



Cennet ağacından (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) elde edilen yapısal ahşabın Avrupa standartlarına göre mukavemet sınıflandırması

Fatih Kurul^{1*} 

ÖZ: Hızlı gelişen ve istilacı bir tür olan cennet ağacı (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) odunundan elde edilen farklı boyutlardaki yapısal tahtalar (toplam 163 adet) öncelikle DIN 4074-5 (2008) standartlarına göre görsel olarak sınıflandırılmıştır. Sonrasında vibrasyon yöntemi kullanılarak tahribatsız testler yapılmış ve son olarak TS EN 408 (2014) standardına göre 4-noktalı eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu test sonuçlarından elde edilen verilerle görsel ve makine mukavemet sınıfları belirlenmiştir. Tahribatsız testler sonucunda ortalama dinamik elastikiyet modülü 17838 MPa bulunmuştur. Mekanik testlerde ise ortalama eğilme direnci 96,6 MPa ve elastikiyet modülü 16647 MPa olarak tespit edilmiştir. Görsel mukavemet sınıflandırmasında, LS13 ve ret olmak üzere iki görsel sınıf belirlenmiştir. LS13 sınıfındakiler D50 mukavemet sınıfına atanırken, reddedilen tahtalar için bir mukavemet sınıfı karşılığı belirlenememiştir. D50 mukavemet sınıfını belirleyen özellik karakteristik yoğunluk değeri olmuştur. Makine mukavemet sınıflandırmasında, D60-D55-D50-Ret ideal makine ayarları yapılmış ve TS EN 14081-2 (2022) standardına göre doğruluğu onaylanmıştır. Makine mukavemet sınıflandırması, yüksek verim ve daha yüksek mukavemet sınıflarına ulaşılması nedeniyle görsel mukavemet sınıflandırmasından daha avantajlı bulunmuştur. Yapısal kullanım için yüksek potansiyele sahip bu türün, plantasyon ormancılığında alternatifler arasında değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Cennet ağacı, Görsel ve makine sınıflandırması, Yapısal karakterizasyon

Strength grading of structural wood obtained from the tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) according to European standards

ABSTRACT: Structural boards (163 pieces in total) of different sizes obtained from the wood of the tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), a fast-growing and invasive species, were first visually graded according to DIN 4074-5(2008) standards. Then, non-destructive tests were performed using the vibration method, and finally, 4-point bending tests were performed according to the TS EN 408(2014) standard. Visual and machine strength grades were determined with the data obtained from these test results. As a result of the non-destructive tests, the average dynamic modulus of elasticity was 17838 MPa. In the mechanical tests, the average bending strength was determined as 96.6 MPa, and the modulus of elasticity was 16647 MPa. In the visual strength grading, two visual classes were determined: LS13 and reject. While those in the LS13 grade were assigned to the D50 strength class, a strength class could not be determined for the rejected boards. The characteristic density was the feature that determined the D50 strength class. In the machine strength grading, ideal machine settings were determined as D60-D55-D50-Reject, and the accuracy was verified according to the TS EN 14081-2 (2022) standard. The machine strength grading was found to be more advantageous than the visual strength grading due to its higher efficiency and ability to reach higher strength grades. This species, which has high potential for structural use, should be evaluated for alternative uses in plantation forestry.

Keywords: Tree of heaven, Visual and machine strength grading, Structural characterization

1 Giriş

Ahşap yapılar, geçmişte ülkemizde sıkça tercih edilen yapı türlerinden olsa da yaşanan büyük yangınlar, malzeme hakkında yetersiz bilgi, ormanların azalacağı düşüncesi ve hızlı kentleşme gibi sebeplerden dolayı yerini betonarme yapılara bırakmıştır (Gezer ve ark., 2021). Günümüzde ahşap kullanımı, özellikle sürdürülebilirlik ve çevresel etki bakımından tekrardan önem kazanmaktadır. Ahşap, yenilenebilir bir kaynak olarak doğal döngüye katkıda bulunur ve karbondioksit depolama kapasitesine sahiptir. Bu husus, dünyada problem haline gelen iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynar. Ayrıca, ahşap malzeme inşaat sektöründe, enerji verimliliği sağlayan ve çevre dostu alternatifler sunan bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ahşap, düşük karbon ayak izi ve biyolojik çeşitliliği koruma özellikleriyle, yapısal kullanım için aranan bir malzeme konumuna gelmiştir. Bu nedenlerle, ahşap malzeme kullanımı, gelecekteki sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir öneme sahiptir. Ancak doğal bir malzeme olan ahşap anizotropik bir yapıya sahiptir. Çeşitli kusurları içermesi nedeniyle ahşap aynı tür içerisinde bile çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklere (varyasyona) sahip olabilir. Bu nedenle ülkelerin belirledikleri yönetmelik ve standartlara uygun olarak inşaat sektörü uygulamalarında yalnızca mukavemet sınıfı belirlenmiş yapısal ahşap kullanılabilir. Böylece hem yapısal güvenliğin sağlanması hem de malzemenin ekonomik kullanımı hedeflenmektedir (Ridley-Ellis ve ark., 2016; Kurul ve As, 2024; Kurul ve ark., 2024).

Her ülke, ahşabı yapısal olarak sınıflandırmak için ulusal standartlar geliştirerek kendi yapısal sınıflandırma sistemini oluşturmuştur. Ülkemizde iğne yapraklı ağaç türlerinin yapısal görsel sınıflandırması için TS 1265 (2012) standardı kullanılmaktadır. Geniş yapraklı ağaç türleri için ise standart oluşturma çalışmaları devam etmektedir. Çok farklı ağaç türleri olması, yetiştirme yeri farklılıkları ve ülkelerin farklı sınıflandırma kuralları olması nedeniyle Avrupa yapısal ahşap sınıflandırma sistemi önerilmektedir. Bu sistem, TS EN 14081-1 (2019), TS EN 14081-2 (2022), TS EN 14081-3 (2022) ve destekleyici standartlardan oluşmaktadır. Tüm ulusal standartlar, bu sistemdeki asgari koşulları karşılamak zorundadır. Yapısal ahşap üç temel özelliğe göre mukavemet sınıflarına ayrılır. Bunlar mukavemet (eğilme veya çekme direnci), elastikiyet modülü (eğilme veya çekmede elastikiyet modülü) ve yoğunluktur. TS EN 338 (2016) standardı mukavemet sınıflarını ve özelliklerini iğne ve geniş yapraklı ağaçlara göre ayrı ayrı belirtmektedir. TS EN 1912 (2024) standardı ise ilgili tüm ülkelerin ulusal görsel sınıflandırma standartlarına göre belirlediği mukavemet sınıflarını listeler. Böylece farklı ülkeler arasında yapısal ahşap alışverişinin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. (Stapel ve Kuilen, 2014; Ridley-Ellis ve ark., 2016). Günümüzde yapısal ahşap sınıflandırması için görsel sınıflandırma ve makine sınıflandırması olmak üzere iki sistem bulunmaktadır. Ahşabın mukavemetini etkileyen budaklar, lif kıvrıklığı, öz, çatlaklar, yıllık halka genişliği vb. parametreleri ölçmeye dayanan görsel sınıflandırma yöntemi eski zamanlardan günümüze kadar uzanmaktadır (Stapel ve Kuilen, 2014; Arriaga ve ark., 2022; Kurul ve As 2024). Makine sınıflandırmasında ise her parça tahribatsız yöntemlerle mekanik olarak değerlendirilir ve tahribatsız cihaz tarafından bir veya daha fazla fiziksel-mekanik özellik ölçülür. Sınıflandırma süresinin daha hızlı olması, insandan kaynaklanacak hatalarının en aza indirilmesi ve daha yüksek mukavemet sınıfları elde etme potansiyeli gibi nedenlerden dolayı makine sınıflandırmasını görsel sınıflandırmaya göre daha avantajlı bulunmaktadır (Brunetti ve ark., 2016; Nocetti ve ark., 2016; Ravenshorst ve Kuilen, 2016; Ridley-Ellis ve ark., 2016; Moltini ve ark., 2022; Kurul ve As, 2024).

Ülkemiz ormanlarında meşe, kayın gibi geniş yapraklı, karaçam, kızılçam, sarıçam, göknar, ladin ve sedir gibi iğne yapraklı asli ağaç türlerimiz orman varlığımızın yaklaşık

%97'sini oluşturmaktadır (OGM 2020). Ormanlarımız üzerindeki üretim baskısını azaltmak için bu türlere alternatif olarak hızlı büyüyen türlerin belirlenmesi ve kullanımının artırılması gerekmektedir. Çeşitli habitatlarda gelişme ve çok çeşitli toprak türlerinde büyüme yeteneğine sahip, oldukça hızlı büyüyen cennet ağacı (*Ailanthus altissima* (Mill) Swingle) ülkemizde plantasyon ormancılığı için önemli bir potansiyele sahiptir. Cennet ağacı, bozulmuş habitatlarda bile hızlı büyüyen, istilacı, çok çeşitli sıcaklık ve nem seviyelerine, kötü hava ve toprak şartlarına dayanıklı, önemli böcek ve hastalık sorunları görünmeyen bir ağaç türüdür (Asaro ve ark., 2009; Kowarik ve Saumel, 2007). Negi ve ark., (2000) yaptığı çalışmada *Ailanthus*'tan elde edilen kaplamaların LVL yapımına uygun olduğunu, Elbadawi ve ark., (2015) yongalevha üretimi için umut vadeden bir hammadde olabileceği sonucuna varmıştır. Bulgaristan'da yapılan çalışmalarda ise cennet ağacının kağıt ve mobilya üretiminde başarıyla kullanılabilen, hızlı büyüyen bir tür olduğunu ve zengin bir kaynak olarak kabul edilebileceği, dahası düşük maliyetli bir hammadde olduğunu ve deneysel plantasyonların kurulmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. (Panayotov ve ark., 2001; Kozuharova ve ark., 2014). Bütün bu özellikleri düşünüldüğünde cennet ağacı her tür iklim ve çevresel koşullara uyum sağlayabilmesi, hızlı büyümesi, görece sert ve dirençli bir oduna sahip olması nedeniyle yapısal ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin üretiminde avantajlı bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, cennet ağacından elde edilen yapısal tahtalar için Avrupa standartlarına göre görsel ve makine mukavemet sınıflarını belirlemek, görsel ve makine sınıflandırmasından elde edilen mukavemet sınıflarını karşılaştırmak ve seçilen yöntem ve parametreler için TS EN 14081 prosedürlerinin nasıl uygulanacağını göstererek benzer çalışmalara temel oluşturmaktır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Bu çalışmada, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Araştırma ormanından (İstanbul/Türkiye) kesilen ortalama 17 yaşındaki cennet ağacı (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) odunundan elde edilen tahtalar kullanılmıştır. Taslak halinde biçilen tahtalar %12 denge rutubetine kadar kurutulmuştur. Sonrasında en kötü kusur tahtaların ortasında kalacak şekilde 20x40x780 mm, 30x40x780 mm, 20x50x1000 mm ve 30x50x1000 mm (genişlik x yükseklik x uzunluk) net ölçülere biçilerek toplam 163 adet yapısal tahta elde edilmiştir. Yapısal tahtaların rutubet miktarı, TS EN 13183-2 (2002) standardında tanımlanan prosedür takip edilerek direnç tipi rutubet ölçerle belirlenmiştir. Yapısal tahtaların ortalama rutubet miktarı %13,2 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 1'de elde edilen örneklere ait bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 1. Cennet ağacından elde edilen yapısal tahtaların kesit ölçüleri ve adetleri

Tür	Kesit Ölçüleri (mm)	Adet	Rutubet Miktarı (%)
Cennet Ağacı	20x40x780	39	13,2
	30x40x780	41	
	20x50x1000	42	
	30x50x1000	41	
Toplam		163	

2.2 Metot

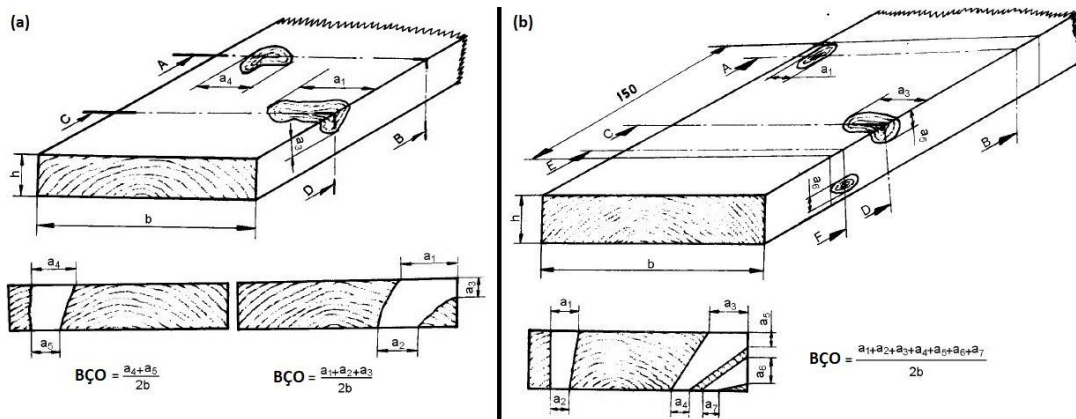
Bu çalışmada, elde edilen toplam 163 yapısal tahta üzerinde sırasıyla; DIN 4074-5 standardına göre görsel sınıflandırma, vibrasyon metodu kullanılarak tahribatsız değerlendirme, TS EN 408 (2014) standardına göre de tahribatlı eğilme testleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak Avrupa standardına göre görsel ve makine mukavemet sınıfları belirlenmiştir. Aşağıda sırasıyla tüm prosedürler detaylı şekilde açıklanmıştır.

2.2.1 Görsel sınıflandırma

Yapısal tahtalar için bazı görsel sınıflandırma kriterleri, DIN 4074-5 (2008)'e göre Çizelge 2'de tanımlanmıştır. Ülkemizde geniş yapraklı ağaçlardan elde edilen yapısal ahşapların görsel sınıflandırması için bir standart bulunmadığı için bu standart tercih edilmiştir. İğne yapraklı ağaç görsel sınıflandırma standardımızın DIN 4074-1 standardı ile çok benzer olması da bu standardın seçilmesinin bir başka gerekçesini oluşturmuştur. Budak çapı oranı (BÇO), budak çapının tahta genişliğinin iki katına bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenle, budaklar tüm tahta boyunca görsel olarak belirlenmiş ve en büyük paralel çapa sahip budaklar tespit edilmiştir. İlgili standarda göre budaklar tekli ve toplu budaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Tekli budaklar Şekil 1a, toplu budaklar ise Şekil 1b'de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Budak çapı, her iki durum için de budağın bulunduğu yüzey eksine paralel uzunluğu olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, lif kıvrıklığı, yıllık halka genişliği ve diğer kusurlar DIN 4074-5 (2008)'de belirtildiği şekilde ölçülmüştür.

Çizelge 2. DIN 4074-5 standardına göre yapısal tahta sınıflandırma kriterleri

Sınıflandırma Kriterleri	Sınıflar		
	LS 7 (Sınıf 3)	LS 10 (Sınıf 2)	LS 13 (Sınıf 1)
Tekli budak	0,50	0,33	0,20
Toplu budak	0,66	0,50	0,33
Lif kıvrıklığı	%16	%12	%7
Yıllık halka genişliği	-	-	-



Şekil 1. DIN 4074-5 (2008) standardına göre yapısal tahtalarda budak ölçüm metotları: (a) tekli budak ve (b) toplu budak

2.2.2 Tahribatsız değerlendirme

Görsel değerlendirmeden sonra, dinamik elastikiyet modülü (MOE_d) boyuna vibrasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İlk olarak örneklerin en kesit ölçüleri 0.01 mm hassasiyetli kompasla, boyları ise metre yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Boyuna vibrasyon yöntemi, doğal frekansı (rezonans frekansı) ölçen bir yöntemidir. Test düzeneği Şekil 2’de gösterilmiştir. Test prosedüründe, örnekler yumuşak poliüretan yastıkla desteklenmiş iki mesnet üzerine yerleştirilir. Mesnetlerden birinde tartı vardır ve her bir parçanın kütlesi de bu şekilde kaydedilir. Bir çekiç yardımıyla numunenin bir ucundan vurulur ve stres dalga oluşturulur. Bu dalga test parçasının diğer ucuna kadar örneğin hacminin tamamını tarayarak ilerler. Diğer uca yerleştirilen bir mikrofon vasıtasıyla yakalanarak bilgisayara aktarılır. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) programı ile sesin doğal frekansı belirlenir. Sonrasında vibrasyon yöntemi için dinamik elastikiyet modülü ($MOE_{d,vib,\%12}$) Denklem 1’e göre hesaplanmaktadır.

$$MOE_{d,vib,\%12} = \frac{(2f_0l)^2\rho}{1-0.01(u-12)} 10^{-6} \quad (1)$$

Burada; $MOE_{d,vib,\%12}$ dinamik elastikiyet modülü (MPa), f_0 doğal frekans (Hz), l numunenin uzunluğu (m), ρ numunenin yoğunluğu (kg/m^3) ve u direnç tipi rutubet ölçer ile elde edilen rutubet miktarı (%).



Şekil 2. Boyuna vibrasyon test düzeneği

2.2.3 Mekanik testler

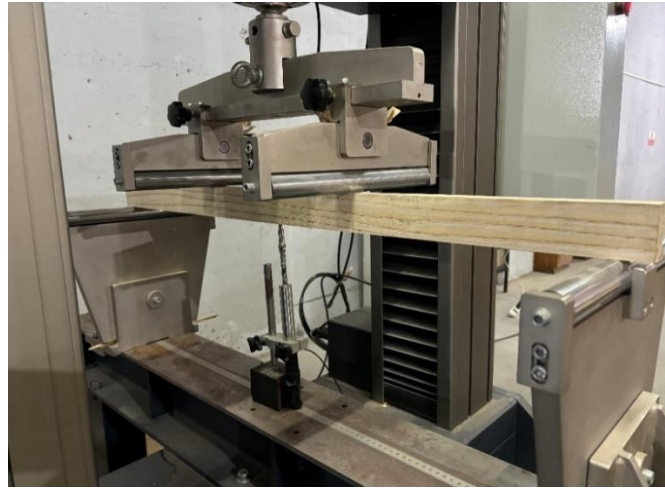
Görsel değerlendirme ve tahribatsız testlerden sonra, 163 adet yapısal tahta, TS EN 408 (2014)'de öngörülen 4-noktalı eğilme test düzeneğinde, 40 mm genişlikteki tahtalar için 720 mm ve 50 mm genişliktekiler için ise 900 mm mesnet açıklığında geniş yüzeye paralel (edgewise) kuvvet uygulanarak test edilmiştir. Testler, 50 kN yük kapasiteli universal test makinesi (BCO-DC300/LDL; BESMAK, Ankara, Türkiye) ile yapılmıştır. Deformasyonlar (w), 0.0001 mm hassasiyetli tek bir Lineer Değişken Diferansiyel Transformatör (LVDT) ile

ortadan ölçülmüştür (Şekil 3). Testler 300 ± 120 saniyede tamamlanmıştır. Testler sonucunda elde edilen verilere göre, global elastikiyet modülü ($E_{m,g}$) ve eğilme direnci (f_m) sırasıyla Denklem 2 ve 3 ile belirlenmiştir.

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

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

Burada; $E_{m,g}$ global elastikiyet modülü (MPa), f_m eğilme direnci (MPa), l mesnetler arasındaki açıklık 18h (mm), a yükleme başlığının en yakın mesnete olan uzaklığı 6h (mm), $F_2 - F_1$ maksimum yükün %40'ı ve %10'undaki yük farkı (N), $w_2 - w_1$ maksimum yükün %40'ı ve %10'undaki deformasyonlar arasındaki fark (mm), G makaslama modülü (sonsuz olarak alınmıştır MPa), b örnek genişliği (mm) ve h örnek yüksekliğidir (mm).



Şekil 3. TS EN 408 (2014) standardına göre 4 noktalı eğilme test düzeneği

Mekanik testlerden sonra, her örnekten kırılma bölgesine yakın tam kesit ölçüsünde ve 20-40 mm uzunluğunda rutubet ve yoğunluk örnekleri kesilmiştir. Kesilen parçalar hemen 0,01 g hassasiyetli tartıda tartılmış ve boyutları da 0,01 mm hassasiyetli kompasla ölçülerek yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca, aynı örnekler üzerinde TS EN 13183-1 (2002)'de tanımlanan tam kuru ağırlık metoduna göre rutubetleri belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Tahribatlı testlerden sonra kesilen yoğunluk ve rutubet örneklerinin kurutulması

2.2.4 Görsel ve makine mukavemet sınıflandırması

Görsel ve makine mukavemet sınıflandırması karakteristik değerlerini belirlenmeden önce TS EN 384 (2022) standartlarına göre bazı düzeltmeler yapılmalıdır. Bunlardan ilki rutubet tahvilidir. %12 rutubet miktarında olmayan numunelerin elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak tahvil edilmiştir (Denklem 4 ve 5). Mevcut standart, eğilme direnci için bir tahvil işlemi ön görmemektedir.

$$Em, g\%12 = MOE(u) \times [1 + 0.01 \times (u - u_{ref})] \quad (4)$$

$$\rho_{\%12} = \rho(u) \times [1 - 0.005 \times (u - u_{ref})] \quad (5)$$

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

Daha sonra tahta genişliği 150 mm'den küçük olduğu için eğilme direnci 6. denklem kullanılarak k_h faktörüne bölünmüştür. Elastikiyet modülü global olarak ölçüldüğünden 7. denklem kullanılarak lokal elastikiyet modülüne dönüşümü yapılmıştır.

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} \quad (6)$$

$$E_0 = E_{m, g\%12} \times 1.3 - 2690 \quad (7)$$

Gerekli tahvil işlemleri tamamlandıktan sonra, cennet ağacından elde edilen yapısal tahtalar için TS EN 14358 (2016) standardı kullanılarak %5'lik eğilme direnci (karakteristik eğilme direnci) $f_{05,i}$, %5'lik yoğunluk (karakteristik yoğunluk) $\rho_{05,i}$ ve ortalama elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir.

Makine mukavemet sınıflandırmasında, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri, sınıf belirleyen özellikler (GDP, grade-determining properties) olarak ve dinamik elastiklik modülü ($MOE_{d,vib,\%12}$) değeri ise gösterge özellikleri (IP, indicating properties) olarak kullanılmıştır. Makine mukavemet sınıflandırması için, tüm tahtalar TS EN 338 (2018)'deki bir mukavemet sınıfına atanmıştır. Belirlenen mukavemet sınıflarına ait karakteristik değerler TS EN 384 (2022)'ye göre hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken eğilme direnci ve yoğunluk için %5'lik değer (sıralama yöntemi) ve elastikiyet modülü için ise ortalama değerler kullanılmıştır. Sırasıyla boyut matrisi, temel ağırlıklandırma matrisi ve genel ağırlıklandırma matrisi TS EN 14081-2 (2022)'ye göre hesaplanmıştır. Sonrasında genel ağırlıklandırma matrisinde yanlışlıkla üst ve alt mukavemet sınıfına atanan parçalara karşılık gelen hücrelerin 0,4'ü aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Tüm hücrelerdeki değerlerin 0,4'den daha düşük olduğu görüldükten sonra ilgili mukavemet sınıflarına göre makine ayarları hesaplanmıştır. Görsel ve makine mukavemet sınıflandırmasında alt örneklem grupları kullanılmadığı için bunlara ait katsayılar hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

2.2.5 İstatistik hesaplamalar

Örneklere ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayı değerleri IBM SPSS Statistic 29.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca makine mukavemet sınıflandırmasında kullanılmak üzere dinamik elastikiyet modülü + budak çapı oranı – eğilme direnci, dinamik elastikiyet modülü – global elastikiyet modülü ve dinamik elastikiyet modülü – yoğunluk parametreleri arasında regresyon analizi yapılarak bunlardan elde edilen verilerle makine ayarları yapılmıştır.

3 Bulgular ve Tartışma

Görsel sınıflara göre örnek sayısı, rutubet miktarı, %12 rutubete tahvil edilmiş yoğunluk, %12 rutubete tahvil edilmiş dinamik elastikiyet modülü, %12 rutubete tahvil edilmiş global elastikiyet modülü ve eğilme direnci ortalama değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca değerlerin altında parantez içinde varyasyon katsayıları gösterilmiştir.

Çizelge 2. Test örneklerinde görsel sınıflara göre tahribatsız ve tahribatlı test sonuçları

Görsel Sınıf	Adet	Rutubet Miktarı (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	MOE _{d,vib,%12} (MPa)	E _{m, g,%12} (MPa)	f _m (MPa)
LS 13	158	12,2 (8,5)	678 (4,7)	17941 (8,9)	16758 (9,0)	97,7 (10,3)
Ret	5	12,7 (8,8)	677 (2,0)	14577 (18,9)	13138 (16,8)	60,6 (40,9)
Toplam	163	12,2 (8,5)	678 (4,6)	17838 (9,9)	16647 (10,0)	96,6 (13,1)

Brandner ve Schickhofer (2010) yaptıkları çalışmada kusursuz cennet ağacı örneklerinde EN 408 standardına göre 4 noktalı eğilme testleri yapmış ve ortalama eğilme direncini 105,6 MPa, elastikiyet modülünü 14590 MPa ve yoğunluk değerini 656 kg/m³ olarak tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada yapısal cennet ağacı örnekleri üzerinde 4-noktalı eğilme testleri gerçekleştirilmiş fakat kusurlar net bir şekilde tanımlanmamıştır. Bu deneylerde ise ortalama eğilme direncini 51,3 MPa, elastikiyet modülü 12420 MPa ve yoğunluk değerini 646 kg/m³ olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca kusursuz cennet ağacı örneklerinden elde edilen değerleri kusursuz dişbudak örnekleriyle karşılaştırdıklarında bu iki ağaç türünün fiziksel ve mekanik özelliklerinin yakın olduğu sonucuna varmışlardır. Szabolcs ve Varga (2021) yaptığı çalışmada ise kusursuz cennet ağacı örnekleri üzerinde 3 noktalı eğilme testleri yapmış ve sırasıyla ortalama eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yoğunluk değerlerini 112 MPa, 11665 MPa ve 702 kg/m³ olarak tespit etmiştir.

DXX mukavemet sınıfı, geniş yapraklı ağaç türlerinde geniş yüzeye paralel eğilme mukavemetini tanımlamaktadır. DIN 4074-5 (2008) standardına göre görsel sınıflandırılan cennet ağacı yapısal tahtaların karakteristik mukavemet değerleri ve TS EN 338 standardına göre mukavemet sınıfları, Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Yapısal tahtaların karakteristik mukavemet değerleri ve sınıfları

Karakteristik Değerler	Eğilme Direnci (MPa)				Elastikiyet Modülü (GPa)		Yoğunluk (kg/m ³)			Mukavemet Sınıfı
Direnç Sınıfı	Ort.	V.K (%)	P/NP	f _{05,i}	E _{0,ort}	V.K (%)	Ort.	V.K (%)	$\rho_{05,i}$	
LS 13	76,9	10,7	NP	62,3	19,4	10,2	678,0	4,7	621,6	D50
Sınıf Dışı	46,6	45,7	NP	10,9	14,4	22,2	676,8	2,2	639,9	-

Çizelge 3 incelendiğinde LS 13 (Sınıf 1) olarak sınıflandırılan yapısal tahtalar eğilme direnci karakteristik değerine göre D60, ortalama elastikiyet modülü değerine göre D65 ve karakteristik yoğunluk değerine göre ise D50 olarak sınıflanmaktadır. Bu üç özellikten en kötüsüne göre mukavemet sınıfı belirlendiği için LS 13 görsel sınıfının karşılığı D50 olarak belirlenmiştir. TS EN 1912 (2024) standardı incelendiğinde D50 mukavemet sınıfında İngiliz görsel sınıflandırma standardına göre TH1 görsel sınıfındaki Amerikan beyaz meşesi ve bazı tropik ağaç türleri görülmektedir. İtalyan standardına göre LS1 görsel sınıfındaki kayın D45 ve yine İngiliz TH1 görsel sınıfındaki Amerikan kırmızı meşesi D40 olarak görülmektedir. Yapısal performans bakımından bu türlerle karşılaştırdığımızda cennet ağacının potansiyeli daha net anlaşılmaktadır.

Makine sınıflandırması için cennet ağacı yapısal tahtalarına ait makine ayarları vibrasyon yöntemi (IP) ve eğilme direnci, global elastikiyet modülü ve yoğunluk (GDP) olarak belirlenmiştir. Makine ayarları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. IP ve GDP'ler kullanılarak elde edilen makine ayarları

IP	GDP	R ²	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
MOE _{d, vib, %12} +BÇO	f _m	0.444	0.003*IP+31.2-32.5*BÇO	63.890	0.001
	E _{m, g, %12}	0.644	0.987*IP+1652.1	291.101	0.001
	ρ _{%12}	0.000	-	0	0.983

Yapısal tahtalar için ideal mukavemet kombinasyonu D60-D55-D50-Ret (R) olarak belirlenmiştir. Çizelge 4'teki ayarlara göre hesaplanmış eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yoğunluk değerlerine göre oluşturulan boyut matrisi Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 4'te görüldüğü üzere, dinamik elastikiyet modülü (MOE_{d, vib, %12}) ile yoğunluk (ρ_{%12}) arasında korelasyon bulunmamıştır (R² = 0,000). Bu düşük korelasyon, cennet ağacının hızlı büyüyen bir tür olmasından kaynaklanabilir. Hızlı büyüyen türlerde, yıllık halka genişliği ve odun dokusundaki varyasyonlar, yoğunluğun elastikiyet modülü ile zayıf bir ilişki göstermesine neden olabilir (Ridley-Ellis ve ark., 2016). Ayrıca, örneklerin genç odundan meydana gelmesi, odun yoğunluğunun daha düşük ve değişken olmasına yol açmış olabilir. Szabolcs ve Varga (2021) yaptıkları çalışmada cennet ağacında yoğunluk ile mekanik özellikler arasında zayıf bir ilişki rapor etmemiştir, bu da bu bulgunun türe özgü olabileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 5. IP ve GDP'lere göre oluşturulan boyut matrisi.

Yöntem	Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf			
		D60	D55	D50	R
Vibrasyon	D60	29	1	0	0
	D55	2	81	1	0
	D50	2	4	27	2
	R	0	0	2	12
	Total	33	86	30	14

Uygun ve atanmış mukavemet sınıfları dikkate alınarak oluşturulan temel ağırlıklandırma matrisi Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. IP ve GDP'lere göre oluşturulan temel ağırlıklandırma matrisi.

Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf			
	D60	D55	D50	R
D60	0	0.31	0.67	2.00
D55	0.30	0	0.35	1.56
D50	0.67	0.33	0	1.11
R	1.74	1.39	1.01	0

Boyut matrisi ve temel ağırlıklandırma matrisinin çarpılıp ilgili sütundaki toplam miktara bölünmesiyle elde edilen genel ağırlıklandırma matrisi Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. IP ve GDP'lere göre oluşturulan genel ağırlıklandırma matrisi.

Yöntem	Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf			
		D60	D55	D50	R
Vibrasyon	D60	0.00	0.00	0.00	0.00
	D55	0.02	0.00	0.01	0.00
	D50	0.04	0.02	0.00	0.16
	R	0.00	0.00	0.07	0.00

İdeal mukavemet sınıfı kombinasyonuna (D60-D55-D50-R) ait karakteristik değerler ve her bir mukavemet sınıfına ait makine sınıflandırmasından elde edilen IP ayarları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. İdeal mukavemet sınıfı kombinasyonuna ait karakteristik değerler ve IP ayarları

Karakteristik Değerler		Eğilme Direnci				Elastikiyet Modülü		Yoğunluk			IP Ayarı (MPa)
		(MPa)				(GPa)		(Kg/m ³)			
Yöntem	Direnç Sınıfı	Ort.	V.K (%)	P/N P	<i>f</i> _{05,i}	<i>E</i> _{0,ort}	V.K (%)	Ort.	V.K (%)	<i>ρ</i> _{05,i}	
Vibrasyon	D60	79.1	6.8	NP	70.1	19.5	6.1	713.2	1.5	700.1	15551
	D55	78.7	8.7	NP	66.7	20.1	7.8	681.2	1.7	662.4	14031
	D50	71.6	14.6	NP	52.2	18.3	12.4	658.4	4.0	630.9	12511
	R	63.4	27.9	NP	29.9	16.4	19.0	631.9	8.5	568.8	-

Makine mukavemet sınıflandırması sonuçlarına göre, ideal sınıf kombinasyonu D60-D55-D50-R olarak belirlenmiş ve Çizelge 7 incelendiğinde hiçbir hücre 0,4'den daha büyük çıkmadığı ve Çizelge 8'e göre de her mukavemet sınıfı için hesaplanan karakteristik değerlerin o mukavemet sınıfını karşılaması sebebiyle ayarların uygunluğu onaylanmıştır. Ayrıca, makine mukavemet sınıflandırması görsel mukavemet sınıflandırmasıyla karşılaştırıldığında, makine mukavemet sınıflandırmasının verimi çok daha yüksek çıkmıştır. Görsel mukavemet sınıfında LS 13 görsel sınıfı karşılığında sadece D50 mukavemet sınıfına atanmasına rağmen, makine mukavemet sınıflandırmasında çok daha yüksek mukavemet sınıflarına atamalar gerçekleşmiştir. Bu nedenlerle makine dayanım sınıflandırması görsel dayanım sınıflandırmasına göre daha avantajlı olarak değerlendirilmektedir (Ridley-Ellis ve ark., 2016; Kurul ve As, 2024).

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma sonucunda elde edilen çıktılarına göre;

- LS 13 ve R görsel sınıflar için karakteristik değerler hesaplanmıştır. Buna göre LS 13 görsel sınıfı D50 dayanım sınıfına atanmıştır. Sınıf dışı tahtalar ise herhangi bir dayanım sınıfına atanmamıştır. Bu dayanım sınıfları cennet ağacının yerli türlere güçlü bir alternatif oluşturacağı sonucunu ortaya koymaktadır.
- Makine mukavemet sınıflandırmasında, cennet ağacı için D60-D55-D50-R makine ayarları yapılmıştır. Buna göre, örneklerin %20'si D60, %53'ü D55, %18'i D50 ve %9'u R mukavemet sınıflarına atanmıştır. Bu oran görsel mukavemet sınıflandırmasında %97'si D50 ve %3'ü R şeklinde gerçekleşmiştir. Buna göre makine mukavemet sınıflandırmasında görsel mukavemet sınıflandırmasına kıyasla daha yüksek verimlilik elde edilmiştir. Özellikle, makine mukavemet sınıflandırmasının kullanılması, mukavemeti daha yüksek mühendislik ürünü ahşap malzemelerin (örneğin, Glulam ve CLT) üretilmesini sağlayacaktır.
- Hızlı büyüyen türlerde görsel mukavemet sınıflandırmasında karakteristik yoğunluk değeri bu çalışmada olduğu gibi görece düşük olacağı için elde edilecek mukavemet sınıfının daha düşük olmasına neden olacaktır. Bu nedenle hızlı büyüyen türlerde makine mukavemet sınıflandırmasının tercih edilmesi daha avantajlı bulunmaktadır.
- Makine mukavemet sınıflandırması, kullanılan en kesit ölçülerinin $\pm\%10$ 'unu kapsamaktadır. Bu çalışma sonucunda 18-22 mm, 27-33 mm kalınlık ve 36-44 mm, 45-55 mm genişlik aralığındaki cennet ağacı yapısal tahtaları yukarıda verilen IP ayarları kullanılarak makine sınıflandırması yapılabilmektedir. Bu ölçüler dışındaki bir ölçüde tekrardan makine ayarlarının yapılması gerekmektedir.
- Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, diğer hızlı büyüyen türler için benzer prosedürler uygulanarak görsel ve makine mukavemet sınıflarının belirlenerek plantasyon çalışmaları yapılması, ormanlarımız üzerindeki baskıları süreç içerisinde azaltma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda iç piyasa için de yüksek kalitede yerli hammadde üretimi sağlanarak katma değeri yüksek yapısal ahşap malzemelerin üretilmesinin önünün açılacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Fatih Kurul: Kavramsallaştırma, Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Arriaga, F., Osuna-Sequera, C., Bobadilla, I., and 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, article ID 126512. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2022.126512](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126512)

- Asaro, C., Becker, C., and Creighton, J., (2009). Control and utilization of tree-of-heaven: a guide for Virginia landowners, Charlottesville, VA: *Department of Forestry Publication* No. P00144. 15 p.
- Brandner, R., and Schickhofer, G., (2010). Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*): enormous and wide potential neglected by the western civilization, In proceedings of the world conference on timber engineering. Riva del Garda, Italy (pp. 1-7).
- Brunetti, M., Burato, P., Cremonini, C., Negro, F., Nocetti, M., and Zanuttini, R., (2016). Visual and machine grading of larch (*Larix decidua* Mill.) structural timber from the Italian Alps, *Materials and Structures* 49(7), 2681-2688, DOI: [10.1617/s11527-015-0676-5](https://doi.org/10.1617/s11527-015-0676-5)
- DIN 4074-5 (2008). Strength grading of wood - Part 5: Sawn hard wood, *DIN*. Berlin.
- Elbadawi M., Osman, Z., Paridah, T., Nasroun, T., and Kantiner, W., (2015). Mechanical and physical properties of particleboards made from Ailanthus wood and UF resin fortified by Acacias tannins blend, *Journal of Materials and Environmental Science*, 6 (4), 1016-1021.
- Gezer, E. D., Demirkır, C., and Özdemir, T. (2021). Türk ahşap konut örneği Nemlioğlu Konağı'nın mekanik direnç özelliklerinin tahribatsız test teknikleriyle incelenmesi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 138-144, DOI: [10.33725/mamad.1004967](https://doi.org/10.33725/mamad.1004967)
- Kozuharova, E., Lebanova H., Getov I., Benbassat N., and Kochmarov V., (2014). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle - a terrible invasive pest in Bulgaria or potential useful medicinal plant? *Bothalia journal*, 44(3), 213-230.
- Kowarik, I., and Saumel, I., (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8: 207-237.
- Kurul, F., and As, N., (2024). Visual and machine strength gradings of scots and red pine structural timber pieces from Türkiye, *BioResources*, 19(3), 4135 – 4154, DOI: [10.15376/biores.19.3.4135-4154](https://doi.org/10.15376/biores.19.3.4135-4154)
- Kurul, F., Şişman, Ö. A., and Dündar, T., (2024). Mechanical characterization of visually graded boards from Turkish fir and black pine by nondestructive and destructive tests. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 26. DOI: [10.22320/s0718221x/2024.17](https://doi.org/10.22320/s0718221x/2024.17)
- Moltini, G., Íñiguez-González, G., Cabrera, G., and Baño, V., (2022). Evaluation of yield improvements in machine vs. visual strength grading for softwood species. *Forests*, 13(12), article 2021. DOI: [10.3390/f13122021](https://doi.org/10.3390/f13122021)
- Negi, A., Shukla, K.S., and Mehta, N.S., (2000). Laminated Veneer Lumber (LVL) from *Ailanthus excels*, *Journal of the Timber Development Association of India*, 46 (3/4), 28-30.
- Nocetti, M., Brunetti, M., and 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, 4439-4450, DOI: [10.1617/s11527-016-0799-3](https://doi.org/10.1617/s11527-016-0799-3)
- OGM (2020). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü [online].
- Panayotov, P., Kalmukov, K., and Panayotov, M., (2011). Biological and wood properties of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Forestry Ideas* 17: 122-130.
- Ravenshorst, G. J. P., and Van de Kuilen, J. W. G., (2016). A new approach for the derivation of settings for machine graded timber, *Wood Material Science and Engineering*, 11(2), 79-94, DOI: [10.1080/17480272.2014.950329](https://doi.org/10.1080/17480272.2014.950329)

- Ridley-Ellis, D., Stapel, P., and 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, DOI: [10.1007/s00107-016-1034-1](https://doi.org/10.1007/s00107-016-1034-1)
- Stapel, P., and 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. DOI: [10.1515/hf-2013-0042](https://doi.org/10.1515/hf-2013-0042)
- Szabolcs, K., and Varga, D., (2021). Physical and mechanical properties of wood from invasive tree species, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23. DOI: [10.4067/s0718-221x2021000100411](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100411)
- 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 13183-2 (2002). Biçilmiş yapacak odun (kereste) parçasının rutubet muhtevası – Bölüm 2: Elektrikli direnç 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 14081-2-2018+A1 (2022). Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 2: Makine ile sınıflandırma; başlangıç tip deneyi için ilave gerekler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 14081-3 (2022). Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 3: Makine ile sınıflandırma; Fabrikada imalat kontrolü için ilave gerekler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 14358 (2016). Yapı kerestesi – Ahşap yapılar - Karakteristik değerlerin ve kabul kriterlerinin hesaplanması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.