



Göknar ve karaçam tahtalarının TS 1265 standardına göre görsel mukavemet sınıflandırması

Fatih Kurul ¹

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı, 34473, Bahçeköy, İstanbul

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 14/04/2025

Kabul Tarihi: 14/06/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1675730>

*Corresponding author:

fatihkurul@iuc.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve hedefler Bu çalışmada; yerli türlerimizden olan Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *Bornmuelleriana*) ve Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana*) kerestelerinden üretilmiş yapısal tahtaların TS 1265 standardına göre görsel mukavemet sınıflarını belirlemek ve benzer çalışmalar için altlık oluşturmak hedeflenmiştir.

Yöntemler Öncelikle göknar ve karaçam yapısal tahtalar (toplam 356 adet) TS 1265 (2012) standartlarına göre görsel sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Sonrasında TS EN 408 (2014) standardına göre 4-noktalı eğilme test düzeneğinde global elastikiyet modülü ve eğilme direnci

testleri yapılmıştır. Testlerden sonra her numuneden kusursuz parçalar kesilerek yoğunluk ve rutubet miktarları belirlenmiş ve TS EN 384 (2022) standardına göre gerekli tahvil işlemleri yapılmıştır. Sonrasında her iki tür için tüm görsel sınıflara karşılık gelen mukavemet sınıfları belirlenmiştir. **Bulgular** Geniş yüzeye paralel testlerde budak çapı oranı arttıkça yani sınıf kötüleştikçe ahşabın mekanik özelliklerinde ve mukavemet sınıflarında önemli azalmalar görülürken, yıllık halkaların yüzeye çıkış açısının istatistiksel olarak mekanik özellikleri etkilemediği saptanmıştır. Her bir görsel sınıf için karaçamda, göknara göre daha yüksek mekanik özellikler tespit edilmiştir.

Sonuçlar Sonuç olarak, görsel mukavemet sınıflandırması için, göknar ve karaçamdan elde edilen 1.sınıf, 2.sınıf ve 3.sınıf yapısal tahtalar sırasıyla C27-C20-C14 ve C35-C22-C16 mukavemet sınıflarına atanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre TS 1265 (2012) standardının yapısal tahtaların görsel mukavemet sınıflandırması için uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Göknar, karaçam, TS 1265, görsel mukavemet sınıflandırması

Visual strength grading of fir and black pine boards according to TS 1265 standard

ABSTRACT

Background and aims In this study, it was aimed to determine the visual strength grades for structural boards produced from our native species, Uludağ fir (*Abies nordmanniana* subsp. *Bornmuelleriana*) and Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana*), according to the TS 1265 standard and to create a basis for similar studies.

Methods The first, fir and black pine structural boards (356 pieces) were graded visually according to TS 1265 (2012) standards. Then, global modulus of elasticity and bending strength tests were performed in a 4-point bending test setup according to the TS EN 408 (2014) standard. After the tests, clear pieces were cut from each sample, and density and moisture content were determined. The necessary adjustment processes were carried out according to the TS EN 384 (2022) standard in light of the obtained data. Then, the strength classes corresponding to all visual grades were determined for both species.

Results In edgewise tests, as the knot diameter ratio increases (i.e., as the class deteriorates), significant decreases are observed in the mechanical properties and strength classes of the wood, while it was determined that the angle between the flat surface of the samples and the annual ring does not affect the mechanical properties statistically. It was determined that black pine has higher mechanical properties than fir in all visual classes.

Conclusions As a result, for visual strength grading, Class 1, Class 2, and Class 3 structural boards obtained from fir and black pine were assigned to C27-C20-C14 and C35-C22-C16 strength classes, respectively. According to the results, the TS 1265 (2012) standard is suitable for the visual strength grading of structural boards.

Key Words: Fir, black pine, TS 1265, visual strength grading

Bu makaleye atf:

Kurul, F., 2025. Göknar ve karaçam tahtalarının TS 1265 standardına göre görsel mukavemet sınıflandırması. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 162-167.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Ahşap, insanoğlunun ilk çağlardan beri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tercih ettiği malzemelerin başında gelmektedir. Son yıllarda, endüstriyel alanlardaki gelişmelere ahşap endüstrisi de ayak uydurmuştur. Bunun sonucunda ahşap hammaddesine olan talepte önemli bir artış meydana gelmiştir. Talepleri karşılama ve ihtiyaçlara cevap verebilmek için hammaddenin verimli kullanılması gerekmektedir. Bu da doğru alanda doğru malzeme seçimi ile mümkün olmaktadır. Ahşap malzemenin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini bilmek ahşabın diğer malzemelerle karşılaştırılmasına olanak sağlamakta, işleme ve kullanım özellikleri hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamaktadır (Kurul ve As, 2024).

Hayatın her alanında kullanılabilen ahşap, insanların mekanlar yaratmaya başlamasından bu yana bir yapı malzemesi olarak da kullanılmıştır. Düşük yoğunluğuna rağmen yüksek mukavemet özellikleri, yenilenebilir olması, iyi ısı yalıtımı sağlaması, çevreci, estetik ve geri dönüştürülebilir gibi özellikleri, ahşabı yapısal kullanım açısından öne çıkarmaktadır (Kurul, 2023). Ancak doğal bir malzeme olan ahşap, anizotropik bir yapıya sahiptir (Ridley-Ellis ve ark., 2016). Çeşitli kusurlar içermesi nedeniyle, aynı tür içinde bile varyasyona sahip olabilir. Bu nedenle, yapısal uygulamalarda kullanılacak masif kerestelerin (kolon-kiriş-azman) veya laminasyon için kullanılacak lamellerin (tahta, kalas, lata) mukavemet dayanımı bilinmesi gerekmektedir (Kurul ve As, 2024; Kurul ve ark., 2024, Ridley-Ellis ve ark., 2016; Burawska ve ark., 2020). Günümüzde yapısal mukavemet sınıflandırması iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar görsel ve makine mukavemet sınıflandırmalarıdır. Görsel mukavemet sınıflandırması en eski ve popüler yöntemlerin başında gelmektedir. Ahşap malzemelerin doğal olarak ya da sonradan oluşmuş; budak, lif kıvrıklığı, yıllık halka genişliği, öz, çürüklük, renklenme, sulama ve çatlaklar gibi ahşabın mukavemetini ya da kullanımını etkileyen kusurlarını insan ya da makine yardımıyla karakterize edilmesine dayanmaktadır. (Stapel ve Kuilen, 2014; Arriaga ve ark., 2022; Kurul ve As, 2024; Kurul ve ark., 2024).

Ülkeler görsel mukavemet sınıflandırması için ulusal standartlar geliştirerek kendi yapısal sınıflandırma sistemlerini oluşturmuştur. Türkiye'de iğne yapraklı ağaç türlerinin yapısal sınıflandırılması için TS 1265 (2012), Almanya'da DIN 4074-1 (2021), İngiltere'de BS 4978:2007+A2:2017 (2017) ve İtalya'da UNI 11035-1 (2022) gibi standartlar kullanılmaktadır. TS 1265 (2012) standardında üç farklı görsel sınıf (1.Sınıf, 2.Sınıf ve 3.Sınıf), iki farklı sınıflandırma kuralı (kadron-kiriş-azman ve tahta-lata-kalas) ve korunmuş- korunmamış olarak tanımlanmıştır. Ülkelerin kendilerine ait farklı sınıflandırma kurallarının olması, ağaç türü sayısının ve yetişme bölgesinin fazla olması gibi nedenlerden dolayı bir çatı standarda ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle görsel mukavemet sınıflandırması için TS EN 14081-1 (2019) standardı geliştirilmiştir. Tüm ulusal standartların buradaki asgari koşulları karşılaması zorunludur (Ridley-Ellis ve ark., 2016). Yapısal ahşap üç temel özelliğe göre mukavemet sınıflarına ayrılmaktadır. Bunlar; mukavemet (eğilme veya çekme direnci), elastikiyet modülü (eğilme ya da çekmede elastikiyet modülü) ve yoğunluktur. Bu özellikler TS EN 408 (2014) standardındaki fiziksel ve mekanik test prosedürlerine göre belirlenmektedir. Bu testlerin sonucunda görsel sınıflar TS EN 338 (2016) standardında belirtilen

mukavemet sınıflarına atanmaktadır. Ülkelerin kendi sınıflandırma kurallarına göre elde ettikleri sonuçlar TS EN 1912 (2024) standardına işlenerek farklı pazarlar arasında yapısal kereste alışverişini sağlamaya yardımcı olmaktadır. (Stapel ve Kuilen, 2014; Ridley-Ellis ve ark., 2016; Kurul ve As, 2024).

Göknaş ve karaçam, ülkemiz için ekonomik ve ekolojik açıdan önemli ağaç türlerinin başında gelmektedir. Türkiye ormanlık alanının yaklaşık %24,7'sini bu iki tür oluşturmaktadır (OGM, 2020). Her iki tür hem ülkemiz hem de Avrupa'da yapısal kullanım için yüksek potansiyele sahip hammaddeler olarak kabul edilmektedir (Kurul ve ark., 2024). Özellikle son yıllarda, yaşanan depremler nedeniyle ülkemizde ahşap binaların inşası ivme kazanmıştır. Bu yapılarda kullanılacak hammaddelerin yapısal olarak sınıflandırılmış olması ve yapısal tasarımlarının ilgili yönetmelik ve standartlara göre kontrol edilmesi büyük önem arz etmektedir. Avrupa'da yetişen göknaş ve karaçam yapısal keresteleri üzerinde görsel ve makine mukavemet sınıflandırması çalışmaları Garcia ve ark. (2007), Nocetti ve ark. (2010), Moreno (2018) ve Arriaga ve ark. (2022) tarafından yapılarak kendi ülkelerine ait görsel sınıflandırma standartlarına karşılık gelen mukavemet sınıflarını ortaya koymuşlardır. Avrupa'nın aksine yerli türlerimiz için yapısal görsel mukavemet sınıflandırması hakkında sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Kurul ve As (2024), Kurul ve ark. (2024) ve Görgün ve Dündar (2018) yaptıkları çalışmalarda yerli göknaş, karaçam, sarıçam ve kızılçamdan elde edilmiş yapısal tahta veya kirişlerin mekanik özellikleri ile TS 1265 standardına göre elde edilen görsel sınıflar arasındaki ilişkileri incelemiştir. Yapılan bu çalışmanın amacı, göknaş ve karaçamdan elde edilen yapısal tahtalar için TS 1265'e göre görsel mukavemet sınıflarını belirlemek ve benzer çalışmalar için bir altlık oluşturmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

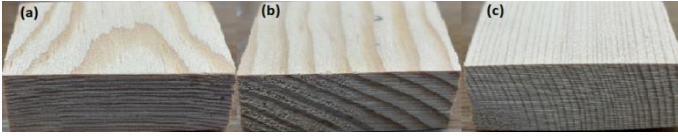
Bu çalışmada, Bolu ve Balıkesir bölgelerinden temin edilmiş muhtelif ebatlarda yaklaşık 3 m³ %12 rutubete kadar kurutulmuş göknaş ve karaçam keresteleri kullanılmıştır. Masif kerestelerden, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa ahşap atölyesinde 22x50x1500 mm (genişlik x yükseklik x uzunluk) boyutlarında örnekler biçilerek, Bolu bölgesinden 169 adet göknaş (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmuelleriana*) ve Balıkesir bölgesinden 187 adet karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana*) olmak üzere toplam 356 adet yapısal tahta üretilmiştir.

2.2 Yöntem

2.2.1 Görsel sınıflandırma

Tüm yapısal tahtalar TS 1265 (2012) standardına göre görsel sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu kapsamda budak çapı oranı (BO), lif kıvrıklığı, yıllık halka genişliği ve diğer kusurlar tüm tahta boyunca görsel olarak incelenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Değerlendirme aşamasında tahta-kalas-lata için olan kurallar dikkate alınmıştır. Buna göre budak çapı oranı, bulunduğu yüzeye paralel budak çapının tahta genişliğinin iki katına bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenle budakların paralel

çapları budak çapı olarak 0,01 mm hassasiyetli kompaslarla ölçülmüştür. Standartta budaklar tekli ve toplu budak şeklinde ayrı olarak incelenmektedir. Toplu budaklar 150 mm uzunlukta birden fazla bağımsız budak olması durumunda değerlendirilmektedir. Tekli budak için budak çapı oranı sınıf değerleri 1. sınıf, 2. sınıf ve 3. sınıf tahtalar için sırasıyla 0,20, 0,33 ve 0,50 şeklindedir. Toplu budaklar için ise bu oranlar sırasıyla 0,33, 0,50 ve 0,66 olarak standartta yer almaktadır. Görsel ölçümlerden sonra, tüm numuneler 22x50x1000 mm (genişlik x yükseklik x uzunluk) net ölçüye getirilmiştir. Net ölçülendirme yapılırken malzeme üzerindeki en kötü kusurun 4-noktalı eğilme testinde üst yükleme başlıkları arasında kalması sağlanmıştır. Ayrıca, görsel sınıflandırmadan bağımsız olarak numunelerin geniş yüzeyi ile yıllık halkalar arasındaki açı (yıllık halkaların yüzeye çıkış açısı (α)), her bir yapısal tahta için ölçülmüştür. Böylece bu açının mekanik özellikler üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Ölçümden sonra örnekler TS EN 844 (2019)'a göre Şekil 1'de gösterildiği teğet, radyal ve verevine olarak gruplandırılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin geniş yüzeyi ile yıllık halka arasındaki açı (yüzeye çıkış açısı α): a) 0°-30° (teğet), b) 30°-60° (verev) ve c) 60°-90° (radyal)

2.2.2 Fiziksel ve mekanik testler

Görsel sınıflandırmadan sonra, 356 adet yapısal tahta, TS EN 408 (2014) standardına göre 4-noktalı eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Düzenekte mesnetler arası açıklık 900 mm (18h) ve yükleme başlıkları arası açıklık 300 mm (6h) olarak ayarlanarak geniş yüzeye paralel (edgewise) kuvvet uygulanmıştır. Testler, 5 tonluk üniversal test makinesi (BCO-DC300/LDL; BESMAK, Ankara, Türkiye) ile yapılmıştır. Deformasyonlar (w), 0,0001 mm hassasiyetli tek bir Lineer Değişken Diferansiyel Transformatör (LVDT) ile Şekil 2'de gösterildiği gibi ortadan ölçülmüştür. Testler 300 ± 120 saniyede tamamlanmıştır. Testler sonucunda, global elastikiyet modülü ($E_{m,g}$) ve eğilme direnci (f_m) sırasıyla Eşitlik 1 ve 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)} \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2} \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

Formüllerde; $E_{m,g}$ = global elastikiyet modülü (N/mm²), f_m = eğilme direnci (N/mm²), l = mesnetler arasındaki açıklık 18h (mm), a = yükleme başlığının en yakın mesnete olan uzaklığı 6h (mm), $F_2 - F_1$ = maksimum kuvvetin %40'ı ve %10'undaki yük farkı (N), $w_2 - w_1$ = maksimum yükün %40'ı ve %10'una karşılık gelen deformasyon miktarları arasındaki fark (mm), G = makaslama modülü N/mm² (mukavemet sınıfı hesaplanacağı için standardın ön gördüğü şekilde sonsuz olarak alınmıştır), b = örnek genişliği (mm) ve h = örnek yüksekliğidir (mm).



Şekil 2. TS EN 408 (2014) standardına göre 4-noktalı eğilme test düzeneği

Her bir mekanik testten sonra, örneklerden kırılma bölgesine yakın 22x50 mm kesit ölçüsünde ve 20-40 mm uzunluğunda yoğunluk ve rutubet örnekleri kesilmiştir. Kesilen parçalar hemen 0,01 gram (g) ölçüm hassasiyetine sahip tartıda tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. Sonrasında 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahip kompasla boyutları ölçülerek hacimleri belirlenerek, kütle/hacim formülü ile yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca, aynı örnekler TS EN 13183-1 (2002) standardında belirtildiği gibi $103 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki fırında ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilerek tam kuru ağırlık metoduna göre rutubetleri belirlenmiştir.

2.2.3 Karakteristik değerlerin hesaplanması

Görsel mukavemet sınıflandırması karakteristik değerlerini belirlenmeden önce TS EN 384 (2022) standartlarına göre bazı tahvil işlemleri ön görülmektedir.

- 1) %12 rutubette olmayan numunelerin elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri sırasıyla eşitlik 3 ve 4 kullanılarak tahvil işlemleri yapılmıştır.

$$E_{m,g\%12} = MOE(u) \times [1 + 0,01 \times (u - u_{ref})] \quad (3)$$

$$\rho_{\%12} = \rho(u) \times [1 - 0,005 \times (u - u_{ref})] \quad (4)$$

Burada; u = test anındaki rutubet miktarı ($\%8 \leq u \leq \%18$) ve u_{ref} = referans rutubet miktarı (%12).

- 2) Eğilme direnci için boyut düzeltmesi yapılmıştır. Bunu için elde edilen eğilme direnci sonuçları k_h faktörüne bölünmüştür. Bu faktör eşitlik 5'e göre hesaplanmıştır.

$$k_h = \text{Min} \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\} \quad (5)$$

- 3) Global elastikiyet modülü değerleri eşitlik 6'ya göre lokal elastikiyet modülüne dönüştürülmüştür.

$$E_0 = E_{m,g\%12} \times 1,3 - 2690 \quad (6)$$

Gerekli düzeltmeler tamamlandıktan sonra, eğilme direncinin logaritmik, elastikiyet modülü ve yoğunluk değerlerinin ise normal olarak dağıldığı varsayılarak, göknar ve karaçamda her bir görsel sınıf için %5 persantil eğilme direnci $f_{05,i}$, %5 persantil yoğunluk değeri $\rho_{05,i}$ ve ortalama elastikiyet modülü değeri belirlenmiştir. Alt örneklem grubu kullanılmadığı için bunlara ait katsayılar hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

2.2.4 İstatistiksel analiz

İstatistiksel analizde IBM SPSS 29.0 programı kullanılmıştır. Güven düzeyi %95 olarak belirlenmiştir. Örneklerle ait ortalama ve varyasyon katsayısı gibi betimsel istatistik değerleri tür ve görsel sınıf bazında ayrı ayrı hesaplanmıştır. Görsel sınıflar arasında istatistiksel olarak bir fark olup olmadığını araştırmak için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Yıllık halkaların yüzeye çıkış açısının test edilen

mekanik özellikleri anlamlı olarak etkileyip etkilemediğini ortaya koymak için de varyans analizi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Her iki tür için de görsel sınıflara göre örnek sayısı, fiziksel testlerden rutubet miktarı ve yoğunluk ortalama değerleri, mekanik testlerden ise global elastikiyet modülü ve eğilme direnci ortalama değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Değerlerin altında parantez içinde varyasyon katsayıları gösterilmiştir. Elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinde görsel sınıflara göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını incelemek için ANOVA testi yapılmış ve fark bulunan gruplarda Duncan testi yapılarak farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ortalama değerlerin üzerine konulan küçük harflerle grup farklılıkları ifade edilmiştir. Buna göre aynı harfler aynı grubu, farklı harfler ise farklı grubu temsil etmektedir.

Çizelge 1. Göknar ve karaçam yapısal tahtalarında fiziksel, mekanik ve görsel sınıflara göre ANOVA test sonuçları

Ağaç Türü	Görsel Sınıf	N	Rutubet Miktarı (%)	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastikiyet modülü (N/mm ²)	Eğilme direnci (N/mm ²)
Göknar	1	42	12,0 (8,9)	414 (5,7)	10837 ^a (11,2)	54,7 ^a (20,7)
	2	43	12,7 (7,8)	407 (8,5)	9534 ^b (14,7)	43,8 ^b (24,6)
	3	46	12,1 (9,0)	407 (7,3)	8681 ^c (14,5)	36,0 ^c (29,1)
	Sınıf Dışı	38	12,0 (8,1)	420 (7,5)	7397 ^d (30,5)	26,3 ^d (47)
Karaçam	1	56	12,3 (7,1)	536 (13,0)	12197 ^a (26,7)	70,5 ^a (21,8)
	2	41	12,0 (9,2)	508 (13,8)	9617 ^b (24,7)	53,1 ^b (29,7)
	3	47	11,9 (7,7)	496 (9,4)	8622 ^c (19,4)	44,2 ^c (30,0)
	Sınıf Dışı	43	11,7 (8,3)	499 (14,5)	6928 ^d (29,1)	27,2 ^d (56,8)

Görsel sınıfların elastikiyet modülü ve eğilme direnci üzerine olan etkisini ortaya koymak için her iki ağaç türünde de ANOVA testi yapılmış ve görsel sınıfların istatistiksel olarak anlamlı farklılığa yol açtığı belirlenmiştir. Sonrasında yapılan Duncan testi sonucuna göre hem elastikiyet modülü hem de eğilme direncinin dört farklı grup oluşturduğu saptanmıştır. Kurul ve ark. (2024) göknar ve karaçam yapısal tahtalarında geniş yüzeye dik (flatwise) eğilme testleri yapmış ve görsel sınıflara göre elastikiyet modülü ortalama değerlerini göknar için sırasıyla 12177, 10530, 9324 ve 6384 N/mm² ve karaçam için sırasıyla 13578, 11515, 10053 ve 7876 N/mm² olarak belirlemişlerdir. Eğilme direnci ortalama değerleri ise göknar için 67, 52, 44 ve 26 N/mm² ve karaçam için sırasıyla 77, 62, 52 ve 32 N/mm² olarak tespit etmişlerdir. Buna göre, geniş yüzeye dik yapılan eğilme testlerinde, geniş yüzeye paralel yapılan testlere göre daha yüksek elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri hesaplanmıştır. Bunun nedeni hem elastikiyet modülü hem de eğilme direnci formülünde paydada yer alan yükseklik (h) değerinin etkisinin, elde edilen maksimum kuvvet (F_{max}) ve deformasyon farkı (w_2-w_1) etkisinden daha yüksek olması olabilir. Görgün ve Dündar (2018) yaptıkları çalışmada yapısal karaçam kirişlerinde 4-noktalı eğilme testleri yapmış ve elastikiyet modülü ortalama değerlerini görsel sınıflara göre

sırasıyla 13258, 1203, 12706 ve 10961 N/mm² ve eğilme direnci ortalama değerlerini ise 77, 65, 56 ve 57 N/mm² olarak tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda görsel sınıf kötüleştirilince daha düşük ortalama değerler elde edildiği görülmektedir. Fakat test edilen malzemelerdeki farklı sınıflandırma kuralları, kusur oranları, yükleme yönü ve yetiştirme yeri farklılıkları gibi değişkenliklerin olması benzer görsel sınıflar için farklı ortalama değerler verebilmektedir. Bu nedenle yapısal uygulamalarda ortalama değerler yerine %5-persantil değerleri denilen karakteristik değerler kullanılmaktadır.

Ek olarak, yıllık halkaların geniş yüzeye çıkış açısının elastikiyet modülü ve eğilme direnci için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa neden olmadığı Çizelge 2’de görülmektedir. Kurul ve ark. (2024), göknar ve karaçam türleri için geniş yüzeye dik eğilme testlerinde benzer sonuçlar bulmuştur. Bunun nedeninin ahşapta bulunan budaklar, lif kıvrıklığı ve yıllık halka genişliği gibi kusur ve parametrelerin malzeme mukavemetini anizotropiden daha fazla etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle, yapısal ahşap malzemelerde yapılacak mukavemet testlerinde anizotropi etkisinin önemsiz bulunduğu söylenebilir.

Çizelge 2. Gökmar ve karaçam yapısal tahtalarında α açısının mekanik testlere etkisi

Ağaç Türü	α	N	Elastikiyet modülü (N/mm ²)	Eğilme direnci (N/mm ²)
Gökmar	0°-30°	45	8939 ^a	37,6 ^a
	30°-60°	74	9082 ^a	40,3 ^a
	60°-90°	50	9424 ^a	43,2 ^a
	Anlamlılık değeri			0,234
Karaçam	0°-30°	56	9076 ^a	49,4 ^a
	30°-60°	42	9724 ^a	49,7 ^a
	60°-90°	89	9706 ^a	50,8 ^a
	Anlamlılık değeri			0,305

CXX şeklinde gösterilen mukavemet sınıfı, iğne yapraklı ağaç türlerinde geniş yüzeye paralel (edgewise) testler sonucunda elde edilen karakteristik eğilme mukavemetini tanımlamaktadır. Eğilme direnci ve yoğunluğun %5-persantil değerleri ile elastikiyet modülünün ortalama değerine göre hesaplanan ve TS EN 338 (2016) göre her bir görsel sınıf için gökmar ve karaçam mukavemet sınıfları Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Gökmar ve karaçam yapısal tahtaları görsel mukavemet sınıfları

Karakteristik değer			Eğilme direnci				Elastikiyet modülü		Yoğunluk			Mukavemet Sınıfı
			(N/mm ²)				(kN/mm ²)		(Kg/m ³)			
Tür	N	Görsel Sınıf	Ort.	V.K (%)	P/NP	<i>f</i> _{05,i}	<i>E</i> _{0,ort}	V.K (%)	Ort.	V.K (%)	<i>ρ</i> _{05,i}	
Gökmar	42	1	43,9	20,7	P	28,0	11,7	13,4	413,8	5,7	370,9	C27
	43	2	35,2	24,6	P	21,3	10,0	18,2	406,9	8,5	343,6	C20
	46	3	28,9	29,1	P	15,6	8,9	18,5	352,1	7,3	352,1	C14
	38	S.D.	21,1	47,0	P	6,7	7,2	40,6	419,6	7,5	361,6	-
Karaçam	56	1	56,6	21,8	P	36,7	13,5	31,5	535,7	13,0	409,8	C35
	41	2	42,6	29,7	P	23,2	10,1	30,5	508,0	13,9	379,0	C22
	47	3	35,5	30,0	P	18,8	8,8	24,6	495,7	9,4	410,5	C16
	43	S.D.	21,9	56,8	P	4,4	6,6	39,7	499,2	14,5	366,5	-

*Ort. = Ortalama değer, V.K= varyasyon katsayısı, P/NP= parametrik/non-parametrik, $f_{05,i}$ =karakteristik eğilme direnci, $E_{0,ort}$ = Ortalama lokal elastikiyet modülü, $\rho_{05,i}$ =karakteristik yoğunluk değeri, S.D= sınıf dışı

Görsel mukavemet sınıflandırması sonucunda 1. sınıf, 2. sınıf ve 3. sınıf yapısal tahtalar gökmar için sırasıyla C27-C20-C14 ve karaçam için C35-C22-C16 mukavemet sınıflarına atanmıştır. Sınıf dışı numunelere her iki tür için de herhangi bir mukavemet sınıfı atanamamıştır. Bu çalışma TS EN 1912 (2024) standardındaki değerlerle karşılaştırıldığında, 1.sınıf hariç, gökmarın TS EN 1912 (2024)'de belirtilen mukavemet sınıflarından (1. sınıf=C27, 2. sınıf=C24 ve 3. sınıf=C18) daha düşük mukavemet sınıflarına atandığı görülmüştür. Karaçam için 1. sınıf örneklerde TS EN 1912 (2024) standardında belirtilen mukavemet sınıfıyla aynı olduğu belirlenmiştir (C35). Fakat 2. sınıf ve 3. sınıf örneklerin bu standarda göre daha düşük mukavemet sınıfına atandığı belirlenmiştir (2. sınıf=C24 ve 3. sınıf=C18). TS 1265 standardında budak çapı ölçüm kuralları tahta ve kirişler için farklıdır ve bu durum mukavemet sınıflarının farklı olmasına neden olmuştur. Başka bir nedenin ise bu çalışmada alt örneklem grubunun hesaplamalara dahil edilmemesi olduğu düşünülmektedir. Kurul ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada, geniş yüzeye dik eğilme testleri sonucunda gökmar ve karaçamın görsel mukavemet sınıflarını belirlemiştir. Buna göre, gökmar (1. sınıf=C24, 2. sınıf=C22 ve 3. sınıf=C18) ve karaçam (1. sınıf=C40, 2. sınıf=C27 ve 3. sınıf=C22) yapısal tahtaları için, sırasıyla gökmar 1. sınıf hariç, geniş yüzeye paralel eğilme testlerine kıyasla daha yüksek dayanım sınıfları bulunmuştur. Geniş yüzeye paralel eğilme testleri, geniş yüzeye dik eğilme testlerine göre daha yüksek maksimum kuvvete ulaşmasına rağmen, her iki tür için de daha düşük eğilme karakteristiği göstermiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Görsel sınıflandırma sonuçlarına göre, bu çalışmada kullanılan yapısal tahtalar için budak çapı oranı sınıf belirleyen en önemli faktör olmuştur. Örneklerde yıllık halka genişliği (<4 mm) ve lif kıvrıkları (<%5) ölçülse de elde edilen değerlerin sınıf değiştirici nitelikte olmadığı görülmüştür. Bunlar dışında kalan ve TS 1265 standardında bahsedilen diğer kusurların ise bu çalışmadaki örneklem grubunda bulunmamasından dolayı etkisi incelenememiştir.

Mekanik test sonuçlarına göre, karaçamdan elde edilen yapısal tahtaların gökmarın elde edilenlere göre daha yüksek mukavemet ve elastikiyet modülü değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki tür için de budak çapı oranı arttıkça mukavemetin anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Bunun sonucunda her bir görsel sınıfa ait elastikiyet modülü ve eğilme direnci ortalama değerleri istatistiksel olarak farklı gruplarda yer almıştır.

Geniş yüzeye paralel eğilme testlerinde elastikiyet modülü ve eğilme direnci, yıllık halkaların yüzeye çıkış açısından istatistiksel olarak etkilenmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, yapısal kullanımlarda kusurların etkisinin anizotropiden daha önemli olduğu söylenebilir.

Global elastikiyet modülünden lokal elastikiyet modülüne dönüşüm uygulandığında, 9000 N/mm²'den düşük elastikiyet modülü değerine sahip örneklerde dönüşüm sonucunda daha düşük elastikiyet modülü değerleri elde edildiği görülmüştür. Bu durum özellikle 2. sınıf ve 3. sınıf yapısal tahtalarda ortalama elastikiyet modülünün düşmesine sebep teşkil etmiştir. Bu gibi durumlarda lokal elastikiyet modülü test düzeneğini tercih

ederek görece daha yüksek elastikiyet modülü değeri elde edilebilir.

Görsel mukavemet sınıflandırmasında göknar ve karaçam yapısal tahtalarında tüm görsel sınıflar için karakteristik değerler hesaplanmıştır. Göknar için, 1. sınıf, 2. sınıf ve 3. sınıf yapısal tahtalar sırasıyla C27-C20-C14 mukavemet sınıflarına ve karaçam için ise sırasıyla C35-C22-C16 mukavemet sınıflarına atanmıştır. Buna göre görsel sınıf kötüleştikçe her iki tür için de mukavemet sınıflarının da düştüğü belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre TS 1265 (2012) standardının yapısal tahtaların görsel mukavemet sınıflandırması için uygun olduğu söylenebilir.

Kadron-kiriş-azman ve tahta-kalas-lata ayrımını yaparak uygun sınıflandırma kurallarını kullanmak doğru mukavemet sınıfı belirlemek için çok önemlidir. Özellikle mukavemet sınıfı bilinen kadron-kiriş-azman grubundan bir yapısal kereste biçilerek tahta-lata-kalas grubundan bir ürüne dönüştürüldüğünde mevcut mukavemet sınıfının geçerli olmayabileceği, sınıflandırma kuraları değişeceği için tekrardan değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Daha çok laminasyon sektöründe kullanılan tahta-kalas-lata kategorisindeki malzemelerin mukavemet sınıflarını bilmek, temel üretim parametrelerinde eksiklik olmaması koşuluyla elde edilecek olan nihai ürünün (Glulam, CLT vb.) mukavemet sınıflarını bilmek anlamına geleceği için hem yerli yapısal hammadde üretimi hem de üretilen bu ürünlerin yurt dışı pazarlarına açılabilmesi adına büyük önem arz etmektedir. Yerli türlerimiz için benzer çalışmaların artması bu bağlamda son derece önemlidir.

Kaynaklar

- Arriaga, F., Osuna-Sequera, C., Bobadilla, I., Esteban, M., 2022. Prediction of the mechanical properties of timber members in existing structures using the dynamic modulus of elasticity and visual grading parameters. *Construction and Building Materials* 322, 1-13.
- Burawska-Kupniewska, I., Krzosek, S., Mańkowski, P., Grzeřkiewicz, M., 2020. Quality and bending properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sawn timber, *Forests*, 11(11), 1-13.
- BS 4978, 2007. Visual strength grading of softwood. Specification. 2007+A2, British Standard Institution, London, England.
- DIN 4074-1, 2012. Strength grading of wood - Part 1: Coniferous sawn timber, DIN Berlin, Germany.
- García, M.C., Seco, J.F.G., Prieto E.H., 2007. Improving the prediction of strength and rigidity of structural timber by combining ultrasound techniques with visual grading parameters. *Materiales de Construcción*, 57(288), 49-59.
- Gil-Moreno, D., 2018. Potential of noble fir, Norway spruce, western red cedar and western hemlock grown for timber production in Great Britain. PhD Thesis, Edinburgh Napier University, Edinburgh, Scotland.
- Görgün, H. V., Dünder, T., 2018. Strength grading of Turkish black pine structural timber by visual evaluation and nondestructive testing, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(1), 57-66.
- Kurul, F., 2023. Sarıçam ve kızılçam yapı kerestelerinde mukavemet sınıflarının dinamik yöntemlerle belirlenme olanakları, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kurul, F., As, N., 2024. Visual and Machine Strength Gratings of Scots and Red Pine Structural Timber Pieces from Türkiye. *BioResources*, 19(3), 4135-4154.
- Kurul, F., Şişman, Ö. A., Dünder, T., 2024. Mechanical characterization of visually graded boards from turkish fir and black pine by nondestructive and destructive tests. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 26 (17), 1-18.
- Nocetti, M., Brunetti, M., Bacher, M., 2016. Efficiency of the machine grading of chestnut structural timber: prediction of strength classes by dry and wet measurements. *Materials and Structures*, 49(11), 4439-4450.
- OGM, 2020. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü [online].
- Ridley-Ellis, D., Stapel, P., Baño, V., 2016. Strength grading of sawn timber in Europe: an explanation for engineers and researchers. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 291-306.
- Stapel, P., Van de Kuilen, J. W. G., 2014. Efficiency of visual strength grading of timber with respect to origin, species, cross section, and grading rules: A critical evaluation of the common standards. *Holzforschung*, 68(2), 203-216.
- TS EN 338, 2016. Yapı kerestesi – Mukavemet sınıfları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 384:2016+A2, 2022. Yapı kerestesi – Mekanik özellikler ve yoğunluğun karakteristik değerlerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 408:2010+A1, 2014. Ahşap Yapılar – Yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste- Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1912, 2024. Yapı kerestesi – Mukavemet sınıfları – Ağaç türleri ve görsel sınıfların tasnifi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 13183-1, 2002. Biçilmiş yapacak odun (kereste) parçasının rutubet muhtevası – Bölüm 1: Fırın kurusu yöntemiyle tayin. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 14081-1-2016+A1, 2019. Ahşap yapılar – Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması- Bölüm 1: Genel gereklilikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 14358, 2016. Yapı kerestesi – Ahşap yapılar- Karakteristik değerlerin ve kabul kriterlerinin hesaplanması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 844, 2019. Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste) -Terimler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- UNI 11035-1, 2022. Structural timber - Visual strength grading for structural timbers-Part 1: Terminology and measurements of features, UNI Milano, Italy.