

Söğüt ağacının (*Salix alba* L.) öz ve diri odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Musa Kaya^{a,*}, Ramazan Bülbül^b, Vedat Çavuş^c

Özet: Yapılan çalışmada, geniş yapraklı bir ağaç olan söğüt (*Salix alba* L.) odununun öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak yoğunluk değeri, rutubet oranı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci ve lifler paralel basınç dirençleri araştırılmıştır. Ayrıca vida tutma kapasitesi ile Brinell sertlik değerlerinin tespiti ise hem odun kısımlarına ve hem de kesit yüzeylerine bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre söğüt odununun statik eğilme direnci, en yüksek diri odunda 78,54 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü değeri en yüksek diri odunda 8171,20 N/mm², dinamik (Şok) eğilme direnci, en yüksek diri odun kısmında 63,33 kJ/m², liflere paralel basınç direnci ise en yüksek öz odun kısmında 27,30 N/mm² olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesi ise en yüksek öz odun'un teğet kesit yüzeyinde 26,80 N/mm² olduğu, Brinell sertlik değerinin ise en yüksek öz oduna ait enine kesit yüzeyinde 29,44 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre söğüt odununun statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde öz ve diri odun arasında anlamlı bir farkın olmadığı, ancak yapılan bu çalışmada; incelenen diğer mekanik dirençlerin öz ve diri oduna bağlı olarak anlamlı düzeyde farklı oldukları tespit edilmiştir. Dolayısıyla söğüt odununun statik yüklere maruziyeti durumunda, odun kısmının önemsiz olduğu, fakat vidalama işlemlerinde, basınca maruz kaldığında öz odunun tercih edilmesi ile birlikte kesit yüzeylerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Kesit yüzeyler, Mekanik özellikler, Öz ve diri odun, Söğüt odunu

Determination of some physical and mechanical properties of heart and sapwood of willow (*Salix alba* L.)

Abstract: In this study, density, moisture content, bending strength, modulus of elasticity in bending, dynamic bending strength and compressive strength parallel to fibers were investigated depending on the heartwood and sapwood of willow (*Salix alba* L.), a broad-leaved tree. In addition, the determination of screw holding capacity and Brinell hardness values were examined depending on both wood sections and cross-sectional surfaces. According to the results obtained, the static flexural strength of willow wood was 78.54 N/mm² in the highest sapwood, the modulus of elasticity value in bending was 8171.20 N/mm² in the highest sapwood, the dynamic (Shock) bending strength was 6333 kJ/m² in the highest sapwood, and the compressive strength parallel to the fibers was 27.30 N/mm² in the highest heartwood. The screw holding capacity was found to be 26.80 N/mm² on the tangential cross-sectional surface of the highest heartwood, and the Brinell hardness value was 29.44 N/mm² on the cross-sectional surface of the highest heartwood. According to these results, it was determined that there was no significant difference between heartwood and sapwood in static bending strength and modulus of elasticity in bending values of willow wood, but other mechanical strengths examined in this study were found to be significantly different depending on heartwood and sapwood. According to these results, the static bending of willow wood Therefore, in the case of exposure of willow wood to static loads, the wood part is insignificant, but in screwing processes, when exposed to pressure, the cross-sectional surfaces should be taken into account along with the preference of heartwood.

Keywords: Cross-sectional surfaces, Mechanical properties, Heartwood and sapwood, Willow wood

1. Giriş

Beyaz söğüt olarak bilinen *Salix alba* L., en büyük ve en iyi bilinen söğütlerden biridir. Yaygın adı, kendine özgü soluk gümüşü yapraklarından gelir. Söğüt olarak yetiştirilen, esnek dalları ve dar yaprakları ile karakterize edilen söğüt türlerinden biridir. Avrupa'dan Orta Rusya'ya ve Çin sınırlarına kadar uzanan geniş bir dağılıma sahiptir. Bu hızlı büyüyen söğüt ılıman iklimlerde görülür ve köklerinin suya erişimi olması koşuluyla çok çeşitli topraklara tolerans gösterir. *Salix alba* L. (beyaz söğüt) hızlı büyüyen iki evcikli

geniş yapraklı bir ağaçtır. Söğüt türlerinin en büyüklerinden biridir ve 30 m'ye kadar yüksekliğe ve 1 m veya daha fazla çapa ulaşabilir. Uzun ömürlü değildir: genellikle sadece 20-30 yıl hayatta kalır. Derin çatlaklı kabuğu mantarimsı çıkıntılarla koyu gridir. Yaprakları uzun ve dar (mızrak şeklinde), üst tarafı gümüş grisi ve alt tarafı yoğun ipeksi beyaz tüylerle kaplıdır ve ağaca kendine özgü soluk bir görünüm verir (Mitchell, 1974; Johnson, 2004; Praciak vd., 2013). Türkiye ormanları doğal söğüt taksonları açısından zengin çeşitliliğe sahiptir. Söğüt (*Salix*), kışın yapraklarının dökün, ender olarak da herdem yeşil kalan ağaç ya da çalı

✉ ^a Yakutiye Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Erzurum, Türkiye
^b Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü Ankara, Türkiye
^c İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): musa.kaya5@gazi.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.02.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.07.2024



Citation (Atf): Kaya, M., Bülbül, R., Çavuş, V., 2024. Söğüt Ağacının (*Salix alba* L.) öz ve diri odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 302-312.
DOI: [10.18182/tjf.1437947](https://doi.org/10.18182/tjf.1437947)

formunda bulunan odunsu bitkilerdir. Dünya genelinde 300 civarında, ülkemizde ise 24 söğüt taksonu bulunurken, birçok tür de park ve bahçelerde süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Söğütlerin birbirleri arasında çok kolay hibrit yapabilmeleri ve çok fazla taksonu olması nedeniyle sistematiklerini yapmak oldukça güçtür. *Salix alba* (Ak Söğüt), *Salix babylonica* (Salkım Söğüt), *Salix caprea* (Sorkun, Keçi Söğüdü, Orman Söğüdü), *Salix fragilis* (Gevrek Söğüt), *Salix cinerea* (Boz Söğüt) ve *Salix viminalis* (Sepetçi Söğüdü) en sık rastlanan söğüt türleridir (Güvenç, 2003). Söğüt yaprakları uzun ve dar, üst tarafta gümüş-gri, alt tarafında yoğun ipeksi beyaz tüylerle ağaca belirgin soluk görünüm vermektedir. Kabuk, derin çatlamış koyu gri ve mantar çıkıntılı şeklindedir (Acar, 2014; Dönmez ve Salman, 2021). Genellikle dikilmiş olabileceği göllerin ve nehirlerin kenarlarında yetişen *Salix alba*'nın Dünya ve Türkiye üzerindeki yayılışı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Söğüt odunu çeşitli uygulamalar için kullanılabilen çok yönlü bir kerestecedir. Değişken kalınlıkta beyazımsı bir diri odunu ve beyazdan pembemsi bir öz odunu vardır. Söğüt tipik olarak ince ve düzgün bir dokuya sahip düz bir damara sahiptir. Kara söğüdü öz odunu soluk kırmızımsı kahverengiden grimsi kahverengiye kadar değişir ve birbirine kenetlenmiş bir damara sahiptir. Söğüt odunu hafif, yumuşak dokulu, dayanıklı ve elastik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kutu yapımında, kriket sopası ve el aletleri yapımında mutfak eşyaları, okçuluk yayları, çemberler, hasır sepetler, kanolar ve bazı inşaat uygulamalarında kullanılır. Sanayide selüloz ve kâğıt üretiminde kullanılmaktadır. Bazı söğüt türleri erozyon ve rüzgâr perdesi, su bentlerinin ve hendeklerin tahkimi, sepet yapımı, çit yapımı, yakacak, selüloz ve kâğıt, süs bitkisi ve diğer küçük el aletleri yapımında ve hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır. Biomas üretimi ve enerji amaçlı tesislerde, hızlı büyümesi, sürgün verme kapasitesinin yüksek olması ve vejetatif olarak kolay üretilmesi gibi karakteristikleri yönünden enerji plantasyonları tesisine uygun tür olarak görülmektedir (Tunçtaner, 1990). Kabuğundan elde edilen tanen ve salisin (Aspirinin üretildiği) dâhil olmak üzere bir dizi odun dışı ürün vardır, ancak bunlar genellikle şu anda çok az ticari öneme sahiptir. Çekici gövde renklerine sahip bir dizi çeşit süs amaçlı olarak yetiştirilmiştir. Ak söğüdü yayılış alanı, Avrupa'da erozyon oranının yüksek olduğu birçok alanla, özellikle de Avrupa dağ sistemlerinde yüksek drenaj alanına sahip nemli yamaçlarla örtüşmektedir. Bu kritik alanlarda, ak söğüt erozyonun azaltılmasına katkıda bulunur ve daha genel olarak erozyon kontrolü ve su yollarının kıyılarının stabilize edilmesinin yanı sıra ekosistem restorasyonu ve fitoremediasyon için de yararlıdır (Ball vd., 2005; Savill, 2019).



Şekil 1. Söğüt ağacının Dünya ve Türkiye üzerindeki yayılışı (Caudullo vd., 2017).

Söğüt ağacının (*Salix alba*) kimyasal özelliklerinin araştırıldığı çeşitli araştırmalarda; holoselüloz %78,1, selüloz %53,5, lignin %21,6, %1'lik NaOH çözünürlüğünü %21,5, sıcak su çözünürlüğü %7,4 olarak tespit edilmiştir (Eroğlu ve Usta, 1989). Başka bir çalışmada ise (*Salix babylonica*) holoselüloz miktarı %75,68, selüloz miktarı %51,72, lignin miktarı %17,91, sıcak su çözünürlüğü %7,53, %1'lik NaOH çözünürlüğü %21,9 olarak tespit edilmiştir (Alkan, 2004). Salman tarafından yapılan yüksek lisans tezinde ise Holoselüloz (%) 81,70, α -selüloz (%), 48,42 Lignin (%), 24,01, Sıcak su çözünürlüğü (%) 4,09 %1'lik NaOH çözünürlüğü (%) 13,88 olarak tespit edilmiştir (Salman, 2019).

Söğüt odunun mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmada ortalama yoğunluk 0,40-0,60 g/cm³ arasında, elastikiyet modülü 4649,47 N/mm², eğilme direnci 53,34 N/mm² olarak tespit edilmiştir (Bogdan vd., 2016).

Söğüt odunun fiziksel, mekanik, kimyasal ve anatomik özellikleri üzerine çalışmalar olmasına rağmen literatürde bu odunun türünün diri ve öz odunun özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, Erzurum ilinden temin edilen Söğüt ağacı (*Salix alba*) odununun diri ve öz odunu kısımlarının bazı mekanik, (eğilmede elastikiyet modülü ve eğilme direnci, dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci, vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerinin tayin edilmesi) ve bazı fiziksel özellikler (hava kurusu yoğunluk ve hava kurusu rutubet değeri) belirlenmiştir. Belirlenen bu bilgilerin bu ağaç türünün öz ve diri odunlarının kullanım alanları hakkında önemli bilgiler vereceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan ve Erzurum ilinde yetişen söğüt (*Salix alba*) ağacına ait odun numuneleri, Erzurum ilinde bulunan bir keresteciden satın alınmıştır. Bu çalışma için deney numuneleri hazırlanırken TS ISO 3129 (2021) standardında belirtilen esaslara uyulmuştur. Temin edilen tomruğun çapı 46 cm olduğundan diri ve öz odun kısımları dikkate alınarak kesilmiştir. Deney numuneleri lif yönü doğrultusunda uzunluk yönüne paralel makta kısımlarındaki yıllık halkalar iki yüzeye paralel diğer iki yüzeye dik olacak biçimde kesilmesine özen gösterilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin çatlaksız, budaksız, mantar ve böcek tahribatına maruz kalmamış şekilde bir seçim yapılmıştır.

2.2. Yöntem

Yapılan çalışmada gerçekleştirilen testler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarında bulunan deney cihazlarında gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Hava kurusu yoğunluk değeri ve rutubet oranının tespit edilmesi

Hava kurusu yoğunluk tayini TS ISO 13061- 2 (2021) standartlarına göre 20 mm x 20 mm x 30 mm ebatlarında hazırlanan örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir. Örnek ağırlıkları 0,01g hassasiyetteki terazide tartılıp 0,01 mm duyarlılıkta dijital kumpas ile

boyutları ölçülmüştür. Yoğunluk değerlerinin tespit edilmesi için eşitlik 1 kullanılmıştır. Hava kuru yoğunluk değerlerinin tespiti için ağırlık ve hacimleri ölçülen ve TS ISO 13061 – 1 (2021)'deki standartlara sahip aynı deney numuneleri 103±2 °C'de değişmez ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuştur. 6 saat aralıklarla yapılan iki tartım arasındaki fark, deney numunesi ağırlığının %0,5'ine eşit veya daha az olduğunda, değişmez ağırlığa ulaştığı kabul edilmiş olup; daha sonra eşitlik 2 ile rutubet değerleri tayin edilmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Burada; M_{12} : Hava kuru ağırlık (g), V_{12} : Hava kuru hacim (cm³).

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad (2)$$

W: Rutubet miktarı (%)

m_1 : Kurutmadan önce deney parçası ağırlığı (gram), m_2 : Kurutmadan sonra deney parçası ağırlığı (gram)

2.2.2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti

Eğilme direnci tespiti için TS ISO 13061-3 (2021) ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti için ise TS ISO 13061-4 (2021) standartlardaki esaslara uyulmuştur. Deney numuneleri, ağaç malzemeler için 360 mm x 20 mm x 20 mm ölçülerinde olup kuvvet uygulaması teğet ve radyal yönlere dik pozisyonda olacak şekilde 10'ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Eğilme direnci testinde mesnetler arası mesafe 30 cm, kuvvet uygulaması ise dakikada 10 mm ayarlanıp; belirlenen yönlere (Radyal ve teğet) dik uygulanarak deney işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğilme direncinin tespitinde kullanılan deney cihazı (Instron 5969) ve deney yapılmış numuneler Şekil 2'de görülmektedir. Deney numunelerinin eğilme dirençleri eşitlik 3 ve eğilmede elastikiyet modülü ise eşitlik 4'teki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3F_{max} \cdot L}{2bh^2} \quad (3)$$

Burada; σ_e : Eğilme direnci (N/mm²), F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: Deney parçasının genişliği (mm), h: Deney parçasının yüksekliği (mm) olarak alınmıştır.

$$E = \frac{F_{max} \cdot L^3}{4bh^3 \cdot f} \quad (4)$$

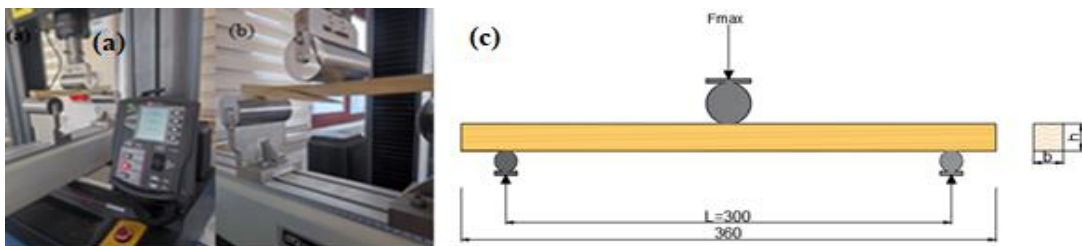
E: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²), f: Maksimum kuvvetin %10 ile %40'ı arasındaki sehim miktarı.

2.2.3. Dinamik (şok) eğilme direncinin ve liflere paralel basınç direncinin tespiti

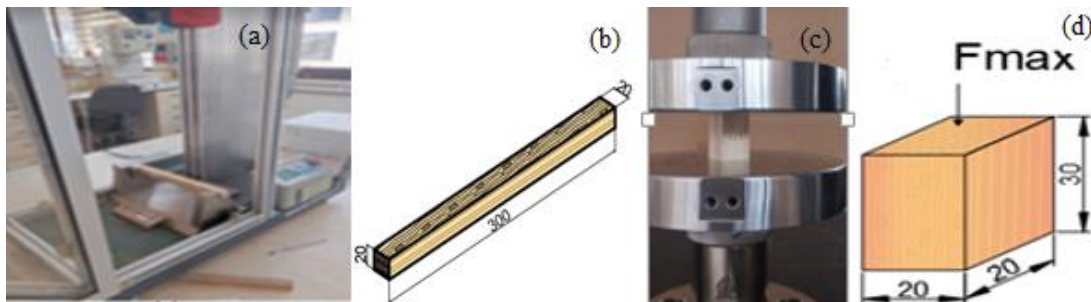
Dinamik eğilme direnci testi TS ISO 13061-10 (2021)'deki esaslara uyularak gerçekleştirilmiştir. Buna göre mesnetler arası mesafe 26 cm olarak ayarlanmış olup; deney numuneleri ise 20 mm x 20 mm x 300 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Dinamik eğilme direnci herhangi bir işlem yapılmadan Charpy markalı cihaz tarafından tespit edilen kJ/m² değerleri dikkate alınmıştır. Liflere paralel basınç deneyi ise TS ISO 13061-17 (2017) esaslarına göre yapılmıştır. Deneylerde yükleme hızı 4 mm/dk. olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyler esnasında maksimum kuvvet (F_{max}) Newton cinsinden kaydedilerek her bir deney örneğinin liflere paralel basınç direnci (σ_B) eşitlik 5 ile hesaplanmıştır. Dinamik eğilme ve liflere paralel basınç direncinin tespiti ile ilgili görseller Şekil 3'te verilmiştir.

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A} \quad (5)$$

Burada; σ_B : Basınç direnci (N/mm²), A: örnek enine kesit alanı (mm²).



Şekil 2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti; (a) ve (b) statik eğilme deney düzeneği, (c) statik eğilme deney numunesi şematik gösterimi



Şekil 3. Dinamik eğilme (a), (b) ve liflere paralel basınç direnci (c), (d) ile ilgili görseller

2.2.4. Vida tutma kapasitesinin ve brinell sertlik değerinin tespiti

Yapılan çalışmada vida tutma kapasitesinin tespiti Mares markalı cihaz ile yapılırken (Şekil 4a), deney numunelerinin öz ve diri odun kısımlarının teğet, radyal ve enine kesit yüzeyleri dikkate alınarak 15 mm derinliğinde ön kılavuz deliği açılarak vidalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Vida tutma kapasitesinin tespiti için TS EN 13446 (2005) No'lu standart esas alınıp 5 cm x 5 cm x 5 cm boyutlarındaki deney numuneleri ile her bir kesit yüzeyi için 10'ar adet olmak üzere toplam 60 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deney uygulamalarında kullanılan vida, çelik gövdeli ve yıldız uçlu olup; ölçüsü ise 4,2 mm x 38 mm ve vida adım ölçüsü ise 1,4 mm'dir (Şekil 4b). Brinell sertlik deneyleri (Şekil 4c) ise TS ISO 13061-12 (2021) esasları doğrultusunda uygulanarak; 20 mm x 50 mm x 50 mm ölçülerine sahip numuneler (Şekil 4d) üzerinde ve Instron 5969 markalı üniversal test cihazında tespit edilmiştir. Vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ilişkin görseller Şekil 4'te verilmiştir.

2.2.5. Verilerin analiz edilmesi

DeneySEL metotlarla elde edilen verilerin analizinde SPSS 26 ve MSTAT-C programları tercih edilmiştir. Bu programlar ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve çoklu

karşılaştırmalar (Duncan çoklu karşılaştırma testi) 95% güven endeksi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

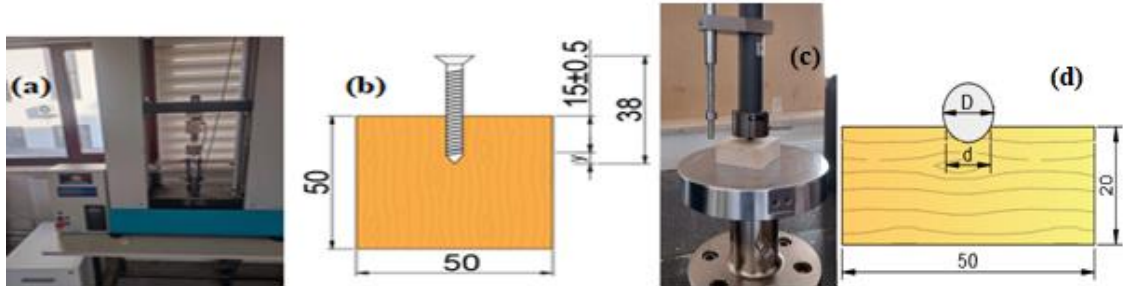
3. Bulgular ve tartışma

3.1. Yoğunluk ve rutubet değerlerinin tespiti

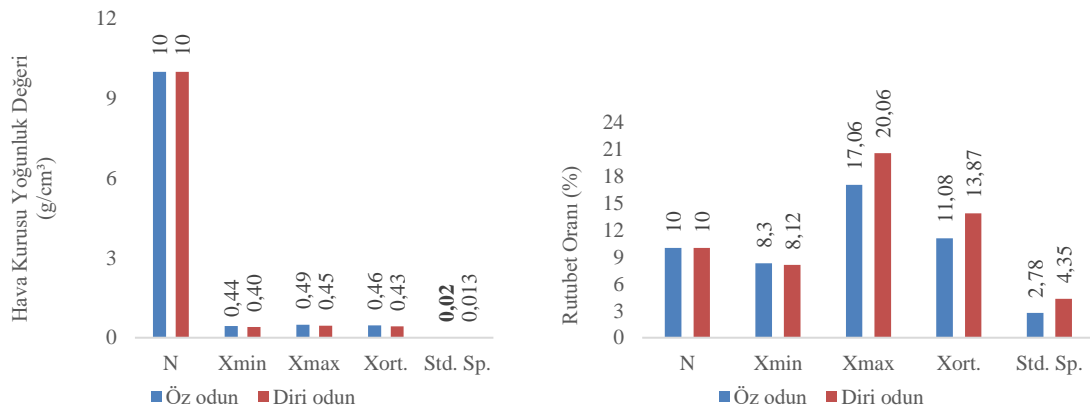
TS ISO 13061- 2 (2021)'ye göre söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak tespit edilen hava kurusu yoğunluk ve TS ISO 13061 -1 (2021)'e göre belirlenen rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel veriler Şekil 5'te verilmiştir.

TS ISO 13061 – 2 (2021)'ye göre söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının yoğunluk değerlerinin birlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; söğüt odununa ait öz odun kısmının hava kurusu yoğunluk değerinin diri oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. TS ISO 13061 – 1 (2021)'e göre belirlenen rutubet oranlarında ise diri odunun rutubet oranının %13,87 ile öz odun kısmından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Söğüt odununun odun kısımlarına ait hava kurusu yoğunluk değerleri ve rutubet değerlerindeki bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış olup; elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Vida tutma kapasitesi ve brinell sertlik değerine ilişkin görseller, (a) vida tutma kapasitesi deney düzeneği, (b) vidaların bağlanması, (c) brinell sertlik deney düzeneği, (d) brinell sertlik değeri için deney numunesi



Std. Sp.: Standart sapma; N: Numune sayısı

Şekil 5. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 1. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının hava kuruşu yoğunluk ve rutubet değerlerine ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları

| | Varyans kaynağı | SD | Kareler Ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta ² |
|----------------------|--------------------|----|--------------|--------|----------------------------|------------------------|
| Hava kuruşu yoğunluk | Odun kısmı | 1 | 0,005 | 18,249 | 0,000 | 0,503 |
| | Hata | 18 | 0,000 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |
| | Varyans kaynağı | SD | Kareler Ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta ² |
| Rutubet oranı | Odun kısmı | 1 | 38,750 | 2,905 | 0,106 | 0,139 |
| | Hata | 18 | 13,341 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Yapılan çoklu varyans analizine göre söğüt odununa ait odun kısmının hava kuruşu yoğunluk değerine olan etkisinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ($p<0,05$) etkili olduğu; etki düzeyinin ise %50,3 olduğu tespit edilmiştir. Yine Çizelge 1'e göre odun kısmının rutubet oranına etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Ağaç malzemenin yoğunluğu direnç özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda direnç özellikleri ise kullanım yeri ile ilişkili olup; meşe, sedir ve çam gibi yüksek yoğunluğa sahip odun türlerinin yüksek mukavemet gerektiren alanlarda kullanılmasının gerektirirken, ladin göknar ve kavak gibi düşük yoğunluğa sahip odun türlerinin ise mukavemet gerektirmeyen alanlarda değerlendirilmeleri gerekmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Yapılan araştırmalarda söğüt odunu ile aynı grup odunlardan olan (Dağmık traheli) kavak odununun öz odun yoğunluğu 0,396 g/cm³ (Bal ve Ayata, 2020). Dağmık traheli diğer bir odun türü olan ıhlamur odununun hava kuruşu yoğunluk değerinin 0,489 g/cm³ olduğunu tespit etmiştir (Çavuş vd., 2022). Ağaç malzemede öz odun diri oduna göre daha az su ihtiva etmektedir (Örs ve Keskin, 2008). Bunun nedeni ise diri odundaki miseller arası boşlukların öz odunda mevcut olan ekstraktif maddelerle tam dolu olmamasına bağlı olarak gerçekleştiğini belirtmiştir (Kantay, 1986). Dolayısıyla yapılan bu çalışmada söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait hava kuruşu yoğunluk ve rutubet değerlerinin yapılmış olan önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

3.2. Statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti

TS ISO 13061- 3 (2021)'e göre söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak tespit edilen statik eğilme direnci ve TS ISO 13061- 4 (2021)'e göre de eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatistiksel veriler Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait statik eğilme direnci ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Tespit edilen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi %5 hata payı dâhilinde yapılarak, sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

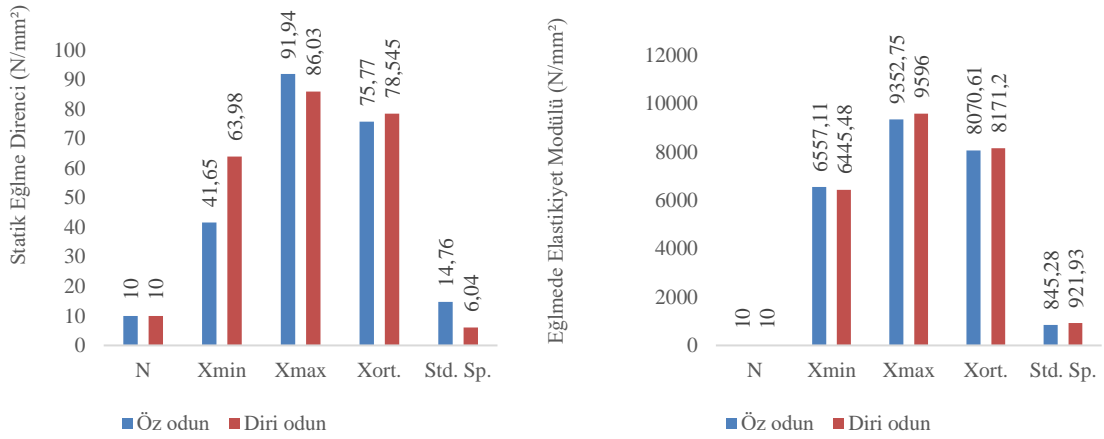
Çizelge 2'ye göre; söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının eğilme dirençleri ve eğilmede elastikiyet modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) düzeyde bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Yine çizelgeye göre söğüt odununa ait odun kısmının etkisi; statik eğilme direncinde; %1,7, eğilmede elastikiyet modülü değerinde ise %0,4 ile zayıf düzeyde ve anlamsız olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde ak söğüt odununun diri odun kısmının eğilme direnci 54,6 N/mm² iken öz odun kısmına ait eğilme direnci ise 54 N/mm²; eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise öz odun için 5060 N/mm², diri odun için 5520 N/mm² (Sacré, 1974a; Sacré, 1974b) olduğu; Mekanik dirençler bakımından söğüt odununa benzerlik gösteren kavak odununa ait eğilme dirençlerinin 75,1 N/mm² ve 79,61 N/mm² (Bal ve Ayata, 2020; Keskin ve Dağlıoğlu, 2016) olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kavak odununun diri odun kısmı için eğilme direnci; 64,1 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü 5882 N/mm², öz odun kısmı için ise eğilme direnci 45,8 N/mm², eğilmede elastikiyet modül değeri 4357 N/mm² olduğunu belirtmişlerdir (Bal ve Bektaş, 2018). Yapılan çalışmalara göre kavak odununa göre diri odununun hem eğilme direnci ve hem de eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin öz odun kısmına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada söğüt odunundaki diri odunun eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülü değerinin öz odundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci

Söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direnci TS ISO 13061- 10 (2021)'a göre ve liflere paralel basınç direnci direnci ise TS ISO 13061-17 (2021) numaralı standartta belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış olup; yapılan testlere ilişkin istatistiksel veriler Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençleri ile liflere paralel basınç dirençlerine ait istatistiksel değerler verilmiştir. Elde edilen verilere göre öz ve diri odun kısımlarına ait dinamik eğilme direnci ile liflere paralel basınç dirençlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Tespit edilen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi %5 hata payı dâhilinde yapılarak, sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.



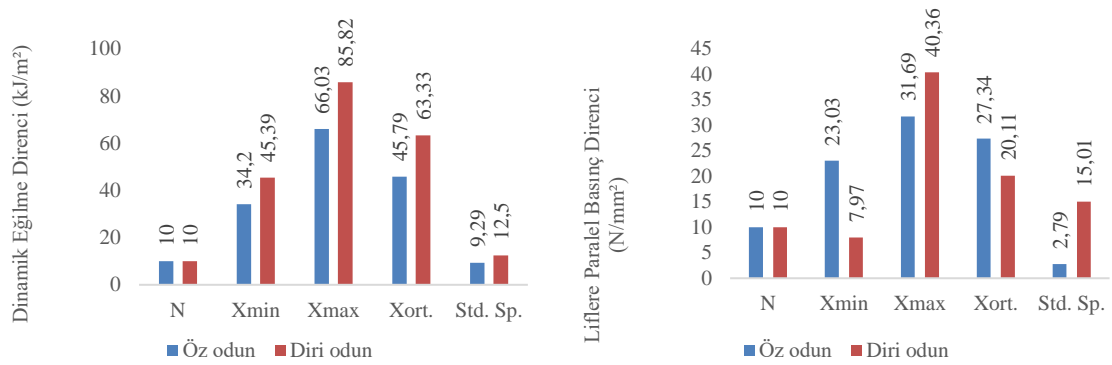
Std. Sp.: Standart sapma; N: Numune sayısı

Şekil 6. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının statik eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülüne (EM) ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 2. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının eğilme dirençleri ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait çoklu varyans analizi

| | Varyans kaynağı | SD | Kareler ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta ² |
|-----------------------------|--------------------|----|--------------|-------|----------------------------|------------------------|
| Eğilme direnci | Odun kısmı | 1 | 38,448 | 0,302 | 0,589 | 0,017 |
| | Hata | 18 | 127,145 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |
| Eğilmede elastikiyet modülü | Odun kısmı | 1 | 50591,741 | 0,065 | 0,802 | 0,004 |
| | Hata | 18 | 782224,550 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı



N: Numune sayısı; Std. Sp.: Standart sapma

Şekil 7. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direncine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 3. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençleri ve liflere paralel basınç dirençlerine ait çoklu varyans analizi

| | Varyans kaynağı | SD | Kareler ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta ² |
|--------------------------------|--------------------|----|--------------|--------|----------------------------|------------------------|
| Dinamik eğilme direnci | Odun kısmı | 1 | 1539,328 | 12,690 | 0,002 | 0,413 |
| | Hata | 18 | 121,302 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |
| | Varyans kaynağı | SD | Kareler ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta ² |
| Liflere paralel basınç direnci | Odun kısmı | 1 | 261,177 | 2,241 | 0,152 | 0,111 |
| | Hata | 18 | 116,570 | | | |
| | Toplam | 20 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 19 | | | | |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Çizelge 3'e göre; söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) düzeyde bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Ancak liflere paralel basınç direncinde ise odun türüne göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Çoklu varyans analizine göre odun kısmının dinamik eğilme direncine etkisinin %41,3 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analize göre dinamik eğilme direncine etkileri anlamlı tespit edilen öz ve diri odun kısımları arasındaki anlamlı farklılığa ait homojenlik gruplarını belirlemek için yapılan Duncan testinin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4'e göre, söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait hem dinamik eğilme dirençlerinin birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı oldukları tespit edilmiştir. Söğüt odununa ait dinamik eğilme direncinde diri odun kısmının öz odun kısmından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Söğüt odununun diri odun kısmına bağlı dinamik eğilme direncinin öz oduna göre daha yüksek çıkması diri odununun rutubet değerine bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Ağaç malzemenin statik dirençlerinde rutubet oranı azaldıkça direnç değerlerinde azalmalar meydana gelirken dinamik eğilme direncinde ise tam tersi bir durum söz konusudur. Çünkü ağaç malzemedeki rutubet oranı arttıkça malzemedeki esneklik oranı da artmaktadır. Dolayısıyla ağaç malzemenin gevreklik özelliği azalmakta olup; dinamik eğilme direnci artmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Diğer bir ifade ile ağaç malzemedeki rutubet oranı düştükçe gevrekliğinin artması ile daha kırılğan hale gelmektedir.

Söğüt odunu gibi dağınık traheliler grubuna ait olan bazı odun türlerinin dinamik eğilme dirençleri; Huş odunu, 0,680 kgm/cm² (Bal vd., 2018a), kavak odunu, 0,528 kgm/cm² (Orhan, 2017) olduğu; elde edilen bu değerler, birim olarak kJ/m²'e dönüştürüldüğünde söğüt odununa ait dinamik eğilme dirençlerine yakın oranlarda oldukları tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direncine ilişkin homojenlik grupları

| Odun kısmı | Dinamik eğilme direnci (kJ/m ²) | HG |
|------------|---|----|
| Öz odun | 45,786 | B |
| Diri odun | 63,332 | A |

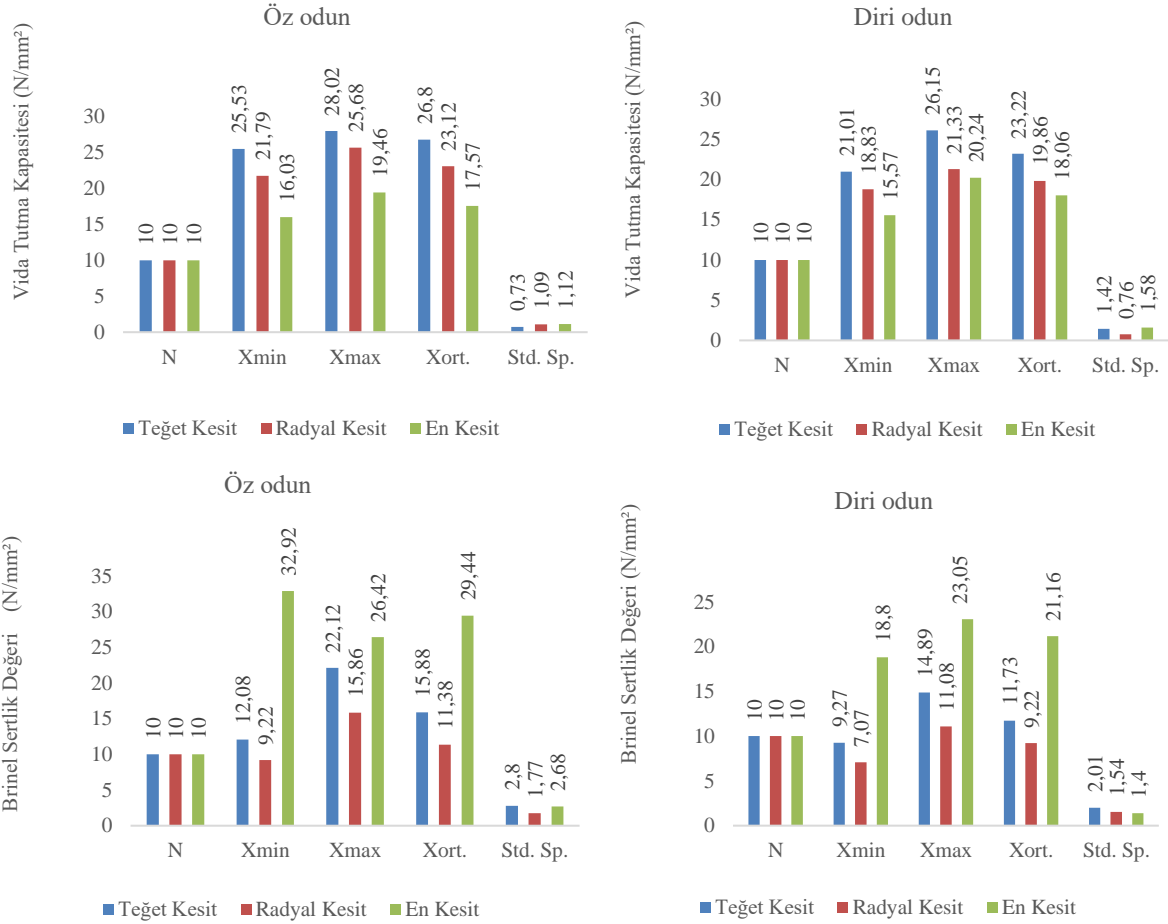
LSD: 8,52 kJ/m², HG: Homojenlik grubu

Söğüt odununun liflere paralel basınç direncinde; öz ve diri odun arasında belirgin bir farkın olduğu; öz odununun liflere paralel basınç (27,34 N/mm²) direncinin diri oduna nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ağaç malzemedeki liflere paralel basınç direnci 25 ile 95 N/mm² arasında değişirken; liflere dik yöndeki basınç direnci ise 1 ile 20 N/mm² arasında değişmektedir (Tsoumis, 1991). Liflere dik yöndeki basınç direnci öz odunda diri oduna göre daha fazla olabilir. Bunun nedeni ise öz odun kısmının içerdiği ekstraktif madde miktarının daha fazla olmasına bağlıdır (Bozkurt ve Erdin, 2011). Yapılan çalışmada söğüt odununa ait liflere paralel basınç değeri 20 ile 35 N/mm² arasında olduğundan kara ve titrek kavaklar gibi liflere paralel basınç direnci düşük olan ağaçlar grubuna dâhil edilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1990). Ayrıca literatürde söğüt odununa benzer dağınık traheli odunlardan olan kızılbaş odunu 42,3 N/mm², ıhlamur odunu 52 N/mm²'lik liflere paralel basınç dirençlerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir (Bozkurt, 1992; Güller ve Ay, 2001).

3.4. Vida tutma kapasitesi ve brinell sertlik değerinin tayin edilmesi

TS EN 13446 (2005)'ya göre vida tutma kapasiteleri, TS ISO 13061-12 (2021)'ye göre ise Brinell sertlik değerlerine ilişkin ilişkin istatistiksel veriler Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'e göre söğüt odununun teğet, radyal ve enine kesit yüzeylerin bağlı olarak hem vida tutma kapasiteleri ve hem de yüzey sertlik değerlerinin birbirlerinden farklı oldukları; yapılan deneye göre vida tutma kapasitesi en yüksek 26,80 N/mm² ile söğüt odununa ait öz odun kısmının teğet yüzeyinde tespit edilmiştir. Brinell sertlik değeri ise en yüksek 29,44 N/mm² ile söğüt odununa ait öz odun kısmının en kesit yüzeyinde tespit edilmiştir. Ayrıca vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmıştır. Yapılan çoklu varyans analizi testine ait sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.



N: Numune sayısı; Std. Sp.: Standart sapma

Şekil 8. Söğüt odununun kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 5. Söğüt odununun odun kısmı ve kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin çoklu varyans analizi

| | Varyans kaynağı | SD | Kareler ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi eta ² |
|------------------------|--------------------|----|--------------|---------|----------------------------|------------------------|
| Vida tutma kapasitesi | Odun kısmı (A) | 1 | 67,225 | 50,056 | 0,000 | 0,481 |
| | Kesit yüzeyi (B) | 2 | 259,188 | 192,993 | 0,000 | 0,877 |
| | AXB | 2 | 25,475 | 18,969 | 0,000 | 0,413 |
| | Hata | 54 | 1,343 | | | |
| | Toplam | 60 | | | | |
| | Düzeltilmiş toplam | 59 | | | | |
| Brinell sertlik değeri | Varyans kaynağı | SD | Kareler ort. | F | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi eta ² |
| | Odun kısmı (A) | 1 | 354,829 | 80,419 | 0,000 | 0,598 |
| | Kesit yüzeyi (B) | 2 | 1231,550 | 279,120 | 0,000 | 0,912 |
| | AXB | 2 | 48,827 | 11,066 | 0,000 | 0,291 |
| | Hata | 54 | 4,412 | | | |
| | Toplam | 60 | | | | |
| Düzeltilmiş toplam | 59 | | | | | |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Çizelge 5'teki çoklu varyans analizi sonuçlarına göre gerek vida tutma kapasitelerine ve gerekse Brinell sertlik değerine etkileri araştırılan söğüt odununa ait odun kısımları (Öz ve diri odun) ile bu kısımlara ait olan kesit yüzeylerinin (Teğet, radyal ve enine) etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre vida tutma kapasitesinde (%87,7) ve Brinell sertlik değerinde (%91,2) kesit yüzeylerinin etkilerinin daha yüksek düzeyde oldukları tespit edilmiştir. Söğüt odununun vida tutma

kapasitesi ve yüzey sertlik direncine etkileri anlamlı olarak tespit edilen odun kısmı ile kesit yüzeylerinin gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi yapılarak homojenlik durumları tespit edilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre söğüt odununun öz odun ve diri odun kısımlarının vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ait homojenlik grupları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Söğüt odununun odun kısmına bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ilişkin homojenlik grupları

| Odun kısmı | Vida tutma kapasitesi (N/mm ²) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm ²) | HG |
|------------|--|----|---|----|
| Öz odun | 22,50 | A | 18,90 | A |
| Diri odun | 20,38 | B | 14,04 | B |

LSD: 0,60 N/mm², HG: Homojenlik grubu, LSD: 1,09 N/mm²

Çizelge 6'ya göre söğüt odununa ait öz odun kısmının diri oduna göre vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleşen bu sonuç; öz odun kısmının daha yüksek yoğunluğa sahip olması ile birlikte içerdiği ekstraktif madde miktarının fazlalığına bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Literatürde vida tutma kapasitesi yoğunluk artımıyla arttığı (Kaya ve İmirzi, 2023) ancak söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ilişkin benzer bir çalışmaya rastlanılmadığı gibi diğer odun türlerine ait öz ve diri odun kısımlarının vida tutma dirençlerine de rastlanılmamıştır. Ancak söğüt odununa yakın yoğunluk değerine (0,46 g/cm³) sahip olan kavak odununun vida tutma direnci 16,5 N/mm² (Bal vd., 2015) olduğu; elde edilen bu değerlerin yapılan bu çalışma ile yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Ağaç malzemedeki Brinell sertlik değeri; yıllık halkanın yapısı, yaz odunu iştirak miktarı, trahelerin miktarı ve çap oranları etkili olmaktadır. Söğüt odununa ait Brinell sertlik değerinin öz oduna bağlı olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Ay ve Şahin, 2002). Öz ve diri odun arasındaki Brinell sertlik değerleri arasındaki farklılığın yoğunluk kaynaklı meydana geldiği söylenilebilir.

Literatürde Brinell sertlik değeri 34 N/mm²'den küçük odun türleri için çok küçük yüzey sertliği direnci sınıfına dâhil edilmektedirler (Bozkurt ve Erdin, 1990). Dolayısıyla yapılan çalışmada elde edilen veriler göre söğüt odunu çok düşük yüzey sertliğine sahip odun türü olarak nitelendirilebilir. Söğüt odununa ait kesit yüzeylerine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ait homojenlik grupları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7'ye göre söğüt odununa ait vida tutma kapasitesi en fazla teğet kesitte 25,02 N/mm² olarak gerçekleşirken en düşük vida tutma kapasitesi ise enine kesit yüzeyinde 17,82 N/mm² olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesinin teğet yüzeyde daha yüksek çıkmasının nedeni ise yıllık halkaların yapısını oluşturan selülozik yapıya sahip mikrofibrillerin teğet yüzeyde bariyer işlevi görmelerine bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 7. Söğüt odununa ait kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin homojenlik grupları

| Kesit yüzeyi | Vida Tutma Kapasitesi (N/mm ²) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm ²) | HG |
|--------------|--|----|---|----|
| Teğet kesit | 25,02 | A | 13,81 | B |
| Radyal kesit | 21,49 | B | 10,30 | C |
| Enine kesit | 17,82 | C | 25,30 | A |

LSD:0,73 N/mm², HG: Homojenlik Grubu, LSD: 1,33 N/mm²

Yapılan çalışmalarda farklı türlerdeki odunların vida tutma kapasitelerinin de teğet kesit yüzeyinde daha yüksek oldukları tespit edilmiştir (Çavuş ve Ayata, 2018; Efe, 2020; Çavuş, 2020b).

Brinell sertlik değeri birim hacim içerisindeki odun kütlesi artıkça sertlik değeri artmaktadır. Poröz oranı artıkça sertlik değeri düşmektedir. Aynı zamanda yıllık halka içerisindeki yaz odunu iştirak oranı azaldıkça sertlik değeri yine düşmektedir (Göker ve As, 1991). Yapılan çalışmada söğüt odununun yüzey sertlik direnci enine kesit yüzeyinde 25,30 N/mm² ile en yüksek iken en düşük Brinell sertlik değeri ise radyal kesitte 10,30 N/mm² olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlerin meydana gelmesi; yıllık halka yapısını oluşturan boyuna yöndeki boru şeklindeki misellerin konumuna bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Literatürde yapılan çalışmalara göre en kesit yüzeyinde gerçekleşen yüzey sertlik değerinin teğet ve radyal kesit yüzeyine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Bektaş vd., 2012; Aytin, 2013; Şahin, 2013; Bal vd., 2013). Söğüt odununun odun kısmı ile kesit yüzeyi etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ve yüzey sertlik direncine ait homojenlik grupları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8'e göre söğüt odununun odun kısmı ve kesit yüzeyi ikili etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ile Brinell sertlik değerlerine bakıldığında; vida tutma kapasitesinde, öz odun ile teğet kesit etkileşiminde en yüksek 26,81 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Brinell sertlik değerinde ise en yüksek değer, öz odun ve enine kesit etkileşiminde 29,44 N/mm² olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesinin öz odun ve teğet kesite bağlı daha yüksek olarak tespit edilmesinin nedeni öz odun içerisinde bulunan ekstraktif maddelerin varlığına bağlı olarak yoğunluk değerinin yüksekliğinden dolayı meydana geldiği söylenilebilir. Brinell sertlik değerinin de öz odundaki yoğunluk değerinin fazlalığından; ayrıca enine kesitte trahelerin üst üste gelmesi ile oluşan misellerin numune eksenine paralel bir şekilde uzamasıyla borucuklar teşkil etmesine bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Dikili ağaçlarda öz odun oluşumu esansında ekstraktif maddeler hücre çeperi ve lümenlere yerleşerek ağaç malzemenin yoğunluğunu artırmaktadır. Buna bağlı olarak mekanik direnç değerlerinde ve sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Çizelge 8. Söğüt odununa ait odun kısmı ve kesit yüzeylerinin ikili etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen homojenlik grupları

| Odun kısmı | Kesit yüzeyi | Vida Tutma Kapasitesi (N/mm ²) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm ²) | HG |
|------------|--------------|--|----|---|----|
| Öz odun | Teğet kesit | 26,81 | A | 15,88 | C |
| | Radyal kesit | 23,11 | B | 11,38 | D |
| | Enine kesit | 17,57 | D | 29,44 | A |
| Diri odun | Teğet kesit | 23,23 | B | 11,73 | D |
| | Radyal kesit | 19,86 | C | 9,22 | E |
| | Enine kesit | 18,06 | D | 21,16 | B |

LSD: 1,04 N/mm², HG: Homojenlik grubu, LSD: 1,88 N/mm²

4. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada söğüt odununun öz ve diri odun kısımları ile teğet, radyal ve enine kesit yüzeylerine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemede elde edilen sonuçlara göre;

- Söğüt odununa ait öz ve diri odun yoğunlukları arasında anlamlı bir farkın olduğu; öz odunun yoğunluk değerinin diri oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak diri odununun rutubet oranının öz oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan incelemede hem statik eğilme direncinde ve hem de eğilmede elastikiyet modülü değerinde diri odun öz oduna göre daha dirençli iken diri ve öz odun arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.
- Söğüt odununun odun kısmına bağlı olarak gerçekleşen dinamik eğilme direncinin diri odun kısmında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diri ve öz odun arasında var olan dirençsel farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı oldukları tespit edilmiştir.
- Liflere paralel basınç direncinde öz odun kısmının diri odun kısmına göre daha yüksek basınç direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Odun kısmına göre vida tutma kapasitesi; öz odunun diri oduna göre daha dirençli olduğu; kesit yüzeyi bakımından ise teğet kesitin hem radyal kesitten ve hem de enine kesitten daha yüksek vida tutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Odun kısmına göre Brinell sertlik değeri; öz odunda, diri oduna göre daha fazla olduğu; kesit yüzeyi bakımından ise enine kesitin hem teğet kesitten ve hem de radyal kesitten daha yüksek Brinell sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada elde edilen bulgulara göre söğüt odununun statik yüklere maruz kalınacak uygulamalarda kullanılması durumunda odun kısımları ve kesit yüzeylerinin dikkate alınması gerektiği önerilmektedir. Bu önerinin dikkate alınmasıyla söz konusu ürünün kullanım yerindeki hizmet süresinin daha uzun olabileceği söylenilebilir. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre söğüt odunu çeşitli mobilyalarda, düşük yoğunluktan dolayı ısı ve ses yalıtımlarındaki duvar, tavan ve zemin kaplamalarında farklı işlemlere tabi tutularak (CLT panellerin çekirdek katmanı halinde) kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Acar, N., 2014. Söğüt (*Salix alba*) ekstraktı mordanlı pamuk, yün elyaf ve ahşap numunelerinin sarkız çayı otu (*Sideritis trojana ehrend*) ile boyanma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Alkan, Ç., 2004. Türkiye'nin önemli yapraklı ve ibre yapraklı ağaç odunlarının mikrografik yönden incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Ay, N., Şahin, H., 2002. Maçka-Çatak Bölgesi Anadolu Kestanesi (*Castanea Sativa Mill.*) odununun bazı mekanik özellikleri. Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1: 87-95.

- Aytin, A., 2013. Yabani kiraz (*Cerasus avium (L.) Monench*) odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulamasının etkisi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Bal, B.C., Ayata, Ü., 2020. Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 461-467.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2018. Odunun yoğunluğu ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1(2): 51-61.
- Bal, B.C., Ayata, Ü., Çavuş, V., Şahin, S., Efe, F.T., Dilik, T., 2018. Huş (*Betula pendula*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (UMTEB), 7-9 Aralık, Erzurum, s. 2104-2113.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., Kaymakçı, A., 2013. Toros sedirinde genç odun ve olgun odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2): 17-27.
- Bal, B.C., Gündeş, Z., Akçakaya, E., 2015. Kavak, kayın ve okaliptüs kaplamaları ile üretilen kontrplakların vida tutma direncinin araştırılması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2): 77-83.
- Ball, J., Carle, J., Del Lungo, A., 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. UNASYLVA-FAO, 56(2): 3-9.
- Bektaş, İ., Kaymakçı, A., Bal, B.C., 2012. Kahramanmaraş bölgesinde yetiştirilen pavlonya (*Paulownia elongata*) odununun teknolojik özellikleri. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 102-108.
- Bogdan, I., Musat, E.C., Salca, E.A., Scriba, C., Ciobanu, V.D., 2016. Evaluation of selected mechanical properties of willow wood. (Poster) International Symposium "Forest and Sustainable Development" Braşov, Romania 7-8 October,
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1990. Ticarete kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 40(1): 6-24.
- Bozkurt, A.Y., 1992. Odun Anatomisi, İstanbul Üniversitesi. Yayın No: 3652, Orman Fak. Yayın No: 415, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Genel Yayın No: 3998, Orman Fakültesi Yayın No:445, İstanbul.
- Bozkurt, A. Y., Erdin, N., 2011. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Yayın No:5029, Orman Fakültesi Yayın No:445, İstanbul.
- Çavuş, V., Ayata, Ü., 2018. Manolya ağacı, akçaağaç ve tespih ağacı odunlarında vida tutma direnci üzerine bir araştırma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1(2): 94-102.
- Çavuş, V., 2020. Kayısı ağacı (*Prunus armeniaca L.*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22(2): 457-464.
- Çavuş, V., Ersin, İ., Bal, B.C., 2022. Ihlamur (*Tilia tomentosa*) odunun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 5(2): 120-130.
- Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorological maps for the main European woody species, Data in Brief, 12: 662-666.
- Dönmez, İ.E., Salman, H., 2021. Söğüt (*Salix alba L.*) odun ve kabuğunun kimyasal yapısı. Turkish Journal of Forestry, 22(1): 38-42.
- Efe, F.T., 2020. Japon akçaağaç odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 3(2): 110-118.
- Eroğlu, H., Usta, M., 1989. Investigations on Utilisation Possibilities of White Willow (*Salix alba L.*) Wood in Pulp and Paper Industry, Journal of Agriculture and Forestry of TUBITAK, 13(2): 235-245.
- Göker, Y., As, N., 1991. Toros Sediri (*Cedrus libani A. Richard*) odununun brinell sertlik değeri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 41(1): 1-11.

- Güller, B., Ay, N., 2001. Artvin Yöresi Sakallı Kızılağaç (*Alnus glutinosa subsp. barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) odununun bazı mekanik özellikleri. TUBİTAK, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25 (2): 129-138.
- Güvenç, A., 2003. Ankara Çevresinde Yetişen *Salix* L. (Söğüt) Türleri Üzerinde Farmasötik Botanik Yönünden Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No:2001-08-03-033, Ankara.
- Johnson, O., 2004. Collins Tree Guide. HarperCollins Publishers, London.
- Kantay, R., 1986. Ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 36(2): 58-74.
- Kaya, M., İmirzi, H., 2023. Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin vida tutma dirençlerinin belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 6(1): 123-133.
- Keskin, H., Dağlıoğlu, N., 2016. Bazı odun türlerinde tanalit-emprenye maddesinin eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülüne etkileri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1): 62-69.
- Mitchell, A.F., 1974. A Field Guide To The Trees Of Britain And Northern Europe. HarperCollins Distribution Services; Glasgow, UK.
- Orhan, H., 2017. Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine azot gazı varlığında yapılan ısı işleminin etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Örs Y., Keskin H., 2008. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Gazi Yayın Dağıtım, G.Ü. Yayın No: 352, Ankara.
- Praciak, A., Pasiiecznik, N., Sheil, D., Van Heist, M., Sassen, M., Correia, C.S., Dixon, C., Fyson, G., Rushforth, K., Teeling, C., 2013. The CABI Encyclopedia Of Forest Trees. CABI, Oxfordshire, UK.
- Sacré E., 1974a. Étude du bois des peupliers "I.214", "robusta" et "gelrica" (2e partie). Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 81 (4): 219-230.
- Sacré E., 1974b. Contribution à l' étude du bois de saulle blanc. Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 81 (12): 485-501.
- Salman, H., 2019. Söğüt (*Salix alba* L.) odun ve kabuğunun kimyasal yapısı üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Savill, P., 2019. The Silviculture of Trees Used in British Forestry, 3rd edn. CAB International, Wallingford and Boston.
- Şahin, H.İ., 2013. Isıl işlemin doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı teknolojik özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- Tunçtaner, K., 1990. Çeşitli Söğüt Klonlarının Genetik Varyasyonları ve Türkiye'nin Değişik Yörelerine Adaptasyonları Üzerine Araştırmalar. Tarım, Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 150 (1990-2), Yenilik Basımevi, İstanbul, s. 13-15.
- Tsoumis, G., 1991. Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization (Vol. 115). New York: Van Nostrand Reinhold.
- TS EN 13446, 2005. Ahşap esaslı levhalar - Bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 1, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 2, 2021. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 3, 2021. Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 4, 2021. Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 10, 2021. Odunun dinamik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061-12, 2021. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için statik sertliğin tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 17, 2021. Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 3129, 2021. Odun- Küçük kusursuz odun numunelerinin mekanik ve fiziksel muayenesi için genel gerekler ve numune alma yöntemleri. TSE, Ankara.