

Sedir Odununun (*Cedrus libani* A.) Elastik Sabitleri

Ergün Güntekin^{1,*}

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 14.06.2022
Kabul: 03.10.2022
Yayın: 15.12.2022

Araştırma Makalesi



Öz – Günümüzde kullanılan bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemlerinde ahşap malzemenin optimum tasarımının yapılabilmesi için tüm elastik sabitlerinin bilinmesi gerekir. Ortotropik bir malzeme olan ahşabın bu sistemlere entegrasyonu için dokuz elastik sabite ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Sedir (*Cedrus libani* A.) odununun sabit sıcaklık ve rutubet koşullarında elastik sabitleri incelenmiştir. Elastik sabitler basma testleri uygulanan 20 x 20 x 60 mm ebatlarındaki örneklerden elde edilmiştir. İncelenen özellikler; lif yönü, radyal ve teğet yönlerde elastik modülü (E_L, E_R, E_T) üç ana düzlemde kayma modülü (G_{LR}, G_{LT}, G_{RT}) ve altı Poisson oranından ($\nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RL}, \nu_{RT}, \nu_{TL}, \nu_{TR}$) oluşmaktadır. Deneysel örneklerin üç farklı lif yönündeki basınç dirençleri de çalışmada belirlenmiştir. Yükleme sırasında meydana gelen şekil değişimleri çift eksenli ekstensometre kullanılarak ölçülmüştür. Elastik sabitler, gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Sedir odununda belirlenen E_L, E_R, E_T değerleri sırasıyla 7800, 890 ve 670 N/mm². G_{LR}, G_{LT}, G_{RT} değerleri ise sırasıyla 836, 780, 156 N/mm² ve Poisson oranları ise 0.052 ile 0.522 arasında değişmektedir. L, R ve T yönlerindeki basma dirençleri sırasıyla 44.1, 8.6 ve 7.6 N/mm² bulunmuştur. Çalışmada bulunan elastik sabitler, sedir odununun nümerik modellenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler – Sedir odunu, elastik sabitler, basma direnci.

Elastic Constants of Cedar (*Cedrus libani* A.) Wood

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

Article History

Received: 14.06.2022
Accepted: 03.10.2022
Published: 15.12.2022

Research Article

Abstract – In order to make the optimum design of wood material in computer aided design and production systems used today, all elastic constants must be known. Nine elastic constants are needed for the integration of wood which is an orthotropic material into these systems. In this study, elastic constants of Cedar (*Cedrus libani* A.) wood were investigated at constant temperature and relative humidity conditions. Elastic Constants were obtained from samples of 20 x 20 x 60 mm in compression tests. Three elastic moduli (E_L, E_R, E_T) in principal directions, three shear modulus in the LR, LT and TR planes and six Poisson's ratios ($\nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RL}, \nu_{RT}, \nu_{TL}, \nu_{TR}$) were evaluated. Compression strength of the specimens in L, R and T directions were also calculated. Strains occurred during loading were measured using bi-axial extensometer. Elastic constants were calculated from the load-deformation curves. E_L, E_R, E_T values determined in cedar wood were 7800, 890 and 670 N/mm², G_{LR}, G_{LT}, G_{RT} values were 836, 780, 156 N/mm², and Poisson ratios ranged between 0.052 and 0.522, respectively. The compressive strengths in the L, R and T directions were found as 44.1, 8.6 and 7.6 N/mm², respectively. Properties found in the study can be used in numerical modelling of cedar wood.

Keywords – Cedar wood, elastic constants, compression strength.

¹  ergun.guntekin@btu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Lübnan sediri (*C. libani* A.), Akdeniz bölgesine özgüdür ve *Pinaceae* familyası olan *Coniferae* sınıfının *C. atlantica*, *C. brevifolia*, *C. deodora* türlerini içeren *Cedrus* ailesine aittir (Berkel, 1951). Bu ağaç türlerinin odunları görünüşte benzer olduklarından birbirinden ayırt etmek zordur (Bozkurt ve Erdin, 1995). Ahşap antik çağlardan beri her toplumun yakıt ve yapı malzemesi olmuştur (Perlin, 2005). Lübnan'da yaşamış Fenikelilerin hayatın her alanında sedir ağacı odununu kullandıkları bildirilmiştir (Mayer ve Sevim, 1959).

Ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında daha geniş bilgi, güvenilir ahşap yapı tasarımına izin verir, ancak ilgili türlerin tam karakterizasyonunu gerektirir. Elastik sabitler, yük altındaki elemanların modellenmesinde önemlidir. Sedir odununun tüm elastik sabitleri bilinmemektedir, literatürdeki çalışmalar elastik özelliklerden genellikle sedir odunun eğilmedeki elastikiyet modülünü araştırmıştır (Demetci, 1986; As vd., 2001; Bal vd., 2012, 2013; Aydın, 2021; Efe, 2021).

Ahşap genellikle, dokuz bağımsız elastik sabitten oluşan ortotropik simetriye sahip bir malzeme olarak kabul edilir. 9 elastik sabit; 3 elastikiyet modülü (E_x, E_y, E_z), 3 Poisson oranı ($\nu_{yz}, \nu_{zx}, \nu_{xy}$) ve 3 kesme modülünden (G_{yz}, G_{zx}, G_{xy}) oluşmaktadır. Tüm ortotropik yönlerdeki elastik sabitler, mühendislik analizinde kullanılan sonlu elemanlar gibi gelişmiş hesaplama modelleri için temel girdi parametreleridir. Genel olarak, ortotropik malzemeler için elastik sabitler arasındaki ilişki denklem 2.1 ve 2.2'deki gibi gösterilir:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & -\frac{\nu_{zx}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{yz}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{zx}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada;

$$\frac{\nu_{yz}}{E_y} = \frac{\nu_{zy}}{E_z}, \quad \frac{\nu_{zx}}{E_z} = \frac{\nu_{xz}}{E_x}, \quad \frac{\nu_{xy}}{E_x} = \frac{\nu_{yx}}{E_y} \quad (2.2)$$

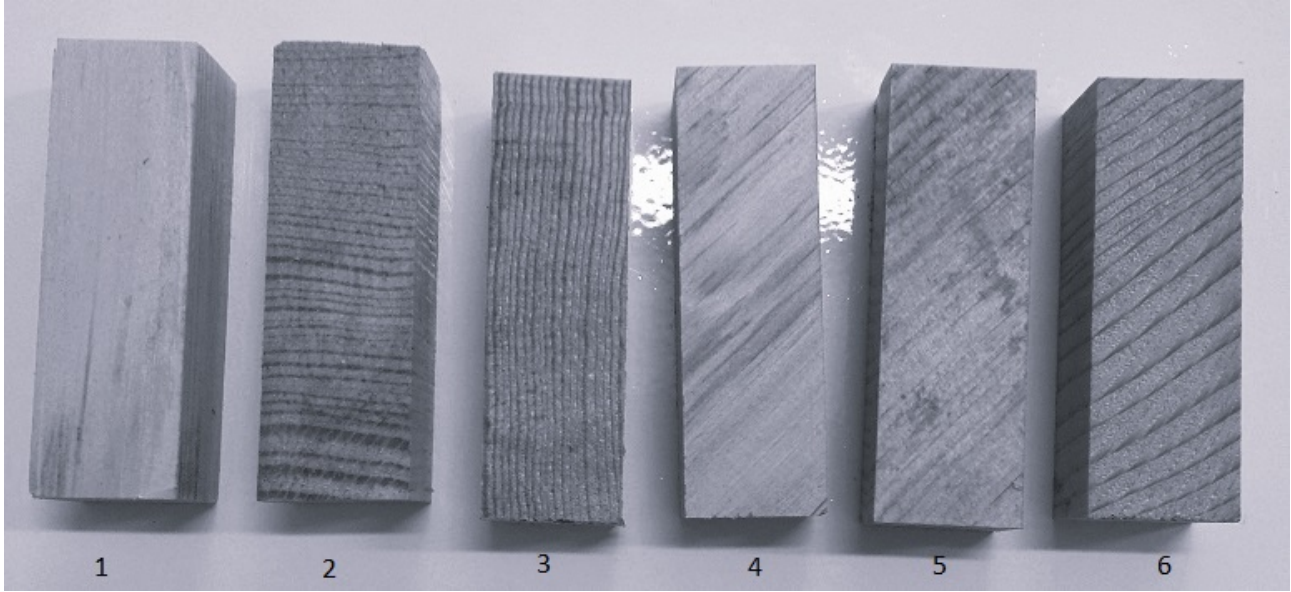
Ortotropik malzemelerde $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ normal gerilmeleri ile $\varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx}, \varepsilon_{xy}$ şekil değiştirmeleri arasında bir etkileşim olmadığına dikkat edilmelidir. (Bodig ve Jayne, 1993).

Günümüzde, yüksek değerli ürünlerin tasarımı ve mühendisliği için sonlu eleman modelleme (FEM) gibi bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri kullanılmaktadır. Güvenilir bir FEM tüm elastik sabitlerin mevcut olduğu malzeme özelliklerin içeren bir veri tabanına dayanır (Kumpenza vd., 2018).

Literatürde Sedir odununun tüm elastik sabitleri hiçbir zaman çalışılmamıştır, çalışmaların çoğu eğilme özellikleri ve basınç direnci ile ilgilidir. Bu çalışmanın amacı, sedir odununun elastik sabitlerini ve basma direncini üç ortotropik yönde, sabit rutubet (%65±3) ve sıcaklık (20 °C±2) altında basma testleri kullanarak belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

Burdur ili Bucak Orman İşletme Müdürlüğünden temin edilen yaklaşık 50 cm çapındaki Sedir tomruklarından küçük deney örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örneklerinin boyutları 20 x 20 x 60 mm'dir (Şekil 1). Her test grubu 10 örnekten oluşmaktadır. Testlerden önce numuneler, 20 °C±2 sıcaklıkta %65±3 bağıl nemde (RH) ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilmiştir. Rutubet etkisini en aza indirmek için, numuneler iklim dolabından çıkarıldıktan hemen sonra test edilmiştir. Numunelerin rutubet miktarı 103 °C'de bekletilerek belirlenmiştir. Numunelerin yoğunlukları, numune hacmi ve kütlesi ölçümlerine dayanan stereo-metrik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Basma testlerine tabi tutulan örnekler (1- E_L, ν_{LR}, ν_{LT} , L yönü basma direnci, 2:- E_R, ν_{RL}, ν_{RT} , R yönü basma direnci, 3- E_T, ν_{TL}, ν_{TR} , T yönü basma direnci, 4- G_{LR} , 5- G_{TL} , 6- G_{RT}).

İncelenen özellikler; üç ortotropik yönde elastikiyet modülünü, kesme veya makaslama modülü ve Poisson oranlarını içerir. Üç ana yöndeki basma direnci de çalışmada belirlenmiştir. Elastik sabitlerin belirlenmesinde herhangi bir standart olmadığı için literatürdeki çalışmalara benzer test örnekleri hazırlanmıştır. Basma testleri 20 x 20 x 60 mm numuneler üzerinde 2 mm/dakika yükleme hızında ve çift eksenli bir ekstensometre kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2). Elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri, numunelerin elastic modülü, kesme modülü ve Poisson oranlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Elastik modül, E_i lineer elastik aralıkta ölçülen gerilim σ 'nın şekil değiştirme ε 'ye oranından (Denklem 2.3) hesaplanmıştır.

$$E_i = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\varepsilon_i} = \frac{\sigma_{i,2}-\sigma_{i,1}}{\varepsilon_{i,2}-\varepsilon_{i,1}} \quad i \in R, L, T \quad (2.3)$$

Bir eleman aksenal olarak yüklendiğinde, yükün yönüne dik olan şekil değiştirmesi, yükün yönüne paralel olan şekil değiştirmesi ile orantılıdır. Enine ve aksenal şekil değiştirmenin oranına Poisson oranı denir. Literatürde Poisson oranı μ veya ν gibi simgelerle gösterilmektedir. Bu çalışmada Poisson oranları $\nu_{LR}, \nu_{RL}, \nu_{LT}, \nu_{TL}, \nu_{RT}$ ve ν_{TR} ile gösterilmiştir. Alt simgenin ilk harfi uygulanan gerilmenin yönünü ve ikinci harfi yanal yönü belirtir. Örneğin, ν_{LR} , uzunlamasına eksen boyunca gerilmenin neden olduğu radyal eksen boyunca şekil değiştirme için Poisson oranıdır (Ross, 2010). Çalışmada test edilen örneklerde Poisson oranı denklem 2.4'ten hesaplanmıştır.

$$\nu_{ij} = -\frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i}, \quad i, j \in R, L, T \text{ and } i \neq j \quad (2.4)$$

Burada; ϵ_i , yük yönündeki aktif şekil değiştirmeyi ϵ_j , pasif şekil değiştirmeyi temsil eder. L, R ve T yönlerindeki basma direnci denklem 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{UCS} = P_{max}/A \quad (2.5)$$

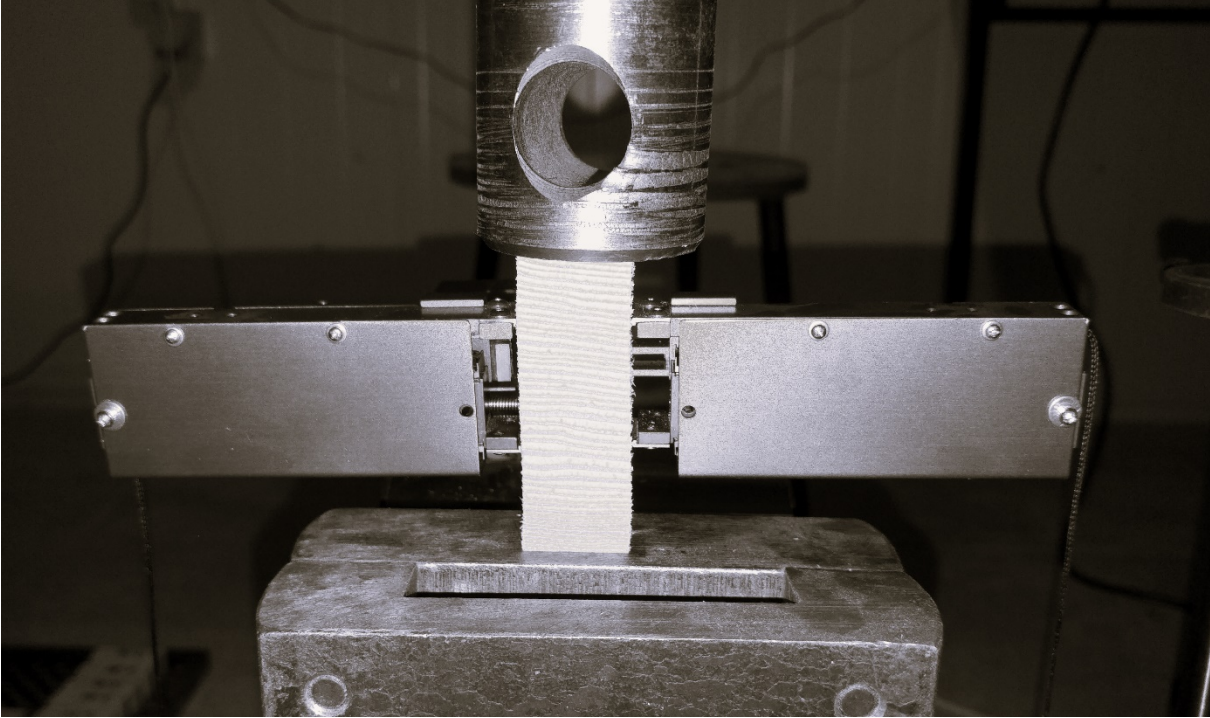
Burada; σ_{UCS} , basma direncini, P_{max} maksimum yük ve A numunenin kesit alanıdır. LR, LT ve RT düzlemlerinde 45° açılı numunelerin kesme modülü değerleri ise aşağıdaki denklem 2.6, 2.7 ve 2.8 kullanılarak belirlenmiştir.

$$G_{LR} = \frac{\sigma_V}{2(\epsilon_H - \epsilon_V)} \quad (2.6)$$

$$G_{LT} = \frac{\sigma_V}{2(\epsilon_H - \epsilon_V)} \quad (2.7)$$

$$G_{RT} = \frac{\sigma_V}{2(\epsilon_H - \epsilon_V)} \quad (2.8)$$

Burada, σ_V ortalama dikey gerilme, ϵ_H ortalama yatay şekil değiştirme ve ϵ_V ortalama dikey şekil değiştirmedir (Aira vd., 2014). Çalışmada elde edilen veriler SPSS istatistiksel analiz programı ile analiz edilmiştir.



Şekil 2. Basma test örneğinin (R) test anındaki görüntüsü.

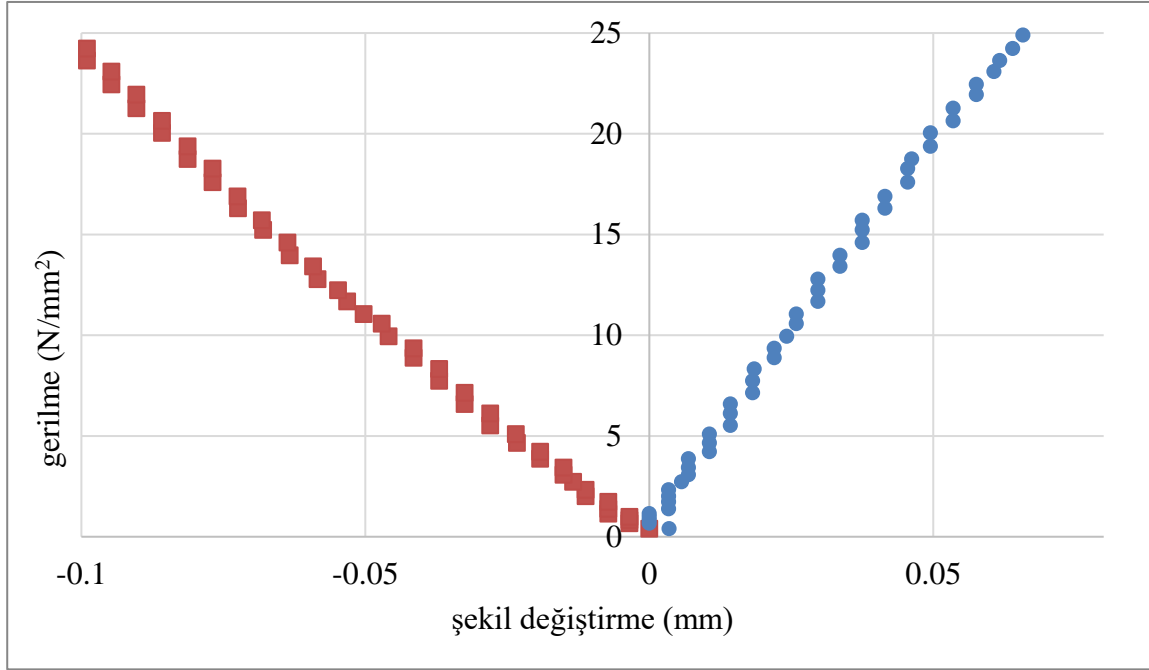
3. Bulgular ve Tartışma

Basma testlerinden elde edilen, numunelerin elastik modülü, kesme modülü, Poisson oranlarını ve basma dirençlerini belirlemek için kullanılan tipik bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3'te gösterilmektedir. Basma testlerinden belirlenen ortalama değerler Tablo 1-4'te gösterilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan test örneklerinin ortalama yoğunlukları (0.5 g/cm^3), literatürde çalışılan sedir odunu yoğunluklarıyla (0.48 ile 0.56 g/cm^3) benzerdir (Demetci, 1986; As vd., 2001; Bal vd., 2012, 2013; Aydın, 2021; Efe, 2021). Bal vd., (2012) sedir olgun odununun hava kurusu yoğunluğunun $0,58 \text{ g/cm}^3$ olduğunu tespit etmiştir.

Test edilen örneklerin ölçülen değerlerindeki varyasyon katsayıları %6 ile %25 arasında değişmektedir. Sedir odununda elastikiyet modülünün L, R ve T yönlerinde oranı yaklaşık 11.6:1.3:1 şeklindedir. Bodig ve Jayne'e (1982) göre iğne yapraklı ağaç odunlarında E_L değeri genellikle E_R değerinin 10 ila 20 katı arasında değişmekte, E_R değeri ise E_T değerinin yaklaşık iki katıdır. Türkiye'de yetişen sedir ağacı odunu için tespit

edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri coğrafi bölgeye bağlı olarak 7000 ila 10000 N/mm² arasında değişmektedir (Demetci, 1986; As vd., 2001; Bal vd., 2012, 2013; Aydın, 2021; Efe, 2021). Brunetti vd. (2001), benzer yoğunluk değerlerine sahip Atlas sedir ağacının eğilmedeki elastikiyet modülü değerinin 10000 N/mm²'nin biraz üzerinde olduğunu bildirmiştir. Diğer iğne yapraklı ağaç türlerinin odunları ile karşılaştırıldığında sedir odunu düşük bir E_L değerine sahiptir.



Şekil 3. Basma testlerinden elde edilen tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi (- şekil değiştirme basma testi sırasında kısılmayı, + şekil değiştirme ise yanıl genişlemeyi gösterir).

Tablo 1

L yönünde belirlenen özellikler

| Yoğunluk (g/cm ³) | Rutubet (%) | E _L (N/mm ²) | Basma direnci (N/mm ²) | v _{LR} | v _{LT} |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 0.50 | 12.4 | 7800 (11) | 44.1 (7) | 0.454 (24) | 0.484 (13) |

* parantez içindeki değerler varyasyon katsayılarıdır

Tablo 2

R yönünde belirlenen değerler

| Yoğunluk (g/cm ³) | Rutubet (%) | E _R (N/mm ²) | Basma direnci (N/mm ²) | v _{RL} | v _{RT} |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 0.51 | 12.1 | 890 (10) | 8.6 (8) | 0.052 (25) | 0.522 (14) |

* parantez içindeki değerler varyasyon katsayılarıdır

Tablo 3

T yönünde belirlenen değerler

| Yoğunluk (g/cm ³) | Rutubet (%) | E _T (N/mm ²) | Basma direnci (N/mm ²) | v _{TL} | v _{TR} |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 0.49 | 12.7 | 670 (10) | 7.6 (6) | 0.059 (23) | 0.368 (18) |

* parantez içindeki değerler varyasyon katsayılarıdır

Tablo 4
Sedir odununun kesme modülü değerleri (N/mm²)

| Kesme modülü | Yoğunluk (g/cm ³) | Rutubet (%) | Ortalama |
|-----------------|-------------------------------|-------------|----------|
| G _{TR} | 0.48 | 12.5 | 156 (18) |
| G _{LT} | 0.48 | 12.6 | 780 (15) |
| G _{LR} | 0.49 | 12.4 | 836 (12) |

* parantez içindeki değerler varyasyon katsayılarıdır

Beklendiği gibi, lif yönündeki (E_L) elastikiyet değeri radyal (E_R) ve teğet (E_T) yönlerden çok daha yüksektir. Bu, odun ortotropisinin doğrudan bir sonucudur. Ahşap malzemede liflere paralel basınç direnci liflere dik basınç direncinden oldukça yüksektir. Liflere dik olan basınç direnci liflere paralel basınç direncinin %12-18'si arasında değişir. Ahşabın lif yönündeki mekanik özelliklerini selüloz mikrofibrilleri yönetirken radyal yöndeki mekanik özellikleri üzerinde S1 ve S3 katmanlarındaki hemiselüloz'un etkisi vardır (Bergander ve Salmén, 2002).

Numunelerin ortalama elastik oranları (E_T/E_L, E_R/E_L, G_{LR}/E_L, G_{LT}/E_L), Ross (2010) tarafından iğne yapraklı ağaç türleri odunları için bildirilen ortalama değerlerden daha yüksek gözükmetedir (Tablo 5). Bodig ve Jayne'e (1993) göre kesme modülleri arasındaki oran G_{LR}:G_{LT}:G_{RT} ≈ 10:9.4.1 şeklindedir. Sedir oranında bu oran 5.35:5:1 şeklindedir. Genel olarak, ahşabın kesme modülü yoğunluktan olumlu, nem içeriği, sıcaklık ve yükleme yönünden olumsuz etkilenir (Brandner vd., 2007).

Tablo 5
Elastik oranların karşılaştırılması

| Elastik oran | İğne yapraklı odunları ortalamaları | Sedir odunu |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| E _T /E _L | 0.0564 | 0.085 |
| E _R /E _L | 0.0945 | 0.11 |
| G _{LR} /E _L | 0.064-0.081 | 0.107 |
| G _{LT} /E _L | 0.061-0.081 | 0.1 |
| G _{RT} /E _L | 0.003-0.013 | 0.02 |

Bal vd. (2012) sedir odununda liflere paralel basma direncini 59.2 N/mm² olarak bulmuşlardır. Keskin (2001) ise 52.5 N/mm² olarak rapor etmiştir. Çalışmada bulunan basma direnci literatür sonuçlarına göre oldukça düşüktür. Bu basma testlerinde referans alınan % 0.2' lik şekil değiştirme referans değerinden kaynaklanabilir.

Ahşabın kesme modülü pratik öneme sahiptir, çünkü deformasyonun %15'i eğilme sırasındaki kesme nedeniyle oluşur. Ahşabın yapısal tasarımında kirişlerin boyutları genellikle direnç ile değil elastikiyet ile kontrol edilir (Divos vd., 1998). Elastikiyet modülünün belirlenmesi ile karşılaştırıldığında, kesme modülünün belirlenmesi karmaşıktır. İkincil gerilmelerin varlığı, kesme özelliklerini tahmin etmeyi ve farklı test yöntemlerinden toplanan kesme özelliklerinin karşılaştırmasını zorlaştırır. Araştırmalar, test düzeneklerine özgü gerilme dağılımlarının bir sonucu olarak farklı test yöntemlerinden farklı kesme modülü değerleri göstermiştir (Harrison, 2006). Bu nedenle, bireysel araştırma çabalarının sonuçları arasında doğrudan karşılaştırma yapmak zordur. Genel olarak, yapısal uygulamalar için E:G oranı 16 olarak kabul edilirdi, ancak çalışmalar, oranın test yöntemine bağlı olarak 8 ile 65 arasında değiştiğini göstermiştir (Harrison, 2006; Divos vd., 1998).

Poisson oranları daha az araştırılan elastik sabitlerdir, çünkü bunların belirlenmesi hassas aletler gerektirir. Poisson oranları türler içinde ve türler arasında farklılık gösterir ve nem içeriği ve özgül ağırlıktan etkilenir (Ross, 2010). Ahşap ve ahşap çerçevesel yapıların yapısal analizindeki çoğu uygulama için ortalama Poisson oranının 0.3 olduğu varsayılır.

Sedir odununda Poisson oranlarının RL düzleminde 0.052 ile RT düzleminde 0.522 arasında değiştiği bulunmuştur. Genel olarak, çalışmada bulunan Poisson oranları, Ross (2010) tarafından yumuşak ağaç türleri için bildirilen Poisson oranlarına benzer veya biraz yüksektir. İğne yapraklı ağaç türlerinin odunları için LR ve LT Poisson oranı değerleri yapraklı ağaç türlerinin odunlarından biraz düşük ve genellikle 0.3 ile 0.5 arasında olduğu görülmektedir. RT Poisson oranı ise genellikle 0.5'ten büyük ve 0.7'ye kadar çıkabilmektedir. Literatürde bu değerlerin 1'in üzerinde görüldüğü çalışmalar da vardır (Bartolucci vd., 2020). Ancak, bu farkların test tipi ve numune geometrisinin de bir sonucu olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. RL ve TL Poisson oranları iğne yapraklı ağaç türü odunları için 0.02 ile 0.08 arasında değişmektedir (Ross, 2010).

Poisson oranlarındaki varyasyon diğer özelliklere göre daha yüksektir. Poisson oranlarındaki yüksek varyasyon katsayıları başka araştırmalarda da belirtilmiştir (Hering vd., 2012; Özyhar vd., 2013a, b; Jeong vd., 2010; Mizutani ve Ando, 2015).

4. Sonuçlar

Çalışma sonuçlarına göre E_L , E_R , E_T değerleri sırasıyla 7800, 890 ve 670 N/mm², G_{LR} , G_{LT} , G_{RT} değerleri ise sırasıyla 836, 780, 156 N/mm² ve Poisson oranları ise 0.052 ile 0.522 arasında bulunmuştur. L, R ve T yönlerindeki basma dirençleri ise sırasıyla 44.1, 8.6 ve 7.6 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada incelenen sedir odunu elastik sabitlerin kullanılması yapıların daha fazla güvenilirlik ve güvenlik tasarımına olanak tanır. Ahşabın lif yönündeki elastikiyet modülü, kısmen yıllık halkalarla ilişkili yapısal konfigürasyonlar ve kısmen de hücre duvarı anizotropisi nedeniyle diğer modüllerden çok daha büyüktür. Ahşabın teğet yöndeki elastikiyet modülü, doğrudan gerilmelerden ziyade hücre duvarı eğilmesi nedeniyle radyal elastikiyet modülünden daha azdır. Hücre duvarı eğilmesi ayrıca G_{RT} 'nin diğer yönlerdeki kesme modüllerinden önemli ölçüde daha az olmasına neden olur.

Elastik sabitlerin bilinmesi, malzemenin kullanımının optimizasyonu ve sonlu elemanlar gibi simülasyonların güvenilirliği için büyük önem taşımaktadır.

Yazar Katkıları

Yazar Ergün Güntekin: fikir/kavram, veri toplama, literatür taraması, analiz, yorum ve yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Aira, J. R., Arriaga, F. and 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.
- As, N., Koç, K.H., Doğu, A.D., Atik, C., Aksu, B. ve Erdinler, E.S. (2001). Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 51(1), 71-88.
- Aydın, T.Y. (2021). Evaluation of heating temperature and time on bending properties of Taurus cedar wood. *Turkish Journal of Forestry*, 22(4), 432-438.
- Bal, B.C., Bektaş, I. and Kaymakçı, A. (2012). Some physical and mechanical properties of juvenile wood and mature wood of Taurus cedar. *KSU Journal of Engineering Sciences* 15(2), 17-26.
- Bal, B.C. (2013). Effects of heat treatment on the physical properties of heartwood and sapwood of *Cedrus libani*. *BioResources*, 8(1), 211-219.
- Bartolucci, B., De Rosa, A., Bertolin, C., Berto, F., Penta, F., Siani, A.M. (2020). Mechanical properties of the most common European woods: a literature review. *Frattura ed Integrità Strutturale* 54, 249-274.
- Bergander, A. and Salmén, L. (2002). Cell wall properties and their effects on the mechanical properties of fibers. *Journal of Materials Science*, 37, 151-156.

- Berkel, A. (1951). Lübnan sedirinde teknolojik araştırmalar, *İÜ Orman fakültesi dergisi (A)*, 182-211.
- Bodig, J. and Jayne, B.A. (1993). *Mechanics of wood and wood Composites*. ISBN 978-0894647772. 736 p. Krieger Publishing Company: Melbourne, FL, USA.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1995). İğne Yapraklı Ve Yapraklı Ağaç Odunlarında Tanım Özellikleri, İstanbul üniversitesi, Orman fakültesi yayınları, Üniversite yayın No:3907. İstanbul
- Brandner, R., Gehri, E., Bogensperger, T. and Schickhofer, G. (2007). Determination of modulus of shear and elasticity of glued laminated timber and related examinations. CIB W 18-40-12-2, Bled, Slovenia.
- Brunetti, M., De Capua, E.L., Macchioni, N. and Monachello, S. 2001. Natural durability, physical and mechanical properties of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) wood from Southern Italy. *Annals of Forest Science*, 58(6), 607-613
- Demetçi, E. (1986). Toros sediri (*cedrus libani* a. Rich.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine araştırmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 180, Ankara
- Divos, F., Tanaka, T., Nagao, H. and Kato, H. (1998). Determination of shear modulus on construction size timber. *Wood Science and Technology* 32, 393-402.
- Efe, F. (2021). A study on the determination of some physical and mechanical properties of wood of Taurus cedar. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(1), 43-52.
- Harrison, S.K. (2006). Comparison of Shear Modulus Test Methods. Master thesis, Faculty of Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, USA.
- Hering, S., Keunecke, D. and Niemz, P. (2012). Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 45, 927-938.
- Jeong G.Y., Hindman, D.P. and Zink-Sharp, A. (2010). Orthotropic properties of loblolly pine (*Pinus taeda*) strands. *Journal of Material Science* (45), 5820-5830.
- Keskin, H. (2001). Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kumpenza, C., Matz, P., Halbauer, P., Grabner, M., Steiner, G., Feist, F. and Müller, U. (2018). Measuring Poisson's ratio: mechanical characterization of spruce wood by means of non-contact optical gauging techniques. *Wood Science and Technology*, 52:1451-1471.
- Mayer, H. ve Sevim, M. (1959). Lübnan sediri, Lübnan'daki 5000 yıllık tahribatı, Anadolu'da bugünkü yayılış sahası ve bu ağaç türünün Alplere tekrar getirilmesi hakkında düşünceler. *İÜ Orman Fakültesi Dergisi (B)*, 11(2), 111-142.
- Mızutani, M. and Ando, K. (2015). Influence of a wide range of moisture contents on the Poisson's ratio of wood. *Journal of Wood Science*, 61, 81-85.
- Ozyhar, T., Hering, S. and Niemz, P. (2013a). Moisture-dependent orthotropic tension compression asymmetry of wood. *Holzforschung*, 67(4), 395-404.
- Ozyhar, T., Hering, S., Sanabria, S.J. and Niemz, P. (2013b). Determining moisture-dependent elastic characteristics of beech wood by means of ultrasonic waves. *Wood Science and Technology*, 47(2), 329-341.
- Perlin, J. (1989). *A Forest Journey*, W.W. Norton and Company Inc., New York.
- Ross, R.J. (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.