



Karaçam (*Pinus nigra* A.) Kerestesinde Eğilme Özelliklerinin Stres Dalga Yöntemiyle Belirlenmesi

Ergün GÜNTEKİN¹, Zübeyde BÜLBÜL

Özet

Bu çalışmada karaçam (*Pinus nigra* A.) kerestesinde eğilme özellikleri stres dalga yöntemi kullanılarak tahmin edilmiş ve statik eğilme testleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, kerestelerin yoğunluk, rutubet ve ebatları MTG kereste sınıflandırma cihazına girilerek dinamik elastikiyet modülü (E_{dyn}) değerleri okunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise kerestelere üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Statik elastikiyet modülü (E_{stat}) ve eğilme direnç (E_D) değerleri eğilme testlerinden elde edilen yük – deformasyon eğrileri yardımıyla hesaplanmıştır. Regresyon modelleri kullanılarak E_{dyn} ile eğilme özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Çalışma sonuçlarına göre E_{dyn} ile E_{stat} arasında elde edilen regresyon katsayısı 0.74 bulunurken E_{dyn} ile E_D ve E_{stat} ile E_D arasında elde edilen regresyon katsayıları sırasıyla 0.42 ve 0.53 olmuştur. Çalışma sonuçlarına göre Karaçam kerestesinde elastikiyet modülü stres dalga yöntemiyle tahmin edilebilir ancak eğilme direnci için daha fazla teste ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, Eğilme özellikleri, Stres dalga

Determination of Bending Properties for Black Pine (*Pinus nigra* A.) Lumber using Stress Wave Method

Abstract

In this study; bending properties of Black pine wood (*Pinus nigra* A.) were predicted using stress – wave method and compared with static bending tests. By using the density, moisture, and dimensions of the samples in MTG Timber Grader device, dynamic modulus of elasticity values were determined. And then, samples were subjected to 3 point bending test. Modulus of elasticity and bending strengths were calculated using load – deformation curves. Regression models were developed to interpret relationships between dynamic modulus elasticity and bending properties. Results showed that there is a high regression coefficient 0.74 between dynamic modulus of elasticity and static modulus of elasticity. Regression coefficient between dynamic modulus of elasticity and static bending strength was measured as 0.42 and regression coefficient between static modulus of elasticity and static bending strength was measured as 0.53. Results indicate that modulus of elasticity for Black pine lumber can be predicted using stress wave method, but more tests should be conducted in order to interpret bending strength.

Key Words: Black pine, Bending properties, Stress wave

Giriş

Ahşabın malzemelerin mekanik özellikleri ile elastikiyet modülü arasında doğrusal bir ilişki olduğu için direnç özellikleri elastikiyet modülü kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Elastikiyet modülü, statik veya tahribatsız yöntemler kullanılarak tahmin edilebilmektedir.

Tahribatsız muayene (TM) bir malzeme özelliğinin kullanım yerindeki niteliğini bozmadan değerlendirilmesi olarak tanımlanabilir (Ross ve ark., 1998). Yük taşıyan elemanlar için kullanılan en eski tahribatsız muayene yöntemi gözle yapılan sınıflandırmadır (Bucur, 2006). 1960’larda ortaya çıkan ve ticari olarak kullanılan makine ile sınıflandırma günümüzde hala kullanılmaktadır (Galligan ve McDonald 2000). Son yıllarda geliştirilen teçhizatlar tahribatsız muayene alanında yapılan çalışmalarını da yansıtmaya başlamıştır.

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta

Vibrasyon ve ultrasonik dalga hızı elastikiyet modülü tahmininde öne çıkan teknikler olmuştur. Ultrasonik dalga hızının diğer tekniklere göre pratik kullanımı açısından avantajları bulunmaktadır (Esteban ve ark., 2009).

Stres-dalga-esaslı tahribatsız muayene yöntemlerini kullanarak ahşap malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmaların sayısı son yıllarda artmıştır. Bu yöntemlerin ahşap esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin tahmininde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ultrasonik dalga yayılım yöntemi dikili ağaçlarda kusur tespitinde (Najafi ve ark., 2009) başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Tomruklarda stres-dalga-esaslı elastikiyet modülü ile bu tomruklardan kesilen kerestelerdeki statik elastikiyet modülü arasındaki ilişki stres dalda yöntemi kullanılarak araştırılmış ve korelasyon katsayısının 0.44 ile 0.89 arasında değiştiği bulunmuştur (Ross ve ark., 1997). Wang ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada stres-dalga-hızı ve dikili ağaçlardaki dinamik elastikiyet modülü ile küçük örneklerin mekanik özellikleri arasındaki korelasyon katsayısının 0.63 ile 0.91 arasında olabileceği görülmüştür. Stres-dalga esaslı yöntemler ayrıca LVL, tabakalı kereste, yongalevha gibi ahşap esaslı kompozit malzemelerin elastikiyet özelliklerinin bulunmasında kullanılmış ve yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir (Esteban ve ark., 2009).

Stres-dalga yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar Ross ve Pellerin (1994) tarafından özetlenmiştir. Bu çalışmaya göre küçük ve kusursuz örneklerde statik ve dinamik elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayısı 0.87 ile 0.99 arasında değişmektedir. Statik ile dinamik elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayısının küçük örneklerde yüksek olduğu Divos ve Tanaka (2005) tarafından da onaylanmıştır.

Dünya üzerinde geniş doğal yayılışını yaptığı ülkemizde karaçam, 1.396.511 ha iyi koru, 807.870 ha bozuk koru olmak üzere toplam 2.204.381 hektarlık yayılış alanı ile Kızılçam'dan sonra en geniş doğal yayılış alanına sahip ikinci türdür (Alptekin, 1986). Çok geniş bir kullanım alanı olan karaçam odunu en çok inşaat kerestesi ve doğrama yapımında değerlendirilmektedir. Türkiye'de kereste üreten işletmelerde sınıflandırma işlemleri objektif olmayan görsel sınıflandırmaya dayanmaktadır. Ancak yapısal amaçlı kullanılacak kerestelerin objektif olarak değerlendirilecek bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı karaçam kerestesinin eğilme özelliklerini stres-dalga yöntemiyle tahmin etmektir.

Materyal ve Yöntem

Piyasadan rastgele temin edilen toplam 116 adet test örneğinin genişliği 100 ± 5 mm, kalınlığı yaklaşık 40 ± 2 mm, boyu ise 300 ± 5 cm'dir. Keresteler ilk önce, TS EN 1611-1 (2002) standardına referans alınarak görünüş özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Ağırlıkları tartılan örneklerin yoğunlukları hesaplanmış daha sonra elektrik-direnç tipi bir rutubet ölçer yardımıyla rutubet miktarları belirlenmiştir. MTG kereste sınıflandırma cihazında (Şekil 1) yukarıda ölçülen değerler (yoğunluk, rutubet, ebatlar) girilerek örneklerin E_{dyn} değerleri elde edilmiştir. Kereste örnekleri son olarak ASTM D 198 (2003) standardına göre 3 nokta eğilme testine (Şekil 2) tabi tutularak eğilmede elastikiyet modülü (E_{stat}) ve eğilme dirençleri (E_D) hesaplanmıştır. Eğilme testlerinde örneğin yaklaşık 90 saniye (± 10) içerisinde kırılması sağlanmıştır. Örneklerde E_D değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$E_D = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Burada;

E_D = Eğilme direnci (N/mm²),

P = Kırılma anında elde edilen maksimum kuvvet (N),

L = Mesnetler arası mesafe (mm),

h = Örnek yüksekliği (mm),

b = Örnek genişliği (mm).

E_{stat} değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$E_{stat} = \frac{\Delta F x L^3}{\Delta d x 4 x b x h^3}$$

Burada;

E_{stat} = Eğilmede elastikiyet modülü, (N/mm²),

ΔF = Elastik deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N), (F2-F1),

L = Mesnetler arası mesafe (mm),

b = Örnek genişliği (mm),

h = Örnek yüksekliği (mm),

Δd = (F2-F1) Kuvvet artışı nedeni ile test örneği uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı (mm)' dir.



Şekil 1. MTG cihazı ile E_{dyn} ölçümü



Şekil 2. Kerestelere uygulanan üç nokta eğilme testi

Elde edilen E_{dyn} , E_{stat} , E_D değerleri bir istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan kerestelerin ortalama yoğunluk (d), rutubet (R), E_{dyn} , E_{stat} , ve E_D değerleri Çizelge 1.' de gösterilmiştir. Kerestelerin yoğunluğu 0.29 ile 0.71 g/cm³ arasında değişmektedir, ortalama yoğunluk 0.52 g/cm³ ve varyasyon katsayısı %15.70'tir. Kerestelerde rutubet miktarı ise %9.3 ile %25.8 arasında değişmektedir, ortalama rutubet miktarı % 14.43 ve varyasyon katsayısı %18.09'dur. Görsel olarak sınıflandırılan kerestelerin 34 adedi 1. Sınıf, 55 adedi 2. Sınıf ve 26 adedi ise 3. Sınıftır. Çalışmada ölçülen parametrelerin varyasyon katsayılarının yüksek olması kerestelerde öz odun ve budak vb. kusurlar ihtiva etmesinden kaynaklanıyor olabilir. Çalışma sonuçları görsel kalite sınıfı yüksek olan kerestelerde E_{dyn} ve E_{stat} değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. E_{stat} üzerinde özellikle budakların yeri ve büyüklüğü önemlidir (Ross, 2010).

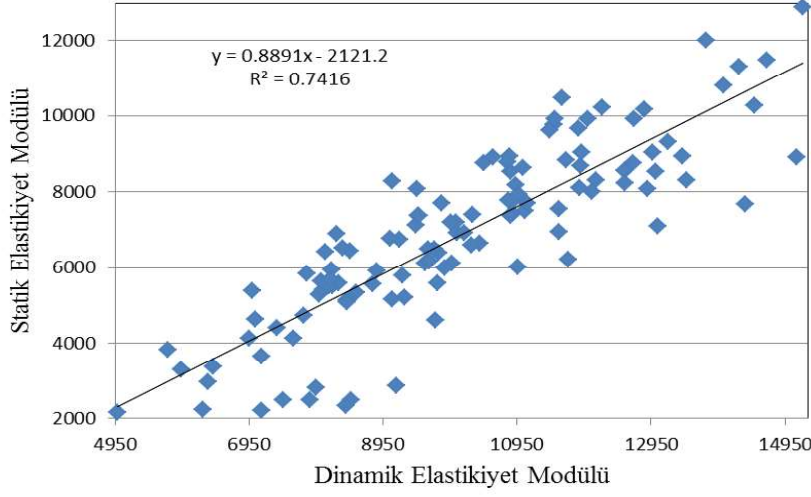
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kerestelerin ortalama yoğunluk (d), rutubet (R), E_{dyn} , E_{stat} , ve E_D değerleri

Özellikler	Örnek Sayısı	Ortalama	Maksimum	Minimum	Varyasyon Katsayısı (%)
R (%)	116	14.43	25.8	9.3	18.09
d (g / cm ³)	116	0.52	0.71	0.29	15.70
E_{dyn} (N/mm ²)	116	10076	15221	4978	21.47
E_{stat} (N/mm ²)	116	7156	12879	3288	27.66
E_D (N/mm ²)	116	67	107	35	29.25

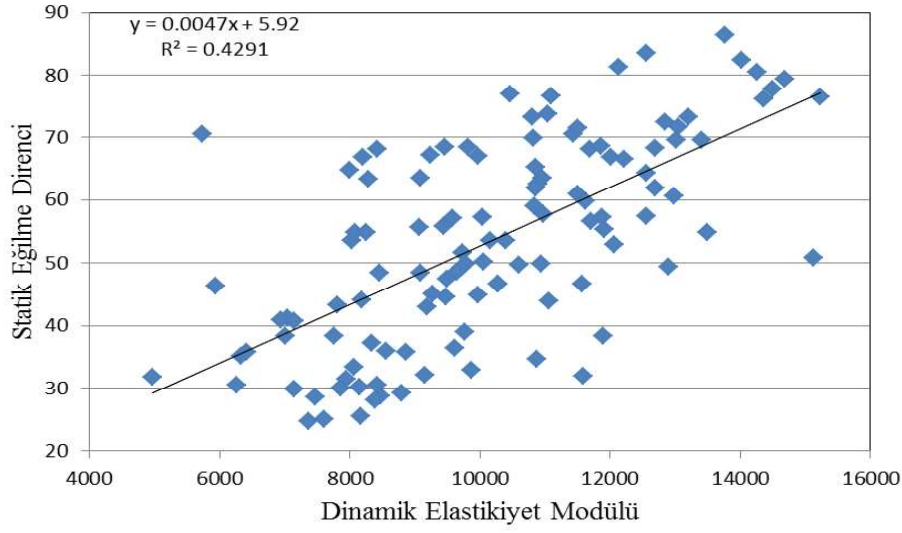
Kerestelerde MTG Timber Grader cihazı ile yapılan ölçümlerde E_{dyn} değerleri 4978-15221 N/mm² arasında değişmekte ve ortalama 10076 N/mm² olarak okunmuştur. E_{stat} değerleri ise 3288-12879 N/mm² arasında değişmekte ve ortalama değeri 7156 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre MTG kereste sınıflandırma cihazı ile yapılan ölçümlerde E_{dyn} değerleri statik yöntemlerle elde edilen E_{stat} değerlerinden genel olarak daha yüksektir. Bunun nedeni statik testlerde yapılan hesaplamalarda kesme gerilmelerinden dolayı oluşan deformasyon gösterilebilir (Teles ve ark., 2011; Passialis ve Adamopoulos, 2002; Barrett ve ark., 2008). Dinamik elastikiyet modülü kesmeden kaynaklanan deformasyonları içermez (Barrett ve ark., 2008).

MTG cihazı ile yapılan ölçümlerde dinamik E_{dyn} ve E_{stat} arasındaki regresyon katsayısı 0.74 olarak bulunmuştur. E_{dyn} ve E_{stat} değerleri arasındaki ilişki Şekil 3' te gösterilmiştir. Bu çalışmada E_{dyn} ile E_D arasındaki regresyon katsayısı 0.42 olarak bulunmuştur. E_{dyn} ile E_D arasındaki ilişki Şekil 4' te gösterilmektedir. E_{stat} ve E_D arasındaki regresyon katsayısı 0,53 olarak bulunmuş ve Şekil 5' te gösterilmiştir.

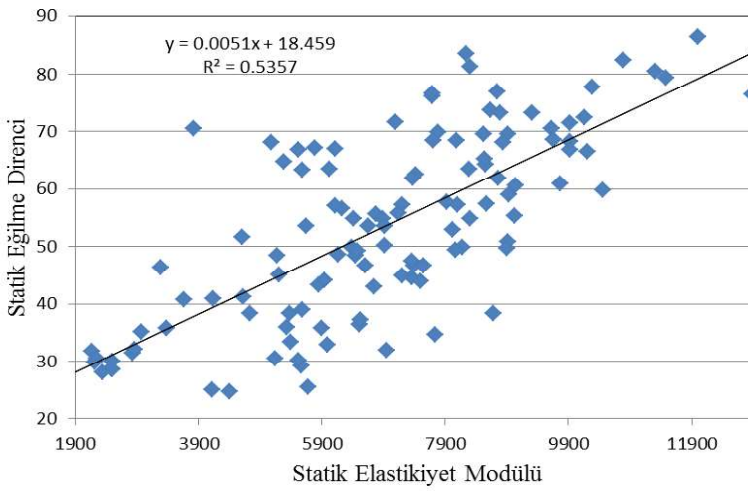
Karaçam kerestesinin E_{stat} ve E_D arasındaki regresyon katsayısı 0.5'in üzerindedir, fakat çok kuvvetli bir ilişki söz konusu değildir. Bu sonucun sebebi kullanılan Karaçam kerestelerinin kalite özelliklerinin (görsel sınıf) düşük olmasına bağlanabilir.



Şekil 3. Karaçam kerestelerinde E_{dyn} ve E_{stat} arasındaki ilişki



Şekil 4. Karaçam kerestelerinde E_{dyn} ile E_D arasındaki ilişki



Şekil 5. Karaçam kerestelerinde E_{stat} ve E_D arasındaki ilişki

Tahribatsız muayene çalışmalarında regresyon katsayıları kullanılan test metoduna, test edilen türe, rutubete, örnek tipine, ölçülerine, vb. parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. Ross ve Pellerin (1994) e göre regresyon katsayıları küçük ve kusursuz örneklerde 0.98, kerestede ise 0.88'e kadar çıkabilmektedir. Divos ve Tanaka'da (2005) kusursuz örneklerde E_{stat} ile E_{dyn} arasındaki regresyon katsayısının 0.9 ile 0.96 arasında olduğunu belirtmiştir. Biechele ve ark. (2010) ladin kerestesinde stres dalga ve vibrasyon yöntemleri kullanarak 0.8 ve 0.97 regresyon katsayısına ulaşmışlardır. Teles ve ark. (2011) stres dalga ve vibrasyon yöntemleri kullanarak yaptığı çalışmalarda tropik ağaç türü kerestelerinde E_{stat} ile E_{dyn} arasındaki regresyon katsayısının 0.84 ile 0.94 arasında değiştiğini bulmuştur. Ravenshorst ve van de Kuilen (2006) 30 farklı sert ağaç türünde yapılan tahribatlı ve tahribatsız testlerde E_{stat} ile E_{dyn} arasında 0.85, E_D ile E_{dyn} arasındaki 0.62 regresyon katsayılarına ulaşmıştır. Krzosek vd. (2008) Polonya'da yetmişmiş çam türlerinde yapısal amaçlı kerestelerde yaptıkları çalışmalarda E_{stat} ile E_{dyn} arasındaki regresyon katsayısının 0.84 olduğunu bulmuştur. Güntekin ve ark. (2013) tarafından kızılçam kerestelerinde stres dalga yöntemiyle yapılan çalışmada E_{dyn} ile E_{stat} arasındaki regresyon katsayısı 0.84, E_{dyn} ile E_D arasındaki regresyon katsayısı ise 0.69 bulunmuştur. Aynı çalışmada kereste görsel sınıflarının E_{dyn} üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Güntekin ve ark. (2014) tarafından 1. Sınıf kayın kerestelerinde yapılan eğilme testlerinde E_{dyn} ile E_{stat} arasındaki regresyon katsayısı 0.86, E_{dyn} ile E_D arasındaki regresyon katsayısı ise 0.72 bulunmuştur.

Eğilme özelliklerinden E_{stat} değerleri karaçam kerestesinde MTG ile tahmin edilebilir, ancak E_D değerlerinin tahmin edilebilmesi için daha fazla örnek test edilmesine veya tahmin için yoğunluk, kusurlar vb. gibi parametrelerin modelde kullanılması gerekmektedir.

Sonuç

Toplam 116 adet karaçam kerestesinde eğilme özellikleri stres dalga yöntemi ve üç nokta eğilme testi ile incelenmiştir. Kerestelerin E_{dyn} değerleri MTG kereste sınıflandırma cihazı kullanılarak elde edilmiştir. E_{dyn} ile eğilme özellikleri arasındaki ilişkiler doğrusal regresyon modelleri kullanılarak belirlenmiştir. Karaçam kerestelerinde E_{stat} değerleri E_{dyn} ile tahmin edildiğinde regresyon katsayısı 0.74 bulunmuştur. E_{dyn} ve E_{stat} değerleri ile E_D tahmininde regresyon katsayıları sırasıyla 0.42 ve 0.53 bulunmuştur. Bu katsayıların düşük olmasının sebebi kerestelerdeki budak ve çatlak gibi kusurlar olabilir. Çalışma sonuçlarına göre karaçam kerestesinde E_{dyn} , E_{stat} için iyi bir tahmin parametresi olarak kabul edilebilir. E_{dyn} kullanarak E_D tahmini için daha fazla veriye veya daha fazla parametreye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Alptekin C Ü, 1986. Karaçam'ın (*Pinus nigra ssp. pallasiana* Lamb. Holmboe) Coğrafik Varyasyonları, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), 170 s.,İstanbul.
- ASTM D 198. 2003. Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. Annual Book of ASTM Standards," West Conshohocken, PA, USA.
- Barrett J D, Lam F and Chen Y. 2008. Comparison of machine grading methods for Canadian hemlock, In: Proceedings of 10th WCTE Miyazaki, Japan.
- Biechele T, Chui Y H and Gong M. 2010. Assessing stiffness on finger-jointed timber with different non-destructive testing techniques, In: The Future of Quality Control for Wood & Wood Products, 4-7th May 2010, The Final Conference of COST Action E53, Edinburgh.
- Bucur V. 2006. Acoustics of Wood, Springer-Verlag, Berlin.

- Divós F and Tanaka T. 2005. Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood, *Acta Silv. Lign. Hung.* 1, 105-110.
- Esteban L G, Fernandez F G and de Palacios P. 2009. MOE prediction in *Abies pinsapo* Boiss. timber: Application of an artificial neural network using non-destructive testing, *Computers and Structures* 87, 1360-1365.
- Galligan W L and McDonald K A. 2000. Machine grading of lumber. Practical concerns for lumber producers, General Technical Report FPL-GTR-7, USDA Forest Service.
- Guntekin E, Emiroglu Z G and Yilmaz T. 2013. Prediction of bending properties for Turkish Red Pine Lumber using Stress Wave Method. *BioResources* 8(1): 231-237.
- Guntekin E, Ozkan S and Yilmaz T. 2014. Prediction of Bending Properties For Beech Lumber Using Stress Wave Method. *Maderas. Ciencia y tecnología* 16(1): 93-98,
- Krzosek S, Grzeskiewicz M and Bacher M. 2008. Mechanical properties of Polish – grown *Pinus sylvestris* L. Structural sawn timber, Conference COST E53, 29 – 30 October 2008, Delft, The Netherlands, pp. 253-260.
- Najafi S K, Shalbafan A and Ebrahimi G. 2009. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement, *Eur. J. Forest Res.* 128, 345-350.
- Passialis C and Adamopoulos S. 2002. A comparison of three NDT methods for determining the modulus of elasticity in flexure of fir and black locust small clear wood specimens, *Holz als Roh- und Werkstoff* 60, 323-324.
- Ravenshorst G J P and van de Kuilen J W G. 2006. An innovative species independent strength grading model, In: 9th World Conference in Timber Engineering. August 6-10, 2006.
- Ross, R (Ed.) 2010: *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. General Technical Report FPL-GTR 190, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Ross R J, Bradshaw B K and Pellerin R F. 1998. Nondestructive evaluation of wood, *Forest Products Journal*. 48, 14-19.
- Ross R J, McDonald K A, Green D W and Schad K C. 1997. Relationship between log and lumber modulus of elasticity, *Forest Products Journal* 47(2), 89-92.
- Ross R J and Pellerin R F. 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review, Gen. Tech. Rep. FPL- GTR-70 (Rev.), Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Teles R F, Del Menezzi C S, de Souza F and de Souza M R. 2011. Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: Interrelationship between methods and physical-acoustical variables, *Ciência da Madeira, Pelotas* 2(1), 01-14.
- TS EN 1611-1. 2002. Biçilmiş yapacak odun (kereste)- İğne yapraklı (yumuşak) odunların görünüşlerine göre sınıflandırılması, Bölüm 1: Avrupa ladinleri, göknarları, çamları ve duglas göknarları.
- Wang X, Ross R J, McClellan M, Barbour R J, Erickson J R, Forsman J W and McGinnis G D. 2000. Strength and stiffness assessment of standing trees using a nondestructive stress wave technique. Research Paper FPL-RP-585, USDA Forest Service.