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Efe, H., Çağatay, K., 2011. Çeşitli masif ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(1): 55-61.
- Efe, H., Kasal, A., 2007. Çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 10(3): 303-311.
- Kurt, R., 2021. Ahşap Esaslı Kompozitler 2. Basılmamış Ders Notları, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
- Li, M., Zhang, S., Gong, Z., Tian, Z., Ren, H., 2021. Glueing techniques on bond performance and mechanical properties of cross-laminated timber (CLT) made from *Larix kaempferi*. *Polymers*, 13: 733-741.
- OGM, 2021. Yerli İğne Yapraklı Ağaç Türlerimizin Mukavemet Sınıflarının Belirlenmesi-I (Karaçam ve Gökmar). Resmi web sitesi haberleri, Orman Genel Müdürlüğü Marmara Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, İstanbul, <https://marmaraarastirma.ogm.gov.tr/SitePages/OGM/OGMHa berler.aspx?l=f911639c-a83a-4f5d-89cd-2a719a529df3&i=38>, Erişim: 01.11.2022.
- Oran, B., 2012. Hindistan cevizi (*Cocos nucifera* L.) odunu ile üretilen çapraz yapıştırılmış lamine kerestelerin bazı teknolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özen, Z.E., 2017. Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin çapraz lamine kereste üretiminde kullanım olanaklarının araştırması. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Rafferty, G.M., Harte, A.M., Rodd, P.D., 2008. Qualification of wood adhesives for structural softwood glulam with large juvenile wood content. *Journal of the Institute of Wood Science*, 18(1): 24-34. DOI: 10.1179/wsc.2008.18.1.24
- Söğütü, C., Döngel, N., 2007. Polivinilasetat (PVAc) ve poliüretan (PU) tutkalları ile yapıştırılmış bazı yerli ağaçlarda çekmede makaslama dirençleri. *Politeknik Dergisi*, 10(3): 287-293.
- 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 326-1, 1999. Ahşap esaslı levhalar – Numune alma, kesme ve muayene. TSE, Ankara
- TS 2471, 1976. Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini. TSE, Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS 2478, 1976. Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini. TSE, Ankara.
- Uluğ, T.N., Odabaşı, Y., 1972. Ahşap ve Çelik İnşaat Hesapları. İstanbul Matbaa Teknikleri Basımevi, İstanbul.
- Wang, Z., Gong, M., Chui, Y.H., 2015. Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross-laminated timber. *Construction and Building Materials*, 101: 622-627.
- Yaman, C., 2015. Mudurnu yöresindeki tarihi ahşap evlerde kullanılan göknar ve karaçam ağaç türlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Yesügey, S.C., Karaman, Ö.Y., Güzel, N., 2014. Ahşap Malzemeli Konut Teknolojisi. Yalın Yayıncılık, İstanbul.