



## Uludağ göknarından (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) elde edilen yapısal ahşapta çekme testlerine dayalı makine mukavemet sınıflandırması

Fatih Kurul <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı, 34473, Bahçeköy, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

### MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 30/10/2025  
Kabul Tarihi: 21/12/2025  
<https://doi.org/10.53516/ajfr.1814025>  
\*Sorumlu Yazar:  
 fatihkurul@iuc.edu.tr

### ÖZ

**Giriş ve Hedefler** Bu çalışma, Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) odunundan elde edilen yapısal tahtalarda çekme testlerine dayalı makine mukavemet sınıflandırmasını incelemektedir.

**Yöntemler** Toplam 160 adet örnek üzerinde sırasıyla; TS 1265 (2012) standardına göre görsel değerlendirme, tahribatsız olarak boyuna ve enine vibrasyon testleri (PLG ve Hitman cihazları kullanılarak) ile TS EN 408 (2014) standardına göre tahribatlı çekme testleri yapılmıştır. TS EN 14081-2 (2022) standardına uygun olarak regresyon analizleriyle makine sınıflandırma modelleri geliştirilmiştir.

**Bulgular** Bu örneklem grubu için ideal çekme mukavemet sınıfı kombinasyonu T14-T12-T10-T9-R olarak belirlenmiştir. Çekmede elastikiyet modülü ile boyuna vibrasyon arasında güçlü bir ilişki ( $R^2=0,846$ ) saptanmış, enine vibrasyon yöntemi daha düşük korelasyon ( $R^2=0,688$ ) göstermiştir. Çekme direnci, tahribatsız yöntemlerle elastikiyet modülüne kıyasla daha düşük korelasyon göstermiştir. Makine ayarlarında budak çapı oranı (BÇO) değişken olarak kullanıldığında çekme direnci ve yoğunluk için korelasyonları artırdığı belirlenmiştir. PLG ve Hitman cihazları benzer performansla belirlenen ayarlar için TS EN 338 (2016) sınıf karakteristik değerlerini karşılamıştır.

**Sonuçlar** Sonuç olarak, yerli ağaç türlerimiz için makine ve görsel mukavemet sınıflarının belirlenmesi ve yerli cihazların geliştirilmesinin, yapısal ahşap kalitesini, standardizasyonu ve ihracat potansiyelini artırmada kritik rol oynayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çekme direnci, tahribatsız değerlendirme, makine sınıflandırması, yapısal ahşap

### Machine strength grading of structural woods obtained from Nordmann fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) based on tensile tests

#### ABSTRACT

**Background and Aims** This study investigates the machine grading of structural wood from Nordmann fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) based on tensile tests.

**Methods** A total of 160 samples were subjected to visual grading according to TS 1265 (2012), non-destructive longitudinal and transverse vibration tests (using PLG and Hitman), and destructive tensile tests according to TS EN 408 (2014). Machine settings were developed using regression analyses in accordance with TS EN 14081-2 (2022).

**Results** The ideal tensile strength class combination was determined as T14-T12-T10-T9-R. A strong correlation ( $R^2=0.846$ ) was observed between the modulus of elasticity and longitudinal vibration, whereas the transverse vibration method showed a lower correlation ( $R^2=0.688$ ). Tensile strength showed a lower correlation with non-destructive methods than the modulus of elasticity. It was determined that using the knot diameter ratio as a machine-setting variable increased the correlations with tensile strength and density. The PLG and Hitman devices met the TS EN 338 (2016) class characteristic values for the specified settings with similar performance.

**Conclusions** Consequently, it is believed that determining machine and visual grading for our native tree species and developing domestic devices will play a critical role in improving structural wood quality, standardization, and export potential.

**Key Words:** Tension strength, non-destructive evaluation, machine grading, structural wood

*Bu makaleye atf:*

Kurul, F., 2025. Uludağ göknarından (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) elde edilen yapısal ahşapta çekme testlerine dayalı makine mukavemet sınıflandırması. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(2), 396-405.



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

## 1. Giriş

Ahşap, yapı mühendisliği uygulamalarında geçmişten günümüze kullanılmakta olan, sürdürülebilir ve çok yönlü yapı malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Beton ve elik gibi geleneksel yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında mukavemet-yoğunluk oranı, karbon tutma potansiyeli ve yenilenebilirlik özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Kurul et al., 2024; Kurul, 2025a; Kurul 2025b). Ahşap, pozitif özellikleri dışında doğal yapısı ve içerdiği kusurlar nedeniyle fiziksel ve mekanik özelliklerinde geniş bir varyasyona sahiptir. Bu durum ahşabın özölmesi gereken karmaşık bir mühendislik malzemesi olarak bilinmesine neden olmaktadır (Ridley-Ellis et al., 2016; Kurul and As, 2024; Kurul, 2025a ).

Ahşabın yapısal olarak kullanımında tasarım hesaplamalarına temel oluşturmak ve kalite kontrolünü sağlamak amacıyla ülkemizde de geçerli olan Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından yayımlanan bir dizi standart kullanılmaktadır (Kurul and As, 2024; Kurul et al., 2024; Kurul, 2025b). Bu standartlar, ahşap yapı malzemelerinin görsel ve makine mukavemet sınıflandırma sistemlerinin temelini oluşturarak yapılarda güvenli ve ekonomik şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Ridley-Ellis et al., 2016; Kurul and As, 2024). Bu sistemlerin uygulanması yalnızca kalite kontrol için değil, aynı zamanda mühendislik hesaplamalarının güvenliği açısından da zorunludur (Stapel and Kuilen, 2014a; Ridley-Ellis et al., 2016). Eurocode 5 standardı, taşıyıcı sistem tasarımlarında kullanılacak ahşap malzemenin mukavemet değerlerinin, TS EN 338 (2016) standardında belirtilen sınıflara göre belirlenmesini şart koşmaktadır. Bu standartta geniş yüzeye paralel (edgewise) eğilme testleriyle elde edilen "C ve D" sınıfları ile çekme testleriyle elde edilen "T" sınıfları olmak üzere üç farklı sistem bulunmaktadır. Avrupa'da yapısal sınıflandırma öncelikle eğilme testlerine dayansa da çekme testleri özellikle yapıştırılmış lamine kereste (GLT) ve çapraz lamine kereste (CLT) lamelleri gibi yapısal elemanlar için eşit derecede önemli olmaktadır (Ridley-Ellis et al., 2016; Martins et al., 2023). Günümüzde CLT ve GLT, çok katlı ahşap binaların yapılmasını sağlayan güvenilir yük taşıma davranışı ve boyutsal kararlılık gösteren mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemeler olarak öne çıkmaktadır (Brandner et al., 2016; Liu et al., 2025).

Görsel sınıflandırma, yapısal ahşabın içerdiği budak, lif kıvrıklığı, büyüme hızı, çatlaklar gibi görsel kusurların ölçümüne dayanan geleneksel bir kalite değerlendirme yöntemidir. Görsel sınıflandırma yöntemleri basit ve düşük maliyetli bir değerlendirme sağlamaktadır. Ancak bu yöntemin en önemli dezavantajı, insan gözlemine ve deneyime bağlı olmasıdır (Stapel and Kuilen, 2014a; Stapel and Kuilen 2014b; Ridley-Ellis et al., 2016; Barriola et al., 2020; Kurul and As, 2024; Kurul, 2025a; Kurul 2025b). Makine mukavemet sınıflandırması, kerestelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini otomatik olarak ölçen tahribatsız cihazlarla yapılan, daha nesnel ve tekrarlanabilir bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde genellikle stres dalęa hızı, rezonans frekansı veya eğilme vibrasyonu gibi parametreler çeşitli tahribatsız cihazlarla ölçülerek kerestenin mukavemet sınıfı tahmin edilebilmektedir (Nocetti et al., 2016; Ridley-Ellis et al., 2016; Kurul and As, 2024). Avrupa standartlarına göre makine ile sınıflandırma süreci TS EN 14081-2 (2022) standardında tanımlanmıştır.

Makine mukavemet sınıflandırmasında ölçülmesi gereken görsel kusurlara ait alt limit değerleri ise TS EN 14081-1 (2019) standardında yer almaktadır. Ahşap yapı malzemelerinde yer alan budaklar, görsel kusurlar arasında çok önemlidir ve ahşabın mukavemetini doğrudan etkileyen temel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Budak apı arttıkça ahşabın eğilme ve çekme mukavemet değerlerinde anlamlı azalmalar meydana geldiği ortaya konulmuştur (As et al., 2006; Koman et al., 2013; Stapel and Kuilen, 2014b; Qu et al., 2020; Kurul, 2025a). Bu nedenle hem görsel hem de makine mukavemet sınıflandırmasında budakların dikkate alınması elzemdir.

Avrupa'da yapılmış birçok çalışmada hem tahribatlı hem de tahribatsız yöntemlerle farklı tür yapısal ahşabın görsel (Seco et al., 2004; Stapel and Kuilen, 2014a; Barriola et al., 2020; Rosa et al., 2020) ve makine mukavemet sınıfları ortaya konmuştur (Ravenshorst and Kuilen, 2016; Kovryga et al., 2017; Moltini et al., 2022). Bunların büyük bölümü eğilme testine dayalı yapılmış olup çekme testi bazında çalışmalar sınırlıdır (Briggert et al., 2020; Gil-Moreno et al., 2022; Martins et al., 2023; Lovrić Vranković et al., 2025). Dięer bir taraftan, ülkemiz açısından eksik noktalardan bir tanesi mevcut çalışmadaki test ve yöntemlerin herhangi bir geniş yapraklı aęaç türünde yapılmamış olmasıdır. Fakat geniş yapraklı aęaç türleriyle alakalı hem standart oluşturma hem de çekme ve eğilme mukavemet sınıflandırma çalışmaları devam etmektedir. Bununla beraber, ülkemizde ahşabın yapısal karakterizasyon çalışmaları son dönemde ivme kazansa da yapılan çalışma sayısı henüz yeterli değildir (Kurul and As, 2024; Kurul et al., 2024; Kurul, 2025a; Kurul 2025b). Özellikle ekme testlerine dayalı görsel ve makine mukavemet sınıflandırmasıyla alakalı herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı; Uludaę ęöknarı odunundan elde edilmiş yapısal tahtaların çekme testi esaslarına göre makine mukavemet sınıflandırma proseslerini irdelemek, boyuna vibrasyon ve enine vibrasyon yöntemleri için makine ayarları oluşturarak karşılaştırmaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, ticari bir firmadan temin edilmiş ve  $\%12 \pm 3$  rutubete kadar kurutulmuş 160 adet 30 mm x 90 mm x 1700 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerinde Uludağ ęöknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) odun örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin nem içerikleri şekil 1'de gösterildiği gibi TS EN 13183-2 (2002)'de tanımlanan prosedüre uygun olarak bir direnç tipi rutubet ölçer ile ölçülmüştür. Örneklere ait ortalama rutubet miktarı  $\%14,2$  olarak belirlenmiştir.

### 2.2 Yöntem

Bu çalışmada sırasıyla; TS 1265 (2012) standardına göre görsel değerlendirme ve budak çapı oranlarının (BO) belirlenmesi, boyuna ve enine vibrasyon yöntemleri kullanılarak örneklerde dinamik elastikiyet modüllerinin (MOEd) hesaplanması ve TS EN 408 (2014) standardına göre yapısal boyutta çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak TS EN 14081-2 (2022) standardına göre hem boyuna hem de enine vibrasyon yöntemleri için makine ayarları

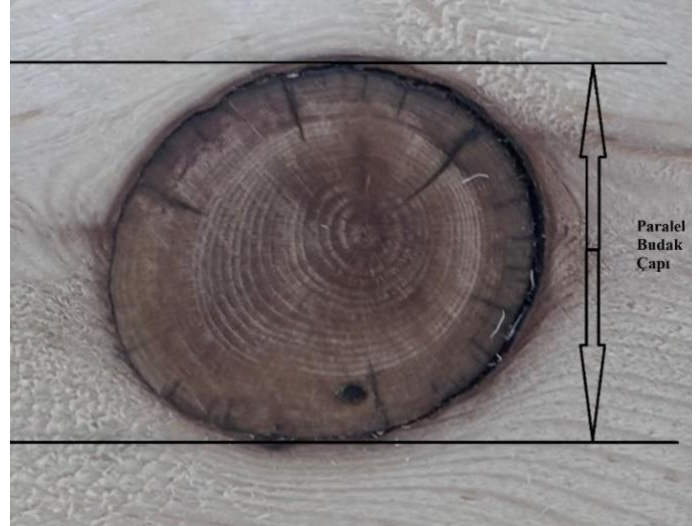
oluşturularak mukavemet sınıfları belirlenmiştir. Tüm prosedürler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.



Şekil 1. Direnç tipi rutubet ler (Hydrometer HT 65, GANN, Almanya) ile örneklerde rutubet miktarının belirlenmesi

### 2.2.1 TS 1265 standardına göre görsel değerlendirme ve budak çapı oranlarının belirlenmesi

Örneklerin içerdiği kusurları tespit etmek amacıyla TS 1265 (2012) standardından yararlanılarak görsel değerlendirme yapılmıştır. Makine mukavemet sınıflandırması için izin verilen kusur limit değerleri TS EN 14081-1 (2019) standardına göre belirlenmiştir. Bu standartta T11 ve altında olan mukavemet sınıfları için geniş yüzeyde bulunan budakların çaplarının malzeme genişliğinin yarısından daha az olması, dar yüzeyde bulunan budakların çaplarının ise malzeme kalınlığının %75'inden daha az olması istenmektedir. T11 st olan mukavemet sınıfları için ise geniş yüzeyde bulunan budakların çaplarının malzeme genişliğinin %20'sinden daha az olması ve dar yüzeyde bulunan budakların çaplarının ise malzeme kalınlığının %50'sinden daha az olması gerektiği belirtilmektedir. TS 1265 (2012) standardında budakların çapları tahta, kalas ve lata için budağın bulunduğu yüzeyde paralel olan sınırları referans alınarak ölçülmektedir (Şekil 2). Makine ayarlarında bir değişken olarak kullanılan BO ise paralel budak çaplarının malzeme genişliğinin iki katına bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışmadaki örneklerde budak dışında kalan lif kıvrıklığı, sulama, çatlak ve rklk gibi kusurlar tespit edilemediği için onlara ait limit değerleri verilememiştir.

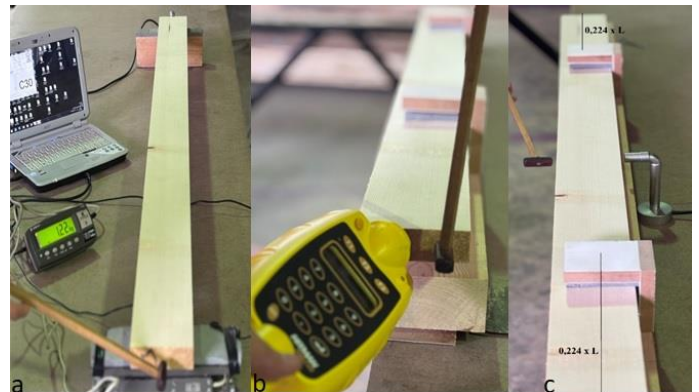


Şekil 2. Örneklerde budak çapının TS 1265 (2012) standardına göre llmesi

### 2.2.2 Tahribatsız testler

Görsel değerlendirmeden sonra tüm örneklerde tahribatsız testler yapılarak dinamik elastikiyet modülleri belirlenmiştir. Tahribatsız testlerde boyuna vibrasyon yöntemine dayanan PLG (Portatif Kereste Sınıflandırıcı, Fakopp, Macaristan) ve Hitman HM220 (Fibre-gen, Yeni Zelanda) cihazları kullanılmıştır. Ayrıca yine PLG cihazı kullanılarak enine vibrasyon yöntemine dayanan eğilme vibrasyonu hesaplanmıştır.

PLG cihazı ile yapılan boyuna vibrasyon testlerinde dinamik elastikiyet modülü ( $MOE_{d,PLG}$ ) hesaplanmıştır. Cihaza ait özel iki adet mesnetin üzerine koyulan örneklerin enine kesatine eki vasıtasıyla vurularak stres dalgaları oluşturulmuştur. Düzeneğin diğer ucunda bulunan dinamik mikrofon ve Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yazılımı ile malzemeye ait doğal frekans değeri okunmuştur (Şekil 2a). Elde edilen doğal frekans değeri malzeme uzunluğunun iki katıyla çarpılarak tüm örnekler için hız (V) değerleri (metre (m)/saniye (s)) hesaplanmıştır. Mesnetlerden bir tanesi tartı görevi gördüğünden örneklerin ağırlığı eř zamanlı olarak kaydedilmiştir. Örneklerin kesit ölçüleri kumpas ve metre yardımıyla llrek hacmi belirlenmiş ve kütlenin hacme oranlanmasıyla da yoğunluğu  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) hesaplanmıştır.



Şekil 2. Tahribatsız test düzenekleri; (a) PLG, (b) Hitman, (c) enine vibrasyon

Hitman HM220 cihazı kullanılarak örneklerde boyuna vibrasyon yöntemine dayanan dinamik elastikiyet modülü ( $MOE_{d,HITMAN}$ ) hesaplanmıştır. Cihaz, örneğin enine kesitine bastırılarak çekiç yardımıyla aynı yerden stres dalga oluşturulmuştur (Şekil 2b). Cihazın ekranından hız değeri okunarak kaydedilmiştir. Ardından tüm örneklerin boyuna vibrasyon yöntemine göre %12 rutubetteki dinamik elastikiyet modülü değerleri TS EN 14081-2 (2022) standardında gösterildiği gibi Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$MOE_{d,PLG \text{ ve Hitman},\%12} = \frac{(V)^2 \rho}{1-0.01(u-12)} 10^{-6} \quad (1)$$

Burada;  $MOE_{d,PLG \text{ ve Hitman},\%12}$  PLG ve Hitman cihazları kullanılarak elde edilen %12 rutubetteki dinamik elastikiyet modülü (MPa), V hız (m/s),  $\rho$  numunenin yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) ve u direnç tipi rutubet ölçer ile elde edilen rutubet miktarı (%).

Vibrasyon yönteminde dinamik elastikiyet modülü sadece boyuna yönde değil liflere dik (transverse) yönde uygulanan bir stres dalga üzerinden de tespit edilebilmektedir. Buna eğilme vibrasyonu denmektedir. Bu çalışmada PLG cihazı kullanılarak Mod 1'e göre iki mesnet noktasından desteklenen örneklerin eğilme frekansları ölçülmüştür. Sonrasında örneklere ait dinamik elastikiyet modülü ( $MOE_{d,E.V}$ ) Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır. Şekil 2c'de Mod 1'e göre ayarlanmış eğilme vibrasyon test düzeneği gösterilmiştir. Mesnetlerin uzakları 0,224xL olarak belirlenmiştir (Ross, 2015). Enine vibrasyon yönteminde elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri, boyuna vibrasyon yöntemindeki gibi %12 rutubet miktarına tahvil edilmiştir.

$$MOE_{d,E.V} = \left( \frac{2f_n}{\gamma_n \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I} \quad (2)$$

Burada;  $MOE_{d,E.V}$  enine vibrasyon yöntemiyle elde edilen dinamik elastikiyet modülünü (MPa),  $f_n$  eğilme vibrasyon frekansını (Hz), n mod numarasını (1),  $\gamma_n$  mod 1 için 2,267,  $\pi$  değeri 3,14, m örneğin ağırlığını (kg), L örneğin uzunluğunu (m) ve I Atalet momentini ( $mm^4$ ) ifade etmektedir.

### 2.2.3 Tahribatlı çekme testleri

Tahribatsız testlerden sonra 160 adet örnekte TS EN 408 (2014) standardına göre çekmede elastikiyet modülü ( $MOE_T$ ) ve çekme direnci ( $f_T$ ) testleri aynı anda yapılmıştır. Testler için 800 kN kapasiteli yatay çekme test cihazı (BESMAK, Türkiye) kullanılmıştır. Çekme başlıkları arasındaki mesafe 810 mm (9h) olarak ayarlanarak 2 adet 0,001 hassasiyetli lineer ölçüm sensörü (LVDT) 450 mm (5h) mesafede ölçüm köprüsüne bağlanarak deformasyon miktarı ölçülmüştür (Şekil 3a). Test hızı maksimum yüke (Şekil 3b) 3-5 dakika arasında ulaşılacak şekilde ayarlanmıştır.

Testler sonrasında örneklere ait liflere paralel çekmede elastikiyet modülü ve çekme direnci sırasıyla Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'e göre hesaplanmıştır.

$$MOE_T = \frac{l_1(F_2-F_1)}{A(w_2-w_1)} \quad (3)$$

$$f_T = \frac{F_{max}}{A} \quad (4)$$



Şekil 3. TS EN 408 (2014) standardına göre liflere paralel çekmede elastikiyet modülü (3a) ve liflere paralel çekme direnci (3b) test düzeneği

Burada;  $MOE_T$  liflere paralel yönde çekmede elastikiyet modülünü (MPa),  $f_T$  liflere paralel yönde çekme direncini (MPa),  $l_1$  ölçüm köprüsü açıklığını 5h (mm),  $F_2 - F_1$  maksimum çekme kuvvetinin %40'ı ve %10'u arasındaki farkını (N),  $w_2 - w_1$  maksimum çekme kuvvetinin %40'ı ve %10'undaki kuvvetlere karşılık gelen deformasyonların arasındaki farkı (mm), A malzemenin kesit alanını ( $mm^2$ ),  $F_{max}$  çekmede maksimum kuvveti (N) ifade etmektedir.

Örneklerin yoğunluk ve rutubet testleri, test sonrasında numunelerden kesilen tam en kesit ölçülerine sahip ve 30 mm uzunluktaki kusursuz parçalar üzerinde yapılmıştır (Şekil 4). Rutubet tayini için TS EN 13183-1 (2002) standardı kullanılmıştır. Yoğunluk için örneklerden kırıldıktan hemen sonra kesilen parçaların ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Hacimleri belirlenen örneklerde yoğunluk kütle hacim oranlanmasıyla  $kg/m^3$  cinsinden belirlenmiştir.



Şekil 4. Çekme testlerinden sonra kesilen yoğunluk ve rutubet örneklerinin kurutulması

### 2.2.4 Makine mukavemet sınıflandırması

Makine mukavemet sınıflandırması TS EN 14081-2 (2022) standardına göre yapılmıştır. Öncelikle tüm örneklerde yoğunluk ve çekmede elastikiyet modülü için rutubet tahvili yapılmıştır. Örnek genişliği 90 mm olduğu için çekme direnci için boyut düzeltmesi yapılmıştır. Ayrıca elastikiyet modülü değerleri 0,95 katsayısına bölünmüştür. Bu işlemlerin tamamı TS EN 384 (2022) standardında tanımlanmıştır. Düzeltme ve tahvil işlemleri tamamlandıktan sonra sınıf belirleyici özellik (GDP) olarak liflere paralel çekmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve yoğunluk, belirleyici özellik (IP) olarak ise boyuna ve enine vibrasyon yöntemlerinden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri kullanılmıştır. Sonrasında IP ve GDP'ler ilişkiye getirilerek regresyon denklemleri elde edilmiş ve her yöntem için ayrı üç model oluşturulmuştur. Modeller elde edildikten sonra sırasıyla; uygun sınıfların belirlenmesi, atanmış sınıfların belirlenmesi, boyut matrisinin oluşturulması, temel

ağırlıklandırma matrisinin oluşturulması ve genel ağırlıklandırma matrisinin oluşturulması süreçleri tamamlanmıştır.

Uygun sınıfların belirlenmesinde liflere paralel çekmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve yoğunluk değerleri kullanılarak örnekler bireysel olarak TS EN 338 (2016) standardındaki çekme mukavemet sınıflarıyla (T) eşleştirilmiştir. Aynı değerler oluşturulan regresyon denklemleriyle tekrardan hesaplanarak TS EN 338 (2016) standardındaki mukavemet sınıflarıyla eşleştirilerek atanmış sınıflar belirlenmiştir. Aynı sınıfta olan örnekler gruplandırılarak parametrik olmayan yöntemlerle çekme ve yoğunluk için karakteristik değerleri, elastikiyet modülü için ise ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan karakteristik değerler uygun sınıfın karakteristik değerini karşılayana kadar gruplandırma işlemi devam etmiştir. Uygun sınıf karakteristik değerleri ile hesaplanan karakteristik değerlerin eşleşmesiyle o mukavemet sınıfı uygun sınıf olarak belirlenmiştir. Sonrasında bu işlemler diğer uygun sınıflar için de uygulanmıştır.

160 adet örnek uygun sınıf ve atanmış sınıf olarak eşleştirilerek bir boyut matrisi oluşturulmuştur. Böylece bir uygun sınıf için her bir atanmış sınıfta kaç adet örnek olduğu anlaşılmaktadır. Boyut matrisinin tamamlanmasından sonra temel ağırlıklandırma matrisi oluşturulmuştur. Temel ağırlıklandırma matrisi atanmış örneklerin yanlış olarak alt ve üst mukavemet sınıflara atanması durumunda bazı katsayılar ile değerlendirilmesini ön görmektedir. TS EN 14081-2 (2022) standardına göre yanlış olarak alt mukavemet sınıfına atanan örnekler için katsayılar Eşitlik 5'e göre, yanlış olarak üst mukavemet sınıfına atanan örnekler için katsayılar sırasıyla Eşitlik 6,7,8 ve 9'a göre hesaplanmaktadır.

$$COST = 10 \left[ \left( \frac{E_{uygun}}{E_{atanmiş}} \right)^\alpha - 1 \right] \quad (5)$$

Burada;  $E_{uygun}$  uygun sınıf için ortalama elastikiyet modülünü,  $E_{atanmış}$  atanmış sınıf için ortalama elastikiyet modülünü ve  $\alpha$ = çekme testleri için 1'i ifade etmektedir.

$$COST = 10(\beta_{tar} - \beta_{ach}), \quad (6)$$

$$\beta_{ach} = \frac{\mu(f_{uygun}) - \mu(f_{atanmış}) + 0,9\mu(f_{atanmış})}{0,3\mu(f_{uygun})}, \beta_{tar} = 3,0 \quad (7)$$

$$\mu(f_{uygun}) = e^{[ln(f_{k,uygun}) + 0,54]} \quad (8)$$

$$\mu(f_{atanmış}) = e^{[ln(f_{k,atanmış}) + 0,54]} \quad (9)$$

Burada;  $\beta_{tar}$  hedef güvenlik indeksini,  $\beta_{ach}$  elde edilen güvenlik indeksini,  $\mu$  = ortalama direnç değerini,  $f_{k,uygun}$  uygun sınıf için karakteristik çekme direncini ve  $f_{k,atanmış}$  atanmış sınıf için karakteristik çekme direncini ifade etmektedir.

Son aşamada ise genel ağırlıklandırma matrisi hesaplanmıştır. Matris hesaplanırken boyut matrisi ve temel

ağırlıklandırma matrisleri kullanılmaktadır. Genel ağırlıklandırma matrisindeki her bir hücredeki değer, boyut matrisindeki her bir hücredeki parça sayısının eşdeğer hücre temel ağırlıklandırma matrisindeki hesaplanan katsayıyla çarpımı ve atanan sınıftaki toplam parça sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır. TS EN 14081-2 (2022) standardına göre genel ağırlıklandırma matrisinde 0,40'tan büyük bir değer olmadığı takdirde makine sınıflandırması o yöntem için başarılı sayılmıştır.

### 2.2.5 İstatistik hesaplamalar

Yapılan ölçüm ve testlere ait ortalama değerler ve varyasyon katsayı değerleri IBM SPSS Statistics 31.0 paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tahribatsız ve tahribatlı testler arasındaki ilişkiler regresyon analiziyle incelenmiştir. Ayrıca makine mukavemet sınıflandırmasında kullanılmak üzere her bir yöntem için dinamik elastikiyet modülleri + BÇO – çekme direnci, dinamik elastikiyet modülleri + BÇO – çekmede elastikiyet modülü ve dinamik elastikiyet modülleri + BÇO – yoğunluk arasında çoklu regresyon analizi yapılarak bunlardan elde edilen verilerle makine ayarları yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Test edilen örneklerin rutubet miktarı (R.M), %12 rutubete tahvil edilmiş yoğunluk ( $\rho$ ), PLG cihazıyla elde edilen dinamik elastikiyet modülü ( $MOEd_{PLG}$ ), Hitman cihazıyla elde edilen dinamik elastikiyet modülü ( $MOEd_{Hitman}$ ), PLG cihazıyla enine vibrasyon yöntemiyle elde edilen dinamik elastikiyet modülü ( $MOEd_{E.V}$ ), liflere paralel çekmede elastikiyet modülü ( $MOE_T$ ) ve liflere paralel çekme direncine ( $f_T$ ) ait ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Ortalama değerlere ait varyasyon katsayıları (V.K) değerlerin altında parantez içinde gösterilmiştir.

Uludağ göknarı odun örneklerinde ortalama rutubet miktarı %13,1 ve ortalama yoğunluk değeri  $386 \text{ kg/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Kurul et al., (2024), Kurul et al., (2025) ve Kurul (2025b) yaptıkları çalışmalarda Uludağ göknarında hava kurusu yoğunluk değerini sırasıyla 410, 417 ve  $412 \text{ kg/m}^3$  olarak raporlamışlardır. Mevcut çalışmada elde edilen yoğunluk değeri yaklaşık %6 daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni yetiştirme yeri, büyüme hızı gibi temel farklılıklardan kaynaklı olabilir.

Boyuna vibrasyon esasına göre çalışan PLG ve Hitman cihazlarında dinamik elastikiyet modülü sırasıyla 9218 MPa ve 8826 MPa olarak belirlenmiştir. Hitman cihazından elde edilen dinamik modül değeri %4 daha küçük bulunmuştur. Enine vibrasyonda ise PLG ve Hitman cihazlarına göre sırasıyla %18,8 ve %15,2 daha düşük bulunmuştur. Böylelikle boyuna yöndeki vibrasyon hızının enine yöndeki vibrasyon hızına göre ses iletim hızında olduğu gibi daha yüksek olduğu söylenebilir. Uludağ göknarında yapılan statik çekme testleri sonucunda elastikiyet modülü 8663 MPa ve çekme direnci 27,4 MPa olarak belirlenmiştir.

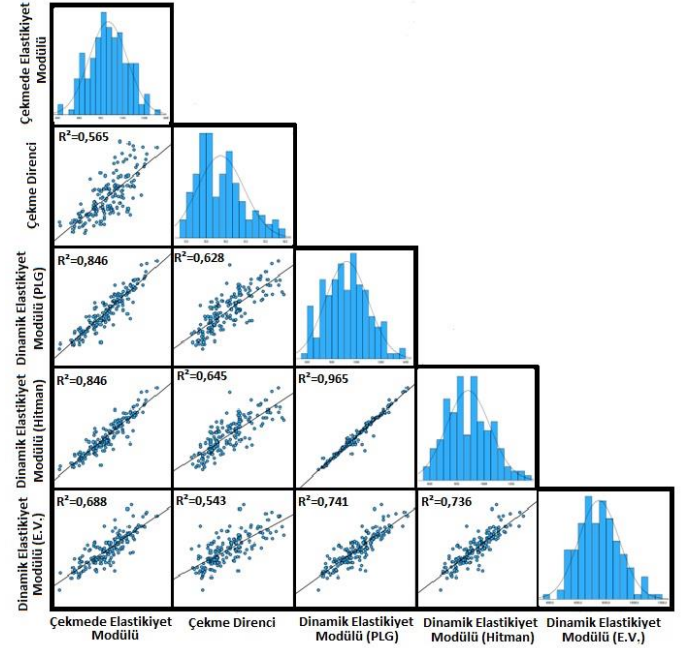
**Çizelge 1.** Uludağ göknarı yapısal tahtalarına ait tahribatsız ve tahribatlı test sonuçları

Adet	R.M (%)	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$MOEd_{PLG}$ (MPa)	$MOEd_{Hitman}$ (MPa)	$MOEd_{E.V}$ (MPa)	$MOE_T$ (MPa)	$f_T$ (MPa)
160	13,1 (4,0)	386 (8,3)	9218 (18,8)	8826 (18,2)	7486 (19,3)	8663 (20,4)	27,4 (43,1)

Briggert et al., (2020) Norveç ladininde (*Picea abies* L.) yaptıkları çalışmada çekmede elastikiyet modülünü farklı yetişme yerlerine göre 10400 MPa-130100 MPa arasında ortalama statik elastikiyet modülünü ise 12000 MPa olarak raporlamışlardır. Yine aynı çalışmada çekme direnci bölgelere göre 26,0 MPa-32,4 MPa arasında ortalama direnç değeri ise 30,4 MPa olarak belirlenmiştir. Norveç ladininde ortalama yoğunluk değeri ise 447 kg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir. Gil-Moreno et al., (2022) Sitka ladini (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) ve Norveç ladininin (*Picea abies* L.) bir kombinasyonu olan İngiliz ladini ve İskoç çamı (*Pinus sylvestris* L.) örnekleri üzerinde yaptıkları çekme testlerinde ortalama statik elastikiyet modülünü sırasıyla 8560 MPa ve 8230 MPa, ortalama çekme direncini ise sırasıyla 23,5 MPa ve 19,4 MPa olarak raporlamışlardır. Bu türlere ait yoğunluk değerleri ise 335 ve 437 kg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki farklı ağaç türlerine ait verilerle karşılaştırıldığında uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca örnek gruplarındaki farklı kusur oranları ve boyut farklılıkları da ortalama elastikiyet modülü ve direnç değerlerini etkilemektedir.

Tahribatlı ve tahribatsız testlerin birbirleriyle ve kendi aralarındaki korelasyon grafikleri, determinasyon katsayıları ve frekanslarını gösteren histogram grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Histogram grafikleri değişkenlerin kesişim noktalarına yerleştirilmiştir. Böylelikle test edilen verilerin dağılımları da gösterilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü ile çekme direnci arasında güçlü ( $R^2=0,565$ ), pozitif ve anlamlı korelasyon tespit edilmiştir. Briggert et al., (2020) Norveç ladininde ( $R^2=0,48$ ), Gil-Moreno et al., (2022) İngiliz ladininde ( $R^2=0,33$ ) ve sarıçamda ( $R^2=0,67$ ), Martins et al., (2023) okalıptüste (*Eucalyptus globulus* Labill) ( $R^2=0,21$ ) ve Lovrić Vranković et al., (2025) Avrupa gürgeninde (*Carpinus betulus* L.) ( $R^2=0,54$ ) farklı ilişkiler belirlemişlerdir. Çekmede elastikiyet modülü ile boyuna vibrasyon yöntemi arasında güçlü ( $R^2=0,846$ ) korelasyon tespit edilmiştir. PLG ve Hitman cihazları benzer özellik göstermiştir. Enine vibrasyon yönteminde ise boyuna vibrasyon yöntemine göre daha düşük korelasyon tespit edilmiştir ( $R^2=0,688$ ). Briggert et al., (2020) boyuna vibrasyon yöntemine dayanan GoldenEye cihazı kullanarak ( $R^2=0,81$ ), Gil-Moreno et al., (2022) boyuna vibrasyon yöntemine dayanan MTG cihazı kullanarak İngiliz ladininde ( $R^2=0,75$ ) ve İskoç çamında ( $R^2=0,70$ ), Martins et al., (2023) yine MTG cihazı kullanarak okalıptüste ( $R^2=0,71$ ) ve Lovrić Vranković et al., (2025) uçuş süresi yöntemine dayanan Sylvastest cihazı kullanarak ( $R^2=0,54$ ) olarak tespit etmişlerdir. Çekme direnci ile tahribatsız yöntemler arasında elastikiyet modülüne göre daha düşük korelasyonlar tespit edilmesine karşın yine de güçlü ve pozitif korelasyonlar elde edilmiştir (sırasıyla  $R^2=0,628$ - $0,645$ - $0,543$ ). Hitman cihazı direnç özellikleriyle en yüksek korelasyonu göstermiştir. Literatürde de benzer olarak direnç özelliklerinin elastikiyet modülüne göre tahribatsız yöntemlerle daha düşük ilişkiler gösterdiği görülmüştür. Briggert et al., (2020) Norveç ladininde ( $R^2=0,46$ ), Gil-Moreno et al., (2022) İngiliz ladininde ( $R^2=0,31$ ) ve sarıçamda ( $R^2=0,45$ ), Martins et al., (2023) okalıptüste ( $R^2=0,17$ ) ve Lovrić Vranković et al., (2025) Avrupa gürgeninde ( $R^2=0,14$ ) olarak belirlemiştir. Çekme direnci, çekmede elastikiyet modülüne göre kusurlardan daha çok etkilendiği için daha düşük korelasyonlar verdiği düşünülmektedir. Tahribatsız cihazların kendi aralarındaki

korelasyonlar incelendiğinde PLG ve Hitman cihazı arasında çok güçlü korelasyon ( $R^2=0,965$ ) olduğu görülmektedir. Bu cihazların birbiri yerine kullanılabileceği düşünülmektedir. Enine vibrasyon yönteminin ise boyuna vibrasyon yöntemiyle güçlü korelasyon gösterdiği (sırasıyla  $R^2=0,741$  ve  $R^2=0,746$ ) ama hem elastikiyet modülü hem de direnç özellikleriyle boyuna vibrasyon yönteminden daha düşük ilişkiler gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 5. Tahribatlı ve tahribatsız testlerin birbirleri ve kendi aralarındaki ilişkiler

Şekil 5'te gösterilen ilişkiler dışında tahribatlı testlerin yoğunluk ve BÇO ile olan ilişkileri de ayrıca değerlendirilmiştir. Buna göre çekme direnci ile yoğunluk arasında düşük ve pozitif ( $R^2=0,173$ ), çekme direnci ile BÇO arasında ise orta düzeyde ve negatif ( $R^2=0,392$ ) ilişkiler tespit edilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü ile yoğunluk arasında düşük ve pozitif ( $R^2=0,190$ ), BÇO ile ise yine orta düzeyde ve negatif ( $R^2=0,226$ ) ilişkiler tespit edilmiştir. Budak çapı oranının özellikle direnç ile daha yüksek ilişkide olduğu görülmektedir. Elastikiyet modülü elastik bölgedeki yüklere maruz kaldığı için bu sonuç anlamlıdır. Budaklar elastik bölgeyi geçen yüklemelerde daha fazla etkiye sahiptir. Bu nedenle makine ayarlarında bir değişken olarak sürece dahil edilmektedir. Gil-Moreno et al., (2022) ladininde yoğunluk ile çekme direnci ve elastikiyet modülü arasında (sırasıyla  $R^2=0,01$  ve  $R^2=0,01$ ) anlamlı bir ilişki tespit edememiştir. Sarıçamda ise orta düzeyde ( $R^2=0,38$  ve  $R^2=0,46$ ) ilişkiler raporlamıştır. Aynı çalışmada BÇO ile çekme direnci arasında ladinde düşük ( $R^2=0,05$ ) ve sarıçamda yüksek ( $R^2=0,55$ ) korelasyonlar tespit etmiştir. Lovrić Vranković et al., (2025) gürgende yaptığı çalışmada yoğunluk ile çekme direnci ve elastikiyet modülü arasında düşük ve orta düzeyde (sırasıyla  $R^2=0,14$  ve  $R^2=0,32$ ) ilişkiler, budak oranı ile çekme direnci ve elastikiyet modülü arasında ise orta ve düşük düzeyde (sırasıyla  $R^2=0,28$  ve  $R^2=0,01$ ) korelasyonlar raporlamıştır.

Elde edilen ilişkilerin tamamı dikkate alınarak çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri ile tahribatsız testler arasındaki korelasyonu artırmak amacıyla

BÇO değişkeni de eklenmiş ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çizelge 2'de her IP ve GDP için determinasyon katsayıları gösterilmiş olup çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen denklemler, f istatistiği ve önem düzeyleri

verilmiştir. BÇO eklenmesiyle özellikle çekme direnci ve yoğunluk ile tahribatsız testler arasındaki ilişki artmıştır. Çekmede elastikiyet modülünde ise ilişkiler benzerdir.

**Çizelge 2.** Çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen makine ayarları ve tanımlayıcı istatistik bilgileri

IP	GDP	R <sup>2</sup>	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
MOE <sub>d,PLG</sub> +BÇO	f <sub>T</sub>	0,691	0,004*IP-26,34*BÇO-5,31	175,916	0,001
	E <sub>T</sub>	0,846	0,939*IP+8,67*BÇO+6,56	432,351	0,001
	ρ	0,200	0,007*IP+17,28*BÇO+310	19,670	0,001
MOE <sub>d,Hitman</sub> +BÇO	f <sub>T</sub>	0,703	0,005*IP-25,26*BÇO-7,86	185,828	0,001
	E <sub>T</sub>	0,846	1,015*IP+115,6*BÇO-330,7	431,422	0,001
	ρ	0,220	0,008*IP+20,97*BÇO+302,5	22,133	0,001
MOE <sub>d,E.V</sub> +BÇO	f <sub>T</sub>	0,627	0,005*IP-30,14*BÇO+1,51	131,985	0,001
	E <sub>T</sub>	0,691	0,969*IP-934,6*BÇO+1679,5	175,660	0,001
	ρ	0,225	0,009*IP+19,9*BÇO+306,75	21,442	0,001

Kullanılan tüm yöntemler için ideal mukavemet sınıfı kombinasyonu T14-T12-T10-T9-Sınıf Dışı (R) olarak belirlenmiştir. Çizelge 2'deki ayarlara göre sırasıyla PLG, Hitman ve E.V için hesaplanmış çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve yoğunluk değerlerine göre oluşturulan boyut matrisleri Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Farklı tahribatsız yöntemler için oluşturulan boyut matrisi

Yöntem	Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf				
		T14	T12	T10	T9	R
PLG	T14	20	6	2	0	0
	T12	3	31	4	1	0
	T10	0	8	31	6	3
	T9	0	1	5	3	3
	R	0	0	4	2	27
	Total	23	46	46	12	33
Hitman	T14	19	7	2	0	0
	T12	3	28	7	1	0
	T10	0	5	35	5	3
	T9	0	1	6	3	2
	R	0	0	3	3	27
	Total	22	41	53	12	32
E.V	T14	13	13	2	0	0
	T12	2	23	12	1	1
	T10	1	5	33	4	5
	T9	0	3	6	3	0
	R	0	1	7	5	20
	Total	16	45	60	13	26

Uygun ve atanmış mukavemet sınıfları dikkate alınarak oluşturulan temel ağırlıklandırma matrisi Çizelge 4'te verilmiştir. Tüm yöntemler için aynı çekme mukavemet sınıfları belirlendiği için tek bir temel ağırlıklandırma matrisi oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.** Belirlenen ideal çekme mukavemet sınıflarına göre oluşturulan temel ağırlıklandırma matrisi.

Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf				
	T14	T12	T10	T9	R
T14	0,00	1,58	3,75	4,67	9,57
T12	0,56	0,00	1,88	2,67	6,90
T10	1,33	0,67	0,00	0,67	4,23
T9	1,85	1,11	0,37	0,00	3,35
R	3,58	2,59	1,6	1,11	0,00

Boyut matrisi ve temel ağırlıklandırma matrisinin çarpılıp ilgili sütundaki toplam parça miktarına bölünmesiyle elde edilen genel ağırlıklandırma matrisi PLG, Hitman ve E.V için sırasıyla Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.** Farklı tahribatsız yöntemler için oluşturulan genel ağırlıklandırma matrisi.

Yöntem	Uygun Sınıf	Atanmış Sınıf				
		T14	T12	T10	T9	R
PLG	T14	0,00	0,21	0,16	0,00	0,00
	T12	0,07	0,00	0,16	0,22	0,00
	T10	0,00	0,12	0,00	0,33	0,38
	T9	0,00	0,02	0,04	0,00	0,30
	R	0,00	0,00	0,14	0,18	0,00
Hitman	T14	0,00	0,27	0,14	0,00	0,00
	T12	0,08	0,00	0,25	0,22	0,00
	T10	0,00	0,08	0,00	0,28	0,39
	T9	0,00	0,03	0,04	0,00	0,21
	R	0,00	0,00	0,09	0,28	0,00
E.V	T14	0,00	0,46	0,12	0,00	0,00
	T12	0,07	0,00	0,38	0,20	0,27
	T10	0,08	0,07	0,00	0,21	0,81
	T9	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00
	R	0,00	0,06	0,19	0,43	0,00

İdeal mukavemet sınıfı kombinasyonuna (T14-T12-T10-T9-R) ait karakteristik değerler Çizelge 6'da ve tüm yöntemler için her bir mukavemet sınıfına ait makine sınıflandırmasından elde edilen IP ayarları Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 6.** İdeal çekme mukavemet sınıfı kombinasyonuna ait karakteristik değerler

Karakteristik Değerler		Çekme Direnci (MPa)			Elastikiyet Modülü (GPa)			Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )		
Yöntem	Direnç Sınıfı	Ort.	V.K (%)	P/NP	$f_{05,i}$	$E_{0,ort}$	V.K (%)	Ort.	V.K (%)	$\rho_{05,i}$
PLG	T14	36,3	27,7	NP	17,3	11,8	5,7	401,9	4,3	370,9
Hitman	T12	30,3	28,3	NP	17,7	10,2	3,7	393,3	6,4	360,2
E.V.	T10	22,1	28,0	NP	12,1	8,8	5,0	374,4	6,6	342,1
	T9	20,0	23,9	NP	12,0	7,9	1,3	373,4	5,4	338,4
	R	13,8	35,0	NP	7,4	6,5	10,8	372,6	6,8	334,3

**Çizelge 7.** İdeal çekme mukavemet sınıfı kombinasyonuna ait IP ayarları

Kullanılacak Kesit Ölçüleri (mm)	Direnç Sınıfı	IP Ayarları (MPa)		
		PLG	Hitman	E.V.
81-99 genişlik 27-33 kalınlık	T14	11708	10724	9619
	T12	10110	9246	8071
	T10	8513	7768	6523
	T9	7980	7275	6007

Çizelge 6'ya göre belirlenen mukavemet sınıfları (T14-T12-T10-T9) için hesaplanan karakteristik değerlerin TS EN 338 (2016) standardında o mukavemet sınıfları için belirlenen limit değerlerini karşıladığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu örnek grubu için karakteristik değer şartını sağladığı söylenebilir. Diğer bir kısıt olan genel ağırlıklandırma matrisi (Çizelge 5) incelendiğinde PLG ve Hitman cihazları için tüm satır ve sütunların 0,4'den küçük olduğu, E.V yöntemi için ise üç adet hücrenin 0,4'den büyük olduğu görülmektedir. Bu nedenle PLG ve Hitman cihazları için yapılan bu ayarların TS EN 14081-2 (2022) standardına göre uygun olduğu, E.V yöntemin ise bu standardın ön gördüğü koşulu sağlamamasından dolayı uygun olmadığı söylenebilir. Daha fazla örnek ilave ederek ya da mukavemet sınıfı kombinasyonunu değiştirerek E.V yöntemi için farklı ayarlar yapılmalıdır. Çizelge 7'de verilen ayarların bu nedenle sadece PLG ve Hitman için uygulanması gerekmektedir. Buna göre PLG cihazında  $MOEd_{PLG} > 11708$  MPa olması durumunda örnekler T14 (C24), 11708-10110 MPa aralığında T12 (C20), 10110-8513 MPa aralığında T10 (C16) ve 8513-7980 MPa aralığında T9 (C14) mukavemet sınıfına atanacaktır. 7980 MPa'dan daha düşük değere sahip örnekler sınıf dışı olarak değerlendirilecektir. Hitman cihazından ise  $MOEd_{Hitman} > 10724$  MPa olması durumunda örnekler T14, 10724-9246 MPa aralığında T12, 9246-7768 MPa aralığında T10 ve 7768-7275 MPa aralığında T9 mukavemet sınıfına atanacaktır. 7275 MPa'dan daha düşük dinamik elastikiyet modülüne sahip örnek yine sınıf dışı olarak değerlendirilecektir. Belirlenen çekme mukavemet sınıfları için eğilme mukavemet sınıfı karşılıkları TS EN 14080 (2013) standardına göre parantez içinde verilmiştir. Buna göre T14 çekme mukavemet sınıfındaki örneklerden homojen glulamlar üretildiğinde mukavemet sınıfı karşılığı GL24h olarak isimlendirilebilecektir. Yine çekme mukavemet sınıfı bilinen örneklerde farklı mukavemet sınıfları bir araya getirilerek kombine glulamlar üretilmesine imkân sağlayacaktır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre;

- Uludağ göknar odunundan elde edilen yapısal tahtalarda çekme testi esaslarına göre boyuna ve enine vibrasyon yöntemleri kullanılarak makine mukavemet sınıflandırması yapılmıştır. İdeal çekme mukavemet kombinasyonu tüm gruplar için T14-T12-T10-T9-R olarak belirlenmiştir. Buna göre, PLG cihazı kullanılarak örneklerin %14'ü T14, %29'u T12, %29'u T10, %7'si T9 ve %21'i R mukavemet sınıflarına atanmıştır. Bu oranlar Hitman cihazında sırasıyla %14-%26-%33-%7-%20 olarak tespit edilmiştir. Boyuna vibrasyon yöntemine dayalı bu iki yöntemin makine verimlerinin benzer olduğu söylenebilir. E.V yönteminde ise bu ayarlar standardın ön gördüğü şartları sağlamadığı için kullanılamamıştır. Bundan dolayı enine vibrasyon yönteminin bu örneklem grubu ve ayarlar için uygun olmadığı söylenebilir.
- Makine mukavemet sınıflandırması sonucunda farklı cihazlarda farklı ayarlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle her farklı cihaz ve ağaç türü için bu ayarların yapılması gerekmektedir. Ayrıca yapılan ayarlar örneklem kesit ölçülerinin  $\pm\%10$ 'unu kapsamaktadır. Bu kapsamda yerli ağaç türlerimizde yapılacak makine mukavemet sınıflandırmaları için yerli bir tahribatsız cihaz geliştirilerek türlerimizin o cihaza göre ayarlanması ve yerli üretimin teşvik edilmesi önerilmektedir. Örneklem kesit ölçüleri belirlenirken piyasanın ihtiyaç duyduğu ölçüler ön plana çıkarılmalıdır.

Çekme testlerine dayalı makine mukavemet sınıflandırması, özellikle mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemelerin Avrupa normlarında üretilmesi için ihtiyaç duyulan en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Yerli üretimin kalitesini artırarak daha güvenilir yapısal malzemeler üretmek ve yurt dışı pazarına güçlü bir şekilde açılmak için yerli ağaç türlerimizde benzer çalışmaların artması gerekmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda hem görsel hem makine mukavemet sınıflandırması yapılmış yerli ağaç türlerinin sayısını artırmak, hammadde çeşitliliği yaratma bakımından çok önemlidir. Ayrıca, ilerleyen çalışmalarda geniş yapraklı ağaç türlerini de içeren daha kapsamlı çalışmaların yapılması da planlanmaktadır.

#### Kaynaklar

- As, N., Goker, Y., Dundar, T., 2006. Effect of knots on the physical and mechanical properties of Scots pine. Wood Res. 51(3), 51-58.
- Barriola, M. J., Aira, J. R., and Lafuente, E., 2020. Visual grading criteria for Japanese larch (*Larix kaempferi*)

- structural timber from Spain. *Journal of Forestry Research*, 31(6), 2605-2614. DOI:10.1007/s11676-019-01025-5
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., and Thiel, A., 2016. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331-351. DOI:10.1007/s00107-015-0999-5
- Briggert, A., Olsson, A., and Oscarsson, J., 2020. Prediction of tensile strength of sawn timber: definitions and performance of indicating properties based on surface laser scanning and dynamic excitation. *Materials and Structures*, 53(3), 54. DOI: 10.1617/s11527-020-01460-5
- Gil-Moreno, D., Ridley-Ellis, D., O'Ceallaigh, C., and Harte, A. M., 2022. The relationship between bending and tension strength of Irish and UK spruce and pine. *European Journal of Wood and Wood Products*, 80(3), 585-596. DOI:10.1007/s00107-022-01787-6
- Koman, S., Feher, S., Abraham, J., Taschner, R., 2013. Effect of knots on the bending strength and the modulus of elasticity of wood. *Wood Res.* 58(4), 617-626.
- Kovryga, A., Stapel, P., and van de Kuilen, J., 2017. Quality control for machine strength graded timber. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(2), 233-247. DOI:10.1007/s00107-016-1105-3
- 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
- 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
- Kurul, F., Görgün, H. V., Şeker, S., Yılmaz, T., Dündar, T., and Ayrılmis, N., 2025. Experimental and numerical modeling of bending characteristics of fir and black pine wood from different forest regions in Türkiye. *Forests*, 16(5), 844. DOI:10.3390/fl16050844
- Kurul, F., 2025a. Cennet ağacından (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) elde edilen yapısal ahşabın Avrupa standartlarına göre mukavemet sınıflandırması. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 30-42. DOI:10.33725/mamad.1671131
- Kurul, F., 2025b. Gökmar ve karaçam tahtalarının TS 1265 standardına göre görsel mukavemet sınıflandırması. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 162-167. DOI: 10.53516/ajfr.1675730
- Liu, R., Yao, L., Gong, Y., and Wang, Z., 2025. Life cycle assessment with carbon footprint analysis in glulam buildings: a review. *Buildings*, 15(12), 2127. DOI: doi.org/10.3390/buildings15122127
- Lovrić Vranković, J., Uzelac Glavinić, I., Boko, I., and Torić, N., 2025. An experimental investigation on the tensile properties parallel to the grain of European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) boards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83(4), 130. DOI:10.1007/s00107-025-02286-0
- Martins, C., Moltini, G., Dias, A. M., and Baño, V., 2023. Machine grading of high-density hardwoods (southern blue gum) from tensile testing. *Forests*, 14(8), 1623. DOI: 10.3390/fl14081623
- 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), 2021. DOI: 10.3390/fl13122021
- 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(11), 4439-4450. DOI: 10.1617/s11527-016-0799-3
- Qu, H., Chen, M., Hu, Y., and Lyu, J., 2020. Effect of trees knot defects on wood quality: a review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI:10.1088/1757-899X/738/1/012027
- 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
- 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
- Rosa, T. O., Vieira, H. C., Terezo, R. F., da Cunha, A. B., Sampaio, C. A. D., Zangalli, C., and Waltrick, D. B., 2020. Visual and mechanical classification of the specie *Cryptomeria japonica* D. Don for using as glued laminated timber. *Ciencia Florestal*, 30(2), 451-462. DOI:10.5902/1980509837084
- Ross, R.J., Brashaw, B.K., Pellerin, R.F., 1998. Nondestructive evaluation of wood. *For. Prod. J.* 48(1), 14.
- Seco, J., Barra, M. R. D., Prieto, E. H., and Garcia, M. C., 2004. Mechanical characterization of timber from Spanish provenances of lario pine according to European standards. *Wood Science and Technology*, 38(1), 25-34. DOI:10.1007/s00226-003-0215-3
- Stapel, P., and van de Kuilen, J.-W. G., 2014a. 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
- Stapel, P., and van de Kuilen, J.-W. G., 2014b. Influence of cross-section and knot assessment on the strength of visually graded Norway spruce. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(2), 213-227. DOI:10.1007/s00107-013-0771-7
- TS 1265, 2012. Kereste - iğne yapraklı ağaç keresteleri - yapılarda kullanım için. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- 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 yapılandırılmış lamine kereste- bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 13183-1, 2002. Biçilmiş yapacak odun (kereste) parçasının rutubet muhtevası – Bölüm 1: Fırın kuruğu

- 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 14080, 2013. Ahşap yapılar – Tutkallı lamine kereste ve tutkallı masif ahşap – özellikler. 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.