

BAZI MASİF VE KOMPOZİT AĞAÇ MALZEMELERİN KAVELA TUTMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Ali KASAL

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Muğla Üniversitesi, 48000, Kötekli, Muğla
alikasal@mu.edu.tr

(Geliş/Received: 02.08.2006; Kabul/Accepted:17.08.2007)

ÖZET

Bu çalışmada; bazı masif ve kompozit ağaç malzemelerin, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneylerde ağaç malzemelerden Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), kompozit ağaç malzemelerden ise okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP), yonga levha (YL), iki ayrı kalitede yönlendirilmiş yonga levha (OSB1, OSB2), orta yoğunlukta lif levha (MDF), sentetik reçinelerle kaplanmış yonga levha (SUNTALAM) ve lif levha (MDFLAM) kullanılmıştır. Kavelaların yapıştırılmasında polivinilasetat (PVAc) tutkalından yararlanılmıştır. 9 malzeme çeşidi (2 masif, 7 kompozit), 2 farklı kavela çapı, 3 kavela girme derinliği (etkili boyu) ve her örnekten 10 yineleme olacak şekilde toplam 660 kenardan çekme, 540 adet de yüzeyden çekme örneği hazırlanmış ve statik yük altında denenmiştir. Ayrıca, deney sonuçları sayısal formüller haline getirilerek mobilya tasarımcılarının kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansını, her bir malzeme çeşidi için kavela çapı ve kavela etkili boyunun fonksiyonu olarak tahmin etmeleri amaçlanmıştır. Sonuçlar, elde edilen formüllerle, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansının mantıklı bir şekilde tahmin edilebildiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Kavelalı birleştirmeler, kavela, kavela tutma performansı, ağaç malzeme, kompozit ağaç malzeme.

DETERMINATION OF THE DOWEL HOLDING PERFORMANCE OF SOME SOLID WOOD AND WOOD COMPOSITE MATERIALS

ABSTRACT

In this study, determination of the edge and face dowel holding performances of some wood and wood composite materials were aimed. Turkish beech (*Fagus orientalis Lipsky*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) were selected as the wood materials while okoume (*Aucoumea klaineana*) plywood (OKP), particleboard (YL), two different quality of oriented strand boards (OSB1, OSB2), medium density fiberboard (MDF), particleboard surfaced with synthetic resin sheet (SUNTALAM) and medium density fiberboard surfaced with synthetic resin sheet (MDFLAM) were used as the wood composite materials in the tests. Polyvinylacetate (PVAc) adhesive was utilized for gluing of the dowels. A total of 660 specimens were prepared for edge withdrawal tests including 9 material types (2 solid woods, 7 wood composites), 2 different diameters of dowel, 3 dowel penetrations and 10 replications for each group, and 540 specimens were prepared for face withdrawal tests, and they were tested under static loads. Furthermore, results of the tests were incorporated into predictive expressions that allow furniture designers to estimate edge and face dowel withdrawal performances for each material as a function of diameter of dowel and their depth of penetration. Results showed that the expressions developed provide reasonable estimates of edge and face dowel holding performances.

Keywords: Dowel joints, dowel, dowel holding performance, wooden material, wood composite material.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konstrüksiyon tasarımı açısından mobilyalar genellikle çerçeve (iskelet), kutu (panel) ve kombine

(karma) tipi olmak üzere üç yapı grubunda incelenmektedir. Üretimde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu, masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve, her iki eleman tipinin de

kullanıldığı mobilyalar ise kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olarak tanımlanmaktadır. Mobilya sistemlerinin mekanik davranış özellikleri, genellikle elemanların üretildiği malzemeler ile bu elemanları birbirine bağlamada uygulanan birleştirme tekniklerine bağlı bulunmaktadır [1,2].

Kavela, iki mobilya elemanını tutkal veya başka bağlantı gereçleriyle birlikte birbirine bağlamak için kullanılan silindirik şeklindeki ağaç çubuklardır [3]. Gerek çerçeve gerekse kutu tipi mobilya elemanlarının birbirine bağlanmasında en yaygın olarak kullanılan birleştirme tekniği kavelalı birleştirmedir. Kavelalı birleştirmeler, hem seri üretim hem de atelye tipi üretim yapan işletmeler için son derece uygun ve kullanılan bir tekniktir. Çünkü maliyet olarak düşüktür ve kavelalı birleştirme sadece basit delme işlemleri ile yapılabilir.

Kavelaların boyutları (çap-boy), gövde biçimleri, birim uzunluktaki sayıları gibi faktörlerle beraber kavela deliklerinin açılmasında kullanılan yöntemin doğru seçilmesi ve yeterli yapışmanın sağlanması gibi faktörler de kavelalı birleştirmenin sağlamlığı üzerine etkili olmaktadır [3].

Günümüzde, çeşitli teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı, gerek kutu gerekse çerçeve tipi mobilya üretiminde ağaç esaslı kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Masif ağaç malzemeye göre teknik ve ekonomik yönlerden birçok avantajları bulunan odun kompozitlerinin direk olarak mobilya üretiminde masif ağaç malzemeye alternatif olarak kullanılması ciddi mukavemet problemlerine yol açabilir. Bu nedenle, kompozit ağaç malzemelerin çeşitli bağlantı elemanları ile tutma mukavemetleri ve çeşitli yükler altında gösterecekleri mekanik davranışlar belirlenmelidir.

Eckelman (1970), şeker akça ağacından elde edilen T-tipi eğilme elemanlarını üre-formaldehit tutkalı ile denemiş ve eğilme momentinin, tek kavelanın çekmede gösterdiği kuvvet ile iç moment kolunun çarpımına eşit olduğunu belirlemiştir [4]. Eckelman (1971), oturma mobilyalarına gelen düşey ve yatay kesme yüklerinin, kavelalı birleştirme kullanılmış çerçeve konstrüksiyonlu mobilyaların düğüm noktalarına etkisini irdelemiştir [5]. Engleson (1973) yeterli tutkal kullanımının kavela tutma mukavemeti üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Yonga levhalarla oluşturulan kavelalı köşe birleştirmelerde, tutkalın hem kavela yüzeylerine hem de kavela deliği duvarlarına sürülmesinin, sadece kavela deliği çeperine sürülmesine göre birleştirmelerin mukavemetini %35 arttırdığını belirlemiştir [6]. Winandy (1978) lamine ağaç malzemelerin [laminated veneer lumber (LVL)] döşemeli mobilya iskeletlerinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Hazırladığı kavelalı birleştirmelerin hem düz çekme hem de yanal yükler karşısındaki mukavemetlerini

denemiş, sonuçta LVL ile hazırlanmış kavelalı birleştirmelerin, iskelet mobilya üretiminde kullanılabilirliğini bildirmiştir [7]. Eckelman (1979), ceviz odunundan farklı boyutlardaki kavelalarla hazırlanmış 60 adet deney örneğini karşılaştırmıştır. Tüm örnekleri üre-formaldehit tutkalı ile yapıştırmış, çerçeve tipi ve kasa tipi kavelalı birleştirmelerde eğilme karakteristiklerini incelemiştir. Sonuç olarak, kasa tipi birleştirmelerin, çerçeve tipi birleştirmelere göre daha mukavemetli, kayıt kalınlığı 20 mm olan birleştirmelerin, kayıt kalınlığı 25, 30 ve 38 mm olanlara göre 14 kat daha elastik olduğunu bildirmiştir [8]. Eckelman ve Hoover (1979) kırmızı meşeden elde edilmiş lamine ahşap malzemenin kavela tutma mukavemetini araştırmışlardır. Yüzeiden ve kenardan kavela çekme deneyleri sonucunda; lamine malzemenin masif kırmızı meşeye kıyasla % 47 daha düşük liflere paralel makaslama direncine sahip olmasına rağmen, hem kenardan hem de yüzeiden kavela çekme mukavemetinin % 78 daha yüksek çıktığını bildirmişlerdir [9]. Eckelman (1979) kavela çekme mukavemeti ile birleştirmenin yapımında kullanılan ağaç malzemenin liflere paralel makaslama direnci arasında güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Deney sonuçlarına uyguladığı doğrusal regresyon analizi sonucunda, ağaç malzemenin kenarından kavela çekme mukavemeti için;

$$F = 0.834 DL^{.89} (0.95 S_1 - S_2) ab \quad (1.1)$$

eşitliğini önermiştir. Burada, F : kavela çekme kuvveti (*pound*), D : kavela çapı (*inches*), L : kavela etkili boyu (*inches*), S_1 : kavelanın girdiği ağaç malzemenin makaslama direnci (*psi*), S_2 : kavelanın yapıldığı ağaç malzemenin makaslama direnci (*psi*), a : tutkal çarpanı, b : kavela – kavela deliği boşluk çarpanıdır [10].

Eckelman ve Cassens (1985) mobilya yapımında kullanılan OSB, MDF ve yonga levha gibi odun kompozitlerinin, çeşitli yüzey biçimlerindeki kavelalar ile tutma mukavemetlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, fazla miktarda tutkal kullanımının mukavemeti arttırdığını, spiral yivli yüzeyli kavelaların, düz yivli kavelalardan daha yüksek mukavemet gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, yüzeiden kavela tutma mukavemetinin, kullanılan malzemenin iç yapışma direnci ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir [11]. Efe (1998), 8, 10 mm çapında ve 24, 36, 48 mm boylarındaki düz ve yivli gövdeli kayından hazırlanmış kavelaların, çam, meşe ve kayın odunları üzerindeki çekme dirençlerini araştırmıştır. Çalışmalarında en yüksek dirençlerin, boy birleştirmelerde; meşede, 36 mm boy, 8 mm çapındaki kavelalar ile [12], en (yan yana) birleştirmelerde; kayında ve 36 mm boy, 10 mm çapındaki kavelalarla [13], T-tipi birleştirmelerde ise; meşede, 36 mm boy, 10 mm çapındaki kavelalarla elde edildiğini bildirmiştir [14]. Erdil ve Eckelman (2000) kontrplak ve OSB'nin kavela tutma mukavemeti deney

sonuçlarını bağıntılar ile vermişlerdir [15]. Zhang ve diğerleri (2002) kontrplak ve OSB'den üretilmiş kavelalı birleştirmelerin torsiyonel, yanal (lateral), düz çekme ve eğilme yükleri karşısındaki mekanik davranışlarını incelemişler, sonuç olarak bu malzemelerin çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir [16-18].

Mobilya mühendislik (mukavemet) tasarımı yaklaşımında, birinci aşama öncelikle üretimde kullanılacak malzemelerin bazı teknik özelliklerinin ve çeşitli bağlantı elemanlarıyla tutma mukavemetlerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada; mobilya mühendislik tasarımının ilk basamağı için veri tabanı oluşturması açısından, polivinilasetat tutkısıyla yapıştırılmış farklı çap ve boylardaki kavelaların bazı masif ve kompozit ağaç malzemeler ile kenardan ve yüzeyden tutma mukavemetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca her bir malzeme için, kavela çapları ve kavela boyları ile kavela tutma performansı arasındaki ilişkiler incelenerek matematiksel modeller haline getirilmiş ve mobilya tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Masif ve Kompozit Ağaç Malzemeler (Solid and Wood Composite Materials)

Deneylerde masif ağaç malzeme olarak, ülkemizde yayılış alanlarının genişliği ve mobilya endüstrisinde

yaygın olarak kullanımları göz önünde bulundurularak Doğu kayını ve sarıçam kullanılmıştır. Keresteler Ankara Siteler piyasasından temin edilmiştir. Kerestelerin seçiminde; kuru, sağlam, doğal renkli, kusursuz, liflerin birbirine paralel olması, lif kıvrıklığı olmaması, böcek ve mantar zararlarına uğramamış olması gibi faktörlere dikkat edilmiştir.

Ağaç esaslı kompozit malzeme olarak ise; 18 mm kalınlığında, TS 46 [19] esaslarına uygun dokuz katmanlı okume kontrplak (OKP), TS EN 312-3 [20] standartlarında yonga levha (YL), EN 300 [21] standartlarında üretilmiş 2 ayrı kalitede yönlendirilmiş yonga levha (OSB1, OSB2), TS 64 [22] esaslarına uygun orta yoğunlukta lif levha (MDF), TS 1770 [23] standartlarında sentetik reçinelerle kaplanmış yonga levha (SUNTALAM) ve lif levha (MDFLAM) kullanılmıştır.

2.2. Kavelalar (Dowels)

Denemelerde çap ve boyları farklı olan, TS 4539 [24]'da belirtilen özelliklerde kayın odunundan hazırlanmış düz yivli gövdeli 12 ayrı ölçüde kavelalar kullanılmıştır (Şekil 1). Kenardan ve yüzeyden kavela tutma deneylerinde kullanılan kavelaların ölçüleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kavela (The dowel used in the tests)

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kavela ölçüleri (Dowel sizes used in the tests)

Deney türü	Kavela tipi	Kavela çapı (mm)	Kavela boyu (mm)	Yük uygulama parçasındaki derinlik (mm)	Kavela etkili boyu (mm)
Kenardan çekme	1	8	35	20	15
	2		40	20	20
	3		45	20	25
	4	10	35	20	15
	5		40	20	20
	6		45	20	25
Yüzeyden çekme	7	8	27	20	7
	8		30	20	10
	9		33	20	13
	10	10	27	20	7
	11		30	20	10
	12		33	20	13

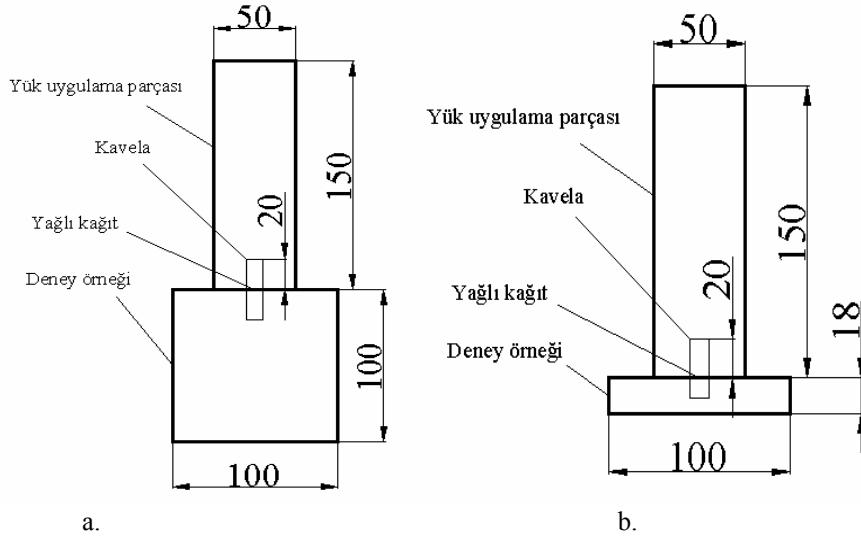
2.3. Polivinilasetat Tutkalı (Polyvinylacetate Adhesive)

Deneylerde, soğuk olarak uygulanması, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz olması gibi olumlu özellikleri nedeniyle TS 3891 [25]'de belirtilen esaslara uygun, % 45 katı madde miktarı olan polivinilasetat (PVAc) tutkalı tercih edilmiştir. Kullanılan tutkalın bazı teknik özellikleri üretici firma tarafından yoğunluk 1,1 g/cm³, vizkosite 160-200 cps, PH = 5,00, kül miktarı % 3 olarak verilmiştir [26].

2.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of the Specimens)

Kenardan çekme örneklerinin görünüşü ve ölçüleri Şekil 2a'da, yüzeyden çekme örneklerinin görünüşü ise Şekil 2b'de gösterilmiştir.

Deney örnekleri, 100x100x18±1 mm ölçülerinde kesilerek, sıcaklığı 20 ±2 °C, bağıl nemi %65 ±3 olan iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir ($r = \%12$).



Şekil 2. Kenardan (a) ve yüzeyden (b) çekme deney örnekleri (Ölçüler mm'dir) (Edge (a) and face (b) withdrawal test specimens (Sizes in mm))

Rutubet kontrolü [27] sonrasında, istenen rutubet derecesine gelen örnekler, uygulamadaki esaslar çerçevesinde yatay ve dikey delik makinelerinden yararlanılarak, kenardan (15, 20, 25 mm) ve yüzeyden (7, 10, 13 mm) olmak üzere uygun ölçülerde delikler delinmiştir. Masif ağaç malzemelerde kenardan çekme deneylerinde, liflere paralel ve liflere dik yöndeki kavela tutma performansları belirleneceğinden sayıca iki kat fazla örnek hazırlanmıştır. Daha sonra $150 \times 50 \times 18 \pm 1$ mm ölçülerinde yük uygulama parçaları hazırlanarak, bu parçalara da enine kesitlerinden 20 mm derinliğinde kavela delikleri açılmıştır. Yük uygulama parçaları, her bir deney malzemesi için aynı malzemedeki olacak şekilde hazırlanmıştır. Kavelalar, ilk olarak yük uygulama parçalarına yapıştırılmıştır. Birleşme arakesit yüzeylerine yağlı kâğıt koyulmak suretiyle makta (baş) kısımların yapışması önlenmiş, sadece kavela yüzeylerinin yapışması sağlanmıştır. Bundan sonra deney örnekleri yük uygulama parçalarına tutkallanarak mengenerler yardımıyla sıkılmış ve 2 saat sıkılı vaziyette kurumaya bırakılmıştır. PVAc tutkalı kavela yüzeylerine ve kavela deliklerine ortalama 150 ± 10 gr/m² hesabı ile sürülmüştür. Hazırlanan deney örnekleri, kullanılan tutkalın kurumasını tam olarak tamamlanmasını sağlamak için 3 hafta deneylere alınmamıştır.

2.5. Deneylerin Yapılışı (Method of Testing)

Kavela çekme deneylerinden önce, kullanılan malzemelerin TS 2471 [27]'e göre rutubet oranları ve TS 2472 [28]'ye göre de yoğunlukları belirlenmiştir. Kenardan ve yüzeyden kavela çekme deneyleri, 4 ton kapasiteli üniversal deney cihazında ve basınç kolonunda 2 mm/dk hız sağlanan statik yüklemelerle yapılmıştır. Kenardan çekme deney düzeneği Şekil 3a'da, yüzeyden çekme deney düzeneği ise Şekil 3b'de gösterilmiştir.

Deneyler sonucunda, kavelanın yuvasından çıkma anında deney cihazının göstergesinden okunan en büyük kuvvet değerleri Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir.

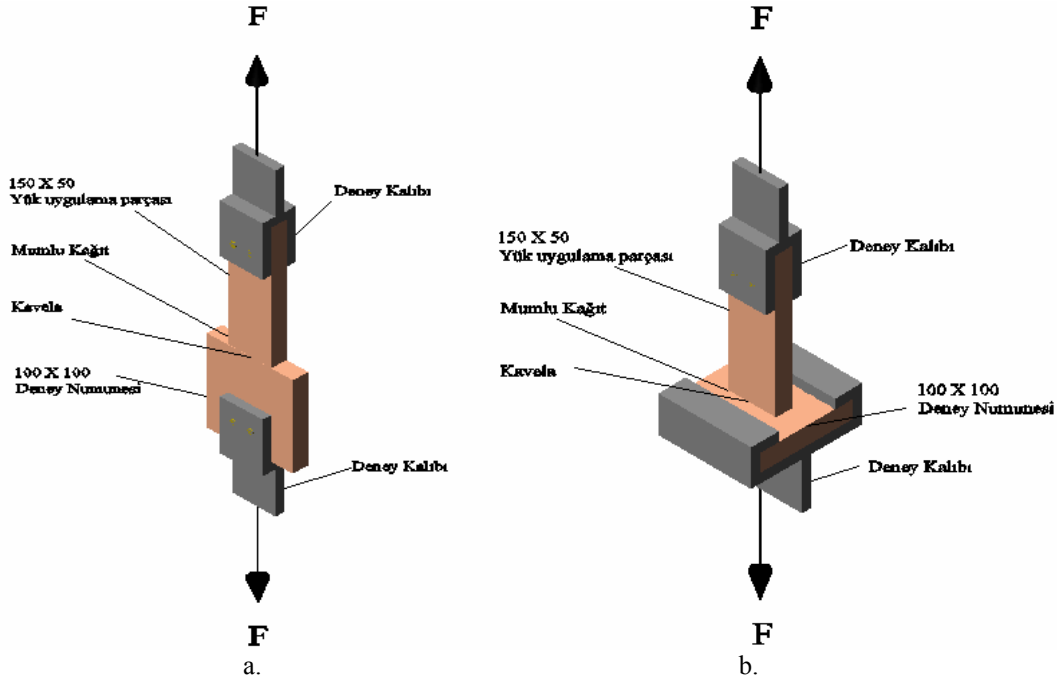
2.6. Deneme Deseni (Experimental Design)

Deneylerde; kenardan çekme için, 11 malzeme çeşidi, 2 kavela çapı, 3 kavela etkili boyu ve her örnekten 10 yinleme olacak şekilde 660, yüzeyden çekme için ise, 9 malzeme çeşidi, 2 kavela çapı, 3 kavela etkili boyu ve yine her örnekten 10 adet olmak üzere toplam 540 deney örneği hazırlanmıştır. Kenardan ve yüzeyden çekme deneyleri için hazırlanan deneme deseni Tablo 2'de verilmiştir.

2.7. İstatistiksel Değerlendirme (Statistically Evaluation)

Bu çalışmada değişim kaynakları; malzeme çeşidi, kavela çapı ve kavela etkili boyu olarak alınmıştır. Deneme guruplarına ilişkin her bir değişkenin ve bu değişkenlerin etkileşimlerinin kavela tutma performansı üzerindeki etkisi çoklu varyans analizi ile belirlenmiş, farklılıkların anlamlı çıkması halinde bu farklılıkların değişim kaynakları arasındaki önemi için en küçük önemli fark (LSD) testi kullanılmıştır.

Ayrıca, tüm değişkenlerin kavela tutma performansı ile olan ilişkisini kapsayan bir model oluşturabilmek için çoğul regresyon analizleri yapılmış, bunun sonucunda da her bir malzeme için, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansının kavela çapı ve kavela etkili boyunun fonksiyonu olarak önceden tahmin edilebileceği eşitlikler elde edilmiştir.



Şekil 3. Kenardan (a) ve yüzeyden (b) çekme deney düzeneği (Test set-up for edge (a) and face (b) withdrawal strengths)

Tablo 2. Kenardan ve yüzeyden çekme deneyleri için hazırlanan deneme deseni (Experimental design prepared for edge and face withdrawal tests)

Malzeme çeşidi		Kavala çapı (mm)	Kenardan çekme deneyi			Yüzeyden çekme deneyi		
			Kavala etkili boyu (mm)			Kavala etkili boyu (mm)		
			15	20	15	20	15	20
Örnek sayısı								
Doğu kayını	Liflere paralel	8	10	10	10	-	-	-
		10	10	10	10	-	-	-
	Liflere dik	8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
Sarıçam	Liflere paralel	8	10	10	10	-	-	-
		10	10	10	10	-	-	-
	Liflere dik	8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
OKP		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
YL		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
OSB1		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
OSB2		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
MDF		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
SUNTALAM		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
MDFLAM		8	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10
Toplam			220	220	220	180	180	180
Genel Toplam			1200 Örnek					

Tablo 3. Masif ve kompozit ağaç malzemelerin rutubet ve yoğunluk ortalamaları (Means moisture content and density of wood and wood composite materials)

Malzeme Çeşidi	Rutubet oranı (%)	ν (%)	Tam kuru yoğunluk (gr/cm^3)	ν (%)	Rutubetli yoğunluk (gr/cm^3)	ν (%)
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
YL	6,9	2,1	0,62	1,8	0,65	1,9
OSB1	7,6	3,7	0,57	6,3	0,59	6,7
OSB2	6,3	3,6	0,56	5,7	0,57	15,7
MDF	7,1	4,3	0,67	1,8	0,69	2,1
SUNTALAM	7,2	3,2	0,57	1,8	0,60	1,8
MDFLAM	6,3	1,4	0,75	0,8	0,77	0,9

ν : Varyasyon katsayısı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Rutubet ve Yoğunluk (Moisture Content and Density)

Masif ve kompozit ağaç malzemeler için rutubet oranı, tam kuru yoğunluk ve rutubetli yoğunluk ortalama değerleri varyasyon katsayıları ile birlikte Tablo 3’de verilmiştir.

3.2. Deformasyon Karakteristikleri (Deformation Characteristics)

Tüm deney örneklerinde meydana gelen deformasyon; kavelanın deney örneğinde açılmış olan yuvasından çıkması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu deformasyon biçimi, farklı derinliklerdeki kavela boylarının performansını belirlemede güvenilirlik açısından istenilen bir durumdur. Hiçbir deneyde kavela, yük uygulama parçasından çıkmamıştır. Deney örnekleri ortalama 30–50 saniyede deformasyona uğramışlardır.

3.3. Kenardan ve Yüzeyden Kavela Tutma Performansı (Edge and Face Dowel Holding Performance)

Kenardan ve yüzeyden çekme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama performans değerleri varyasyon katsayıları ile birlikte Tablo 4’de sunulmuştur.

Kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı üzerinde, malzeme çeşidi, kavela çapı ve kavela etkili boyunun etkilerine ilişkin olarak yapılan varyans analizleri sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Analizler kenardan ve yüzeyden çekme deneyleri için ayrı olarak yapılmıştır.

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre; malzeme çeşidi, kavela çapı ve kavela etkili boyunun kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma deneyleri için yapılan ikili ve üçlü etkileşim

sonuçları da 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.

Malzeme çeşidinin, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı üzerindeki etkilerini belirlemek için sırasıyla LSD 61,44 *N* ve LSD 39,11 *N* kritik değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Buna göre, hem kenardan hem de yüzeyden en yüksek kavela tutma performansını Doğu kayını göstermiştir. Bunun sebebi, Doğu kayını odununun nispeten homojen olması ve delik işlemlerinden sonra diğer malzemelere göre daha düzgün ve pürüzsüz bir yüzey vermesi, dolayısıyla da yapışmanın daha güçlü olması olabilir. Kenardan çekme deneylerinde, masif ağaç malzemelerde liflere paralel yöndeki kavela tutma performansı liflere dik yöne göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, liflere dik yönde açılan deliğin lifleri kesmesi, liflere paralel yönde ise kavelanın liflerin arasında tutunması olabilir. Kompozit ağaç malzemelerden OKP kenardan çekme deneylerinde, MDF ise yüzeyden çekme deneylerinde başarılı performans göstermiştir. Hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma performansında en başarısız malzeme OSB1 olarak belirlenmiştir.

Malzeme çeşidi ve kavela etkili boyu dikkate alınarak kavela çapının, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sırasıyla 26,20 *N* ve 18,44 *N* LSD kritik değerleri için yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Buna göre, kavela çapının artışı hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma performansında artışa neden olmuştur. Kenardan kavela tutma performansı 10 mm çapındaki kavelalarda, 8 mm çapındaki kavelalara göre % 11 daha yüksek çıkmıştır. Yüzeyden kavela tutma performansında ise bu artış oranı % 4,5’tir. Kavela çapının artması ile yapışma yüzey alanı büyümüş ve aynı yük değeri altında kavela yüzeylerindeki tutkal hattında meydana gelen kesme (kayma) gerilmeleri değerleri azalmıştır. Dolayısıyla da birleştirme yüzeyi daha emniyetli hale gelmiş ve

hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma performanslarında artış meydana gelmiştir.

Tablo 4. Kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı ortalama değerleri (Mean values of the edge and face dowel holding performance)

Malzeme çeşidi		Kavela çapı (mm)	Kavela tutma performansı (N)					
			Kenardan çekme deneyi			Yüzeyden çekme deneyi		
			Kavela etkili boyu (mm)			Kavela etkili boyu (mm)		
			15	20	25	7	10	13
Doğu kayını	Liflere paralel	8	4820 (1,6)*	5280 (3,3)	5100 (1,8)	-	-	-
		10	4824 (5,8)	5538 (7,2)	6030 (8,5)	-	-	-
	Liflere dik	8	4530 (2,3)	4940 (8,2)	4870 (4,1)	3922 (5,9)	3940 (2,6)	4100 (2,5)
		10	4690 (1,6)	5580 (2,1)	5400 (3,2)	3894 (0,7)	4228 (5,1)	5104 (18)
Sarıçam	Liflere paralel	8	4710 (1,3)	5210 (5,1)	4290 (5,8)	-	-	-
		10	5570 (4,2)	5400 (1,8)	4860 (2,9)	-	-	-
	Liflere dik	8	4925 (2,9)	5155 (0,9)	4090 (3,6)	3510 (3,8)	3910 (0,7)	4208 (2,2)
		10	5470 (1,1)	4990 (0,4)	5240 (1,1)	3652 (3,7)	4014 (5,9)	4726 (1,5)
OKP	8	4300 (4,1)	4310 (3,8)	4910 (5,2)	3320 (2,5)	3614 (1,5)	4142 (2,1)	
	10	5160 (6,5)	5678 (5,2)	5120 (3,2)	3548 (3,8)	4112 (2,8)	4466 (2,6)	
YL	8	3984 (3,4)	4182 (3,0)	4320 (2,2)	3320 (2,5)	3632 (4,4)	4034 (2,1)	
	10	4616 (3,4)	4588 (1,4)	4700 (3,7)	3406 (1,2)	3708 (1,4)	4196 (1,6)	
OSB1	8	4064 (2,3)	4052 (1,9)	3910 (3,2)	3408 (1,6)	3650 (4,4)	3856 (1,1)	
	10	4470 (4,7)	4780 (3,4)	4670 (2,4)	3230 (2,3)	3742 (1,6)	4120 (2,3)	
OSB2	8	4086 (1,6)	4040 (1,5)	3772 (2,4)	3314 (0,9)	3578 (1,3)	4562 (2,4)	
	10	4505 (0,8)	4562 (2,1)	5220 (5,7)	3280 (2,9)	3690 (1,8)	4244 (1,4)	
MDF	8	4409 (1,1)	4634 (0,5)	4856 (1,6)	3640 (1,9)	3922 (1,8)	4176 (1,1)	
	10	5192 (3,6)	5442 (0,7)	4884 (0,6)	3500 (3,8)	4194 (1,9)	4596 (2,4)	
SUNTALAM	8	4070 (2,2)	4358 (1,1)	4156 (1,4)	3764 (3,1)	3720 (0,4)	4076 (3,7)	
	10	4540 (3,5)	4630 (2,2)	4800 (0,7)	3434 (1,1)	3980 (1,7)	4476 (2,1)	
MDFLAM	8	4172 (2,0)	4488 (3,4)	4880 (4,1)	3516 (5,1)	3848 (0,7)	4020 (4,4)	
	10	4648 (1,7)	4664 (2,9)	4944 (2,6)	3590 (3,2)	3990 (4,1)	4418 (0,6)	

*Parantez içerisindeki değerler varyasyon katsayılarıdır.

Tablo 5. Varyans analizleri sonuçları (Results of the variance analyses)

Deney	Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Değeri	Hata ihtimali ($p < 0.05$)
Kenardan çekme	MÇ	10	65112516,061	6511251,606	221,7879	0,0000
	KÇ	1	47909018,788	47909018,788	1631,8890	0,0000
	MÇxKÇ	10	4030184,545	403018,455	13,7277	0,0000
	KEB	2	5526158,485	2763079,242	94,1167	0,0000
	MÇxKEB	20	20651474,848	1032573,742	35,1718	0,0002
	KÇxKEB	2	515967,576	257983,788	8,7875	0,0000
	MÇxKÇxKEB	20	17455319,091	872765,955	29,7284	0,0000
	Hata	594	17438660,000	29358,013	-	0,0000
	Toplam	659	178639299,394	-	-	0,0000
Yüzeyden çekme	MÇ	8	12821757,037	1602719,630	134,8185	0,0000
	KÇ	1	4313014,074	4313014,074	362,8045	0,0000
	MÇxKÇ	8	2800005,926	350000,741	29,4416	0,0000
	KEB	2	57269085,926	28634542,963	2408,6964	0,0000
	MÇxKEB	16	2729247,407	170577,963	14,3488	0,0000
	KÇxKEB	2	3185885,926	1592942,963	133,9961	0,0000
	MÇxKÇxKEB	16	4025514,074	251594,630	21,1638	0,0000
	Hata	486	5777560,000	11887,984	-	0,0000
	Toplam	539	92922070,370	-	-	0,0000

MÇ: Malzeme çeşidi

KÇ: Kavela çapı

KEB: Kavela etkili boyu

Tablo 6. Malzeme çeşidine göre kavela tutma performansı ortalamaları karşılaştırması (Means comparisons of the dowel holding performance for material types)

Malzeme çeşidi		Kenardan kavela tutma (N)		Yüzeyden kavela tutma (N)	
		(X)	HG	(X)	HG
Doğu kayını	Liflere paralel	5282	A	-	-
	Liflere dik	5010	B	4196	A
Sarıçam	Liflere paralel	5010	B	-	-
	Liflere dik	4966	BC	4000	B
OKP		4913	CD	3867	D
YL		4398	FG	3716	F
OSB1		4328	H	3664	G
OSB2		4363	GH	3778	E
MDF		4903	D	4005	B
SUNTALAM		4426	F	3908	C
MDFLAM		4633	E	3897	CD

Tablo 7. Kavela çapına göre kavela tutma performansı ortalamalarının karşılaştırması (Means comparisons of the dowel holding performance for dowel diameter)

Kavela çapı	Kenardan kavela tutma (N)		Yüzeyden kavela tutma (N)	
	(X)	HG	(X)	HG
8 mm	4479	B	3803	B
10 mm	5018	A	3982	A

Kavela etkili boyunun, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansına etkilerini belirlemek için sırasıyla LSD 22,58 N ve LSD 32,08 N kritik değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırma testleri sonuçları Tablo 8' de verilmiştir.

Tablo 8. Kavela etkili boyu için kavela tutma performansı ortalamaları karşılaştırması (Means comparisons of the dowel holding performance for dowel penetration)

Kavela etkili boyu		Kenardan kavela tutma (N)		Yüzeyden kavela tutma (N)	
Kenar	Yüzey	(X)	HG	(X)	HG
15 mm	7 mm	4625	C	3511	C
20 mm	10 mm	4843	A	3860	B
25 mm	13 mm	4777	B	4307	A

Kenardan kavela tutma performansı incelendiğinde, kavela etkili boyundaki artışlar birinci düzeyde mukavemeti arttırmış, ikinci düzeyde ise birinci düzeyden fazla olmasına rağmen ikinci düzeye göre azaltmıştır. Kavela derinliğinin 15 mm' den 20 mm' ye çıkarılması performansı % 5, 25 mm' ye çıkarılması ise % 3 arttırmıştır. Yüzeyden kavela tutmada ise kavela etkili boyunun artışı her iki düzeyde de mukavemeti arttırmıştır. Kavela girme derinliğinin 7 mm' den 10 mm' ye çıkarılması performansı % 9, 13 mm' ye çıkarılması da % 19 arttırmıştır.

3.4. Matematiksel Modeller (Mathematical Models)

Kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansının, her bir malzeme çeşidi için kavela çapı ve kavela etkili boyunun fonksiyonu olarak tahmin edilebilmesi amacıyla yapılan çoğul regresyon analizleri sonucunda elde edilen matematiksel eşitlikler determinasyon katsayıları (R^2) ile birlikte Tablo 9' da verilmiştir.

Kenardan kavela tutma performansının tahmin edilebilmesi için elde edilen istatistiksel eşitliklere ait determinasyon katsayıları 0,53 ile 0,79 arasında, yüzeyden kavela tutma performansının tahmin edilebilmesi için elde edilen istatistiksel eşitliklere ait determinasyon katsayıları ise 0,63 ile 0,93 arasında seyretmiştir. Bu duruma göre, yüzeyden kavela tutma performansı için elde edilen matematiksel eşitlikler nispeten daha güvenilirdir. Bununla birlikte, genel anlamda ağaç malzemelerin heterojen olması ve kompozit ağaç malzemelerdeki değişkenlik göz önünde bulundurulduğunda, ayrıca literatürde masif ve kompozit ağaç malzemelerle ilgili yapılmış benzer çalışmalarla [10, 15, 18] karşılaştırma yapıldığında, hesaplanan (R^2) değerlerinin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Her bir malzeme çeşidine göre; kenardan kavela tutma performansının belirlenmesi için elde edilen eşitliklerle hesaplanan teorik değerler ile deneyler sonucunda gözlenen değerlerin karşılaştırılması Tablo 10' da verilmiştir.

Kenardan kavela tutma performansı deney sonuçları (gözlem değerleri) ile formüller kullanılarak hesaplanan istatistiksel tahmin değerleri (teorik değerler) karşılaştırıldığında en büyük farkın % 9,1 olması, elde edilen eşitliklerin kenardan kavela tutma performansını makul bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Sarıçamda liflere paralel yönde 10 mm çapına ve 15 mm girme derinliğindeki kavelalı örnekler ile MDF' de 8 mm çapına ve 20 mm girme derinliğindeki kavelalı örneklerde, kenardan kavela tutma performansı tam olarak tahmin edilebilmiştir.

Tablo 9. Her bir malzeme için elde edilen eşitlikler ve bunlara ilişkin determinasyon katsayıları (The predictive expressions obtained for each material and their coefficients of determination)

Malzeme çeşidi		Kenardan kavela tutma (N)		Yüzeyden kavela tutma (N)	
		Eşitlik	R^2	Eşitlik	R^2
Doğu kayını	Liflere paralel	$F_k = 1858 + 215,3D + 74,3L$	0,53	-	-
	Liflere dik	$F_k = 1840 + 230D + 55L$	0,56	$F_y = 1150,3 + 209D + 116,5L$	0,63
Sarıçam	Liflere paralel	$F_k = 3700 + 273,3D - 57,5L$	0,58	-	-
	Liflere dik	$F_k = 3616,7 + 266,7D - 52,5L$	0,59	$F_y = 1330,7 + 130,7D + 149,3L$	0,86
OKP		$F_k = 686 + 406,3D + 28,5L$	0,62	$F_y = 842 + 175D + 145L$	0,93
YL		$F_k = 1851,3 + 236,3D + 21L$	0,77	$F_y = 1976,7 + 54D + 125,3L$	0,92
OSB1		$F_k = 1390,7 + 319D + 3,3L$	0,79	$F_y = 2295,7 + 26,3D + 113,2L$	0,83
OSB2		$F_k = 381,3 + 397,3D + 20,3L$	0,69	$F_y = 2294,7 - 40D + 184,3L$	0,89
MDF		$F_k = 2325,3 + 269,8D + 7,5L$	0,60	$F_y = 1816,7 + 92D + 136L$	0,84
SUNTALAM		$F_k = 2000,7 + 231D + 17,3L$	0,79	$F_y = 2285 + 55D + 112,8L$	0,70
MDFLAM		$F_k = 2555 + 119,3D + 50,2L$	0,68	$F_y = 1866 + 102,3D + 111L$	0,82

 F_k : Kenardan kavela tutma performansı (N) D : Kavela çapı (mm) F_y : Yüzeyden kavela tutma performansı (N) L : Kavela etkili boyu (mm)**Tablo 10.** Deney sonuçları ile hesaplanan kenardan kavela tutma performansı değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of the observed test results and predicted edge dowel holding performance values)

Malzeme çeşidi		Kavela çapı (mm)	Kenardan kavela tutma performansı (N)								
			Kavela etkili boyu (mm)								
			15			20			25		
			Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)	Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)	Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)
Doğu kayını	Liflere paralel	8	4820	4695	2,6	5280	5067	4,0	5100	5438	6,2
		10	4824	5125	5,9	5538	5497	0,7	6030	5868	2,7
	Liflere dik	8	4530	4505	0,6	4940	4780	3,2	4870	5055	3,7
		10	4690	4965	5,5	5580	5240	6,1	5400	5515	2,1
Sarıçam	Liflere paralel	8	4710	5024	6,3	5210	4736	9,1	4290	4449	3,6
		10	5570	5571	0	5400	5283	2,2	4860	4995	2,7
	Liflere dik	8	4925	4962	0,7	5155	4700	8,8	4090	4437	7,8
		10	5470	5495	0,5	4990	5233	4,6	5240	4970	5,2
OKP		8	4300	4364	1,5	4310	4506	4,3	4910	4649	5,3
		10	5160	5176	0,3	5678	5319	6,3	5120	5461	6,2
YL		8	3984	4057	1,8	4182	4162	0,5	4320	4267	1,2
		10	4616	4530	1,9	4588	4635	1,0	4700	4740	0,8
OSB1		8	4064	3992	1,8	4052	4009	1,1	3910	4025	2,9
		10	4470	4630	3,5	4780	4647	2,8	4670	4663	0,1
OSB2		8	4086	3865	5,4	4040	3966	1,8	3772	4068	7,3
		10	4505	4659	3,3	4562	4761	4,2	5220	4862	6,9
MDF		8	4409	4596	4,1	4634	4633	0	4856	4670	3,8
		10	5192	5135	1,1	5442	5173	4,9	4884	5210	6,3
SUNTALAM		8	4070	4108	0,9	4358	4195	3,7	4156	4281	2,9
		10	4540	4570	0,7	4630	4657	0,6	4800	4743	1,2
MDFLAM		8	4172	4262	2,1	4488	4513	0,6	4880	4764	2,4
		10	4648	4501	3,2	4664	4752	1,9	4944	5003	1,2

Malzeme çeşitlerine göre, yüzeyden kavela tutma performansının belirlenmesi için elde edilen eşitliklerle hesaplanan teorik değerler ile deneyler sonucunda gözlenen performans değerlerinin karşılaştırılması Tablo 11' de verilmiştir.

büyük fark % 7,2 olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda, çoğul regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitliklerin yüzeyden kavela tutma performansını kenardan kavela tutma performansına göre daha uygun bir şekilde tahmin ettiği söylenebilir.

Yüzeyden kavela tutma performansı için gözlem değerleri ile teorik değerler karşılaştırıldığında en

Tablo 11. Deney sonuçları ile hesaplanan yüzeyden kavela tutma performansı değerlerinin karşılaştırılması
(Comparison of the observed test results and predicted face dowel holding performance values)

Malzeme çeşidi		Kavela çapı (mm)	Yüzeyden kavela tutma performansı (N)								
			Kavela etkili boyu (mm)								
			7			7			7		
			Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)	Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)	Gözlem Değeri	Teorik Değer	Fark (%)
Doğu kayını	Liflere paralel	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Liflere dik	8	3922	3638	7,2	3940	3987	1,2	4100	4337	5,5
		10	3894	4056	4,0	4228	4405	4,0	5104	4755	6,8
Sarıçam	Liflere paralel	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Liflere dik	8	3510	3421	2,5	3910	3869	1,0	4208	4317	2,5
		10	3652	3683	0,8	4014	4131	2,8	4726	4579	3,1
OKP	8	3320	3257	1,9	3614	3692	2,1	4142	4127	0,4	
	10	3548	3607	1,6	4112	4042	1,7	4466	4477	0,2	
YL	8	3320	3286	1,0	3632	3662	0,8	4034	4038	0,1	
	10	3406	3394	0,4	3708	3770	1,6	4196	4146	1,2	
OSB1	8	3408	3299	3,2	3650	3638	0,3	3856	3977	3,0	
	10	3230	3351	3,6	3742	3691	1,4	4120	4030	2,2	
OSB2	8	3314	3265	1,5	3578	3818	6,3	4562	4371	4,2	
	10	3280	3185	2,9	3690	3738	1,3	4244	4291	1,1	
MDF	8	3640	3505	3,7	3922	3913	0,2	4176	4321	3,4	
	10	3500	3689	5,1	4194	4097	2,3	4596	4505	2,0	
SUNTALAM	8	3764	3515	6,6	3720	3853	3,5	4076	4192	2,8	
	10	3434	3625	5,3	3980	3963	0,4	4476	4302	3,9	
MDFLAM	8	3516	3462	1,5	3848	3795	1,4	4020	4128	2,6	
	10	3590	3666	2,1	3990	3999	0,2	4418	4332	1,9	

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, bazı masif ve kompozit ağaç malzemelerin, kavela çapı ve kavela etkili boyuna bağlı olarak, hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma performansları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı üzerinde malzeme çeşidi, kavela çapı ve kavela girme derinliğinin önemli ölçüde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Malzeme çeşidine göre, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı ortalamaları karşılaştırıldığında, en yüksek değerler Doğu kayını örneklerle elde edilirken, OSB1 örnekler en düşük mukavemet değerlerini vermiştir. Ancak, kompozit malzemelerden OKP, SUNTALAM ve MDFLAM kabul edilebilir kavela tutma performansı değerleri göstermişlerdir. Buna göre, mühendislik tasarımı yaklaşımı ile bu malzemelerin masif ağaç malzemeye alternatif olarak mobilya üretiminde kullanılabilmesi söylenebilir.

Kavela çapı ile kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansı arasında doğru orantılı bir ilişkiden söz etmek mümkündür. 10 mm çapındaki kavelaların 8 mm çapındakilere tercih edilmesi, ürün tasarımcılarına teknik ve ekonomik açılardan yarar sağlayacaktır. Benzer şekilde, kavela etkili boyunun

artışı da, hem kenardan kavela tutma hem de yüzeyden kavela tutma performansının artmasına neden olmuştur. Kenardan çekme deneylerinde optimum kavela derinliği 20 mm, yüzeyden kavela çekme deneylerinde ise 13 mm olarak tespit edilmiştir. Mobilyalarda, kavelalı birleştirmelerin tasarımında, yukarıda bahsedilen kriterlerin dikkate alınması mukavemet açısından faydalı olacaktır.

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak kavela tutma performansını etkileyen bazı faktörler;

- Kavelanın malzeme içerisindeki yapışma yüzey alanı,
- Malzemeye açılan kavela deliği duvarlarının yüzey pürüzlülüğü,
- Kullanılan malzemenin yoğunluğu ve sertliği

olarak sıralanabilir. Bu etkenler için optimum koşulların oluşturulması kavela tutma performansını arttıracaktır. Yapılan çoğul regresyon analizleri sonucunda, mobilya tasarımcılarının kullanabileceği eşitlikler elde edilmiş ve bu alandaki veri tabanına katkıda bulunulmuştur. Elde edilen eşitlikler, hem kenardan hem de yüzeyden kavela tutma performansını tahmin etmede son derece uygun değerler vermişlerdir. Bu formüller çalışma kapsamında kullanılmayan çap ve boylardaki kavelalar için de uygulanarak performans değerleri önceden tahmin edilebilir.

İleriki çalışmalarda, değişik tutkallar, farklı ağaç türlerinden hazırlanmış ve yüzey özellikleri farklı olan kavelaların denenmesi ve yeni formüllerin elde edilerek kullanıma sunulması mobilya tasarımcılarının işini kolaylaştıracaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Örs, Y., Efe, H., “The Mechanical Behavior Properties of Fasteners in Furniture Design for Frame Construction”, **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, (22): 21-28, 1998.
- Eckelman, C., A., **Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture**, Text Book, **Purdue University**, West Lafayette, Indiana, USA, 1991.
- Efe, H., **Modern Mobilya Çerçeve Konstrüksiyon Tasarımında Geleneksel ve Alternatif Bağlantı Tekniklerinin Mekanik Davranış Özellikleri**, Doktora Tezi, K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
- Eckelman, C., A., “Bending Strength and Moment Rotation Characteristics of Two-Pin Dowel Joints”, **Forest Product Journal**, 21 (3) : 35–39, 1970.
- Eckelman, C., A., “Shear Strength of Dowel Joints”, **Purdue University Paper**, 4567: 24–28, 1971.
- Engleson, T., **Summary of the Investigations of Several Particleboards in the Swedish Forest Products Research Laboratory**, Unnumbered Publication, Swedish Forest Products Laboratory, Stockholm, 1973.
- Winandy, J., E., **The Feasibility of Using Hardwood Press–Lam As an Upholstered Furniture Framing Material**, Master of Science, Purdue University Graduate School, West Lafayette, Indiana, USA, 1978.
- Eckelman, C., A., “Out-of-Plane Strength and Stiffness of Dowel Joints”, **Forest Product Journal**, 29 (8) : 32–38, 1979.
- Eckelman, C., A., Hoover, W., L., Jokerst, R., W., Youngquist, J., A., “Utilization of Red Oak Press–Lam As Upholstered Furniture Frame Stock”, **Forest Product Journal**, 29 (5) : 30–40, 1979.
- Eckelman, C., A., “Withdrawal Strength of Dowel Joints: Effect of Shear Strength”, **Forest Product Journal**, 29 (1) : 48 – 52, 1979.
- Eckelman, C., A., Cassens, D., L., “Withdrawal Strength of Dowels from Wood Composites”, **Forest Product Journal**, 35 (5) : 55–60 (1985).
- Efe, H., “Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya Boy Birleştirmelerinde Farklı Kavela Türlerinin Mekanik Davranış Özellikleri”, G. Ü. T. E. F. , **Politeknik Dergisi**, 1(1/2): 65-74, 1998.
- Efe, H., “Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya En Birleştirmelerinde Rasyonel Kavela Tasarımı”, G.Ü., **Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 12 (2): 377-391, 1998.
- Efe, H., “Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya “T” Birleştirmelerinin Mekanik Davranış Özellikleri”, G.Ü., **Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, 6(6): 113-131, 1998.
- Erdil, Y., Z., Eckelman, C., A., “Withdrawal Strength of Dowels In Plywood and Oriented Strand Board”, **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 25 : 319-327, 2001.
- Zhang, J., Erdil, Y. Z., Eckelman, C.A., “Torsional Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strandboard”, **Forest Product Journal**, 52(10): 89–94, 2002.
- Zhang, J., Erdil, Y. Z., Eckelman, C.A., “Lateral Holding Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strandboard”, **Forest Product Journal**, 52(7/8): 83–89, 2002.
- Eckelman, C.A, Erdil, Y. Z., Zhang, J., “Withdrawal and Bending Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strandboard”, **Forest Product Journal**, 52 (9): 66–74, 2002.
- TS 46, “Kontrplak (Soyma Plakalı)–Genel Amaçlar İçin”, **T.S.E.** , Ankara, 1986.
- TS EN 312–3, “Yonga Levhalar–Kuru Şartlarda, Kapalı Ortamlarda Kullanılan (Mobilya Dâhil) Yonga Levhaların Özellikleri”, **T.S.E.** , Ankara, 1999.
- EN 300, “Oriented Strand Boards (OSB)–Definitions, Classification and Specifications”, **European Standart**, 1997.
- TS 64, “Lif Levhalar – Sert ve Orta Sert Levhalar”, **T.S.E.** , Ankara, 1982.
- TS 1770, “Odun Lifi ve Yonga Levhaları (Sentetik Reçinelerle Kaplanmış)”, **T.S.E.** , Ankara, 1974.
- TS 4539, “Ahşap Birleştirmeler–Kavelalı Birleştirme Kuralları”, **T.S.E.** , Ankara, 1985.
- TS 3891, “Yapıştırıcılar–Polivinilasetat Esaslı Emülsiyon (Ahşap Malzeme İçin)”, (Tadil AMD1: 1992 – 07), **T.S.E.** , Ankara, 1–4, 1982.
- Polisan, Üretici Firma, <http://www.polisan.com.tr>, Bolu, 1996.
- TS 2471, “Odunda, Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini”, **T.S.E.**, Ankara, 1-3, 1976.
- TS 2472, “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini”, **T.S.E.**, Ankara, 1-3 (1976).