



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi: 11.10.2023
Kabul Tarihi: 12.11.2023

Received Date : 11.10.2023
Accepted Date : 12.11.2023

LİMBA ODUNUNUN (*TERMINALİN SUPERBA*) BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SOME MECHANICAL PROPERTIES OF LIMBA WOOD (*TERMINALİN SUPERBA*)

Musa KAYA¹ (ORCID:0000-0002-5955-7378)
Ramazan BÜLBÜL² (ORCID: 0000-0003-4760-9166)

¹Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Erzurum, Türkiye
²Gazi Üniversitesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Musa KAYA, kayamusa2512@gmail.com

ÖZET

Yapılan çalışmada, tropikal bir odun türü olana limba (*Terminalin superba*) odunun teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci ve vida tutma kapasiteleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre limba odununun teğet yöndeki eğilme direnci, 91.27 N/mm², radyal yöndeki eğilme direnci ise 105.93 N/mm²; eğilmede elastikiyet modülü, teğet yönde 10772.68 N/mm², radyal yönde ise 12985.29 N/mm²; dinamik (Şok) eğilme direnci, teğet yönde 37.05 kJ/m², radyal yönde 38.80 kJ/m²; vida tutma kapasitesi, teğet yüzeyde 29.03 N/mm² radyal yüzeyde 30.45 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre limba odununun özellikle vidalama işlemlerinde ve dinamik etki biçimindeki yüklere karşı teğet ve radyal yüzeyleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Statik yüklere maruziyet söz konusu olduğunda limba odununun teğet ve radyal yönleri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu, dolayısıyla limba odununun kullanılması durumunda bu farklılığın dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Limba odunu, mekanik özellikler, teğet ve radyal yönler

ABSTRACT

In the study, bending strength, modulus of elasticity in bending, dynamic bending resistance and screw holding capacities of limba (*Terminalin superba*), a tropical wood species, were investigated depending on the tangential and radial directions. According to the results obtained, the bending resistance of limba wood in the tangential direction is 91.27 N/mm², and the bending resistance in the radial direction is 105.93 N/mm²; modulus of elasticity in bending is 10772.68 N/mm² in the tangential direction and 12985.29 N/mm² in the radial direction; dynamic (Shock) bending strength, 37.05 kJ/m² in tangential direction, 38.80 kJ/m² in radial direction; The screw holding capacity was determined to be 29.03 N/mm² on the tangential surface and 30.45 N/mm² on the radial surface. According to these values obtained, it was determined that there was no significant difference between the tangential and radial surfaces of the limba wood, especially in screwing operations and against dynamic loads. When it comes to exposure to static loads, there is a significant difference between the tangential and radial directions of limba wood, so this difference should be taken into account when limba wood is used.

Keywords: Limba wood, mechanical properties, tangential and radial directions

GİRİŞ

Son yıllarda hızlı bir şekilde gelişen Türkiye mobilya ve dekorasyon sanayisi hem tasarım ve hem de malzeme çeşitliliği açısından birçok alternatif seçim imkânını içerisinde barındırmaktadır. Yurt içi ve yurt dışı müşteri istekleri doğrultusunda oluşturulan alternatif seçim imkânlarından bazen yerel orman ürünlerinde mevcut olmayan, tropikal ormanlara has; limba (*Terminalia superba*), padouk (*Pterocarpus soyauxii* T.), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) gibi bazı ağaç malzeme türlerinin de kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla mobilya ve dekorasyon imalatında kullanılacak olan söz konusu bu ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi; böylece amacı doğrultusunda kullanılan ağaç malzemelerin daha verimli bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir.

Mobilya veya yapısal amaçlı uygulamalarda kullanılan ağaç malzemenin mekanik özellikleri; onun var olan yapısal formunu değiştirmeye yönelik tesir edici harici kuvvetlere karşı kendine has mukavemet seviyesidir (Tsoumis, 1991). Ağaç malzemenin bu kuvvetlere karşı gösterdiği direnç, tesir eden kuvvetlerin büyüklüğüne ve yükleme şekline bağlı olarak değişmektedir. Metal ve benzeri homojen yapıya sahip malzemelerin aksine anizotrop bir yapıya sahip olan ağaç malzemenin anatomik ve fiziksel yapısı liflere paralel yönde (Boyuna) ve liflere dik yönde (Teğet ve radyal) farklı olduğundan dolayı mekanik özellikleri de buna bağlı olarak farklılık göstermektedir (Usta, 2016). Bununla birlikte ahşap esaslı kompozit panellerde de (Geometrik oluklu paneller, CLT paneller vb. gibi) mekanik dirençler farklı yönlerde farklı değerlere sahip olabilmektedir (Kaya, 2023; Altunok, Bülbül & Güneş, 2023). Yapılan bu deneysel çalışmada tropik bir ağaç türü olan limba (*Terminalia superba*) odununun radyal ve teğet yönlerine bağlı olarak bazı mekanik özellikleri (Dinamik eğilme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve vida tutma kapasitesi) ilgili standartlar esas alınarak incelenmiştir.

Ağaç malzemenin anizotropik yapısı, mekanik özellikleri dâhil olmak üzere bütün özelliklerini etkilemektedir. Örneğin elastiklik modülü liflere paralel yönde en yüksek iken teğet yönde en düşük değere sahiptir (Şirin & Aydemir, 2016). Bununla birlikte ahşap esaslı mobilya yapımındaki birleştirme konstrüksiyonlarının emniyetli olmasındaki esas faktör ağaç malzemenin mekanik özellikleridir (Efe & Kasal, 2007). Mobilya imalatında kullanılan ağaç malzemenin kullanım süresince taşıyacağı yük ve malzemenin mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan mobilyaların kullanım süreleri artmaktadır (Yılmaz, 2011). Dolayısıyla mobilya imalatında tasarım ve fonksiyonelliğin yanında aranan diğer bir özellik ise sağlamlığıdır. Sağlamlık ise ancak kullanılan ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra uygun konstrüksiyon biçimine bağlı olarak sağlandığı için kullanılan ağaç malzemenin söz konusu bu özelliklerinin iyi bilinmesi ve buna bağlı olarak mobilya tasarım ve imalatının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Dünyada ağaç malzemenin anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini tayin etmek için birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların amacı ağaç malzemeler hakkında daha çok veri elde etmek ve elde edilen verilerin ise sistematik olarak kolay bir biçimde ulaşılabilmesine imkan sağlamaktır (As, Koç, Doğu, Atik, Aksu, & Erdinler, 2001).

Combretaceae familyasına ait olan Limba odunu (*Terminalia superba*); Kongo, Kamerun ve Nijerya gibi ülkelerde yetişen geniş yapraklı ağaç türlerinden olup; Boyu 50 metre'ye kadar çıkabilen, çapı ise 0.90 metre ile 1,50 metreye ulaşabilen (Göker & Kurtoğlu, 1987) hafif sarı renkli (CİRAD, 2009) bir ağaç türüdür. Dağmık bir trahe yapısına sahip olan limba odunu (Bozkurt & Erdin, 1990), mobilya imalatı, kontrplak üretiminde, müzik aletleri yapımında ve iç mekân tasarım uygulamalarında tercih edilen bir ahşap malzemedir. Ancak böcek ve mantar istilalarına karşı hassas bir yapıya sahip ağaç malzemedir (Stabnikov 1957). Yoğunluk değeri 0.50 ile 0.69 g/cm³ aralığında bulunduğu için orta ağırlıktaki ağaçlar sınıfına dâhil edilmektedir (Bozkurt & Erdin, 1990).

Yapılan bu çalışmada, limba (*Terminalia superba*) odununun; diğer ağaç malzemeler gibi gerek mobilya imalatında ve gerekse ahşap yapısal uygulamalarda vidalama işlemlerine tabi tutulma, ani kuvvet etkilerine maruz kalma, kısa ya da sürekli yatay yükler altında kalacak şekilde kullanılmaktadırlar. Bu tür etkilere karşı limba ağaç malzemesinin performans değerlerini tespit etmek için deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler farklı istatistiksel analiz programları yardımıyla değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada; limba (*Terminalia superba*) odununu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan limba odunu kerestesi Türkiye Cumhuriyeti Erzurum ili Yakutiye ilçesindeki mobilyacılar sanayi sitesinden tedarik edilmiştir. Kereste seçimi; lif yönlerinin düzgün, anormal bir gövde (Çekme odunu) yapısı olmayan, budaksız, böcek ve mantar tarafından tahrip edilmemiş olması gibi kriterler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan limba odununun, 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarındaki yoğunluk ve rutubet değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

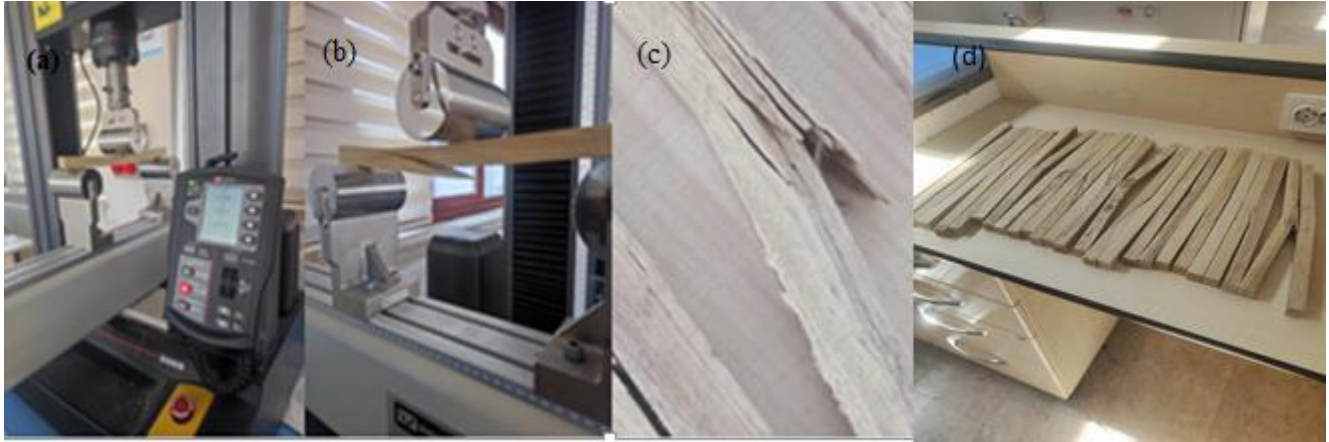
Çizelge 1. Limba Odununa Ait Hava Kuru Yoğunluk ve Rutubet Değerleri

No	Malzeme ismi	Numune sayısı	Ölçü (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Rutubet değeri (%)
1	Limba	15	20 x 20 x 20	0,56	%11,86

Metot

Eğilme Direnci ve Eğilmeye Elastikiyet Modülünün Tespiti

Yapılan çalışmada gerçekleştirilen testler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarında bulunan Instron 5969 Universal Test Cihazı’nda gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci deneylerinde, masif ağaç malzemeler için TS ISO 13061 - 3’te belirtilen esaslara uyulmuştur. Deney numuneleri, ağaç malzemeler için 360x20x20 mm ölçülerinde olup kuvvet uygulaması teğet ve radyal yönlere dik pozisyonda olacak şekilde 10’ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca eğilme deneylerinde TS ISO 13061 - 4’teki esaslara göre eğilmeye elastikiyet modülü değerleri de tespit edilmiştir. 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 ve deney yapılmış numuneler Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Eğilme Direnci ve Eğilmeye Elastikiyet Modülünün Tespiti; (a), (b) Statik Eğilme Deney Düzenegi, (c), (d) Statik Eğilme Deney Sonrası Numuneler

Dinamik (Şok) Eğilme Direncinin Tayin Edilmesi

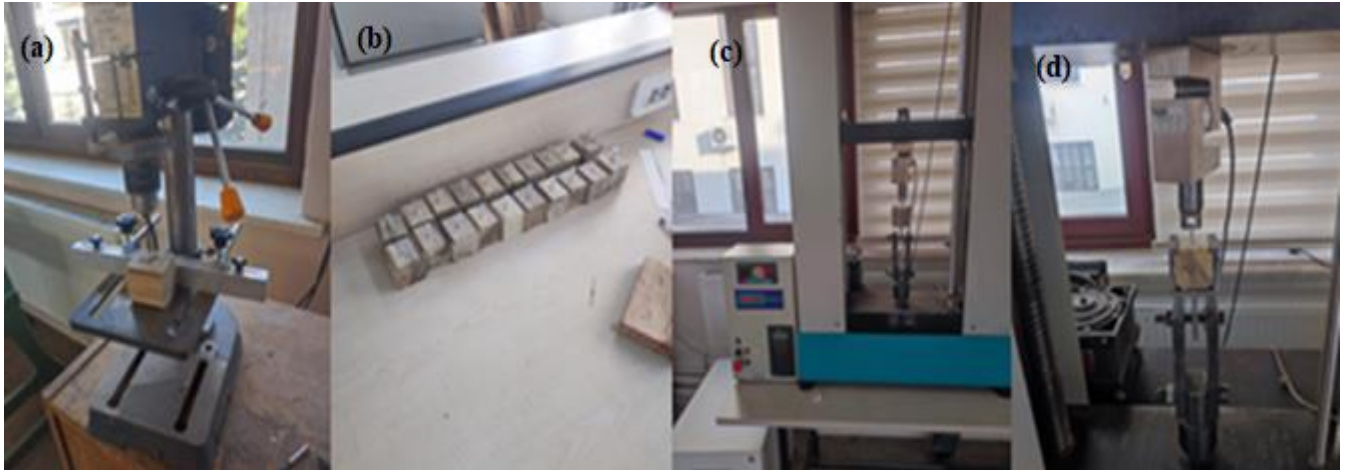
Dinamik eğilme direnci testi TS ISO 13061 - 10’daki esaslara uyularak, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarında bulunan Charpy markalı test cihazı’nda gerçekleştirilmiştir. Buna göre mesnetler arası mesafe 26 cm olarak ayarlanmış olup; deney numuneleri ise 20x20x300 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Kuvvet uygulaması deney numunelerininin teğet ve radyal yönlerine dik gelecek şekilde uygulanmıştır. Deneyin yapılışı ile ilgili görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Dinamik Eğilme Direncinin Tespitine İlişkin Görüntüler; (a), (b) Deneş Düzeneęi, (c) Dinamik Eğilme Sonrası Meydana Gelen Kırılmalar

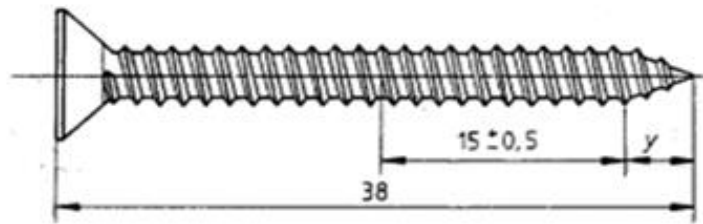
Vida Tutma Kapasitesinin Tespiti

Yapılan çalışmada vida tutma kapasitesinin tespiti yapılırken, deneş numunelerinin radyal ve teğet kesitlerine 15 mm derinliğinde ön kılavuz deliği açılarak vidalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Vida tutma kapasitesinin tespiti için TS EN 13446 No'lu standart esas alınıp 5x5x5 cm boyutlarındaki deneş numuneleri ile her bir kesit yüzeyi için 10'ar adet olmak üzere toplam 20 adet deneş gerçekleştirilmiştir. Vida tutma kapasitesinin tespiti için yapılan deneşlere ilişkin görüntüler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Vida Tutma Kapasitesinin Tespitine İlişkin Görüntüler, (a) Kılavuz Delięi Açma, (b) Vidaların Bağlanması, (c), (d) Deneş Düzeneęi

Deneş uygulamalarında kullanılan vida, Şekil 4'teki gibi elik gövdeli ve yıldız uçlu olup; ölçüsü ise 4.2 mm x 38 mm ve vida adım ölçüsü ise 1.4 mm'dir.



Şekil 4. Deneşlerde Kullanılan Vidaya Ait Ölçüler

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 95% güven endeksi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Eğilme Direncinin Tespiti

TS ISO 13061 - 3'e göre limba odununun kesit (Teğet ve radyal) yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen eğilme dirençlerine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerdeki Eğilme Direncine İlişkin İstatistiksel Veriler

Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	N	X_{min}	X_{max}	$X_{ort.}$	Std. sp.
Teğet Yüzey	10	73,9	105,44	91,27	10,40
Radyal Yüzey	10	90,95	126,29	105,93	11,04

Çizelge 2'de verilen limba odununun teğet ve radyal yüzeylerine dik yönde etkide bulunan kuvvete karşı deney numunesinde meydana gelen eğilme dirençlerinin birbirlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu farklılığın istatistiksel olarak %5 hata payı içerisinde anlamlı olup ya da olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analiz testi yapılarak, sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerine Göre Meydana Gelen Eğilme Direncinin Varyans Analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F	Anlamlılık Düzeyi (p<0.05)	Kısmi Eta ²
Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	1074,285	1	1074,285	9,339	0,007	0,34
Hata	2070,654	18	115,036			
Toplam	197588,083	20				
Düzeltilmiş Toplam	3144,939	19				

Çizelge 3'e göre; limba odununun teğet ve radyal yüzeylerinin eğilme dirençlerine olan etkilerinin %5 hata payı dâhilinde (p<0.05) anlamlı olduğu; anlamlılık düzeyinin ise %34 olduğu tespit edilmiştir. Tek yönlü varyans analiz çizelgesine göre etkisi anlamlı çıkan limba ağaç malzemenin teğet ve radyal yüzeylerindeki eğilme direncinin homojenlik gruplarını belirlemek için Duncan testi yapılarak sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Eğilme Direncine Etkisi Anlamlı Olan Kesit Yüzeylerine Ait Homojenlik Grupları

Kesit Yüzeyi	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Teğet Yüzey	91,27	B
Radyal Yüzey	105,93	A

LSD: 10.50 N/mm²; A,B: Homojenlik grupları

Çizelge 4'e göre, limba odununun teğet ve radyal yüzeylerinde meydana gelen eğilme dirençlerinin birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı oldukları belirlenmiştir. Çizelgeye göre radyal yüzeydeki eğilme direncinin teğet yüzeydeki eğilme direncinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ağaç malzemenin direnç özellikleri yönlerine bağlı olarak değişmektedir. Buda ortotropik yapısal özeliğinin sonucudur (Ozyhar, 2013). Bundan dolayı, ağaç malzeme üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testlerin sonuçları da yüzeylere bağlı olarak farklı değerlerde elde edilmektedir (Efe & Bal, 2016; Usta, 2016). Teğet yüzeyde yıllık halkalar küçük tabakalar şeklinde bir yapıya sahiptir. Teğet yüzeye etki eden kuvvet; teğet yüzeydeki pozisyonu yıllık halka tabakalarına dik iken, radyal yüzeydeki pozisyonu ise yıllık halka tabakalarına paralel bir pozisyonda olduğu için teğet ve radyal yüzeylerde meydana gelen eğilme dirençleri de buna bağlı olarak farklı olduğu söylenilebilir.

Yapılan araştırmalarda yoğunluğu 0.58 g/cm³ olan limba odununun eğilme direncinin 106 N/mm² (Bozkurt & Erdin, 1995), literatürde tropikal ağaç malzeme örneklerinden olan sapelli odununun teğet yöndeki eğilme direnci 77.06

N/mm² iken radyal yönde ise 85.11 N/mm²; iroko'da ise teğet yönde 50.18 N/mm², radyal yönde ise 86.59 N/mm² olduğu belirlenmiştir (Özkan, 2019). Dolayısıyla yapılan bu çalışmadaki limba odununun liflere paralel ve dik yöndeki eğilme dirençleri arasındaki farkın daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tespiti

TS ISO 13061 - 4'e göre limba odununun kesit (Teğet ve radyal) yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerdeki Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait İstatistiksel Veriler

Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	N	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std. sp.
Teğet Yüzey	10	8301,6	12689,72	10772,68	1355,36
Radyal Yüzey	10	11296,29	14571,90	12985,29	1054,42

Çizelge 5'e göre, limba odununun teğet ve radyal yüzeylerine dik yönde etkide bulunan kuvvete karşı deney numunelerinde oluşan eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak %5 hata payı içerisindeki anlamlılık durumunu belirlemek için tek yönlü varyans analiz testi yapılarak, sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerine Göre Gerçekleşen Eğilmede Elastikiyet Modülünün Varyans Analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F	Anlamlılık Düzeyi (p<0.05)	Kısmi Eta ²
Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	24478192,934	1	24478192,934	16,602	0,001	0,48
Hata	26539198,645	18	1474399,925			
Toplam	2873221421,126	20				
Düzeltilmiş Toplam	51017391,579	19				

Çizelge 6'ya göre; limba odununun teğet ve radyal yüzeylerinin eğilmede elastikiyet modülüne olan etkilerinin %5 hata payı dâhilinde (p<0.05) anlamlı olduğu; kesit (Teğet ve radyal) yüzeylerinin etki seviyesi ise %48 olduğu tespit edilmiştir. Tek yönlü varyans analiz çizelgesine göre etkisi anlamlı çıkan limba odununun teğet ve radyal yüzeylerindeki eğilmede elastikiyet modülünün homojenlik gruplarını belirlemek için Duncan testi yapılarak sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Eğilmede Elastikiyet Modülüne Etkisi Anlamlı Olan Kesit Yüzeylerine Ait Homojenlik Grupları

Kesit Yüzeyi	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Teğet Yüzey	10772,68	B
Radyal Yüzey	12985,29	A

LSD: 10.50 N/mm²; A,B: Homojenlik grupları

Çizelge 7'ye göre, limba odununun teğet ve radyal yönlerinde meydana gelen eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı oldukları belirlenmiştir. Çizelgeye göre radyal yönde meydana gelen eğilmede elastikiyet modülünün teğet yönde gerçekleşen eğilmede elastikiyet modülünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu farklılığın; söz konusu deney numunesinin yıllık halkalarının uygulanan kuvvete karşılık paralel bir biçimde konumlandırılması ile gerçekleştiği söylenebilir.

Ağaç malzeme anizotrop bir yapıya sahip olduğundan eğilmede elastikiyet modülü değerleri de teğet ve radyal yönlerde farklılık gösterir. Liflere paralel yöndeki eğilmede elastikiyet modülü liflere dik yöndeki eğilmede elastikiyet modülünden daha yüksektir (Usta, 2016). Liflere paralel (Radyal) yöndeki eğilmede elastikiyet modülleri; tropikal ağaç malzemelerden olan iroko için 9700-13500 N/mm², sapelli için ise 10000 N/mm² olduğunu belirtmişlerdir (Bozkurt & Erdin, 1989).

Ağaç malzemedeki eğilmede elastikiyet modülü; ağaç malzemenin yoğunluğuna, yaz odunu iştirak oranına, yıllık halka genişliğine, lif yönü ve açısına bağlı olarak değişmektedir (Göker & As, 1990). Dolayısıyla limba odununun teğet ve

radyal yönlerine bağlı olarak gerçekleşen eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığın beklenen bir durum olduğu ve bu farklılığın daha önce yapılan benzer çalışmalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Dinamik (Şok) Eğilme Direncinin Tayin Edilmesi

TS ISO 13061 – 10'a göre limba odununun kesit (Teğet ve radyal) yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen dinamik eğilme direncine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerdeki Dinamik Eğilme Dirençlerine (kJ/m²) İlişkin İstatistiksel Veriler

Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	N	X _{min}	X _{max}	X _{ort.}	Std. sp.
Teğet Yüzey	15	23,82	59,82	37,05	13,10
Radyal Yüzey	15	24,86	52,02	38,80	8,15

Çizelge 8'e göre, limba odununun teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak gerçekleşen dinamik eğilme dirençlerinin farklı olduğu, radyal yüzeye etki eden kuvvete karşılık gelen ortalama dinamik eğilme direnci 38.80 kJ/m² ile teğet yönden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Limba odununun dinamik eğilme direnci 3.0 – 4.5 J/cm² (Bozkurt & Erdin, 1990) olduğundan dinamik eğilme direnci küçük olan ağaçlar sınıfına dâhil edilebilir. Tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak %5 hata payı içerisindeki anlamlılık durumunu belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılarak, sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yönlerine Göre Dinamik Eğilme Dirençlerinin Varyans Analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F	Anlamlılık Düzeyi (p<0.05)	Kısmi Eta ²
Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	22,951	1	22,951	16,602	0,664	0,07
Hata	3334,147	28	119,077			
Toplam	46502,474	30				
Düzeltilmiş Toplam	3357,098	29				

Limba odununun teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak gerçekleşen dinamik eğilme dirençlerindeki farklılığın anlamlı olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 9'a göre teğet ve radyal yönlerdeki dinamik eğilme dirençleri farklı değerlere sahip olmalarına rağmen, Çizelge 10'daki analizi sonuçlarına göre teğet ve radyal yönlerinin limba odununun dinamik eğilme direncinde anlamlı (p>0.05) etkilerinin olmadığı, bundan dolayı Duncan testi yapılmamıştır.

Dinamik eğilme direnci ağaç malzemenin ani etki eden kuvvetlere karşı gösterdiği dirençtir. Gerçekte bir alet sapında meydana gelen darbe tesiri, spor aletlerindeki çarpmalar, ambalaj sandıklarının karşılaştığı çapma kuvvetleri gibi faktörler sayılabilir (Özkan, 2019; Bozkurt, 1966). Dolayısıyla yapılan deneylere göre limba odununun teğet ve radyal yönlerine etki eden ani şekildeki kuvvetlere karşı göstermiş olduğu dirençler arasında, istatistiksel olarak anlamlı düzeyde (p<0.05) herhangi bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. TS 2477 numaralı standarda göre dinamik eğilme direnci testlerinde meydana gelen kırılmalarda kıymık uzunluğu 3 mm'den uzun ise malzemenin sünek olduğu, 3 m'den kısa ise malzemenin gevrek olduğu belirtilmektedir. Yapılan bu çalışmada Şekil 1 (c)'de görüldüğü gibi limba odununun kırılma alanındaki kıymık uzunluklarına bakılarak, sünek bir malzeme olduğu söylenebilir.

Vida Tutma Kapasitesinin Tayin Edilmesi

TS EN 13446'ya göre limba odununun kesit (Teğet ve radyal) yüzeylerine bağlı olarak tespit edilen vida tutma kapasitesine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yüzeylerindeki Vida Tutma Kapasitelerine (N/mm²) İlişkin İstatistiksel Veriler

Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	N	X _{min}	X _{max}	X _{ort.}	Std. sp.
Teğet Yüzey	10	25,37	34,87	29,03	2,89
Radyal Yüzey	10	26,31	34,09	30,45	2,89

Çizelge 10'a göre limba odununun teğet ve radyal yüzeylerinin vida tutma kapasiteleri arasında farklılıkların olduğu görülmüştür. Meydana gelen bu farklılığın radyal yüzeyde 30.45 N/mm² ile teğet yüzeydeki vida tutma kapasitesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak her iki yüzeydeki vida tutma kapasitelerinin birbirlerine

yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Limba odununun teğet ve radyal yüzeylerdeki vida tutma kapasitelerindeki farklılıkların anlamlı olup olmadıklarını tespit etmek için tek yönlü varyans analizi yapılarak sonuçları Çizelge 11’de verilmiştir.

Çizelge 11. Limba Odununun Teğet ve Radyal Yüzeylerine Bağlı Gerçekleşen Vida Tutma Kapasitelerine İlişkin Varyans Analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F	Anlamlılık Düzeyi ($p < 0.05$)	Kısmi Eta ²
Kuvvetin Uygulandığı Yüzey	10,033	1	10,033	1,202	0,287	0,063
Hata	150,299	18	8,350			
Toplam	17848,559	20				
Düzeltilmiş Toplam	160,331	19				

Çizelge 11’e göre limba odununun teğet ve radyal yüzeylerine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitelerindeki farklılıkların anlamlı ($p > 0.05$) olmadığı tespit edilmiştir.

Daha önce yapılmış çalışmalara göre endüstriyel ya da endüstriyel amaçlı kullanılmayan bazı odunların teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak vida tutma kapasiteleri; Ihlamur odununda teğet yüzeyde 24.60 N/mm², radyal yönde 20.32 N/mm² (Çavuş vd. 2022) olduğunu belirtmişlerdir. Japon akçaağacı için teğet yüzeyde 35.10 N/mm², radyal yüzeyde 33.10 N/mm² (Efe, 2020); kurtbağrı odunu için teğet yüzeyde 41.04 N/mm², radyal yüzeyde ise 43.93 N/mm² olduğunu belirtmiştir (Çavuş, 2021).

Ağaç malzemede vida tutma kapasitesi; odun türüne (Perçin & Ayan, 2012) odunun kesit yüzeyine (Örs vd. 1998) ve odunun özgül ağırlığına (Çelebi & Kılıç, 2007) bağlı olarak değişmektedir.

Yapılan bu çalışmada ise limba odunu için elde edilen vida tutma kapasitesi değerlerinin teğet ve radyal yüzeylerine bağlı olarak birbirlerine yakın değerlerde oldukları ve aynı zamanda daha önce yapılmış olan benzer çalışmalar ile uyumlu oldukları görülmüştür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada limba odununun teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak, ağaç malzemenin mekanik özelliklerinden bazıları olan; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci ve vida tutma kapasiteleri araştırılarak direnç değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Limba odunu sahip olduğu 0.56 g/cm³ yoğunluğu ile orta ağırlıktaki (0.50-0.69 g/cm³) ağaçlar sınıfına dâhil edilebilir.
- Limba odununun teğet ve radyal yüzeylerine dik yönde etkide bulunan kuvvete karşı deney numunesinde meydana gelen eğilme direnci ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı oldukları tespit edilmiştir. Böylece yıllık halkalara paralel (Radyal) yöndeki eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, yıllık halkalara dik (Teğet) yöndeki eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Limba odununun teğet ve radyal yönlerine bağlı olarak dinamik eğilme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Ancak radyal yönde tespit edilen dinamik eğilme direncinin teğet yöndeki dinamik eğilme direncinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Teğet yüzey ve radyal yüzeylerde tespit edilen vida tutma kapasiteleri; istatistiksel olarak anlamlı seviyede birbirlerinden farklı olmaz iken, radyal yüzeyde meydana gelen vida tutma kapasitesinin teğet yüzeye göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Elde edilen bulgulara göre limba odununun statik yüklere maruz kalınacak uygulamalarda kullanılması durumunda teğet ve radyal yüzeylerinin dikkate alınması gerektiği önerilmektedir. Böylece kullanılacak olan ürünün hizmet süresinin daha uzun olacağı söylenilebilir. Bununla birlikte limba odunu sahip olduğu estetik özelliklerinden dolayı

ağşap doğramalarda, mobilya imalatında, lamine ve ağşap parke imalatı ile minder ve mihrapların yapımında kullanılması önerilmektedir.

YAZAR KATKILARI

Musa KAYA: Verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması. **Ramazan BÜLBÜL:** Çalışma konusunun belirlenmesi, verilerin elde edilmesi, deney tasarımının yapılması.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bize sağladığı değerli ve yol gösterici bilgilerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI:

Makale yazarları; aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

Altunok, M., Bülbül, R. & Güneş, M. (2023). Farklı Konseptte Sahip Isıl İşlem ve Klimatik Uygulamanın Yapısal Ağşabın Mekanik ve Fiziksel Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11 (1), 263-272. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1190933>

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. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jffiu/issue/18789/198728/>

Bal, B. C., & Efe, F.T. (2016). Isıl işlemin kayın odununun şok direnci üzerine etkilerinin incelenmesi. I. Uluslararası Mühendislik Teknolojisi ve Uygulamalı Bilimler Konferansı (ICETAS 2016) (ss. 21-22).

Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1995). Yoğunluk İle Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkileri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, Seri A, 45(2), 10-31. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jffiu/issue/18855/199059/Accessed 25.09.2023>.

Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1990). Ticarete kullanılan ağaçlarda Önemli anatomik özellikler. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 40(2), 19-36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jffiu/issue/18729/197506/Accessed 25.09.2023>.

Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1990). Ticarete kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 40(1), 6-24. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jffiu/issue/18791/198840/Accessed 25.09.2023>.

Bozkurt, Y. (1966). Ağaç Malzemenin Mekanik Özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Seri B, 16(2), 41-60. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/175812/> Accessed 25.09.2023.

CIRAD, Tropix-African Wood. "Production and Processing of Tropical Wood" Research Unit Centre de cooperation internationale en recherche agronomique pour le développement, Forestry Department. <http://tropix.cirad.fr/africa/africa.html/> Accessed 05.09.2023.

Çavuş, V., Ersin, İ., & Bal, B. C. (2022). İhlamur (*Tilia tomentosa*) odunun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Mobilya ve Ağşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 120-130. <https://doi.org/10.33725/mamad.1190347>

Çavuş, V. (2021). Kurtbağrı (*Ligustrum lucidum*) odununda bazı mekanik özelliklerinin araştırılması ve diğer bazı ağaç türleri ile karşılaştırılması. *Mobilya ve Ağşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 19-29. <https://doi.org/10.33725/mamad.927822>

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>

Efe, F.T. (2020), Japon akçaağaç odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, *Mobilya ve Ağşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 110-118, <https://doi.org/10.33725/mamad.837309>

Efe H., & Kasal, A. (2007). Çeşitli Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, *Politeknik Dergisi*. Yayın No: 10 (3): 303-311 <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33026/367180/> Accessed 20.09.2023.

Göker, G., & As, N. (1990). Dallı Servi (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* M.) Odununda Eğilmede Elastiklik Modülü. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 40(1), 27-39. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/176283/> Accessed 05.09.2023.

Göker, Y., & Kurtoğlu, A. (1987). Bazı Önemli Açık Renkli Afrika Ağaç Türleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, 37(1), 1-20.

Kaya M. (2023). Farklı Katman Ve Malzemeler İle Üretilen Ahşap Esaslı Kompozitlerin Mekanik Ve Teknolojik Özellikleri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ağaççışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara 246s.

Ozyhar, T. (2013). Moisture and Time Dependent Orthotropic Mechanical Characterization of Beech Wood, Ph. D Thesis, Technical University of Munich, Germany

Örs, Y., Özen, R., & Doğanay, S. (1998). Mobilya Üretiminde Kullanılan Ağaç Malzemenin Vida Tutma Dirençleri, *Türk Tarım Ve Ormanlık Dergisi*, (22), 29-34. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol22/iss1/5/> Accessed 17.09.2023.

Özkan, M. (2019). Yapraklı Ağaçlardan Üretilen Masif Panel Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Taslak Kesiş Yönünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce 96s.

Perçin, O., & Ayan, S. (2012). Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemede Vida Çekme Direncinin Belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 1(1), 57-68. <https://dergipark.org.tr/en/pub/duzceitbd/issue/4815/66432/> Accessed 20.09.2023.

Stabnikov, V.M., (1957). Puti Uviliczenia Sroka Sluschby Dreviesinyw Konstrukcjach, Leningrad.

Şirin G., & Aydemir, D. (2016). Sonlu Elemanlar Metodunun Ahşap Malzemelerde Kullanımına İlişkin Bir Araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. Yayın No: 18 (2): 205-2012. <https://doi.org/10.24011/barofd.272971>

TS 2477, 1976. Odunun çarpmada eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13446, (2005). Ahşap Esaslı Levhalar - Bağlayıcıların Geri Çıkma Kapasitesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061 - 4, (2021). Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.

TS ISO 13061 - 3, (2021). Odunun statik eğilme dayanımının tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.

TS ISO 13061 - 10, (2021). Odunun çarpmada eğilme dayanımının tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (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*, Ocak/Şubat 2016 (238-239): 14-31.

Yılmaz, T. (2011). Sandalye Çerçevesinin Sonlu Elemanlar Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta 86s.