

Ak dut odununun (*Morus alba* L.) bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Musa Kaya^{a,*}, Ramazan Bülbül^b

Öz: Yapılan çalışmada, geniş yapraklı bir ağaç türü olan ak dut (*Morus alba* L.) odunun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi kapsamında hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve vida tutma kapasitesi araştırılmıştır. Yapılan testlere göre ak dut odununun hava kurusu yoğunluk değerinin 0,59 g/cm³ tam kuru yoğunluk değerinin de 0,56 g/cm³ olduğu tespit edilmiştir. Böylece hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri arasında anlamlı bir farkın olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerden olan eğilme direnci, 71,06 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü, 6117 N/mm², dinamik eğilme (Şok) direnci, 27,83 kJ/m², liflere paralel basınç direnci 60,39 N/mm², vida çekme direnci ise teğet yüzeyde 54,34 N/mm² radyal yüzeyde 49,92 N/mm² ve en kesit yüzeyde 42,29 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ak dut odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin literatürde yapılmış olan çalışmaların sonuçlarıyla paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla ak dut odunu özellikle iç mekân mobilyalarında kullanılabilir özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Ancak ağaç malzemenin anizotrop ve ortotropik bir yapıya sahip olmasından dolayı özellikle ak dut odununun kesit yüzeylerine ve yetiştirme bölgelerine bağlı olarak mekanik özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ak dut odunu, Fiziksel özellikler, Kesit yüzeyleri, Mekanik özellikler

Determination of some physical and mechanical properties of white mulberry (*Morus alba* L.) wood

Abstract: In this study, the air-dry and oven-dry density values, bending strength, modulus of elasticity in bending, dynamic bending strength, compression strength parallel to the grain, and screw holding capacity of white mulberry (*Morus alba* L.) wood, which is a broad-leaved tree species, were investigated within the scope of examining some of its physical and mechanical properties. According to the tests conducted, the air-dry density of white mulberry wood was determined to be 0.59 g/cm³, while its oven-dry density was found to be 0.56 g/cm³. Thus, it was observed that there is a significant difference between the air-dry and oven-dry density values. Among the mechanical properties, the bending strength was determined as 71.06 N/mm², the modulus of elasticity in bending as 6117 N/mm², the dynamic bending (impact) strength as 27.83 kJ/m², and the compression strength parallel to the grain as 60.39 N/mm². The screw withdrawal resistance was found to be 54.34 N/mm² on the tangential surface, 49.92 N/mm² on the radial surface, and 42.29 N/mm² on the cross-sectional surface. According to the results obtained, the physical and mechanical properties of white mulberry wood were found to be in agreement with the findings reported in previous studies in the literature. Therefore, it can be stated that white mulberry wood possesses properties suitable for use especially in interior furniture applications. However, since wood is an anisotropic and orthotropic material, it is recommended that the mechanical properties of white mulberry wood be further investigated in relation to its cross-sectional surfaces and growth regions.

Keywords: Cross-sectional surfaces, Mechanical properties, Physical properties, White mulberry wood

1. Giriş

İnsanoğlu geçmişten günümüze ahşap malzemeyi; barınma, beslenme, sağlık ve güvenlik amaçlı gibi birçok ihtiyacını gidermek için kullanmıştır. Söz konusu bu ihtiyaçların giderilmesindeki sürekliliği; şüphesiz ahşap malzemenin doğada yenilenebilir varlığının bir sonucu olarak gerçekleşmektedir. Ancak son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte yapısal ahşap ile mobilya/dekorasyon uygulamalarının artması sonucu ağaç malzemenin tüketiminde daha fazla artış meydana gelmektedir. Dolayısıyla meydana gelen bu artışın sürdürülebilir bir biçimde ikame edilmesi ancak ağaç malzemenin rasyonel

olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde bilinip, değerlendirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Ağaç malzemenin mekanik özellikleri; mobilya ve yapısal uygulamalarda kullanılması durumunda sahip olduğu biçimsel yapısını değiştirmeye yönelik etkileyici kuvvetlere mukavemet seviyesidir (Tsoumis, 1991). Fiziksel özellikleri ise odun – su ilişkileri, hacim – ağırlık ilişkileri gibi özellikleri kapsamaktadır. Ağaç malzeme kullanılacağı yerler göz önüne alındığında mekanik özellikler gibi fiziksel özellikler de önem kazanmaktadır. Bundan dolayı ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bilinmesini gerekmektedir (Örs ve Keskin, 2001; Sancak, 2010; Düzkalı vd., 2015; Kaya ve Bülbül, 2024).

^a Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Müdürlüğü, Erzurum, Türkiye
^b Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççılık Endüstri Mühendisliği, Ankara, Türkiye

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

Received (Geliş tarihi): 01.06.2025, Accepted (Kabul tarihi): 17.11.2025



Citation (Atf): Kaya, M., Bülbül, R., 2025. Ak Dut odununun (*Morus alba* L.) bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 26(4): 624-630. DOI: [10.18182/tjf.1711299](https://doi.org/10.18182/tjf.1711299)

Yapısı itibarı ile anizotrop olan (Usta, 2016) ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bunlar rutubet değişimleri, rüzgâr, yağmur, dolu, toz, hava kirliliği, mikro organizmalar, radyasyon, güneş etkisi (Yazıcı, 2005), odun türü ve ağaçtan alındığı yer (Çavuş, 2020), yoğunluğu, ekstraktif madde miktarı ve yetiştirme ortamı değişkenleri gibi (Bektaş, 1997; Malkoçoğlu, 1994; Yıldız ve Bircan, 2022) faktörlerdir. Ağaç malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli etken yoğunluk faktörü olmakla birlikte ağaç malzemedeki budaklar, lif kıvrıklığı, yıllık halka yönü, reaksiyon odunu ve basınç çatlakları, reçine keseleri, mantar etkisi, çürük veya sağlam oluşu gibi etmenlerdir (Bozkurt ve Erdin, 1995). Bundan dolayı ağaç malzemeye etki eden bu faktörler göz önüne alınarak odunun karakteristik yapısı iyi bilinmelidir (Gündüz vd., 2009).

Bu çalışmada ak dut ağacının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Anavatanı Çin olan dut ağacı Moraceae familyasının *Morus L.* cinsine dâhil ağaç türü olup; Japonya, Kore, Pakistan, İran ve Türkiye gibi ülkelerde yetişmektedir (Gökmen, 1973). Türkiye’de yaygın bir biçimde yetişen 3 farklı türü bulunmaktadır. Bunlar ak dut (*Morus alba L.*), Kara dut (*Morus nigra L.*) ve Mor dut (*Morus rubra L.*)’tur. Türkiye’de daha çok Orta ve Doğu Anadolu’da yetişen ak dut odunu, tuzlu suya karşı dayanıklı olup; kayalık, kurak, kumlu, kireçli topraklarda yetişebilmekle beraber ılıman iklimlerde, sıcak ve güneş alabilen bölgelerde daha hızlı büyüme potansiyeline sahiptir (Yücel vd., 1995; Machii vd., 2001; Lale ve Özçağırın, 1996).

Boy 15 metreye kadar büyüeyen kalın dallı ve geniş şapkalı ak dut ağacının gövdesi silindirik ve kalındır. Kabuk ise boyuna yönde derin çatlaklı yapıda olup; rengi gri ve kahverengi karışımıdır. Öz odun ve diri odun kısımları belirgin bir biçimde birbirlerinden ayırt edilebilir olup; diri odun kısmının rengi içeriğindeki morin maddesinden ötürü sarı olup; öz odunun rengi ise sarımsı kahverengine sahiptir (Anşın ve Özkan, 1993; Machii vd., 2001; Örs ve Keskin, 2001). Ak dut (*Morus Alba L.*) ağacı halkalı traheli odun türlerinden olup; yoğunlukla tüllerle dolu olan ilkbahar odunu traheleri oval ya da dairesel şekillidir. Yaz odunu traheleri ise köşeli, sıralı küçük gruplar halinde bulunmaktadırlar (Bozkurt ve Erdin, 1995). Hava kurusu ortalama yoğunluk değeri 0,67 g/cm³, tam kuru yoğunluk değeri ise 0,60 g/cm³ olup lif doygunluk noktası ise %31,2 dir. Liflere paralel basınç direnci 49 N/mm² eğilme direnci 82 N/mm² ve eğilmede elastikiyet modülü değeri ise 2128,67 N/mm² dir (Gündüz vd., 2009; Yıldırım, 2006).

Dut ağacı yapraklarından ipek böceği yetiştiriciliği, rahat sindirilebilme özelliği ve yüksek protein içeriğinden ötürü geniş getiren hayvanlar ile balıkların beslenmesinde kullanılmaktadır (Ryu, 1977; Huo, 2002; Trujillo, 2002). Bununla birlikte verniklenebilir olması, dayanıklı ve sert olmasından dolayı değerli bir odun türüdür. Bundan dolayı mobilya yapımı, sandık, saz gibi müzik aletlerin yapımında, takunya, çeşitli tarım aletleri, kâğıt üretiminde, çuval yapımında kullanılmaktadır (Lale ve Özçağırın, 1996). Ayrıca hammaddenin sürekli olmamasından dolayı kullanım alanı kısıtlıdır (Yıldırım, 2006).

Bu çalışma, Türkiye’deki dut üretiminde önemli bir konuma sahip olan Erzurum ilinde yetişmiş ak dut odununun bazı fiziksel (tam kuru ve hava kurusu yoğunluk) ve mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, dinamik eğilme direnci ve vida tutma

kabiliyeti) özelliklerini deneysel metotlarla incelemeyi hedeflemiştir. Bu nedenle, odunun kesit yüzeyleri temel alınarak gerçekleştirilen bu çalışma, literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, çalışma sonucunda elde edilen veriler; hem ak dut odununun endüstriyel anlamda kullanım potansiyelinin değerlendirilmesine hem de yerli odun türlerinin sürdürülebilir malzeme araştırmalarında alternatif bir kaynak olarak göz önünde bulundurulmasında bilimsel bir katkı sağlamaktadır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada; Türkiye Cumhuriyeti Erzurum ili Tortum ilçesi sınırlarında yetişmiş ve çapı 35 cm ile 37 arasında değişen ak dut (*Morus Alba L.*) odunu kullanılmıştır. Tek bir gövde odunundan kesilen, ölçüleri 120 cm x 25 cm x 5 cm olan kalaslardan elde edilen numunelerle çalışma konusu olana odun türüne ait bazı fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Deneylere tabi tutulan ak dut odununa ait kereste seçilirken, düzgün lifli, normal büyüme gerçekleştirmiş, yani reaksiyon odunu olmayan bir gövde yapısına sahip, budaksız, mantar ve böcek tahribatına uğramamış olması gibi kriterler esas alınmıştır. Seçilen keresteler oda sıcaklığındaki atelye ortamında 150 gün bekletildikten sonra deneysel işlemlere tabi tutulması için gerekli olan numune ölçülerinde dilimlenmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Ak dut odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi

Ak dut odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Ak dut odununun fiziksel özelliklerinden olan hava kurusu yoğunluk değerlerinin tespiti için TS ISO 13061- 2 (2021) No’lu standardındaki esaslara göre 20×20×30 mm ölçüsünde hazırlanan 10 adet deney numunesi iklimlendirme kabinde 20°C±2 sıcaklık ve %65±5 bağıl şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Örnek ağırlıkları 0,01g hassasiyetteki terazide tartılıp 0,01 mm duyarlılıkta dijital kumpas ile ölçülüp değişmez ağırlık ve boyutlara geldiğinde hava kurusu için yoğunluk değerinde olduğu kabul edilip Eşitlik 1’deki formül ile bu değer belirlenmiştir. Tam kuru yoğunluk değeri için ise TS ISO 13061- 2 (2021) No’lu standarda göre 20×20×30 mm boyutlarında hazırlanan 10 adet deney numunesi etüvde 103±2 °C’de değişmez ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuştur. 6 saat aralıkla 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’deki formül ile tam kuru yoğunluk değeri belirlenmiştir.

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

Burada; D₁₂: Hava kurusu yoğunluk değeri (g/cm³), M₁₂: Hava kurusu ağırlık (g), V₁₂: Hava kurusu hacim (cm³) değeridir.

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

Burada; D_0 : Tam kuru yoğunluk değeri (g/cm^3), M_0 : Tam kuru ağırlık (g), V_0 : Tam kuru hacim (cm^3) değeridir.

Yapılan çalışmada mekanik özelliklerinin tespit edilmesi Instron 5969 markalı Universal Test Cihazı'nda gerçekleştirilmiştir. Eğilme direncinin tespitinde; masif ağaç malzemeler için TS ISO 13061 - 3'te belirtilen esaslara uyulmuştur. Bu doğrultuda $360 \times 20 \times 20$ mm ölçülerinde hazırlanan 10'ar adet deney numunelerine; kuvvet uygulaması teğet yüzeye dik pozisyonda olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve eğilme direnci Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır. Bununla birlikte eğilme direnci deneylerinde TS ISO 13061 - 4 (2021)'teki esaslara uyularak eğilmede elastikiyet modülü değerleri de tespit edilerek Eşitlik 4'teki formüle göre hesaplanmıştır. Eğilme direnci testinde mesnetler arası mesafe 30 cm, kuvvet uygulaması ise dakikada 10 mm ayarlanıp; deney işlemi gerçekleştirilmiştir. Liflere paralel basınç direnci testi için ise TS ISO 13061 - 17 (2019)'de belirtilen esaslara uyularak hazırlanan $30 \times 20 \times 20$ mm ölçülerindeki deney numuneleri yükleme hızı 10 mm/dk. olacak şekilde teste tabi tutularak; liflere paralel basınç dirençleri Eşitlik 5'teki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_{bw} = \frac{3F_{\max} \cdot l}{2bh^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3)$$

Burada; $F_{\max}$: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (Newton), l : Desteklerin merkezleri arasındaki mesafe (mm), b : Kesit genişliği (mm), h : Kesit yüksekliği (mm) olarak hesaplanmıştır.

$$E_w = \frac{Pl^3}{4bh^3f} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

Burada; P : Uygulanan kuvvetler farkı (Newton), l : Desteklerin merkezleri arasındaki mesafe (mm), b : Test

parçasının genişliği (mm), h : Test parçasının yüksekliği (mm), f : Yer değiştirme miktarı (mm) olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_w = \frac{P_{\max}}{A} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5)$$

Burada; $P_{\max}$: Maksimum kuvvet (Newton), A : Enine kesit alanı, σ_w : Basınç direnci (N/mm^2) olarak hesaplanmıştır.

Ak dut odununun vida tutma kabiliyetinin belirlenmesi için TS EN 13446 (2005) No'lu standart esas alınarak; $50 \times 50 \times 50$ mm ölçüsünde hazırlanan deney numunelerinin radyal, teğet ve en kesit yüzeylerinde 15 mm derinliğinde ön kılavuz deliği açılarak vidalama işlemi yapılarak MASER markalı cihazda vidalar çektirilmiştir. Daha sonra makinede elde edilen maksimum yük değeri (Newton) esas alınarak vida tutma kabiliyetleri Eşitlik 6'daki formüle göre hesaplanmıştır. Ak dut odununun dinamik eğilme direncinin tespiti için ise TS ISO 13061 - 10 (2021)'daki esaslara uyularak hazırlanan $300 \times 20 \times 20$ mm ölçüsündeki deney numuneleri Charpy markalı test cihazı'nda teste tabi tutularak Eşitlik 7'deki formüle göre hesaplanmıştır. Yapılan fiziksel ve mekanik testler ile ilgili görseller Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

$$f = \frac{F_{\max}}{d \cdot l_p} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6)$$

Burada; $F_{\max}$: Kırılma anındaki en yüksek kuvvet (Newton), d : Vidanın çapı (mm), l_p : Vidanın levhaya daldırma mesafesi (mm).

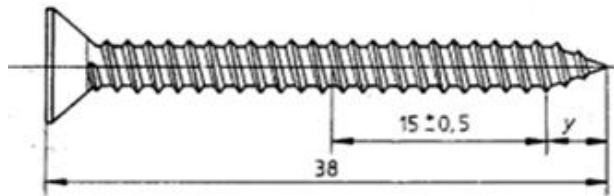
$$A_w = \frac{1000 \times Q}{b \times h} \quad (7)$$

Burada; A_w : Dinamik eğilme şok direnci (kJ/m^2), Q : Deney örneğinin kırıldığı andaki iş miktarı (J), b : örnek genişliği (mm), h : örnek yüksekliği (mm) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Fiziksel ve mekanik testlere ilişkin görseller a) deney numunelerinin klimatize edilmesi, b) Dinamik Eğilme Deney Düzenegi, c) Eğilme deneyi düzenegi, d) Liflere paralel basınç deneyi

Figure 1. Images related to physical and mechanical tests: (a) conditioning of test specimens, (b) dynamic bending test setup, (c) bending test setup, and (d) compression parallel to the grain test.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan vidaya ait ölçüler (mm)

Figure 2. Dimensions (mm) of the screw used in the experiments.

2.3. Verilerin analiz edilmesi

Deneysel yöntemlerle elde edilen sayısal verilerin analizinde SPSS 26 programı tercih edilmiştir. Bu program ile tek ve çok yönlü varyans analizleri yapılmış olup bunların sonucunda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde tespit edilen parametrelerin homojenlik gruplarını belirlemek için 95% güven endeksi dâhilinde çoklu karşılaştırmalar yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Tam kuru ve hava kurusu yoğunluk değerlerinin tespiti

TS ISO 13061- 1 (2021) ve TS ISO 13061- 2 (2021) göre tespit edilen hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin sayısal değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1’e göre ak dut odununun ortalama hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerinin birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu tespit edilmiştir. Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin tespit edilen sayısal verilerin istatistiksel olarak birbirlerinden farklılık seviyelerini belirlemek için yapılan varyans (ANOVA) analiz sonucu Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2’ye göre ak dut odunun hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen anlamlılık seviyesindeki etkinin yaklaşık %69’u ölçülen hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Meydana gelen anlamlı etkinin homojenlik gruplarının belirlenmesine ilişkin Duncan testi sonuçları ise Çizelge 1’de verilmiştir.

Orta ağırlıktaki ağaçların yoğunluk değerleri $0,50 \text{ g/cm}^3$ ile $0,69 \text{ g/cm}^3$ (Bozkurt ve Erdin, 1990) arasında olduklarından ak dut odunu yoğunluk değerine bağlı olarak bu sınıflandırmaya tabi tutulabilir. Aynı zamanda halkalı traheli ağaçlardan olan ak dut odununun yoğunluk değerleri aynı trahe yapısına sahip ağaç türleri ile kıyaslandığında; Karaağaç odunu hava kurusu yoğunluk değeri $0,614 \text{ g/cm}^3$, tam kuru yoğunluk değeri ise $0,579 \text{ g/cm}^3$ (Güler vd., 2010), Kestane odununa ait hava kurusu yoğunluk değeri $0,540 \text{ g/cm}^3$ tam kuru yoğunluk değeri ise $0,508 \text{ g/cm}^3$ (Ay ve Şahin, 2011); meşe odununun hava kurusu yoğunluk değerinin ortalama $0,75 \text{ g/cm}^3$ (Bülbül vd., 2024), yalancı akasya odununun hava kurusu yoğunluk değeri $0,76 \text{ g/cm}^3$, tam kuru yoğunluk değeri ise $0,72 \text{ g/cm}^3$ (As vd., 2001) olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada ise ak dut

odununun hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin verilerin literatürdeki çalışmalara benzer olduğu söylenebilir.

3.2. Ak dut odununun mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Yapılan çalışmada ilgili standartlar esas alınarak tespit edilen ak dut odununun mekanik özelliklerine ait sayısal veriler Çizelge 3’te verilmiştir.

Halkalı traheli ağaçlardan olan dut odunu için yapılan literatür çalışmalarında eğilme direncinin 77 N/mm^2 , Eğilmede elastikiyet modülü değeri $2128,67 \text{ N/mm}^2$ olduğu tespit edilmiştir (Gündüz vd., 2009). Yine aynı gruptaki bazı odun türlerinden; kestane odunu için eğilme direnci $70,10 \text{ N/mm}^2$, eğilmede elastikiyet modülü değeri ise $8698,98 \text{ N/mm}^2$ olduğunu belirtmişlerdir (Düzkale vd., 2015; Başboğa vd., 2023). Meşe odunu için eğilme direnci 107 N/mm^2 , eğilmede elastikiyet modülü değeri de 9780 N/mm^2 (Aydemir vd., 2019), yalancı akasya odunu için eğilme direnci $133,49 \text{ N/mm}^2$ (Göker, 1982), eğilmede elastikiyet modülü değeri ise 11290 N/mm^2 olduğu (Düzkale Sözbir, 2024), karaağaç odununun eğilme direnci ise 89 N/mm^2 , elastikiyet modülü değeri ise 11000 N/mm^2 (As vd., 2001) olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise ak dut odununa ait tespit edilen eğilme direncinin trahe şekline göre aynı grup odun türlerinden özellikle kestane odununun eğilme direncine yakın değerde olduğu, diğer odun türlerinin eğilme dirençlerinden ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerinin ise aynı trahe grubunda bulunan diğer odun türlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla ak dut odununun bu tür odun türlerinden daha kırılgan bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 1. Ak dut Odununun hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin sayısal veriler

Table 1. Numerical data of air-dry and oven-dry density values of white mulberry wood

İstatistiksel veriler	Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)	Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)
N	10	10
X_{min}	0,58	0,54
X_{max}	0,60	0,57
$X_{ort.}$	0,59 ^a	0,56 ^b
Std. Sp.	0,007	0,011

N: Numune sayısı, Std. Sp.: Standart sapma, ^{a, b} : Homojenlik grupları, X_{min} : Minimum değer, X_{max} : Maksimum değer, $X_{ort.}$: Ortalama değer

Çizelge 2. Ak dut Odununun hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerine ait Varyans Analizi

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of air-dry and oven-dry density values of white mulberry wood

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ort.	F	Anlamlılık düzeyi ($p<0,05$)	Kısmi η^2
Yoğunluk değerleri	0,005	1	0,005	39,912	0,000	0,689
Hata	0,002	18	0,00001			
Toplam	6,622	20				
Düzeltilmiş toplam	0,007	19				

SD: Serbestlik derecesi, F: Varyanslar oranı

Çizelge 3. Ak dut odununa ait bazı mekanik özelliklerine dair sayısal veriler

Table 3. Numerical data of some mechanical properties of white mulberry wood

İstatistiksel veriler	Eğilme direnci (N/mm ²)	Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm ²)	Dinamik eğilme direnci (kJ/m ²)	Liflere paralel basınç direnci (N/mm ²)
N	10	10	10	10
X _{min}	55,83	4880,11	10,78	58,00
X _{max}	94,45	7635,47	45,78	62,33
X _{ort.}	71,06	6117,03	27,83	60,39
Std. Sp.	15,07	843,39	10,69	1,28

N: Numune sayısı, Std. Sp.: Standart sapma, X_{min}: Minimum değer, X_{max}: Maksimum değer, X_{ort}: Ortalama değer

Ağaç malzemenin özellikle düşey yükleri taşıması esnasında önemli bir direnç değeri olan liflere paralel basınç direncinin odunun yoğunluğuna, ekstraktif madde miktarına ve ağaç malzemenin anatomik yapısına yani yapısında var olan selüloz zincirlerin diziliş şekli ile hücre duvarlarının yapısına (Tsoumis,1991; Bozkurt ve Erdin, 2011; Kaya vd., 2024) bağlı olarak değiştiği, ak dut odununun aynı trahe grubuna sahip odun türleri ile kıyaslandığında; karaağaç odununun basınç direnci 56 N/mm², kestane odunu liflere paralel basınç direnci 56,96 N/mm², yalancı akasya odunu için liflere paralel basınç direnci 71,59 N/mm² ve Meşe odunu için bu değerin de 57 N/mm² olduğunu (Göker, 1982; As vd., 2001; Efe ve Çağatay, 2011); ak dut odununda ise 49,09 N/mm² olarak (Gündüz vd., 2009) tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada ise ak dut odununa ait liflere paralel basınç direncinin ortalama 58,00 N/mm² olduğu, dolayısıyla aynı trahe şekline sahip odun türlerinin liflere paralel basınç dirençleri ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Ağaç malzemenin kullanımı esnasında kendisine ani bir şekilde etki eden kuvvetlere karşı gösterdiği direnç olan dinamik eğilme direnci; herhangi bir el aletin sap kısmında oluşan darbe etkisi, spor aletlerindeki çarpmalar, ambalaj sandıklarının maruz kaldığı çapma kuvvetlerine karşılık gelen kuvvetlerdir (Bozkurt, 1966; Özkan, 2019). Literatürde yapılmış olan çalışmalarda bazı ağaçların dinamik eğilme dirençleri; sedir odununda 20,59 kJ/m² (Efe, 2021), Çoruh meşesinin dinamik eğilme direnci 65 kJ/m² (Dündar, 2002), akasya odununda ise dinamik eğilme direnci 12,75 kJ/m² olduğunu belirtmişlerdir (As vd., 2001). Yapılan bu çalışmada ise ak dut odununun dinamik eğilme direncinin akasya ve sedir odunlarının dinamik eğilme dirençlerine yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca literatürde ak dut odununun dinamik eğilme direncine rastlanılmadığı için herhangi bir kıyaslanma yapılmamıştır.

3.2.1. Vida tutma kabiliyeti

Yapılan çalışmada ak dut odununa ait kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyetlerine ilişkin sayısal veriler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Ak dut odununun vida tutma kabiliyetlerine ait istatistiksel veriler

Table 4. Statistical data on the screw withdrawal resistance of white mulberry wood

İstatistiksel veriler	Vida tutma kabiliyeti (N/mm ²)		
	Teğet yüzey	Radyal yüzey	En kesit yüzey
N	10	10	10
X _{min}	47,09	45,78	36,15
X _{max}	60,00	54,77	47,91
X _{ort.}	54,34	49,92	42,29
Std. Sp.	4,23	3,06	3,65

N: Numune sayısı, Std. Sp.: Standart sapma, X_{min}: Minimum değer, X_{max}: Maksimum değer, X_{ort}: Ortalama değer

Ak dut odununun kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyetlerinin birbirlerinden farklı oldukları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılık seviyesin belirlemek için yapılan varyans (MANOVA) analiz sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çoklu varyans analiz sonucuna göre vida tutma kabiliyetlerinin kesit yüzeylerine bağlı olarak anlamlı (p<0,05; F:27,43) düzeyde birbirlerinden farklı oldukları tespit edilmiştir. Kesit yüzeylerine bağlı vida tutma kabiliyetlerinin anlamlı düzeyde farklı olmasını etkileyen faktörün %67'lik yüksek etki düzeyiyle vidanın çekildiği kesit yüzeyine bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kabiliyetlerinin anlamlı düzeyde farklı olmasını sağlayan diğer etkenler ise (%33) odunun heterojen yapıya sahip olması, nem oranı farklılığı, vida tipi ya da uygulama şekli ve ölçüm hatalarından meydana geldiği söylenebilir. Kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyetlerinin gruplar arası homojenlik değerlerini belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Yapılan çalışmada ak dut odununa ait kesit yüzeylerde tespit edilen vida tutma kabiliyetlerinin birbirlerinden farklı olduğu; özellikle teğet yüzeydeki vida tutma kabiliyetinin radyal ve en kesit yüzeye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen bu durumun ağaç malzemenin lif oryantasyonu ve anizotropik yapısına bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Ağaç malzeme ortotropik yapıya sahip olduğundan teğet, radyal ve boyuna yöndeki mekanik özellikleri de birbirlerinden farklı olmaktadır (Ozyhar, 2013; Şirin ve Aydemir, 2016). Bununla beraber ağaç malzemenin mekanik özelliklerinden olan vida tutma kabiliyeti de odunun türüne, kesit yüzeyine ve odunun yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Perçin ve Ayan, 2012; Örs vd., 1998; Çelebi ve Kılıç, 2007).

Yapılan çalışmalarda aynı trahe grubunda bulunan odun türlerinin kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyeti şunlardır. Akasya odunu için teğet yüzeyde 53,53 N/mm², radyal yüzeyde 52,02 N/mm², 45,10 N/mm² (Ayata ve Bal, 2020) iken; sedir odununda teğet yönde 31,4 N/mm², radyal yüzeyde 29,7 N/mm², 28,5 N/mm² (Efe, 2021) olarak tespit etmişlerdir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada da ak dut odununun kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyetlerinin literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen direnç değerlerine yakın değerlerde olduğu söylenebilir.

Çizelge 5. Ak dut Odununun kesit yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kabiliyetlerine ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları

Table 5. Multivariate analysis of variance (MANOVA) results for screw withdrawal resistance of white mulberry wood according to cross-sectional surfaces

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ort.	F	Anlamlılık düzeyi (p<0,05)	Kısmi eta ²
Vidanın çekildiği yüzey	742,913	2	371,456	27,425	0,000	0,670
Hata	365,694	27	13,544			
Toplam	72692,713	30				
Düzeltilmiş Toplam	1108,607	29				

SD: Serbestlik derecesi, F: Varyanslar oranı

Çizelge 6. Vidanın çekildiği kesit yüzeylerine ait homojenlik grupları

Table 6. Homogeneity groups of the cross-sectional surfaces for screw withdrawal

Kesit yüzeyi	$\bar{X}$ (N/mm ²)	HG
Teğet yüzey	54,34	A
Radyal yüzey	49,92	B
En Kesit yüzey	42,29	C

LSD: 3,42 N/mm²; A,B: Homojenlik grupları

4. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada Ak dut odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinden olan; hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve vida çekme dirençleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

1. Ak dut odununun ortalama yoğunluk değeri 0,56 g/cm³ olup; bu değere bağlı olarak orta yoğunluktaki (0,50-0,69 g/cm³) odun sınıfına dâhil edilebilir.
2. Ak dut odununun eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülü değeri; halkalı traheli odun türlerinin eğilme dirençleri ile yakın değerlerde olduğu; bunun sonucunda bu tür odunların kullanılabileceği yerlerde kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu söylenilebilir.
3. Ak dut odununun dinamik eğilme direncinin aynı trahe yapısına sahip odun türleri ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca dinamik eğilme direncinin göstergesi olan dinamik kalite değeri '2'den büyük olduğu için dinamik yüklere karşı daha mukavim bir odun türü olduğu söylenilebilir.
4. Ak dut odununun liflere paralel basınç direncinin aynı trahe yapısına sahip olan odun türlerinden Meşe ve Kestane gibi odun türleri ile yakın direnç değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.
5. Ak dut odununun vida tutma kabiliyeti ise kesit yüzeylerine bağlı olarak istatistiksel olarak birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit edilmiştir. En yüksek vida tutma kabiliyetine sahip teğet kesitteki yüzey olurken; en düşük vida tutma kabiliyeti ise en kesit yüzeyde tespit edilmiştir.

Sonuç olarak ak dut odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, bu odun türünün iç mekân mobilyaları, müzik aletleri, oymacılık işleri ile yapısal uygulamalarda kullanılabilir potansiyele sahip olduğu söylenilebilir. Ayrıca farklı yetiştirme ortamlarında (İklim, rakım) büyümüş olan ak dut odununun kesit yüzeylerine bağlı mekanik dirençleri ve yapışma dirençlerinin araştırılması önerilebilir.

Kaynaklar

- Anşin, R., Özkan, Z. C., 1993. Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunu taksonlar. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon.
- As, N., Koç, K.H., Doğu, A. D., Atik, C., Aksu, B., Erdinler, E.S., 2001. Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51(1):71-88.
- Ay, N., Şahin, H., 2011. Physical properties of Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood obtained from Maçka-Çatak region. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 3(1): 63-71.
- Ayata, Ü., Bal, B.C., 2020. Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) odununda bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi. (Ed., Özrenk, K., Bozdoğan, A.M., Bozdoğan N.Y), Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar, Gece Kitaplığı Yayınları, s: 199-216.
- Aydemir, D., Bürüç, G., Bakır, K., 2019. Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(3): 713-721.
- Başboğa, İ. H., Varlıbaş Başboğa, H., Eğilmez, M., 2023. Kütahya/Simav bölgesindeki biyolojik olarak zarar görmüş Anadolu kestanesinin (*Castanea sativa* Mill) odunlarının teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. ArtGRID- Journal of Architecture Engineering and Fine Arts, 5(1): 70-84. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1297192>
- Bektaş, İ., 1997. Kızılçam (*Pinus brutia* ten.) odununun teknolojik özellikleri ve yörelere göre değişimi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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, Y., Erdin, N., 1995. Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 45(2): 11-34.
- Bozkurt, Y., 1966. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 16(2): 41-60.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., 2011. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın İstanbul.
- Bülbül, R., Kaya, M., İmirzi, H.Ö., Döngel, N., 2024. Farklı odun ve tutkal türleri kullanılarak üretilen lamine kerestelerin (glulam) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 26(2): 58-68.
- Çavuş, V., 2020. Kokulu ardıç odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 3(1): 1-9. <https://doi.org/10.33725/mamad.717060>
- Çelebi, G., Kılıç, M., 2007. Nail and screw withdrawal strength of laminated veneer lumber made up hardwood and softwood layers. Construction and Building Materials, 21(4): 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.015>
- Dündar, T., 2002. Demirköy yöresi ıstranca meşelerinin (*Quercus hartwissiana* Stev.) mekanik özellikleri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 52(2): 159-176.
- Düzkal, G., Bektaş, İ., Tunç, H. H., Doğanlar, Y., 2015. Zeytin ağacı (*Olea europaea*) odunun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 10(2): 29-35.

- Düz kale Sözbir, G., 2024. Vakumlu ısıtma işlem modifikasyonunun yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) odunu özellikleri üzerine etkisi. Turkish Journal of Forest Science, 8(1): 77-85.
- Efe, F.T., 2021. Sedir odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 8(1): 43-52. <https://doi.org/10.30910/turkjans.809010>.
- Efe, H., Çağatay, K., 2011. Çeşitli masif ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 14(1): 55-61.
- Göker, Y., 1982. Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.)'nın teknolojik özellikleri ve kullanış yerleri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 32(1): 99-104.
- Gökmen, H., 1973. Kapalı Tohumlular I. Cilt. Şark Matbaası, Ankara.
- Güler, C., Şahin, H.İ., Çiçek, E., 2010. Hercai karaağacı (*Ulmus laevis* Pall.) odununun bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 6(1): 3-11.
- Gündüz, G., Yıldırım, N., Şirin, G., Onat, S. M., 2009. Ak dut ağacının anatomik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 5(1): 131-149.
- Huo, Y., 2002. Mulberry cultivation and utilization in China. FAO Animal Production and Health Paper, 147: 11-44.
- Kaya, M., Bülbül, R., 2024. Limba odununun (*Terminalia superba*) bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(1): 222-231.
- 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. <https://doi.org/10.18182/tjf.1437947>.
- Lale, H., Özçagır, R., 1996. Dut türlerinin pomolojik, fenolojik ve bazı meyve kalite özellikleri üzerinde bir çalışma. Derim, 13(4): 177-182.
- Machii, H., Koyama, H., Yamanouchi, K., Matsumoto, K., Kobayashi, S., Katagiri, K., 2001. A list of morphological and agronomical traits of mulberry genetic resources. Miscellaneous Publication of the National Institute of Sericultural and Entomological Science, 29: 1-307.
- Malkoçoğlu, A., 1994. Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odununun teknolojik özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ozyhar, T., 2013. Moisture and time dependent orthotropic mechanical characterization of beech wood. Ph.D. Dissertation, ETH Zürich, Zürich, Switzerland.
- Örs, Y., Özen, R., Doğanay, S., 1998. Mobilya üretiminde kullanılan ağaç malzemenin vida tutma dirençleri. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 22(2): 29-34.
- Örs, Y., Keskin, H., 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi. Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul.
- Özkan, M., 2019. Yapraklı ağaçlardan üretilen masif panel levhaların bazı teknolojik özelliklerine taslak kesiş yönünün etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Perçin, O., Ayan, S., 2012. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede vida çekme direncinin belirlenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1(1): 57-68.
- Ryu, K.S., 1977. Dut Yetiştirilmesi ve Türkiye'de Dut Ziraatı. İpekböcekçiliği Araştırma Enstitüsü Yayınları No:60. 89.
- Sancak, Ş., 2010. Kızılcık (*Cornus mas* L.) Odununun bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Şirin G., Aydemir, D., 2016. Sonlu elemanlar metodunun ahşap malzemelerde kullanımına ilişkin bir araştırma. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18(2): 205-2012. <https://doi.org/10.24011/barofd.272971>.
- Trujillo, F.U., 2002. Mulberry for rearing dairy heifers. FAO Animal Production and Health Paper, 147: 203-206.
- TS EN 13446, 2005. Wood-based panels – Determination of Withdrawal Capacity of Fasteners, TSE Standartları, Ankara, Türkiye.
- 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 çarpmada eğilme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS ISO 13061-17, 2019. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri – Bölüm 17: Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi, TSE, Ankara.
- Tsoumis, G.T., 1991. Science and technology of wood: Structure, Properties, utilisation. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Usta, İ., 2016. Ahşap: mekanik özellikler. Yapı Dünyası, 14-31.
- Yazıcı, H., 2005. Açık hava koşullarının odun dayanımına etkisi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7(8): 72-79.
- Yıldırım, N., 2006. Ak dut (*Morus alba* L.) ağacının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Yıldız, O., Bircan, Ş., 2022. Batı Karadeniz kıyı bölgesinde yetişen kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin yetişme ortamı değişkenleriyle ilişkisi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 8(2): 61-72. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1199478>.
- Yücel, E., Yaltırık, F., Öztürk, M., 1995. Süs Bitkileri (Ağaçlar ve Çalılar). Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Yayınları No:1, Eskişehir.