

Çeşitli Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Hasan EFE*, Ali KASAL**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar, ANKARA

**Muğla Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü,
48000, Kötekli, MUĞLA

Araştırma Makalesi

ÖZET

Bu çalışmada, çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin mobilya mühendislik tasarımında gerekli olan bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, ilgili standartlara göre belirlenmiştir. Deneylerde, masif ağaç malzeme olarak Doğu kayını (*Fagus Orientalis Lipsky*) ve sarıçam (*Pinus Sylvestris Lipsky*), kompozit ağaç malzeme olarak da okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) kullanılmıştır. Deney malzemelerinin, yoğunlukları ve rutubet oranları tespit edilmiş, mekanik özelliklerden de çekme, basınç, kesme dirençleri ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayıları kullanılarak masif ve kompozit ağaç malzemeler için kabul edilebilir tasarım (emniyet) gerilmeleri değerleri hesaplanmış ve mobilya tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Masif ağaç malzeme, kompozit ağaç malzeme, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, kabul edilebilir tasarım (emniyet) gerilmeleri.

Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Various Wood and Wood Composite Materials

ABSTRACT

In this study, some technical properties needed in engineering design of furniture of some solid wood and wood composite materials were determined according to related standards. Turkish beech (*Fagus Orientalis Lipsky*) and Scotch pine (*Pinus Sylvestris Lipsky*) were used as solid wood materials; while, okoume (*Aucoumea klaineana*) plywood, medium density fiberboard (MDF) and oriented strand board (OSB) were used as wood composites. Densities and moisture contents of the test materials were measured, and tensile strength, compression strength, shear strength, bending strength (MOR) and modulus of elasticity (MOE) values were obtained among the mechanical properties. Furthermore, allowable design (safety) stress values were calculated for solid wood and wood composite materials by utilizing safety factors used in some studies in the literature and presented for furniture designers.

Key Words: Wood material, wood composite material, physical properties, mechanical properties, allowable design (safety) stresses.

1. GİRİŞ

Mobilya yüzyıllardan beri çeşitli formlarda üretilmesine karşın, nadir olarak yapısal özellikleri dikkate alınarak tasarlanmıştır (1). Mobilyada yapısal (mühendislik) tasarım kullanıcılara güvenilir hizmet verecek mobilyaların tasarlanabilmesi açısından önemlidir. Bir mobilya sisteminin veya mobilya birleştirmelerinin mühendislik kurallarına uygun bir biçimde yapısal olarak tasarlanabilmesi ve analiz edilebilmesi için, öncelikle yapılmış oldukları malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir (2).

Mobilya mühendislik tasarımında ilk adım, üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik

özelliklerinin belirlenmesidir. Daha sonra da, mobilya sistemini oluşturan birleştirmeler ve elemanlarda, dış zorlayıcı kuvvetlerin etkisiyle oluşacak iç gerilmeler, elemanların yapılmış olduğu malzemeler için belirlenen kabul edilebilir tasarım gerilmeleri ile karşılaştırılmak suretiyle elemanların ve/veya birleştirmelerin emniyetli olup olmadığı tespit edilir (3).

Gerek panel (kutu) tipi gerekse çerçeve (iskelet) tipi mobilya üretiminde masif ve masif ağaç malzemeye alternatif olarak ortaya çıkan kompozit ağaç malzemeler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin işlenmesinde ve kullanımında beklenilmeyen bazı mukavemet zaaflarının meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle, bu malzemelerin mobilya üretiminde kulla-

nımına geçilmeden önce bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi kaliteli ve sağlam mobilya üretimi için zorunluluktur.

Masif malzemeye alternatif olarak üretilen kompozit malzemeler, hem ekonomiklik hem de çeşitli teknik üstünlüklerinden dolayı mobilya üretiminde kullanılmaktadır. Kontrplak, OSB, yonga levha ve MDF bu malzemelere örnek olarak verilebilir. Bu malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesiyle, bu tip malzemeler mobilya endüstrisinde daha çok kullanım imkânı bulabilecektir (4).

Son yıllarda, kontrplak, OSB, MDF vb. odun kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ve mobilya üretiminde kullanımları ile ilgili yayınların sayısı giderek artmaktadır. Bao ve Eckelman (1995), MDF, OSB ve yonga levhanın yorulma dirençlerini belirleyerek, mobilyada mukavemet tasarımında kullanılmak üzere kabul edilebilir tasarım gerilmesi değerlerini hesaplamışlardır (5). Bao ve diğerleri (1996) yonga levha, OSB ve MDF için kabul edilebilir tasarım gerilmelerini belirlemişlerdir. Her malzemenin eğilmede yorulma direncinin, ortalama eğilme direncinin % 30 – 40'ına karşılık geldiğini bildirmişlerdir (6). Eckelman (1999), çeşitli mobilya tiplerinin mekanik özellikleri ve odun kompozitlerinin bağlantı elemanlarını tutma mukavemetlerini irdelemiştir (7). Shrestha (1999), OSB'nin makaslama direncini belirlemek amacıyla geliştirilmiş alternatif bir deney yöntemi önermiştir (8). Altınok (2002), soyma kayın (A) ve kesme kavak (B) kaplama ile oluşturulan lamine malzemelerde, tarafsız eksene göre katman simetrisi ve tutkal çeşidinin eğilme direncine etkilerini araştırmıştır. Katman simetrisi olarak "ABABABA", "AABBBAA", "ABBBBBA" ve "AABABAA" kombinasyonlarını, tutkal olarak da poliüretan, üre-formaldehit ve kleiberit-303 tutkallarını kullanmıştır. Sonuç olarak, "ABBBBBA" katman simetrisi ve üre-formaldehit tutkallı lamine malzemelerin en yüksek eğilme direncine sahip olduğunu bildirmiştir (9). Örs ve diğerleri (2002) Doğu kayını, okume ve melez kavak soyma kaplamalarından, farklı kombinasyonlarda, üre-formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen kontrplakların, yoğunluk, çekme-makaslama direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerini belirlemişlerdir (10).

Bu çalışmanın amacı; mobilya mühendislik tasarımının ilk basamağı için gerekli olan, masif ve kompozit ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında sayısal değerler elde etmek suretiyle veri tabanı oluşturmaktır. Ayrıca, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayılarından yararlanılarak, masif ve kompozit ağaç malzemeler için kabul edilebilir tasarım gerilmeleri tespit edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Ağaç Malzemeler

Deneylerde masif ağaç malzeme olarak, mobilya endüstrisindeki yaygın kullanımları göz önüne alınarak I. sınıf Doğu kayını ve sarıçam odunları kullanılmıştır.

Keresteler Ankara Siteler piyasasından temin edilmiştir. Kerestelerin seçiminde; kuru, sağlam, doğal renkli, kuru, liflerinin birbirine paralel olması, lif kıvrıklığı olmaması, böcek ve mantar zararlarına uğramamış bulunması gibi etmenler göz önünde bulundurulmuştur. Ağaç esaslı kompozit ağaç malzeme olarak ise; 18 mm kalınlığında, TS 46 esaslarına uygun dokuz katmanlı okume kontrplak (OKP), TS 64 standartlarında orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve EN 300 standartlarında üretilmiş yönlendirilmiş yonga levha (OSB) kullanılmıştır (11, 12, 13).

2.2. Yöntem

Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak deney örnekleri, deneylerden önce TS 2470 (14) esaslarına uyularak 20 ±2 °C sıcaklık ve % 65 ±5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında bir ay süre ile bekletilmişlerdir. Deneyler, 4 tonluk universal deney cihazında, statik yük altında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde yükleme hızı 2 mm/dak olarak sabit tutulmuştur.

2.2.1. Fiziksel Özellikler

Ağaç malzemelerin fiziksel özellikleri; odun-su ilişkileri, ağırlık-hacim ilişkileri, termik, elektriksel ve akustik özelliklerini kapsar (15). Malzemelerin yoğunlukları ve rutubet oranları gibi fiziksel özellikleri, mobilya mukavemet tasarımında birinci derece önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, malzemelerin rutubet oranları ve yoğunlukları tespit edilmiştir.

2.2.1.1. Yoğunluk ve Rutubet Oranı

Deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla masif malzemeler için TS 2472 (16), kompozit ağaç malzemeler için de TS EN 323'de (17) belirtilen esaslara uyulmuştur. Her malzemedan 10' ar adet olmak üzere kompozit ağaç malzemeler için 50x50x18 mm, masif ağaç malzemeler için 20x20x20 mm ölçülerinde toplam 50 adet örnek hazırlanmış, daha sonra bu örnekler ±0,01 g duyarlılık terazi ile tartılmışlardır. Böylece örneklerin rutubetli (hava kuru) ağırlıkları (m_r) tespit edilmiştir. Daha sonra bu örneklerin boyutları ± 0,01 mm duyarlılık dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (V_r) hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra örnekler 103 ±2 °C de 24 saat bekletilmişler, 6 saat aralıklarla yapılan iki tartı arasındaki fark, deney parçası ağırlığının % 0,5'ine eşit veya daha az olduğunda değişmez ağırlığa ulaştıkları kabul edilerek tam kuru ağırlıklar (m_o) belirlenmiştir. Tekrar dijital kumpas kullanılarak boyutlar ölçülmek suretiyle tam kuru hacimleri (V_o) hesaplanmıştır. Tam kuru (δ_o) ve hava kuru (δ_{12}) yoğunlukların belirlenmesi için sırasıyla;

$$\delta_o = m_o / V \quad \text{ve} \quad \delta_{12} = m_{12} / V_{12} \quad (g/cm^3) \quad (3.1)$$

Rutubet (r) kontrolü için masif ağaç malzemelerde TS 2471 (18), kompozit ağaç malzemelerde TS EN 322 (19) esaslarına uyularak;

$$r = (m_r - m_o / m_o) \times 100 \quad (\%) \quad (3.2)$$

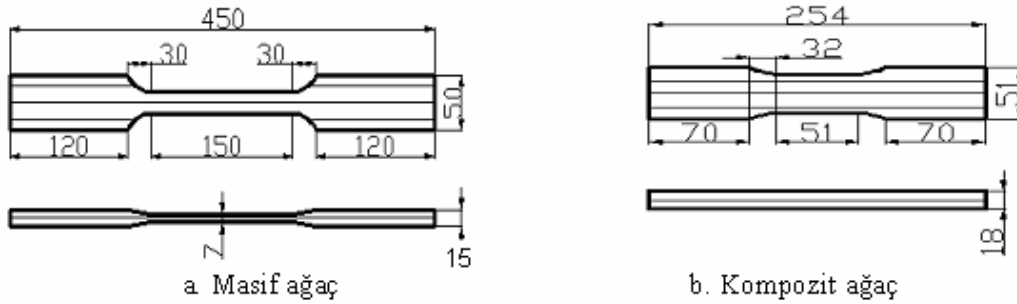
eşitlikleri kullanılmıştır.

2.2.2. Mekanik Özellikler

Bu çalışmada, malzemelerin statik yük altındaki; liflere veya yüzeye paralel basınç, çekme, kesme (makaslama) dirençleri, liflere dik yönde eğilme dirençleri ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri tespit edilmiş ve her deney için 10'ar adet örnek deneye tabi tutulmuştur.

2.2.2.1. Liflere veya Yüzeye Paralel Çekme Direnci

Masif ağaç malzemelerin liflere paralel yöndeki çekme dirençleri TS 2475 (20), kompozit ağaç malzemelerin yüzeye paralel çekme dirençleri ASTM D-1037 (21) esaslarına göre belirlenmiştir. Çekme deneyi ör-



Şekil 1. Liflere veya yüzeye paralel çekme deneyi örnekleri (ölçüler mm'dir)

nekleri masif ağaç malzemeler için Şekil 1a' da, kompozit ağaç malzemeler için ise Şekil 1b' de gösterilmiştir.

Deneylerde kopma anındaki kuvvet ($F_{max\zeta}$) ve kopmanın meydana geldiği kesit alanı (A_{ζ}) için çekme direnci (σ_{ζ});

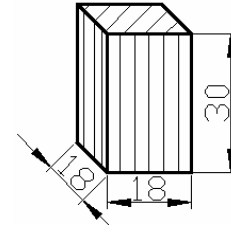
$$\sigma_{\zeta} = F_{max\zeta} / A_{\zeta} \quad (N/mm^2) \quad (3.3)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

2.2.2.2. Liflere veya Yüzeye Paralel Basınç Direnci

Basınç dirençlerinin belirlenmesinde, TS 2595 (22) de belirtilen esaslara uyulmuştur. Liflere veya

yüzeye paralel basınç direnci deneylerinde 18x18 kare kesitli ve lifler yönünde 30 mm uzunluğundaki numuneler kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Liflere veya yüzeye paralel basınç deneyi örneği (ölçüler mm'dir)

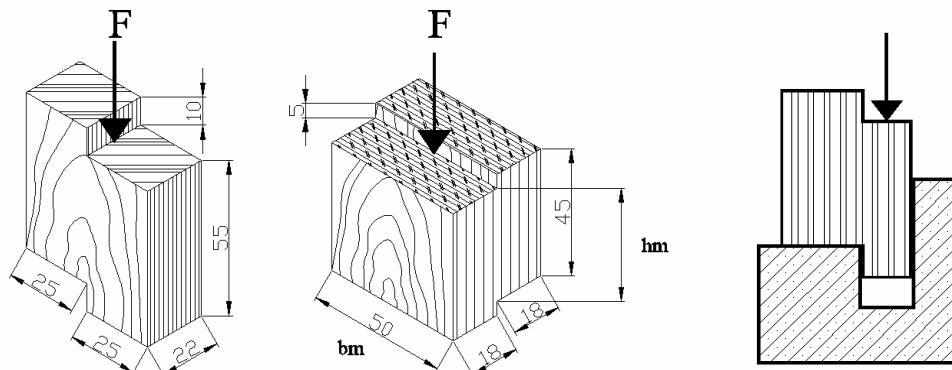
Deneylerde ezilme anındaki kuvvet (F_{maxb}) ve örnek enine kesit alanı (A_b) için basınç direnci (σ_b);

$$\sigma_b = F_{maxb} / A_b \quad (N/mm^2) \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

2.2.2.3. Liflere veya Yüzeye Paralel Kesme (Makaslama) Direnci

Liflere veya yüzeye paralel kesme dirençlerinin belirlenmesinde; masif ağaç malzemeler için TS 3459 (23) kompozit ağaç malzemeler için ise TS 5192 (24) esaslarına uyulmuştur (Şekil 3a, 3b).



a. Masif ağaç

b. Kompozit ağaç

Şekil 3. Kesme direnci deneyi örnekleri (ölçüler mm'dir)

Deneylerden önce örnekte kesme yüzeyi genişliği (b_m) ve uzunluğu (h_m) bir dijital kumpas yardımıyla ölçülmüş ve kopma anındaki en büyük kuvvet (F_{maxm}) olmak üzere makaslama direnci (τ_m);

$$\tau_m = F_{maxm} / b_m \times h_m \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

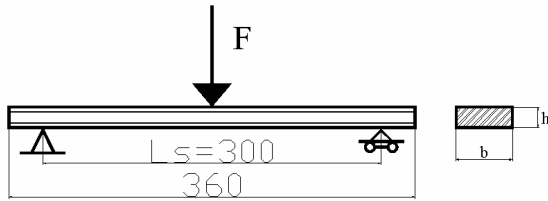
eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

2.2.2.4. Liflere veya Yüzeye Dik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme direnci deneylerinde, masif ağaç malzemeler için TS 2474 (25), kompozit ağaç malzemeler için ise TS EN 310 (26)'da belirtilen esaslara uyulmuştur. Deney örnekleri, ağaç malzemeler için 360x20x20 mm, kompozit ağaç malzemeler için de 360x50x18 mm ölçülerinde olmak üzere 10'ar adet hazırlanmıştır. Deneylerde yük numunelerin tam ortasından uygulanmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet (F_{maxe}) için eğilme direnci (σ_e);

$$\sigma_e = (3/2) \times (F \times L_s / b \times h^2) \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.6)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada kesit genişliği (b), kesit yüksekliği ise (h)'dır. Eğilme direnci deney düzeneği Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Eğilme direnci deneyi düzeneği

Kompozit ağaç malzemeler için yüzeye dik ve yüzeye paralel eğilme direnci deneyleri yapılmıştır. Yüzeye paralel yöndeki deneylerde, yükleme örnek dikey pozisyonda iken uygulanarak, eğilme direnci değerleri bu yükleme pozisyonuna göre hesaplanmıştır. Eğilme deneylerinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri de hesaplanmıştır. Bu amaçla, masif ağaç malzemelerde TS 2478 (27), kompozit ağaç malzemelerde ise TS EN 310 (26) esaslarına uyulmuştur. Elastikiyet modülü (E), yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmından yararlanılarak hesaplanmıştır. Yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmına isabet eden her bir yük için belirli bir yer değiştirme değeri söz konusu olduğundan, (F_1) ve (F_2) kuvvetleri farkına (F) karşılık oluşan yer değiştirme miktarı (f) olmak üzere, elastikiyet modülü (E);

$$E = F \times L_s^3 / 4 \times b \times h^3 \times f \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.7)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

2.2.3. Kabul Edilebilir Tasarım (Emniyet) Gerilmeleri

Mobilya mühendislik tasarımında, mobilya sistemini oluşturan elemanların uçlarında, dış kuvvetlerin etkisiyle oluşacak iç gerilmeler, elemanın yapıldığı malzemeler için belirlenmiş olan kabul edilebilir tasarım

gerilmeleri ile karşılaştırılmak suretiyle elemanların güvenli olup olmadığı belirlenir. Böylece, eleman kesit ölçüleri gereğinden büyük ya da küçük elde edilmemiş olmaktadır ki, bu sonuç uygulamada estetik, teknik ve ekonomik açılardan üstünlükler sağlamaktadır (2).

Her malzeme için gerekli olan tasarım gerilmesi değerleri genellikle laboratuvar deneylerine ve uygulamadaki deneyimlere dayandırılmaktadır. Ağaç ve ağaç esaslı malzemelerden alınan küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde standart yöntemlere göre yapılan deneylerle elde edilen ortalama direnç değerleri pratikte büyük boyutlu, budak, çatlak vb. kusurları olan yapı malzemesinde kullanılmamaktadır. Ağaç malzemenin homojen bir yapıya sahip olmayışı, özellikle budaklar, çatlaklar, spiral liflilik vb. kusurlar, rutubeti, sıcaklık, yükleme şekli, süresi ve daha birçok faktör direnç değerlerini azaltıcı etki yapmaktadır. Bu etmenler hakkında çoğunlukla kesin sayısal bilgiler var olmadığı göz önünde bulundurulursa, uygulamada ağaç malzemenin etki altında kalması olası yükler küçük boyutlu numunelerde elde olunan dirençlerdekinin ancak küçük bir kesridir. Bu nedenle, uygulamada büyük boyutlu kullanılan ağaç malzemeler için bir emniyet katsayısının (k) kullanılması gerekmektedir (28).

Kabul edilebilir tasarım gerilmeleri, genellikle elastiklik sınırındaki gerilme değerinden daha düşüktür. Emniyet katsayısı, tasarım gerilmesi (σ_{em}) ve statik direnç (σ)'e göre;

$$k = \sigma_{em} / \sigma \quad (3.13)$$

oranından hesaplanır (28).

Yapı malzemelerinde pratik olarak; kusursuz, küçük boyutlu numunelerde elde edilen ortalama direnç değerine göre 3–6 kat emniyet sağlayan yüksek emniyet katsayıları kullanılmaktadır (28).

Kabul edilebilir tasarım gerilmelerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli etken, hiç şüphesiz insanların can güvenliğidir. İnşa edilen bir yapının, örneğin bir köprünün yeterli derecede güvenli yapılmaması, insanların can güvenliği açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Hâlbuki bir sandalyenin sağlam yapılmamasının insan güvenliğini doğrudan tehdit etme riski daha azdır. Ancak, bazı durumlarda kazalara da neden olabilir. Bu bağlamda, bir köprü veya yapıda kullanılacak ağaç malzeme için belirlenecek kabul edilebilir tasarım gerilmesi değerlerinin, mobilya yapımında kullanılacak bir ağaç malzeme için belirlenecek kabul edilebilir tasarım gerilmesi değerlerinden daha küçük alınması beklenir (3).

Mobilyada kullanılacak masif ve kompozit ağaç malzemeler için kabul edilebilir tasarım gerilmeleri henüz elde edilmemiştir. Ancak, Eckelman (3) mobilya yapımında kullanılacak ağaç malzemelerin çeşitli dirençleri için kısıtlama faktörleri önermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Deney malzemelerinin kabul edilebilir tasarım gerilmelerinin tayininde kullanılan kısıtlama oranları emniyet katsayıları (3)

Gerilme Türü	Emniyet Katsayısı
Eğilme Emniyet Gerilmesi	1 / 3 Eğilme Direnci
Makaslama Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	1 / 3 Makaslama Direnci (//)
Torsion (Burulma) Emniyet Gerilmesi	4 / 9 Makaslama Direnci (//)
Çekme Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	1 / 3 Eğilme Direnci
Basınç Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	2 / 3 Basınç Direnci (//)
Basınç Emniyet Gerilmesi (Liflere dik ⊥)	1 / 1 Basınç Direnci (⊥)

Bu çalışmada; masif ağaç ve kompozit ağaç malzemeler için elde edilen maksimum direnç değerlerinin, Eckelman tarafından önerilen emniyet katsayılarına bölünmesiyle elde edilen değerler “kabul edilebilir tasarım gerilmesi” olarak alınmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Yoğunluk ve Rutubet

Masif ve kompozit ağaç malzemelerin ortalama rutubet, tam kuru yoğunluk ve hava kuru yoğunluk değerleri ve bunlara ilişkin varyasyon katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Masif ve kompozit ağaç malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri

Malzeme çeşidi	Ortalama rutubet (%)	Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)	Hava kuru yoğunluk (g/cm^3)
Doğu Kayını	10,2 (3,9)*	0,63 (1,4)	0,65 (1,5)
Sarıçam	11,2 (3,5)	0,50 (2,1)	0,52 (2,5)
OKP	9,1 (3,6)	0,54 (5,5)	0,57 (5,5)
MDF	7,1 (4,3)	0,67 (1,8)	0,69 (2,1)
OSB	7,6 (3,7)	0,57 (6,3)	0,59 (6,7)

*Parantez içerisindeki değerler varyasyon katsayılarıdır (%).

Tablo 3. Deney malzemelerinin çekme direnci değerleri

Malzeme çeşidi	Çekme direnci (N/mm^2)			
	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v (%)
Doğu Kayını	73,55	167,41	128,5	22,26
Sarıçam	65,84	87,56	73,01	8,95
OKP	33,73	44,05	39,76	10,44
MDF	14,37	17,69	15,62	6,10
OSB	7,74	13,82	10,93	18,84

X_{min} , X_{max} , X_{ort} : Sırasıyla en düşük, en yüksek ve ortalama değer

v : Varyasyon katsayısı

Tablo 4. Malzeme çeşidinin çekme direncine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	7,25E+19	4	1,812E+19	5,775	0,001
Gruplar İçi	1,41E+20	45	3,138E+18		
Toplam	2,14E+20	49			

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Çekme Direnci

Masif ve kompozit ağaç malzemelerin liflere veya yüzeye paralel çekme direnci için istatistikî değerler Tablo 3’de verilmiştir.

Malzeme çeşitlerinin, liflere veya yüzeye paralel çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Buna göre; malzeme çeşitlerinin liflere veya yüzeye paralel çekme direnci değerlerine etkisi 0,001 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

3.2.2. Basınç Direnci

Masif ve kompozit ağaç malzemeler için liflere veya yüzeye paralel basınç direnci değerleri ve istatistikleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Deney malzemelerinin basınç direnci değerleri

Malzeme çeşidi	Basınç direnci (N/mm^2)			
	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v (%)
Doğu Kayını	77,79	80,51	79,15	1,05
Sarıçam	43,58	54,18	49,70	5,85
OKP	36,01	41,16	37,83	4,62
MDF	17,85	19,37	18,73	3,01
OSB	13,01	21,49	16,61	25,11

Tablo 6. Malzeme çeşidinin basınç direncine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	9,85E+19	4	2,464E+19	5,932	0,001
Gruplar İçi	1,87E+20	45	4,153E+18		
Toplam	2,85E+20	49			

Tablo 7. Deney malzemelerinin kesme direnci değerleri

Malzeme çeşidi	Kesme direnci (N/mm^2)			
	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v (%)
Doğu Kayını	8,98	11,78	10,31	9,02
Sarıçam	5,65	6,6	6,21	3,76
OKP	7,69	9,33	8,98	5,75
MDF	5,17	6,26	5,54	5,92
OSB	4,49	6,74	5,68	12,72

Tablo 8. Ağaç malzemelerin kesme direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	3,13E+20	4	7,828E+19	17,048	0,000
Gruplar İçi	2,07E+20	45	4,592E+18		
Toplam	5,20E+20	49			

Ağaç malzemelerin liflere veya yüzeye paralel basınç direnci değerleri üzerindeki etkisi 0,001 hata payı ile önemli çıkmıştır.

3.2.3. Makaslama Direnci

Masif ve kompozit ağaç malzemeler için liflere veya yüzeye paralel kesme direnci değerleri ve bunlara ait istatistiksel değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Ağaç malzemelerin liflere veya yüzeye paralel makaslama direnci değerleri üzerindeki etkisi 0,001 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

3.2.4. Eğilme Direnci

Masif ve kompozit ağaç malzemelerin liflere veya yüzeye dik eğilme direnci değerleri, varyasyon katsayılarıyla birlikte Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 9. Deney malzemelerinin eğilme direnci değerleri

Malzeme çeşidi		Eğilme direnci (N/mm^2)			
		X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v (%)
Doğu Kayını		113,18	153,60	129,67	11,97
Sarıçam		63,86	88,92	73,24	9,44
OKP	Dikey	44,01	71,86	60,29	19,76
	Yatay	55,51	72,75	64,99	10,46
MDF	Dikey	24,25	25,60	24,70	2,57
	Yatay	30,45	33,68	32,12	3,62
OSB	Dikey	15,27	22,10	19,04	12,76
	Yatay	24,25	41,76	32,87	21,41

Ağaç malzemelerin, liflere veya yüzeye paralel kesme direnci değerleri üzerindeki etkisini saptamak amacıyla yapılan tekli varyans analizi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Malzeme çeşitlerinin, liflere veya yüzeye dik eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Ağaç malzemelerin eğilme direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	3,68E+20	7	5,252E+19	46,146	0,000
Gruplar İçi	8,19E+19	72	1,138E+18		
Toplam	4,50E+20	79			

Tablo 11. Ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Malzeme çeşidi	Elastikiyet modülü (N/mm^2)				
	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	ν (%)	
Doğu Kayını	10620	14200	12250	9,64	
Sarıçam	9800	15321	11760	14,37	
OKP	Dikey	3323	3520	3413	3,64
	Yatay	7380	8585	7730	4,77
MDF	Dikey	2198	2390	2290	3,41
	Yatay	5380	5750	5498	2,68
OSB	Dikey	2310	2670	2450	6,01
	Yatay	6233	6684	6530	2,82

Tablo 12. Ağaç malzemelerin elastikiyet modülüne etkisine ait varyans analizi

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	1,07E+09	7	152718989.8	273,709	0,000
Gruplar İçi	40173194	72	557961.028		
Toplam	1,11E+09	79			

Tablo 13. Deneysel malzemeleri için belirlenen kabul edilir tasarım gerilmeleri (N/mm^2)

Malzeme	Eğilme Tasarım Gerilmesi	Makaslama Tasarım Gerilmesi	Burulma Tasarım Gerilmesi	Çekme Tasarım Gerilmesi	Basınç Tasarım Gerilmesi
Doğu Kayını	43	3,5	4,6	43	53
Sarıçam	25	2	2,7	25	33
OKP	Yatay	22	3	4	21
	Dikey	20			
MDF	Yatay	11	1,8	2,4	9
	Dikey	8			
OSB	Yatay	11	1,9	2,5	9

Ağaç malzeme çeşitlerinin liflere veya yüzeye dik eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisi 0,001 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır.

3.2.5. Elastikiyet Modülü

Masif ve kompozit ağaç malzemelerin liflere veya yüzeye dik eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 11’de istatistikleri ile birlikte verilmiştir.

Malzeme çeşitlerinin, elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları Tablo 12’de verilmiştir.

Ağaç malzemelerin elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisi 0,001 hata payı ile anlamlı bulunmuştur.

3.3. Kabul Edilebilir Tasarım Gerilmeleri

Masif ve kompozit ağaç malzemeler için deneyler sonucu bulunan gerilme değerlerine göre, Eckelman (3) tarafından mobilya için önerilen emniyet katsayıları

kullanılarak hesaplanan kabul edilebilir tasarım gerilmeleri Tablo 13’de verilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; mobilya üretiminde kullanılan bazı masif ve kompozit ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında sayısal değerler elde edilmiştir. Bir adım ilerisinde de, özellikle mobilya sistemini oluşturan elemanların kesit ölçülerinin belirlenmesinde gerekli olan, masif ve kompozit ağaç malzemelerin mekanik dirençleri için kabul edilebilir tasarım gerilmeleri literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayılarından yararlanılarak tespit edilmiştir.

Deneyler sonucunda, genellikle masif ağaç malzemeler, kompozit ağaç malzemelere göre daha yüksek direnç değerleri vermiştir. Bu beklenen bir sonuçtur. Ancak, kompozit ağaç malzemelerden özellikle OKP, bazı durumlarda da MDF kabul edilebilir değerler vermişlerdir. Bu durum, mühendislik tasarımı yaklaşımıyla,

birçok üstün özellikleri olan bu malzemelerin mobilya üretiminde kullanılabileceğine işaretir.

Doğal kaynakların giderek azaldığı ve mobilya taleplerinin kitleler bazında yaygınlaştığı günümüzde, mobilya üretiminde masif ağaç malzeme kullanımı ekonomik olmamaktadır. Özellikle kutu konstrüksiyonlu mobilya üretiminde, kompozit ağaç malzemeler yaygın olarak kullanılmasına rağmen, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

Kompozit ağaç malzemelerin üstünlüklerini sıralayacak olursak; masif ağaç malzemedan üretilen elemanların boyutları sınırlı olmasına rağmen, bu malzemeler ile daha büyük boyutlu ürünler elde etmek mümkündür. Ağaç malzemelerin kurutulması ile ilgili işlemler ve kurutma kusurları elimine edilmiş durumdadır. Ağaç malzemelerin kusurları ile karşılaşma durumu yoktur. Kompozit ağaç malzemeler, masif ağaç malzemeye göre daha az çalışmaktadır. Bir başka ifadeyle, boyutsal açıdan daha kararlıdır. Ayrıca CNC makineleriyle kolayca işlenebilirler. En önemli avantajları olarak da fiziksel ve mekanik karakteristiklerinin tutarlı olması söylenebilir.

Araştırma sonucunda, fiziksel ve mekanik deneylerin, mobilya mühendislik tasarımının önemli ve ilk basamağı olduğu sonucuna varılmış, bu deneylerin ürünlerdeki beklenmeyen mukavemet zaafalarının önceden gözlenmesine yaradığı ve böylece gerçek kullanım ve hasar görme şartları hakkında fikir verebileceği anlaşılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, performans deneylerini de kapsayan genel ürün mühendisliği metodolojisinin ilk basamağı olan, fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi, mobilya mukavemet tasarımı yaklaşımına uyarlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sayısal veriler ile ileriki çalışmalarda, masif ve kompozit ağaç malzemelerin çeşitli birleştirme teknikleriyle ve değişik mukavemet elemanlarında denenmesi, daha sonra da üretilen 1/1ölçekli prototipler üzerinde performans deneylerinin yapılması önerilebilir. Mobilya mühendislik tasarımının hayata geçirilmesiyle daha kaliteli ve daha ekonomik mobilyalar üretilebilecektir.

Sonuç olarak, mobilyada kalite göstergesi estetik ve dayanım olduğundan bu tür bilimsel ve sistemli yaklaşımlar sayesinde Türkiye mobilya endüstrisi Avrupa standartları kalitesinde hatta daha kaliteli mobilyalar üretebilecek ve bunları pazarlayarak ülkemiz ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Eckelman, C., A., "A Look at... The Strength Design of Furniture", *Forest Product Journal*, (16) 3: 21-24, 1966.
- Kasal, A., Masif ve Kompozit Ağaç malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2004.
- Eckelman, C., A., *Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture*, Text Book, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 1991.
- Erdil, Y., Z., *Strength Analysis and Design of Joints of Furniture Frames Constructed of Plywood and Oriented Strand-Board*, Master of Science, Purdue University Graduate School, West Lafayette, Indiana, 1998.
- Bao, Z., and Eckelman, C., A., "Fatigue Life and Design Stress For Wood Composites Used in Furniture", *Forest Product Journal*, 45 (7/8) : 59-63, 1995.
- Bao, Z., Eckelman, C., A., Gibson, H., "Fatigue Strength and Allowable Design Stresses for Some Wood Composites Used in Furniture", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 54 (6) : 377-382, 1996.
- Eckelman, C., A., "Designing High Quality Furniture With Wood Composites", *Purdue University Paper*, 42-47, 1999.
- Shrestha, D., "Shear Properties Tests of Oriented Strandboard Panels", *Forest Product Journal*, 49 (10) : 41-46, 1999.
- Altınok, M., "Lamine Ağaç Malzemedeki Katman Simetrisinin Eğilme Direncine Etkileri", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 15, No 2, 385-392 2002.
- Örs, Y., Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Çolak, S., "Kayın, Okume ve Kavak Soyma Kaplamalarından Farklı Kombinasyonlarda Üretilen Kontrplakların Bazı Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması", *G. Ü. T. E. F. , Politeknik Dergisi*, 5 (3) : 257-265, 2002.
- TS 46, "Kontrplak (Soyma Plakalı)-Genel Amaçlar İçin", T.S.E. , Ankara, 1986.
- TS 64, "Lif Levhalar - Sert ve Orta Sert Levhalar", T.S.E. , Ankara, 1982.
- EN 300, "Oriented Strand Boards (OSB)-Definitions, Classification and Specifications", *European Standart*, 1997.
- TS 2470 "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler", T.S.E., Ankara, 1976.
- Örs, Y., Keskin, H., Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Yayın No 02, Ankara, 2001.
- TS 2472, "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini", T.S.E., Ankara, 1976.
- TS EN 323 "Ahşap Esaslı Levhalar - Birim Hacim Ağırlığının Tayini", T.S.E., Ankara, 1999.
- TS 2471, "Odunda, Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini", T.S.E., Ankara, 1-3, 1976.
- TS EN 322 "Ahşap Esaslı Levhalar - Rutubet Miktarının Tayini", T.S.E., Ankara, 1999.
- TS 2475 "Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini", T.S.E., Ankara, 1976.
- ASTM D 1037-98 "Standard Methods for Evaluating the Properties of Wood-Based Fiber and Particle Panel Materials", *ASTM*, West Conshohocken, Pa., 1998.
- TS 2595 "Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini", T.S.E., Ankara, 1977.
- TS 3459 "Odunda Liflere Paralel Yönde Makaslama Direncinin Tayini", T.S.E., Ankara, 1980.

24. TS 5192 “Yonga Levhaları–Yüzeye Paralel Yöndeki Makaslama Mukavemetinin Tayini”, T.S.E., Ankara, 1987.
25. TS 2474, “Oduunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”, T.S.E., Ankara, 1976.
26. TS EN 310, “Ahşap Esaslı Levhalar–Eğilme Dayanımı ve Elastikiyet Modülünün Tayini”, T.S.E., Ankara, 1999.
27. TS 2478, “Oduunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini”, T.S.E., Ankara, 1976.
28. Bozkurt, Y., Göker, Y., “Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi”, Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1996.