

Karaçam Odununun Elastik Sabitlerinin Farklı Rutubet Şartlarında Ultrasonik Yöntem ile Belirlenmesi

Ergün GÜNTEKİN^{1,*}

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 17.02.2023

Kabul: 09.11.2023

Yayın: 15.12.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışmada Anadolu karaçamı odununun elastik sabitleri, farklı rutubet şartları altında ultrasonik yöntem kullanılarak incelenmiştir. Üç elastikiyet modülü (E_L , E_R , E_T), üç kesme modülü (G_{LR} , G_{LT} , G_{RT}) ve altı Poisson oranı (ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RL} , ν_{RT} , ν_{TL} , ν_{TR}) kenar uzunluğu 2 cm olan kübik örnekler kullanılarak hesaplanmıştır. Lif yönü (L), radyal (R) ve teğet (T) yönlerde boyuna ve enine ultrasonik ses dalgası hızları sırasıyla 2.25 MHz ve 1 MHz sensörler kullanılarak ölçülmüştür. Poisson oranlarının belirlenmesi için L, R ve T yönlerine 45° açıyla enine ses dalgası hızları da 1 MHz sensörle ölçülmüştür. Karaçam örneklerinde ölçülen ses hızları rutubet artışı ile ters orantılıdır. Genel olarak, sonuçlar ses hızları arasındaki iyi bilinen sıralamayı göstermektedir ($V_{11} > V_{22} > V_{66} > V_{55} > V_{33} > V_{44}$). Literatürde bulunan değerlerle karşılaştırıldığında; L, R ve T yönlerinde ultrasonik yöntemle tahmin edilen elastikiyet modülü değerleri benzer, kesme modülü değerleri, G_{RT} hariç biraz yüksektir. Poisson oranlarında daha yüksek farklar olmasına rağmen kabul edilebilir görünmektedir. Çalışma sonuçlarına göre, farklı rutubet koşullarında karaçam için elastik sabitlerin belirlenmesinde alternatif olarak ultrasonik yöntemin kullanılabilceği sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler – Karaçam, elastik sabitler, ultrasonik yöntem

Determination of Elastic Constants for Black Pine Wood Using Ultrasound under Different Humidity Regimes

¹ Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye

Article History

Received: 17.02.2023

Accepted: 09.11.2023

Published: 15.12.2023

Research Article

Abstract – In this study, elastic constants of Anatolian black pine wood were investigated using ultrasonic method under different humidity conditions. Three modulus of elasticity (E_L , E_R , E_T), three shear modulus (G_{LR} , G_{LT} , G_{RT}), and six Poisson's ratios (ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RL} , ν_{RT} , ν_{TL} , ν_{TR}) were calculated using cubic samples with a length of 2 cm. Longitudinal and transverse ultrasonic sound wave velocities in fiber (L), radial (R) and tangential (T) directions were measured using 2.25 MHz and 1 MHz sensors, respectively. In order to determine the Poisson ratios, transverse sound wave velocities at an angle of 45° to the L, R and T directions were also measured with a 1 MHz sensor. Sound velocities measured in black pine samples are inversely proportional to the increase in humidity. Overall, the results show the well-known order between sound velocities ($V_{11} > V_{22} > V_{66} > V_{55} > V_{33} > V_{44}$). Compared to the values found in the literature; elastic modulus values estimated by ultrasonic method in L, R and T directions are similar, shear modulus values are slightly higher except for G_{RT} . Although there are higher differences in Poisson's ratios, they are acceptable values. Results of the study indicate that ultrasonic method can be used as an alternative to determine the elastic constants for black pine wood under different humidity conditions.

Keywords – Black pine, elastic constants, ultrasound methods

¹ ergun.guntekin@btu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Ahşap, dokuzu bağımsız on iki elastik sabite sahip ortotropik bir malzeme olarak kabul edilir (Kretschmann, 2010). Ortotropik malzeme özellikleri üç Young modülü, üç kesme modülü ve altı Poisson oranı ile temsil edilir (Bodig ve Jayne, 1993). Yaygın ağaç türlerinin elastik sabitleri Dinwoodie (2000), Kretschmann (2010), Ozyhar vd. (2013), Aira vd. (2014), Davies vd. (2016), Güntekin ve Akar (2019), Aydın ve Özveren (2019) ve Güntekin'in (2022) çalışmalarında bulunabilir. Genel olarak, özgül ağırlık ve nem içerikleri, elastik özellikleri etkileyebilecek en etkili iki fiziksel parametredir (Kretschmann, 2010). Literatürde belirtilen elastik sabitlerin çoğu sabit rutubet şartlarında belirlenmiştir ve çoğu türün neme bağlı-elastik özellikleri mevcut değildir (Ozyhar vd., 2013; Ozyhar vd., 2014). Gelişmiş sonlu elemanlar yöntemlerinde üç boyutlu modellerin kullanılması, ayrıntılı sonuçlar elde etmek için tam elastik sabitlerin kullanılmasını gerektirir (Dahl, 2009).

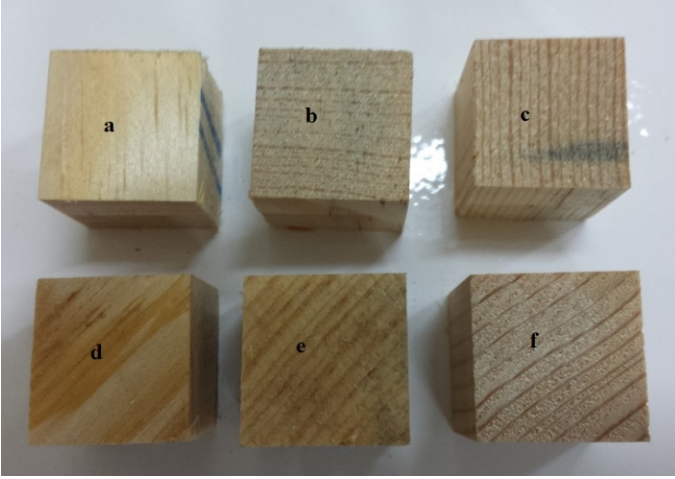
Elastik sabitler, hem statik hem de tahribatsız yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemeler alanında tahribatsız muayenenin kullanımı her geçen gün ilerlemektedir (Brashaw vd., 2009; Dündar ve Divos, 2014). Ultrasonik dalga hızının pratik açıdan diğer tekniklere göre avantajları vardır (Esteban vd. 2009). Ahşabın elastik özelliklerinin belirlenmesinde ultrasonik yöntem kullanılarak yapılan araştırmalar, elastik sabitlerin belirlenmesinde Christoffel denklemlerinin kullanılması için 1980'lerden beri yapılmaktadır (Bucur, 2006). Goncalves vd. (2011), prizmatik numuneleri hem ultrasonik yöntem hem de basma testleri kullanarak belirlemiş ve uyumlu sonuçlar elde etmiştir. Bucur ve Archer (1984), Özyhar vd. (2013), Poisson oranlarını çok yüksek sonuçlandıran kübik numuneler kullanmıştır. Gonçalvez vd. (2014) farklı geometrik örnekleri test etmiş ve çokyüzlü geometrinin en iyi sonuçları verdiğini bulmuştur. Vazquez vd. (2015), çokyüzlü numuneler kullanarak benzer sonuçlar bildirmiştir.

Anadolu karaçamı, Türkiye'de yetişen iğne yapraklı ağaçlar arasında ikinci en geniş alanı kaplamaktadır. Türkiye'de yetişen karaçam odununun bazı elastik sabitlerinin rutubete göre değiştiği Güntekin ve Demiratlı (2017) tarafından basma testlerinde belirlenmiştir. Bu çalışmada Anadolu karaçamı odunu için rutubete bağlı elastik sabitler ultrasonik yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan örnekler, Isparta, Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü sorumluluğundaki kızılçam-karaçam karışık meşceresinden çıkarılan karaçam tomruğundan elde edilmiştir. Tomruğun çapı yaklaşık 50 cm'dir. Tomruk bir kereste fabrikasında 2.5 cm kalınlıkta kalaslara biçildikten sonra oda sıcaklığında bekletilerek küçük örneklerin hazırlandığı ölçülere kesilmiştir. Şekil 1'de ultrasonik testlerde kullanılan 20 mm'lik kübik örnekler gösterilmiştir. Bu örneklerden 1a, 1b ve 1c sırasıyla lif yönü (L), radyal (R) ve teğet (T) yönlerdeki boyuna ve enine ses hızlarının ölçülmesinde ve E_i ve G_{ij} değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Şekil 1d, 1e ve 1f'deki örnekler ise sırasıyla L, R ve T yönlerine 45° açılı olacak şekilde hazırlanmıştır ve Poisson oranlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Ölçümler için tekrar sayısı 10'dur. Tüm numuneler 21 °C'de ve % 45, 65 ve 85 bağıl nemde ağırlıkları değişmeyinceye kadar Memmert® iklimlendirme kabiniinde bekletilmiştir. Numunelerin yoğunlukları, hacmi ve kütesinin ölçümlerine dayanan stereo-metrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Ultrasonik ses hızlarının ölçümü ve esneklik sabitlerin belirlenmesinde kullanılan örnekler. (a- C_{11} , C_{44} , b- C_{22} , C_{55} , c- C_{33} , C_{66} , d- C_{12} , e- C_{13} , f- C_{23})

2.2. Yöntem

Olympus® EPOCH 650 ultrasonik hata detektörü kullanılarak, L, R ve T yönlerinde üç boyuna ve altı enine (kesme) dalga hızı ve bunlara ek olarak anizotropinin ana eksenlerine göre 45° açıda üç enine dalga hızı ölçülmüştür. Boyuna dalga frekansı 2.25 MHz ve enine dalga frekansı 1 MHz'tir. Ölçümleri gerçekleştirmek için boyuna dalgalar için Olympus® A133S-RM temas sensörleri ve enine dalgalar için Olympus® V153-RM temas sensörleri kullanılmıştır. Ölçümler sırasında numune ve sensörler arasına jel uygulanmıştır. Ayrıca ölçüm sırasında elle küçük bir basınç uygulanmıştır (Şekil 2).

Ahşabın ortotropik elastik davranışı, Hooke'un üç boyutlu esneklik yasası ile açıklanabilir ve uygunluk matrisi (S_{ij}) ile ifade edilir. Uyumluluk matrisi, dokuzu bağımsız olan on iki sabitten oluşur; üç elastikiyet modülü veya Young modülü (E_L , E_R , E_T), üç rijitlik veya kesme modülü (G_{LR} , G_{LT} , G_{RT}) ve altı Poisson oranı (üçü bağımsız; ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RT}). Rijitlik matrisi (C_{ij}) ses hızları esas alınarak ve Christoffel tensörü kullanılarak Ozyhar vd. (2013) tarafından açıklandığı gibi eşitlik 2.1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Rijitlik matrisinin elemanları eşitlik 2.2-2.10'daki gibi hesaplanabilir.

$$C_{11} = C_{LL} = \rho V_{LL}^2 \quad (2.2)$$

$$C_{22} = C_{RR} = \rho V_{RR}^2 \quad (2.3)$$

$$C_{33} = C_{TT} = \rho V_{TT}^2 \quad (2.4)$$

$$C_{44} = C_{RT} = (\rho V_{RT}^2 + \rho V_{TR}^2) / 2 \quad (2.5)$$

$$C_{55} = C_{LT} = (\rho V_{LT}^2 + \rho V_{TL}^2) / 2 \quad (2.6)$$

$$C_{66} = C_{RL} = (\rho V_{RL}^2 + \rho V_{LR}^2) / 2 \quad (2.7)$$

$$C_{12} + C_{66} = \sqrt{(C_{11} + C_{66} - 2\rho V_{LR/LR}^2) + (C_{66} + C_{22} - 2\rho V_{LR/LR}^2)} \quad (2.8)$$

$$C_{13} + C_{55} = \sqrt{(C_{11} + C_{55} - 2\rho V_{LT/LT}^2) + (C_{33} + C_{55} - 2\rho V_{LT/LT}^2)} \quad (2.9)$$

$$C_{23} + C_{44} = \sqrt{(C_{22} + C_{44} - 2\rho V_{RT/RT}^2) + (C_{33} + C_{44} - 2\rho V_{RT/RT}^2)} \quad (2.10)$$

Burada:

C_{ij} = esneklik sabiti,

ρ = yoğunluk (kg/m^3),

V_{ij} = ultrasonik ses hızı (m/s).

Rijitlik matrisinin elemanları (C_{ij}), uygunluk matrisi (S_{ij}) cinsinden ifade edilen elastik sabitlerle ilişkilidir ve eşitlik 2.11'deki gibi gösterilebilir.

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{21}}{E_R} & -\frac{\nu_{31}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{32}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_L} & -\frac{\nu_{23}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Burada: E_i Young modülü veya Elastikiyet modülü, G_{ij} kesme modülü ve ν_{ij} Poisson oranlarıdır (Bodig ve Jayne, 1993).



Şekil 2. Kübik numunelerde ultrasonik ölçümler.

3. Bulgular ve Tartışma

Test edilen kübik numunelerin ortalama ses hızı değerleri ve bu değerlerden belirlenen elastik sabitler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. 21 °C'de ve %65 rutubet şartlarında ses hızları ölçülen numunelerin ortalama yoğunluğu 500 kg/m^3 'tür. 21 °C'de ve %45, %65 ve %85 bağıl nem şartlarında bekletilen örneklerin ortalama rutubet miktarları sırasıyla %8.15, %11.75 ve %17.8 olmuştur.

Genel olarak, sonuçlar ses hızları arasındaki iyi bilinen düzeni göstermektedir; ($V_{11} > V_{22} > V_{66} > V_{55} > V_{33} > V_{44}$). Karaçam için bulunan L yönündeki ses hızı, yumuşak ağaç türleri için bildirilen ortalama ses hızlarından daha düşüktür. Ses hızları radyal ve teğet yönlerde benzerdir (Çizelge 1). Literatürde bazı yumuşak ağaç türleri için daha düşük ses hızları da bildirilmiştir (Oliveira vd., 2005; Baradit ve Niemz, 2012). Boyuna yöndeki dalga hızları, Bucur (2006) tarafından rapor edildiği gibi %12 rutubet miktarına sahip küçük ahşap örnekler için en yüksek ve 5000 ila 6000 m/s aralığındadır. Radyal yöndeki ses hızları genellikle boyuna dalga hızının

yaklaşık üçte biri kadardır. Radyal hız, teğetsel hızdan yaklaşık %50 daha yüksektir (Beall, 2002). Ahşabı oluşturan hücrel elemanların konumlanması ses hızının yayılmasında önemli rol oynar (Dackermann vd., 2016).

Tüm yönlerde ses hızları, beklendiği gibi artan rutubet ile bir miktar düşüş göstermektedir. Rutubet miktarı arttıkça lif doygunluğu noktasına kadar ses hızı azalmaktadır (Oliveira vd., 2005; Bucur, 2006). Türe ve ölçüm frekansına bağlı olarak azalma oranı %1 rutubet artışıyla %0.59 ile 0.7 arasında değişmektedir (Llana vd., 2014). Karaçam odununda rutubet içeriğindeki %9.2'lik artış ile L, R ve T yönlerindeki ses hızındaki azalma %17 – 20 arasında değişmiştir. Ses hızları ve ses hızlarından belirlenen elastik sabitler için varyasyon katsayısı %10'dan azdır.

Çizelge 1.

Karaçam için hesaplanan ses hızları (m/s)

RH (%)	V ₁₁	V ₂₂	V ₃₃	V ₄₄	V ₅₅	V ₆₆	V ₁₂	V ₁₃	V ₂₃
45	4631	2065	1169	990	1585	1666	1574	1274	792
65	4470	1961	1095	965	1525	1574	1510	1220	755
85	3930	1729	969	849	1342	1385	1329	1074	664
Yumuşak ağaç türleri ¹	5000-6000	1580-2330	1146-1990	298-600	1030-1660	1050-1630			

¹Bucur (2006)

Çizelge 2.

Karaçam odununun ultrasonik yöntem kullanılarak belirlenen elastik sabitleri

RH (%)	E _L	E _R	E _T	G _{RT}	G _{LT}	G _{LR}	U _{LR}	U _{LT}	U _{RT}	U _{TR}	U _{RL}	U _{TL}
45	9193	1517	536	500	1281	1388	0.90	0.29	0.99	0.32	0.18	0.02
65	8685	1390	476	475	1186	1239	0.87	0.28	0.98	0.30	0.17	0.02
85	6170	906	299	311	819	857	1.16	0.53	0.93	0.27	0.20	0.03

Güntekin ve Demiratl (2017) tarafından basma testlerinde farklı rutubet şartlarında hesaplanan elastik sabitler Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca benzer yoğunluk değerlerine sahip yumuşak ağaç türleri seçilerek Çizelge 4'te sunulmuştur.

Elastikiyet modülünün L, R ve T yönlerinde oranı (L:R:T) yaklaşık 18:2.9:1 (%65 bağıl nemde) olup, Kretschmann (2010) tarafından bildirilen yumuşak ağaç türlerindeki oranlara benzemektedir. Bodig ve Jayne'e (1993) göre, Elastikiyet modülünün ana yönlerdeki oranı türe bağlı olarak büyük ölçüde değişir, ancak ortalama oran 20:1.6:1 olarak kabul edilir.

Genel olarak, elastikiyet modülü L, R, T yönlerinde beklendiği gibi artan rutubet miktarı ile doğrusal olarak azalma eğilimindedir (Çizelge 2 ve 3). Ultrasonik yöntemle belirlenen elastikiyet modülünde L, R, T yönlerinde azalma yüzdeleri sırasıyla %48, %40 ve %44'dir. Ultrason kullanılarak tahmin edilen elastikiyet modülü değerleri, literatürdeki değerler ile karşılaştırıldığında benzerdir. Bucur'a (2006) göre, ultrasonik yöntemden elde edilen elastikiyet modülü statik modülden daha büyük olabilir, ancak dinamik ve statik modüller arasında genellikle güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. Dinamik olarak belirlenen elastik özelliklerin, statik testlerden hesaplanan değerlerle karşılaştırıldığında %10 ila %20 (hatta ultrasonik dalgaların frekansına bağlı olarak daha da fazla) arttığı bilinmektedir (Keunecke vd., 2011).

LR, LT ve RT düzlemlerindeki enine dalga hızlarından hesaplanan kesme modülü, özellikle RT düzleminde, literatürdeki değerlerden çok yüksektir. Bodig ve Jayne (1993), G_{LR}, G_{LT} ve G_{RT} arasındaki oranın 10:9.4:1 ve E_L / G_{LR} oranının 14:1 olduğunu belirtmiştir. Karaçam için daha düşük oranlar elde edilmiştir (%65 bağıl nemde 8:7.7:1). E_L ve G_{LR} arasındaki oran, Bodig ve Jayne (1993) tarafından sunulan değerlerin neredeyse yarısı

kadardır ($E_L/G_{LR} = 8$). E_L ve G_{LT} arasındaki oran 9'dur. Bu değer de yumuşak ağaçlar için verilen değer aralığından düşüktür (Çizelge 4). Kesme modülleri için hesaplanan değerlerin iyi bilinen $G_{LR} > G_{LT} > G_{RT}$ sıra ilişkisini takip ettiği açıktır. Kesme modülleri ile rutubet miktarı arasında ters orantı mevcuttur. Yapılan araştırmalar E:G oranının 8 ile 65 arasında değiştiğini göstermiştir (Divos vd., 1998, Harrison, 2006).

Çizelge 3.

Karaçam odununun basma testlerinden hesaplanan elastik sabitleri (Güntekin ve Demiralı, 2017).

RH (%)	E_L	E_R	E_T	G_{RT}	G_{LT}	G_{LR}	ν_{LR}	ν_{LT}	ν_{RT}	ν_{TR}	ν_{RL}	ν_{TL}
45	9175	1755	440	152	1105	1158	0.55	0.6	0.70	0.7	0.09	0.05
65	8552	1395	376	130	1002	1058	0.64	0.69	0.6	0.6	0.06	0.04
85	5190	882	216	103	780	840	0.57	0.55	0.55	0.78	0.11	0.04
¹	5500- 13700	747- 2357	349- 1146	90- 167	579- 1043	644- 1056	0.28- 0.48	0.27- 0.46	0.37- 0.53	0.24- 0.4	0.036- 0.083	0.025- 0.058

¹ Kretschmann, 2010

Kretschmann'a (2010) göre Poisson oranları ağaç türleri içinde ve arasında değişiklik göstermekte ve rutubet miktarı ile özgül ağırlıktan etkilenmektedir. Rutubetin odun türlerinin Poisson oranları üzerindeki etkisi litaretürde tutarlı değildir. Rutubet miktarının Poisson oranları üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı Ozyhar vd. (2013) tarafından; artan rutubet miktarı ile Poisson oranlarında hafif bir düşüş Hering vd. (2012) tarafından bildirilmiştir. Güntekin vd. (2016a, b) ise artan rutubet miktarı ile küçük bir artış bildirmiştir. Mizutani ve Ando'nun (2015) çalışmalarında lif doyumluk noktasının altındaki rutubet miktarının artmasıyla Poisson oranlarında (ν_{LR} , ν_{LT}) önemli bir düşüş rapor edilmiştir; Kretschmann ve Green'e (1996) göre rutubet etkisinin tutarsızlığı, Poisson oranlarındaki yüksek değişkenlik ile de açıklanabilir. Dinwoodie'nin (2000) işaret ettiği gibi, aynı ağaç içinde odun özellikleri her yönde değişiklik göstermektedir.

Ultrasonik yöntem kullanılarak tahmin edilen bazı Poisson oranları oldukça yüksektir. Yüksek Poisson oranları Bucur ve Archer (1984), Gonçalves vd. (2011) ve Ozyhar vd. (2013) tarafından da bulunmuştur. Yüksek Poisson oranları için makul bir açıklama yoktur. Ancak, ahşap için mükemmel elastik ortotropik simetri varsayımının tam olarak karşılanmayabileceğine dikkat edilmelidir. Çelişkili sonuçlar örnek farklılığından kaynaklanıyor olabilir. Brezilya'da yetişen bazı ağaç türleri için çokyüzlü numuneler üzerinde ultrasonik yöntem kullanılarak makul sonuçlar elde edilmiştir (Gonçalves vd., 2014; Vazquez vd., 2015). Yüksek Poisson oranları Aira vd. (2014) tarafından da rapor edilmiştir.

Çizelge 4.

Literatürden bazı yumuşak ağaç türlerinin elastik oranları

Tür	d (g/cm ³)	E_L	E_L/E_R	E_L/E_T	E_L / G_{LR}	E_L / G_{LT}	E_L / G_{RT}
Duglas göknarı ¹	0.5	12600	15	20	16	13	143
Batı melezi ¹	0.52	12900	13	15	16	14	143
Lobloli çamı ¹	0.51	12300	9	13	12	12	77
Uzun yapraklı çam ¹	0.59	13700	10	18	14	17	83
Bataklık çamı ¹	0.56	12100	14	24	20	22	111
Eğik çam ¹	0.59	13700	14	22	18	19	100
Sarıçam ²	0.504	10283	5	10	8	8	14
Sarıçam ³	0.55	16300	15	29	14	24	247
Duglas göknarı ³	0.59	16400	13	18	14	18	208
Karaçam ⁴	0.5	8685	6	19	7	7	19
Karaçam ⁵	0.52	8552	6	20	8	9	65

¹ Kretschmann (2010), ² Aira vd. (2014), ³ Dinwoodie (2000), ⁴ bu çalışmada ultrasonik yöntem, ⁵ Güntekin ve Demiralı (2017).

Poisson oranları söz konusu olduğunda, ultrasonik yöntem ve literatürdeki değerler arasında önemli farklar bulunmuştur. Ses hızlarından hesaplanan Poisson oranları v_{LR} , v_{RT} ve v_{RL} daha yüksek, Poisson oranları v_{LT} , v_{TR} ve v_{TL} daha düşük bulunmuştur. Ultrasonik testlerden belirlenen Poisson oranlarının çoğu artan rutubet miktarı ile artarken, v_{RT} ve v_{TR} azalmıştır.

4. Sonuçlar

Çalışma sonuçları, karaçamın elastik sabitlerinin ultrasonik yöntem kullanılarak tahmin edilebileceğini göstermektedir. Odunun değişkenliği göz önünde bulundurulduğunda, çalışma sonuçları kabul edilebilir düzeydedir. Bu çalışmada hesaplanan elastik oranlar diğer iğne yapraklı odunlarına göre daha düşüktür, ancak literatürde benzer oranlar bulunmaktadır. Elastikiyet modülü ve kesme modülü, artan rutubet miktarı ile önemli ölçüde azalmaktadır. Rutubet miktarının Poisson oranları üzerindeki etkisi tutarlı değildir. Ultrasonik yöntemin elastik modülü ve kesme modülünü tahmin etmede güvenilir olması beklenirken, Poisson oranlarını ölçmedeki güvenilirliği sorgulanabilir. Ses hızları farklı örneklerden ölçüldüğünde, Poisson oranlarını belirlemek için ultrason uygun bir yöntem olmayabilir. Çalışma sonuçları nümerik modellemelerde kullanılabilir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın tamamı yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Aira, J. R., Arriaga, F. & Gonzalez, G. I. (2014). Determination of the elastic constants of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood by means of compression. *Biosystems Engineering*, 126, 12-22.
- Aydin, T.Y. & Ozveren, A. 2019. Effects of moisture content on elastic constants of fir wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77, 63–70.
- Baradit, E. & Niemz, P. (2012). Elastic Constants of Some Native Chilean Wood Species Using Ultrasound Techniques. *Wood Research*, 57(3), 497-504.
- Beall, F. C. (2002). Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties. *Wood Science and Technology*, 36(3), 197-212.
- Bodig, J. & Jayne, B. A. (1993). Mechanics of wood and wood composites, Malabar, USA: Krieger Publishing Company.
- Brashaw, B. K., Bucur, V., Divos, F., Goncalves, R., Lu, J. & Meder, R. (2009). Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update. *Forest Products Journal*, 59(3), 7-14.
- Bucur, V. (2006). Acoustics of wood, Springer Verlag, Berlin.
- Bucur, V. & Archer, R. R. (1984). Elastic constants for wood by an ultrasonic method. *Wood Science and Technology*, 18, 255-265.
- Dackermann, U., Elsener, R., Li, J. & Crews, K. (2016). A comparative study of using static and ultrasonic material testing methods to determine the anisotropic material properties of wood. *Construction and Building Materials*, 102, 963-976.
- Dahl, K. B. (2009). Mechanical properties of clear wood from Norway Spruce. Doctoral theses. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. (Yayımlanmamış doktora tezi)
- Davies, N. T., Altaner, C. M. & Apiolaza, L. A. (2016). Elastic constants of green *Pinus radiata* wood. *New Zealand Journal of Forest Science*, December, 46:19.
- Dinwoodie, J. M. (2000). Timber: Its Nature and Behavior, CRC Press, London.

- Divos, F., Tanaka, T., Nagao, H. & Kato, H. (1998). Determination of shear modulus on construction size timber. *Wood Science and Technology*, 32, 393-402.
- Dündar, T. & Divos, F. (2014). European wood NDT&NDE research and practical applications. *Eurasian Journal of Forest Science*, 1(1), 35-43.
- Esteban, L. G., Fernandez, F. G. & de Palacios, P. (2009). MOE prediction in *Abies pinsapo* Boiss. timber: Application of an artificial neural network using nondestructive testing. *Computers and Structures*, 87, 1360-1365.
- Gonçalves, R., Trinca, A. J. & Cerri, D. G. P. (2011). Comparison of Elastic Constants of Wood Determined by Ultrasonic Wave Propagation and Static Compression Testing. *Wood and Fiber Science*, 43(1), 64-75.
- Gonçalves, R., Trinca, A. J. & Pellis, B. P. (2014). Elastic constants of wood determined by ultrasound using three geometries of specimens. *Wood Science and Technology*, 48, 269-287.
- Güntekin, E. 2022. Sedir Odununun (*Cedrus libani* A.) Elastik Sabitleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 436-443.
- Güntekin, E. & Akar, S. 2019. Influence of moisture content on elastic constants of scots pine wood subjected to compression. *Drewno*, 62(204), 41-53.
- Güntekin, E. & Demiral, S. 2017. Influence of Moisture Content on Some Elastic Constants of Black Pine Subjected to Compression. *Pro Ligno*, 13(2), 21-26.
- Güntekin, E., Aydın, T. Y. & Niemz, P. (2016a). Some Orthotropic Elastic Properties of *Fagus orientalis* as Influenced by Moisture Content. *Wood Research*, 61(1), 95-104.
- Güntekin, E., Aydın, T. Y. & Niemz, P. (2016b). Some Orthotropic Mechanical Properties of Sessile Oak (*Quercus Petrea*) as Influenced by Moisture Content. *Eurasian Journal of Forest Science*, 4(1), 40-47.
- Harrison, S. K. (2006). Comparison of Shear Modulus Test Methods. Master's Thesis, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, USA. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi)
- Hering, S., Keunecke, D. & Niemz, P. (2012). Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 45, 927-938.
- Keunecke, D., Merz, T., Sonderegger, W., Schneider, T. & Niemz, P. (2011). Stiffness moduli of various softwood and hardwood species determined with ultrasound. *Wood Material Science and Engineering*, 6, 91-94.
- Kretschmann, D. E. & Green, D. W. (1996). Modeling moisture content-mechanical property relationships for clear Southern Pine. *Wood and Fiber Science*, 28(3), 320-337.
- Kretschmann, D. E. (2010). Mechanical Properties of Wood "in: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, R.J. Ross (ed.), *General Technical Report FPL-GTR 190*, USDA Forest Products Laboratory, Madison.
- Llana, D. F., Gonzalez, G. I., Arriaga, F. & Niemz, P. (2014). Influence of Temperature and Moisture Content on Non-Destructive Measurements in Scots Pine Wood. *Wood Research*, 59(5), 769-780.
- Mizutani, M. & Ando, K. (2015). Influence of a wide range of moisture contents on the Poisson's ratio of wood. *Journal of Wood Science*, 61(1), 81-85.
- Oliveira, R. G. F., de Candian, M., Lucchette, F. F., Salgon, J. L. & Sales, A. (2005). Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. *Material Research*, 8, 11-14.
- Ozyhar, T., Hering, S., Sanabria, S.J. & Niemz, P. (2013). Determining moisture-dependent elastic characteristics of beech wood by means of ultrasonic waves. *Wood Science and Technology*, 47, 329-341.
- Ozyhar, T., Mohl, L., Hering, S., Hass, P., Zeindler, L., Ackermann, R. & Niemz P. (2014). Orthotropic hygric and mechanical material properties of oak wood. *Journal of Wood Material Science and Engineering*, 11(1), 36-45.

Vazquez, C., Golçalvez, R., Bertoldo, C., Bano, V., Vega, A., Crespo, J. & Guaita, M. D. (2015). Determination of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. using ultrasonic wave propagation and compression with static compression and bending methods. *Wood Science and Technology*, 49, 607-622.