



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ZIVANALI BİRLEŞTİRMELERDE DAYANIKLILIĞIN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ
MASİF MALZEME İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem SAYAR

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ZIVANALI BİRLEŞTİRMELERDE DAYANIKLILIĞIN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ
MASİF MALZEME İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem SAYAR

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mesut UYSAL

TEMMUZ 2023



**Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : 31.07.2023**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 220Y005 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Gizem SAYAR

İmzası:



Kendi olabilenlere,

ÖNSÖZ

Eğitim dönemimde çalışmalarımın planlanmasında, yürütülmesinde sağladığı kolaylıklar ile engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaştığı için değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mesut UYSAL' a teşekkürü borç bilirim.

Lisans eğitimimde ve sonrasında manevi desteklerini esirgemeyen kendilerini tanımaktan mutlu olduğum ve örnek aldığım çok kıymetli hocalarım Prof. Dr. Abdulkadir MALKOÇOĞLU'na, Prof. Dr. Semra ÇOLAK'a ve Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma deneylerimin yapılmasında yardımcı olan Arş. Gör. Doğan MEMİŞ ve Arş. Gör. Uğur Can USTA'ya teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve hayatta olmasalarda sevgilerini her zaman hissettiğim, bana koşulsuz sevmeyi ve sevimyi öğreten, karakter ve davranışları ile örnek olan değerli büyükbabam, dedem ve dayıma minnet, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2023

Gizem SAYAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	18
1.1 Genel Giriş	18
1.2 Problem Tanımı	24
1.3 Hipotez	28
1.4 Çalışmanın Amacı ve Hedefleri	29
1.5 Çalışmanın Önemi	29
2. LİTERATÜR TARAMASI	32
2.1 Bazı Odun Modifikasyon Yöntemleri ile Mobilya Birleştirme Dayanımının İyileştirilmesi.....	32
2.1.1 Isıl işlem görmüş masif malzemeler ile modifikasyon	32
2.1.2 . Yoğunlaştırma işlemi ile masif malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi	35
2.1.2.1 Termo mekanik yoğunlaştırma yöntemi	36
2.1.2.2 Termo higro mekanik yoğunlaştırma yöntemi	39
2.2 Mobilya Konstrüksiyonlarının Mühendislik Tasarımı (Yapı Analizi – Rijitlik Yöntemi).....	43
2.3 Mobilyada Kullanılan Birleştirmeler.....	44
2.3.1 Kavelalı birleştirmeler.....	45
2.3.2 Zıvanalı birleştirmeler	46
2.3.3 Domino (gevşek zıvanalı) birleştirmeler.....	49
3. MATERYAL ve METOT	52
3.1 Deney Tasarımı	52
3.2 Malzemelerin Hazırlanması	52
3.2.1 Masif malzemelerin hazırlanması	53
3.2.2 Yoğunlaştırılmış masif malzemenin hazırlanması	53
3.3 Örneklerin Yoğunluğunun Tayini	55
3.4 Malzemelerin Mukavemet Tayini	56
3.5 T-şekilli Zıvanalı Birleştirmelerin Hazırlanması ve Dayanıklılık Testi.....	59
3.5.1 Masif malzemeden elde edilen zıvanalı birleştirilmelerin hazırlanması... ..	59
3.5.2 Masif malzemeden elde edilen domino birleştirilmelerin hazırlanması	61
3.5.3 T-şekilli Birleştirmelerin Dayanıklılık Testi	63
3.6 Verilerin İstatistiksel Analizi	64

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	65
4.1 Masif ve Yoğunlaştırılmış Masif Malzemelerin Bazı Mekanik Özellikleri.....	65
4.2 T-Tipi Birleştirmelerin Dayanımları	69
4.3 Verilerin istatistiksel analizi.....	72
5. SONUÇ.....	76
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ.....	84



KISALTMALAR

ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
D-VTKA	: Desmodur vinil triketenol acetate
KDV	: Katma değer vergisi
PF	: Fenol formaldehit
pMDI	: Difenilmetan diizosiyanat
PÜ	: Poliüretan
PVAc	: Polivinil asetat
S	: Esneme oranı
SD	: Standart Sapma
THM	: Termo higro mekanik
TM	: Termo mekanik
TVM	: Termo vibro mekanik
VCRP	: Dikey sıkıştırma oranı profili
VK	: Varyasyon Katsayısı
VTC	: Viskoelastik termal sıkıştırma
YTI	: Çevre Teknolojisi Enstitüsü

SEMBOLLER

σ_E	: Eğilme direnci
A	: Numunenin enine kesit alanı
b	: Örnek enine kesit genişliği
d	: Yoğunluk
E	: Elastikiyet modülü
F	: Kırılma anındaki kuvvet
F_{maks}	: Kırılma anındaki kuvvet
h	: Örnek enine kesit yüksekliği
l	: İki destek noktası arasındaki mesafe
m	: Ağırlık
M	: Moment
N	: Newton
P	: Basınç miktarı
T	: Pres sıcaklığı
t	: Pres süresi
V	: Hacim
Δd	: Elastik bölgede bulunan iki kuvvet noktası karşısında oluşan deformasyonların farkı
ΔF	: Elastik bölgede bulunan iki kuvvet noktası arasındaki fark
σ_B	: Basma gerilmesi
l	: Moment kolu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Sandalye konstrüksiyonun masif malzeme maliyeti.	28
Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılacak örneklerin deney tasarımı.....	52
Çizelge 3.2 : Yoğunlaştırma işleminde kullanılan kerestelerin enine kesit örnek boyutları.	53
Çizelge 3.3 : Domino örnekleri için kullanılan kerestelerin enine kesit örnek boyutları.	54
Çizelge 3.4 : Yoğunlaştırma oranlarına göre masif deney örneklerine ait pres süre, sıcaklık ve basınç parametreleri.	54
Çizelge 3.5 : Yoğunlaştırma oranlarına göre domino yapımında kullanılacak masif deney örneklerine ait pres süre, sıcaklık ve basınç parametreleri.	54
Çizelge 4.1 : Çalışmada kullanılan malzemelerin yoğunlukları (gr/cm ²).	65
Çizelge 4.2 : Malzemelerin mekanik özellikleri için varyans analizi.....	73
Çizelge 4.3 : Varyansların homojenlik testi.	73
Çizelge 4.4 : Basma Dayanımı için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.	74
Çizelge 4.5 : Eğilme direnci için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.	74
Çizelge 4.6 : Elastikiyet modülü için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.	74
Çizelge 4.7 : T-tipi birleştirmelerin moment dayanımı için varyans analizi.	75
Çizelge 4.8 : T- Tipi birleştirmeler için varyansların homojenlik testi.	75
Çizelge 4.9 : Birleştirmelerin moment dayanımı için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.	75
Şekil tablosu ögesi bulunamadı.	

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaç tomruğu üretim, ithalat ve ihracat miktarları (URL-7).	25
Şekil 1.2 : Türkiye’de in geniş yapraklı ağaç tomruğu üretim, ithalat ve ihracat miktarları (URL-7).	25
Şekil 1.3 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaçlardan elde edilen kerestelerin üretim, ithalat ve ihracat miktarları(URL-7).	26
Şekil 1.4 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaçlardan elde edilen kerestelerin üretim, ithalat ve ihracat miktarları(URL-7).	26
Şekil 1.5 : Masif çerçeve konstrüksiyon(URL-8).....	28
Şekil 1.6 : Çocuk ürünlerinin geri çağırılması ile ilgili 2017 yılına ait veriler (a) (Anonim, 2017).	30
Şekil 1.7 : Çocuk ürünlerinin geri çağırılması ile ilgili 2017 yılına ait veriler (b) (Anonim, 2017).	30
Şekil 2.1 : Bir elemanın rijitliği için serbestlik dereceleri.	43
Şekil 3.1 : Presleme işlemi.	55
Şekil 3.2 : a. Etüv ve b. Yoğunluk tayini için hazırlanan örnekler.	56
Şekil 3.3 : Üç nokta eğme deneyi düzeneği.	56
Şekil 3.4 : Üç nokta eğme deneyi için kullanılan test düzeneği ve SHIMADZU test cihazı.	57
Şekil 3.5 : Üç nokta eğme deneyinde kullanılan kavak odunu örnekleri.	57
Şekil 3.6: Liflere paralel basma testi için kullanılan deney düzeneği ve SHIMADZU test cihazı.	58
Şekil 3.7: Liflere paralel basma testinde kullanılan kavak ve gürgen odunu örnekleri.	59
Şekil 3.8 : Kayıt elemanı için kullanılan kereste parçası ve erkek zıvana işlenmiş kayıt elemanı	59
Şekil 3.9 : Erkek zıvana işlenmiş kayıt elemanı ve dişi zıvana işlenmiş ayak elemanı	60
Şekil 3.10 : Zıvanalı birleştirme konfigürasyonu (mm).	60
Şekil 3.11 : T-tipi birleştirme örneği hazırlama süreci a. Kayıt ve ayak elemanları b. Ayak elemanında bulunan dişi zıvananın tutkallanması, c. Kayıt elemanında bulunan erkek zıvananın tutkallanması, d. Kayıt üzerindeki zıvananın yuvaya yerleştirilmesi ve e. Birleştirmelerin işkence altında bekletilmesi.	61
Şekil 3.12 : Domino birleştirme konfigürasyonu (mm).....	62
Şekil 3.13 : Dişi zıvanalı ayak elemanı, domino ve dişi zıvanalı kayıt elemanı (URL-9).....	62
Şekil 3.14 : Birleştirmelerde kullanılan Apel marka su bazlı polivinil asetat (PVAc) tutkalı.....	62
Şekil 3.15 : T-tipi birleştirmeler için statik yükleme test düzeneği	63

Şekil 3.16: SHIMADZU test cihazı ve T-tipi birleştirmeler için kullanılan statik yükleme test düzeneği.	63
Şekil 4.1 : Eğilme testi sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen, b. Kavak, c. %10 yoğunlaştırılmış kavak, d. %20 yoğunlaştırılmış kavak ve e. %30 yoğunlaştırılmış kavak.	66
Şekil 4.2 : Odun örneklerinin eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	67
Şekil 4.3 : Liflere paralel basma deneyinde elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen, b. Kavak, c. %10 yoğunlaştırılmış kavak, d. %20 yoğunlaştırılmış kavak ve e. %30 yoğunlaştırılmış kavak.	68
Şekil 4.4. Örneklerin basma direnci değerleri.	69
Şekil 4.5 : T-tipi birleştirmelerde statik yükleme test sonuçlarına göre elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen-Zıvana, b. Gürgen-Domino, c. Kavak-Zıvana, d. Kavak-Gürgen domino, e. Kavak-Domino, f. Kavak-%10 yoğunlaştırılmış kavak domino, g. Kavak-%20 yoğunlaştırılmış kavak domino ve h. Kavak-%30 yoğunlaştırılmış kavak domino.	70
Şekil 4.6. T-tipi birleştirmelerin moment değerleri.	71

ZIVANALI BİRLEŞTİRMELERDE DAYANIKLILIĞIN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ MASİF MALZEME İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, dayanımı düşük olan kavak odunlarının yoğunlaştırılarak, mobilya endüstrisinde dayanıksız olduğu için tercih edilmeyen kavak odunun dirençli hale getirerek mobilya endüstrisi için katma değeri yüksek bir ürün olarak sunulması amaçlanmıştır. Bu amaç ile kavak odunları %10, 20, %30 oranlarında yüzey yoğunlaştırılması yapılmış olup, çerçeve konstrüksiyonlarında sıklıkla kullanılan gürgen odunu ile eğilme direnci, elastikiyet modülü ve liflere paralel basma direnci gibi bazı mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gürgen ve kavak odunlarından elde edilen T-tipi zıvanalı ve domino birleştirmelerin moment kapasitesi de karşılaştırılmıştır. Domino birleştirmelerde gürgen, kavak ve yoğunlaştırılmış kavak odunları kullanılmıştır.

Gürgen odunun eğilme direnci $100,86 \text{ N/mm}^2$ ve elastikiyet modülü $11211,22 \text{ N/mm}^2$ iken kavak odununda bu değerler sırasıyla $56,22 \text{ N/mm}^2$ ve $5775,65 \text{ N/mm}^2$ bulunmuştur. Kavak odunun yoğunlaştırma miktarı %10 olduğunda $67,58 \text{ N/mm}^2$ ve $7906,07 \text{ N/mm}^2$, %20 olduğunda $74,90 \text{ N/mm}^2$ ve $7873,47 \text{ N/mm}^2$ ve %30 olduğunda ise $66,64 \text{ N/mm}^2$ ve $7043,38 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Liflere paralel baralel basma direncinde de gürgen odunu $52,45 \text{ N/mm}^2$ iken kavak odunu için $29,30 \text{ N/mm}^2$ bulunmuştur. Yoğunlaşma miktarı %10 olduğunda liflere paralel basma direnci $32,75 \text{ N/mm}^2$, %20 olduğunda $38,19 \text{ N/mm}^2$ ve %30 olduğunda ise $43,17 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Yoğunlaştırma oranı %20 iken eğilme direnci, %10 iken elastikiyet modülünde yoğunlaştırmanın etkisi en fazladır. Liflere paralel basma direncinde ise %30 yoğunlaştırma miktarında gözlemlenmiştir. Yoğunlaştırma etkisinin en yüksek olduğu durumlarda bile kavak odunun mekanik özellikleri gürgen odununun daha düşüktür.

T-tipi birleştirme örneklerinde gürgen odunundan yapılan zıvanalı birleştirmelerin moment kapasitesi ($259,49 \text{ N.m}$) en yüksek iken yine bu odundan yapılan domino birleştirmenin moment dayanımı ($194,53 \text{ N.m}$) onu takip etmektedir. Yoğunlaştırma etkisinin en fazla görüldüğü domino birleştirme ise $186,19 \text{ N.m}$ ile %20 yoğunlaştırma oranıdır ve kavak odunundan yapılan zıvanalı birleştirmelerden ($175,56 \text{ N.m}$) daha yüksek moment kapasitesine sahiptir.

Yapılan çalışma sonuçlarına kavak odununun yoğunlaştırma etkisi hem masif malzemede hem de mobilya birleştirmelerinde %20 yoğunlaştırma miktarının uygun olduğunu göstermiştir. Ancak, bu yoğunlaştırma miktarında bile dayanım özelliklerinin gürgen oduna göre daha düşük bulunmuştur. Yine de %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan domino birleştirmenin moment kapasitesi gürgen odunu kullanılan domino birleştirmelerinin moment kapasitesi ile arasında istatistiksel bir fark olmaması, çalışma çıktılarının başarılı olduğu ve yoğunlaştırma ile mobilya birleştirmelerinin dayanımının iyileştirilebildiği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yoğunlaştırılmış odun, T-tipi mobilya birleştirme, Domino birleştirme, Zıvanalı birleştirme, Odunun mekanik özellikleri, Mobilya mekaniği



ENHANCING STRENGTH OF THE MORTISE AND TENON JOINTS WITH DENSIFIED WOOD

SUMMARY

In this study, it was aimed to present a value-added material made of densified cottonwood, which is not preferred due to its low strength by densifying wood material. For this purpose, cottonwood was densified at the rates of 10, 20 and 30% via the surface densification method, and their modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), and parallel to grain compression strength (CS) were compared to hornbeam wood which mainly used in furniture frame constructions. Besides, the bending moment capacities of the T-shaped mortise&tenon (MT) and domino joints made of hornbeam and cottonwood were benchmarked. Hornbeam, cottonwood, and densified cottonwood were used in the domino joint.

Results showed that MOR and MOE of the hornbeam were 100,82 N/mm² and 11211,22 N/mm², while those of Cottonwood were 56,22 N/mm² and 5775,65 N/mm², respectively. In the case of densification rate was 10%, MOR and MOE were 67,58 N/mm² and 7906,07 N/mm². Those of 20% and 30% were 74,90 N/mm² and 7837,47 N/mm², and 66,64 N/mm² and 7043,28 N/mm², respectively. CS of the hornbeam was 52,45 N/mm², while those of cottonwood was 29,30 N/mm². In the case of densification rate was 10%, 20%, and 30%, CS values were 32,75 N/mm², 38,19 N/mm², and 43,17 N/mm², respectively. The effect of the densification was observed at most for the rate of 20% in MOR and MOE and 30% for CS. Even though densification increased material strength, they were still lower than some mechanical properties of hornbeam.

The bending moment capacity of the T-shaped MT joints made of hornbeam (259,49 N.m) was the highest, and those of domino joints made of hornbeam (194,53 N.m) followed it. The effect of the densification was observed in domino joints made of Cottonwood with a rate of 20% densification (186,19 N.m). It had a higher bending moment capacity than T-shaped MT joints made of cottonwood (175,56 N.m).

In conclusion, results showed that the rate of 20% densification was appropriate for solid wood and furniture joints. However, they were lower than those of hornbeam. Albeit, there is no statistically significant difference between the bending moment capacity of the domino joints made of Cottonwood with the rate of 20% densification and hornbeam. Therefore, it can be said that the findings of the study were successful, and densification could increase the strength of the furniture joints.

Keywords: Densified wood, T-shaped furniture joints, Domino, Mortise&tenon, Mechanical properties of wood, Furniture mechanics

1. GİRİŞ

1.1 Genel Giriş

Mobilya, ilk olarak insanların yemek yeme, oturma, yatma vb. gibi eylemlerini yapabilmek için ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bir şeyler üretmesiyle yapılmış ve daha sonrasında saygınlık aracı da olmuştur (Malkoçoğlu, 2015). Mobilya sözcüğü farklı dillerde mobilia (İtalyanca), meuble (Fransızca), möble (Almanca) şeklinde adlandırılmıştır. Mobilya kelimesi köken olarak incelendiğinde Türk diline İtalyancadan geçmiştir (URL-1). Mobilya ile ilgili yapılan diğer tanımlar(Malkoçoğlu, 2015; TS 4521, 2006; URL-1; URL-2). Geniş kapsamlı bir tanımlama yapılacak olursa mobilya, var olduğu her devirde gözlemlenmiş, çeşitli eylemlerin (çalışma, oturma, yatma, yemek yeme ve benzerlerinin) yapılmasında kolaylık ve konfor sağlayan, yapımında ahşap, mermer, cam, kumaş, deri, metal, plastik veya bunların kompozitlerinin kullanıldığı, çerçeve, kutu ve kabuk konstrüksiyonlardan ya da sistemlerin eşit kullanıldığı ikili kombinlerden (Efe, 1994) ya da bütün sistemlerin kullanımı ile yapılan hibrid konstrüksiyonlardan oluşan; çerçeve konstrüksiyonlarda malzeme olarak çoğunlukla masif ahşabın ya da önemli bir kısmında masif geri kalan kısmında farklı malzemeler (ahşap kompozitler, mühendislik ürünü ağaç malzemeler) kullanılan; kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda ise genellikle (lif ve yonga levhalar) panellerin; Eckelman kabuk konstrüksiyonlarda plastiğin (Efe,1994)'de atıfta bulunulduğu gibi) masiflerde birleştirme tekniği olarak lamba-zıvana, domino zıvana ve kavela, bağlantı elemanı olarak minifiks-kavela, vida ve benzerlerinin, panellerde ise çoğunlukla kavelalı birleştirmelerin, bağlantı elemanı olarak L köşe bağlantıları, minifiks-kavela, vida, menteşe, çektirmelerin (kelebek bağlantıların) kullanıldığı, sanatın ve tekniğin bir arada kullanılmasıyla mekanların görselliğini güzelleştirerek donatılmasını sağlayan, sabit ya da taşınabilen, çeşitli fonksiyonlara (masaj yapma, beşiğin titremesi ve hareket etmesi, araç içinde uyuma hissi yaratan sistemler, ses ve müzik, tekerlekler, ışıklar vb.'ne) sahip, büyük ya da küçük ebattaki eşya ya da ürünler olarak tanımlanabilir.

Witte günümüze ulaşabilen ilk ahşap mobilyanın Mısır'da ve Milattan Önce 2700-1075 yıllarına ait olduğu bildirmiştir(Malkoçoğlu, 2015'te atıfta bulunduğu gibi). Avrupa, Mısır'ın Milattan Önce 4 bin yıllarında sahip olduğu ahşap mobilya yapım düzeyine Rönesans döneminde sahip olabilmektedir. Mısır mobilyasında ilk zamanlar masif parçaları birleştirmek için yaş haldeki keten ip veya benzerleri ile bağlanıp, ip kurduğunda birleştirme noktalarının sağlamlaşması sağlanmış, sonraki zamanlarda ise mobilya elemanlarının bağlantısında masif geçme & birleştirme yöntemiyle mobilyalar yapılmış ve hayvansal tutkalın da kullanıma başlanmasıyla birleştirme noktalarının sağlamlığı daha da artmıştır (Malkoçoğlu, 2015). Mobilya yapımında hala masif geçmeler ve tutkallar kullanılmaktadır. Ahşap zıvanalı birleştirmelerin 3000 sene öncesinde de kullanıldığı bilinmektedir (Efe, 1992) Milattan Önce 700-500 yılları arasında Anadolu masif mobilyaları çivi olarak aynı tür ahşap kavelalar ile birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Milattan sonra 1000-1250 yılları arasında Roma mobilya stilinde demir çivi ve bandlar kullanılarak birbirinin üstüne konulan tahtalar birleştirilmiş, farklı birleştirme tekniklerinin de dönemin sonlarında kullanıldığı bilinmektedir. Gotik çağda (15.yy'da) bağlantı yöntemleri ve konstrüksiyonlardaki gelişmeler ve üretimde ağaç işleme makinelerinin kullanılması ile üretimde ince parçaların kullanılabilir olması ağır olmayan ve estetik güzelliğe sahip mobilyaların yapılmasını sağlamıştır. Bu dönemde günümüzde de çoğunlukla kullanılmakta olan birleştirme yöntemleri kullanılmış, ızgara ve çerçeve konstrüksiyonlar gelişmiştir (Kurtoğlu, 1986).

Mobilyanın tanımında sanat ve tekniğin bir arada kullanıldığını belirtilmiştir. Diğer taraftan, mobilya teknik olarak incelenirse yapımında birleştirme yöntemleri kullanılarak elemanlar (küçük parçalar) birleştirilerek büyük parçaları konstrüksiyonu, konstrüksiyon sistemi ve sistem de mobilya oluşturulur. 100'den fazla birleştirme yöntemi olduğu bilinmektedir (Malkoçoğlu, 2015). Mobilya elemanlarında birleştirmeler için oluşturulan ve açılan yuvalar nedeni ile mobilyanın birleştirme noktalarında devamsızlıklar oluşur ve birleştirme noktaları bir mobilyanın en dayanıksız noktası haline gelir. Bu sebep ile mobilya birleştirmeleri olası yüklere karşı direnç gösterebilecek dayanımda yapılmalıdır.

Türkiye mobilya sektöründe çoğunlukla masif ahşap ve ahşap kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına bağlı olarak malzeme tercihleri değişmektedir. Dayanıklı mobilya yapımında masif ahşap tercih edilmektedir. Odunun doğal, estetik

olması ve özgül ağırlığına göre dirençli olması, ahşap kompozitlerin ise masif ahşaba göre homojen yapıya sahip olması, boyut stabilizasyonu, seri üretime uygun ve daha az maliyetli olması gibi özellikler malzemelerin tercih edilebilirliğini etkilemektedir. Mobilyanın kullanım alanına ve konstrüksiyon tipine göre malzeme seçimi yapılmalıdır. Doğru malzeme seçimi, üretici olan firmanın kar elde etme isteğini, ürün kullanıcısı olan müşterinin memnuniyetini, kullanıcı güvenliğini ve gereksiz tüketimi engelleyerek doğanın ve ormanların korunmasını sağlayabilecek önemli bir etmendir.

Mobilya bulunduğu dönemdeki konstrüksiyon yöntemleri, malzeme imkanları, sanat anlayışı, teknoloji ve ekonomi ile ilişkili olarak gelişmiştir. Ağaç kütüklerinin taşlarla elle işlenmesinden makinalar ile işlenerek seri üretilen, kumanda edilerek konum değiştirilebilen, masaj yapabilen, arkalık konumu ve oturma yüksekliği değiştirilebilen vb. gibi fonksiyonlara sahip kullanışlı, konforlu ve teknolojik oturma mobilyalarına ulaşılmıştır.

Hayward'a göre üretim yöntemleri konstrüksiyon türleri olarak da ifade edilebilir ve kullanılan konstrüksiyona göre malzemenin ayırt edici ve asıl özellikleriyle de ilişkilidir (Efe, 1994'te atıfta bulunulduğu gibi). Malzeme karakterinin aynı olduğu ortamlarda mobilyanın oluşturulmasında kullanılacak olan konstrüksiyon türlerinde yapım şekilleri aynı, yöntemlerin uygulanmasında kullanılan araçlar, makinalar, enerjiler ve teknolojilerde değişiklikler olmuştur. Örneğin eskiden masif birleştirmelerin keten ipler vb. malzemelerle bağlanması günümüzde ise masif malzemelerin kavela, zıvana, vida vb. malzemeler kullanılarak birleştirilmiş, malzemenin el aletleri ile işlenmesinden makinalar aracılığıyla otomasyon sistemler ile işlenmesine geçilmiştir (Efe, 1994).

Tüketici estetik, fonksiyonel, ergonomik, dayanıklı ve uygun fiyatlı olma özelliği taşıyan ürünler talep etmektedir. Talep edilen özellikler ile birlikte kısıtlı hammadde kaynağı ve bilimsel metotlar diğer bir ifade ile mühendislik tasarımı kullanılarak ürün tasarımlarının yapılmaması dayanıklı ürün üretiminin raslantısal olması sonucunu oluşturmuştur. Eckelman, günümüze kadar üretilen mobilyalar incelendiğinde üretiminde farklı tekniklerin kullanıldığını, üreticinin bilgi ve deneyimine göre kullanıma uygun olup olmadığına karar verildiğini ve konstrüksiyon dayanımına göre tasarlanmasına az rastlandığını belirtmiştir (Çağatay, 2011'de atıfta bulunulduğu gibi). Mobilya sektöründe kolay işlenebilen, sade hatlara sahip, estetik ve dayanıklılık özellikleri göz ardı edilerek düşük maliyete sahip (örnek olarak kutu konstrüksiyon

mobilyalar verilebilir) tüketici ihtiyacını karşılamak amacıyla seri üretim şeklinde yapılmaktadır. Üretici ürünün dayanıklılığını önemseyerek sağlam olması için gereksiz büyüklükteki boyutlara sahip eleman ve birleştirmelerden oluşan estetik özelliği olmayan mobilyalar oluşturmaktadır (Uysal, 2019). İki durumda da mobilya üretiminde eleman boyutlarının yanlış kullanımı üretici ve tüketici açısından çeşitli kayıplara, hammaddenin yanlış kullanımıyla kaynak kıtlığına sebep olmaktadır. Yapılan her hatalı/yanlış veya gereksiz üretim ve tüketicinin tatminsizliğiyle yeni bir ürüne yönelmesi ya da yeniden ürün satın alması karbon ayak izini arttırmaktadır. Bu sebeplerle kullanım alanlarına istenen dayanıma göre mobilyaların üretilebilmesi için ürünlerin doğru tasarlanması gerekmektedir. Mühendislik tasarımı konstrüksiyonun kullanım sırasında dayanıklılığının, direncinin ve kullanımda oluşabilecek yüklere karşı davranışının hesaplanmasını konu almaktadır. Bir mobilyanın taşıyabileceği yükler, mobilyanın türüne, mobilyaya kuvvetin/yükün etki ettiği yön ve şiddete göre farklılıklar göstermektedir (Efe, 1994).

Eckelman mobilya dayanımı için, performans testleri ile ürünün kullanım yerine göre beklenen dayanıklılığı sağlayıp sağlamadığının ölçüldüğünü ve bu testler sayesinde mobilya birleştirmelerinde olması gereken dayanım değerlerinin tespit edildiğini belirtmiştir (Demirel ve Ergün, 2015'te atıfta bulunulduğu gibi). Mühendislik tasarımı yapılarak oluşturulan mobilyalarda, performans testlerinden elde edilen sonuçlar ve dayanıklı mobilyaların oluşturulması rastlantısal olmayacaktır.

Cross, farklı endüstrilerde de kullanıcıların üründen beklentileri benzer olduğunu ve üretilen ürün ne olursa olsun kullanıcı güvenliğinin sağlanması, ürünün dayanımının ve görselliğinin tatmin etmesi gerektiğini belirtmiştir (Çağatay, 2011'de atıfta bulunulduğu gibi). Odabaşı'na göre müşteriler kendilerine sunulan mal ve hizmetlerin, kendilerinin istek ve beklentilerini karşılayacak nitelikte, düşük fiyatlı ve kaliteli olmasını istemektedirler (Çati ve diğ., 2010'da atıfta bulunulduğu gibi). Düşük fiyatlı ve kaliteli ürün üretimi üretici için sorun teşkil etmektedir. Mobilya açısından bakıldığında gürgen ve kayın gibi mukavemeti yüksek odunların kullanımı ürün kalitesini ve güvenliğini arttıracaktır fakat maliyet ve odun temini üretici için problem oluşturmaktadır. Mobilya kullanımında kullanıcı yaralanmalarının önlemek için ürün güvenliği önemlidir. Ürünün beklenen güvenliği sağlamıyor ise ayıplı üründür. Ayıplı ürün bir kişinin üründen beklediği güvenliği sağlayamayan ya da yeterli derecede güvenli olmayan üründür. Ürünü tasarlayan kişi olası kullanım yanlışlarını da dikkate

olarak güvenli ürün tasarımını yapmalıdır. Ayıp kavramı mahkeme kararları ve doktrinde üçe ayrılmıştır. Bunlar bilgilendirme ayıbı, tasarım ayıbı ve üretim ayıbıdır. Üretim ayıbı, üreticinin ürünü planlanan şekilde üretmediğini belirtir. Üretilen üründe ayıp olması, serinin tümünde değil birkaçındadır. Tasarım ayıbı, ürün tasarım planının güvenli olmamasıdır. Üretim plana uygun olarak yapılmasına rağmen ürünün tasarım aşamasında “yapılan planlama hatası” yeterince güvenli olmayan ya da güvenli olmayan ürünler oluşmuştur. Üretim ayıbında üretim plana uyulmadığı için birkaç ürün ayıplı iken tasarım planında yapılan hata nedeniyle tüm ürünler ayıplı olur. Bilgilendirme ayıbı, üreticinin ürün kullanımı ve riskleri hakkında yapılan eksiklik, kullanım kılavuzlarındaki yönlendirmelerin uygun olmaması ya da hatalı bilgi içermesidir (Polat, 2021). Eğer ürün belirtilen şekilde kullanılmadı ise üreticinin sorumluluğunda değildir. Bir sandalye kullanıcısının ilk beklentileri sandalyeye oturduğunda sandalyenin kırılmaması ve can güvenliğiyle ilgili düşme, yaralanma vb. gibi durumların yaşanmamasıdır. Üretici ürünü doğru tasarlamalı ve tasarıma uygun şekilde üreterek ürünün kullanımının tehlike oluşturmayacağını müşteriye temin etmelidir.

Çocuk sandalyesi, mama sandalyesi ve yetişkin birey için tasarlanan sandalyeler için güvenlik beklentisi birbirinden farklıdır. Tasarıma uygun kullanılmayan örneğin çocuklar için tasarlanan sandalyenin yetişkin bireyler tarafından kullanılması ya da evde kullanılmak için tasarlanmış sandalyenin kütüphane gibi kullanıcı sayısının fazla olduğu alanlarda kullanılması sonucu yeterli dayanımı göstermemesi ya da beklenen kullanım süresini erken tamamlaması, iç mekan mobilyasının dış mekanda kullanılması sonucu neme maruz kalarak deforme olması, taburenin merdiven yerine basamak olarak kullanımında kullanıcının tabure üzerinde dengede kalmasını ya da düşmesini engellemesini beklemek ve oluşacak olumsuz durumlarda üreticinin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Hatalı ürünlerin oluşmasında konstrüksiyon ya da ürünün tasarlanırken yanlış planlanması ve malzeme seçimi, üretim sırasında meydana gelen hatalar, üretimin firmanın kalite ölçütüne uygun yapılmamış olması gibi etmenler sebep olabilir. Hatalı üretimin sebebi ne olursa olsun üreticinin sorumluluğundadır (Güner ve Tamer, 2021). Standartlara uygun üretilmeyen çocuk karyolası, beşik, çocukların kullanımında olan mobilya gibi ürünlerdeki sadece kimyasal değil uygun olmayan fiziksel ve mekaniksel problemler (ürün eleman boyutları, dayanımları, uygunsuz birleştirme yöntemleri vb.

gibi) sebebiyle çocuklarda meydana gelen sıkışma, boğulma, yaralanma, sabitlenmeyen mobilyaların devrilmesi gibi durumların yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Mobilyaların kullanımı sırasında temas edilebilen bütün kenarları ve köşeleri yuvarlatılmış veya uygun bir yöntemle koruma sağlamalı, üründe kıymık, keskin kenar veya sivri uç bulunmamalı, hareketli ve ayarlanabilen parçalar yaralanmalara ve istenmeyen hareketlere yol açmayacak şekilde tasarlanmalı, mobilyada yük taşıyan elemanlar kullanım sırasında yerinden çıkmamalıdır. Yetişkin ve çocukların fiziksel yaralanmalarını engellemek için bunlara dikkat edilmelidir (URL-3). Pazara sunulacak her ürün güvenli kullanıma sahip olmalıdır (URL-4). Kullanıcı, ürünü kullanım amacına uygun olarak kullandığında tehlike oluşturmayan ya da makul seviyede tehlikeye sahip ürünlere güvenli denilmektedir (URL-4; URL-5). Ürün güvenliği sadece kullanıcı için değil bütün canlılar, sağlıklı yaşam, çevre, ürün yaşam döngüsü ve sürdürülebilirlik için önemlidir. Doğru hammadde seçimi güvenli ürün üretimi için en önemli etmendir.

7223 Sayılı yönetmelik Madde 5’de ürünün tehlikeye sahip olmamasının zorunlu olarak belirtilmesiyle ürün güvenliğinin önemi vurgulanmıştır. Madde 11’de (URL-6) belirtilen bitmiş ürününün muayenesi mobilya sektöründe yapılmamakta, firmalar standarda uygun ürününün üretiminde malzeme/hammadde kullanılması ile kaliteli ve güvenli ürünü oluşturduklarını düşünerek ve üretim ya da tasarım aşamasında yapılan hatanın fark edilmemesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda ürünün geri çağırılması, oluşan maddi zarar, hukuki süreçler ve olayın marka imajına verdiği olumsuz zararlar engellenememektedir. Oysaki ürün tüketiciye ulaşmadan bitmiş ürün muayenesinin yapılmasıyla hatanın üretim sırasında ya da ürünün tasarım aşamasında yapıldığının tespiti mümkündür, tüketici ve üretici açısından da zarar oluşmadan önüne geçilmiş olur.

Kasal, bilimsel esaslara göre yapılan mobilya konstrüksiyon testleri ile teknik, ekonomik ve estetik olarak en iyi tasarımlar oluşturulabilir. Mobilya yapımında kullanılan birleştirme teknikleri ve malzemeler ürünün kullanım süresini etkileyen etmenlerdir (Çağatay, 2011’de atıfta bulunulduğu gibi). Mobilyalar tasarlanırken kullanım alanlarına göre karşılaşılabilecek fonksiyonel yükler dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

Yaşam döngüsü analizi (LCA / Life Cycle Assessment) ürünün çevreye olan etkilerini üretim aşamasında bertaraf edilmesine/yok oluşuna kadar yaşam döngüsü boyunca

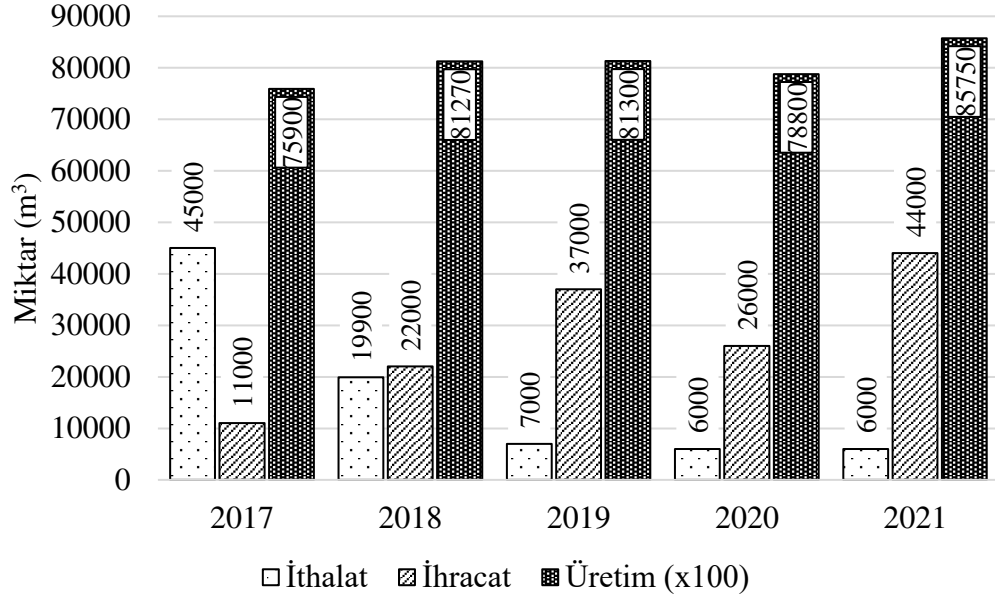
değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir. Yöntemde amaç ürünün çevreye en az düzeyde zarar veren şekilde üretilmesi, enerji ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve üretilen ürünün yaşam döngüsü sonunda geri dönüşüm oranını arttırmaktır. Ahşap, mobilya ve yapı sektöründe/yapımında eski zamanlardan beri kullanılan ve doğal olduğu için çevreye en az zarar veren hammaddedir. Ağacın ahşap hammadde olarak dönüşüm ve kullanım süreci basittir/yalındır. Ağacın kesimi ardından odunların kesilerek kereste haline getirilmesi kurutulup kullanıma hazır hale gelmesi, bu işlemlerin basit el aletleri ile işlenebilirliği, doğal kurutma yöntemi ile de kurutulabilir olması, fabrikasyon bir işlem süreci uygulanmadan da kullanılabilirliği ve malzemenin yapısının kullanım sırasında gelecek olan kuvvetlere karşı direnç gösterebilen doğal bir malzeme olması, kısacası ahşap “yalın/basit şekilde hammadde elde edilmesi ve hammaddeden ürün üretilebilir olması özelliği” ile ürün yaşam döngüsü analizi tanımına uygun bir hammadde olduğunu anlaşılmaktadır. Orman varlığının doğru kullanılmasını sağlayan çalışmalar yapıldığı sürece ahşap tercih edilebilir hammadde olmaya devam edecektir (Aydın, 2010). Masif ahşap malzeme kullanımı ürün üretiminde enerji ve kaynak tüketimini verimli kullanılmasını sağladığı için maliyet açısından da tasarruf sağlanacaktır. Ayrıca mobilyanın, uluslararası kalite ve çevre yönetim standartlarına göre üretilmesi, dayanım testlerinin yapılması, üretimde kullanılan malzemelerin “sürdürülebilir” olması rakip ürünler ile kıyaslandığında tüketici algısında marka bilinirliğini arttırarak, firma imajına ve mobilya satışlarına da olumlu katkıları olacaktır.

Bu, çalışmada yoğunlaştırılmış kavak odunlarından elde edilen domino zıvanaların T-tipi birleştirmelerdeki dayanımı incelenecektir. Yoğunlaştırılmış odun çalışmalarından farklı olarak mobilya alanında literatürde düşük sıcaklık ve süre kullanılarak yoğunlaştırılmış odunun mobilya domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerde kullanılmasına rastlanmamıştır.

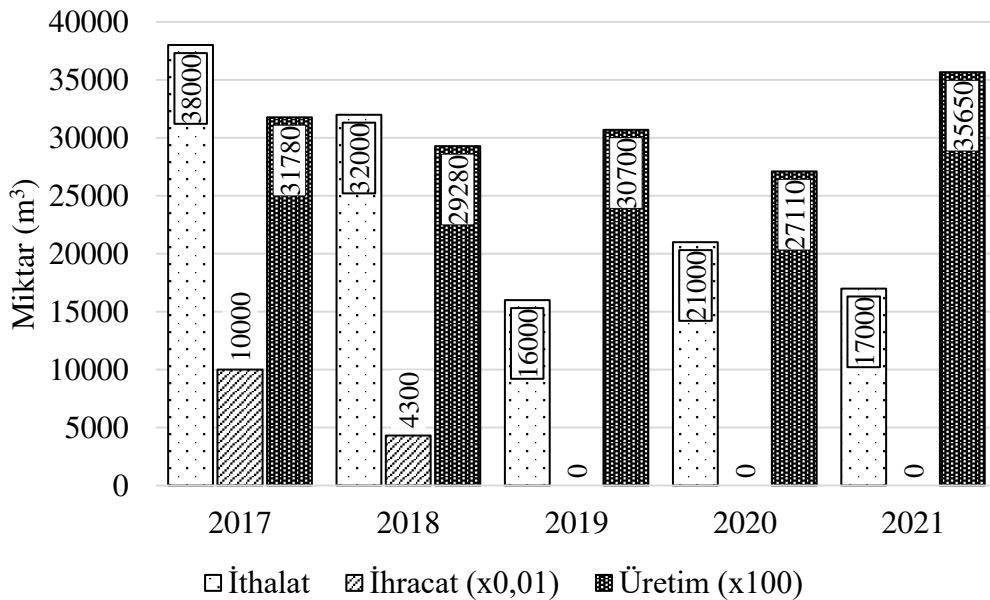
1.2 Problem Tanımı

Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye’nin orman varlığı 21,7 milyon hektar olup topraklarının %27,7’si orman varlığına sahiptir. Orman varlığının büyük çoğunluğunu iğne yapraklı ağaçlar oluştururken tomruk ve kereste üretim miktarları ile Türkiye’nin tomruk ve kereste ithalat ve ihracat miktarları Şekil 1.1-1.4’de verilmiştir. Ülkemizde iğne yapraklı ağaçlardan elde edilen tomruk ve kereste üretim

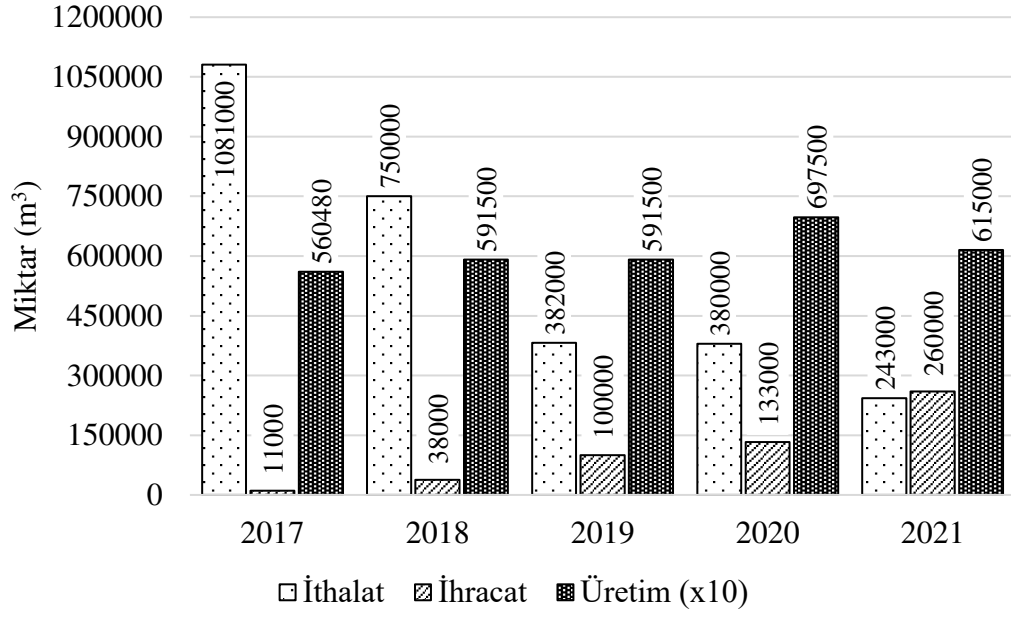
ve ihracat miktarları geniş yapraklı odunlardan elde edilenlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Mobilya üretiminde masif malzemenin kullanıldığı elemanlarda kayın ve gürgen gibi sert ve dayanıklı odunların kullanıldığı dikkate alındığında bu ürünlerin hem kereste hem de mobilya endüstrisi ithal ürün kullanma oranı daha yüksek olmaktadır.



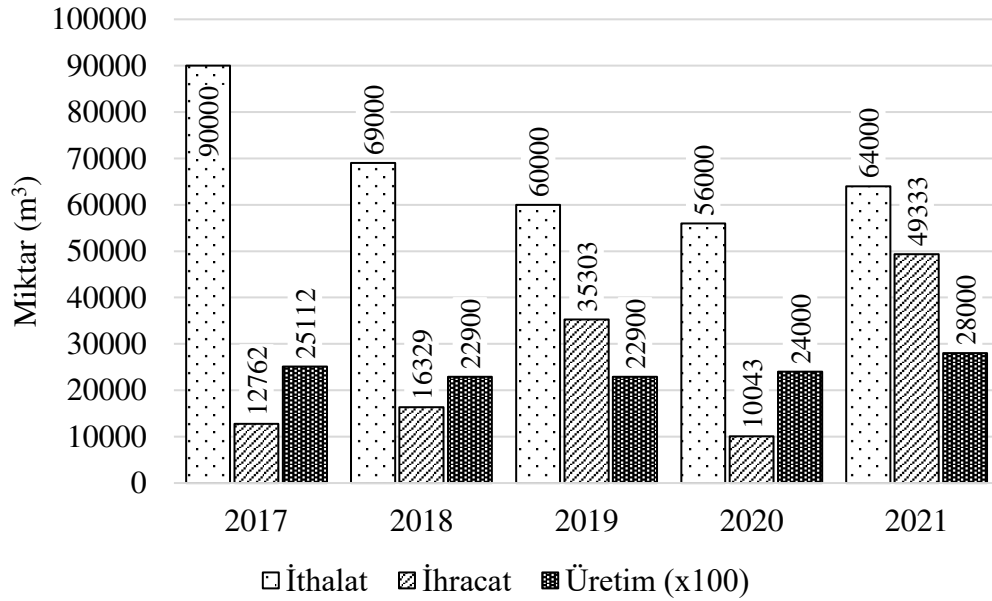
Şekil 1.1 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaç tomruğu üretim, ithalat ve ihracat miktarları (URL-7).



Şekil 1.2 : Türkiye’de geniş yapraklı ağaç tomruğu üretim, ithalat ve ihracat miktarları (URL-7).



Şekil 1.3 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaçlardan elde edilen kerestelerin üretim, ithalat ve ihracat miktarları(URL-7).



Şekil 1.4 : Türkiye’de iğne yapraklı ağaçlardan elde edilen kerestelerin üretim, ithalat ve ihracat miktarları(URL-7).

Masif malzemenin odun türüne göre dayanıklılığı değişmektedir. Bu yüzden, mobilya sektöründe hem dayanıklı hem de işlenmesi daha kolay olan türler tercih edilmektedir. Ancak, masif malzeme üzerinde bazı modifikasyon yöntemleri ile mekanik özelliklerini iyileştirmek mümkündür. Odunun yoğunlaştırması, malzeme yoğunluğu arttıkça dayanıklılığını da arttıracığından, düşük yoğunluklu odunların yoğunlaştırma

yöntemi ile direnç gerektiren yapılarda kullanılması mümkündür. Hızlı yetişen ve ülkemizde üretimi yapılan kavak ağacından elde edilen masif malzeme, yoğunlaştırma ile daha dayanıklı hale getirilip mobilya sektörü için katma değeri yüksek bir ürün haline getirilebilir.

Odun ihtiyacı karşılanamadığı için dışalım ve hızlı gelişen türlerin üretimi yapılmaktadır (Ateşoğlu ve diğ, 2022; Velioğlu ve diğ, 2020). Türkiye’de üretilen kavak miktarının 3.548.598 m³ olduğu bilinmektedir (Akgül ve diğ, 2022; Velioğlu ve diğ, 2020). Ülkemizde yaklaşık olarak 3,7 milyon m³ hızlı gelişen ağaç üretimi yapılmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü’nün kavak üretim miktarı 80.000 m³’dür, (3’te 2’si) yaklaşık 54.000 m³’ü levha sektörü kullanmaktadır. Türkiye kavak ihtiyacı ülke içinden sağlanmakta, dışalım ve satımı çoğunlukla yapılmamaktadır (Velioğlu ve diğ, 2020).

Türkiye mobilya sanayinde çerçeve konstrüksiyonlardan oluşturulan sandalye ve koltuk mobilyalarında masif malzeme olarak sıklıkla gürgen odunu kullanılmaktadır. Mart 2023 fiyatlarına göre gürgen ve kavak odunun KDV hariç fiyatları 17.500 ₺ ve 4.000 ₺’dir. Şekil 1.5’de verilen bir sandalye konstrüksiyonu için %70 verimlilik ile işlenen masif malzemenin maliyeti Çizelge 1’de verilmiştir. Kavak odunundan elde edilen bir sandalye konstrüksiyonu gürgen odununa göre %77,15 daha ucuz olarak mal edilecektir. Burada, malzemeye yoğunlaştırılmış kavak odunundan elde edilen domino birleştirmelerin maliyeti eklendiğinde sandalye konstrüksiyonun maliyetini arttıracaktır. Yoğunlaştırılmamış ve 1x4x6 cm boyutlarına sahip bir domino birleştirme (Çizelge 1.1) malzeme maliyeti 0,14 ₺’dir. Varsayalım ki bu ürünün yoğunlaştırarak katma değerinin 20 kat arttırsak, yoğunlaştırılmış dominonun birleştirmenin maliyeti 2,80 ₺ olacaktır. Her kayıt için 2 adet kullanılacağı için sandalyenin maliyetini 16,80 ₺ arttıracaktır. Bu maliyet hesabına göre de kavak odunundan elde edilen konstrüksiyon %50,22 daha ucuz olacaktır. Buradaki önemli soru ise yoğunlaştırılan masif malzemedan elde edilen domino birleştirme gürgen odunundan elde edilen birleştirmelere göre daha dayanıklı olacak mıdır?



Şekil 1.5 : Masif çerçeve konstrüksiyon(URL-8).

Çizelge 1.1 : Sandalye konstrüksiyonun masif malzeme maliyeti.

No	Eleman	Adet	Boyut (cm)	Miktar (m ³)	Gürgen odunu maliyeti	Kavak odunu maliyeti
1	Ön ayak	2	4x4x40	0,00064	32,00 ₺	7,31 ₺
2	Arka ayak	2	4x4x80	0,00128	64,00 ₺	14,63 ₺
3	Yan kayıt	2	2x5x38	0,00038	19,00 ₺	4,34 ₺
4	Ön Kayıt	1	2x5x38	0,00038	9,50 ₺	2,17 ₺
5	Arka kayıt	3	2x5x38	0,00038	28,50 ₺	6,51 ₺
6	Ara kayıt	3	2x2x38	0,00015	11,25 ₺	2,57 ₺
Toplam					164,25 ₺	37,53 ₺

1.3 Hipotez

H₀: Yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan T-tipi domino zıvanalı mobilya birleştirmelerinin dayanımı, yoğunlaştırılmamış gürgen odunu T-tipi zıvanalı mobilya birleştirmeleri kadar dayanıklı değildir.

H_a.: Yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan T-tipi domino zıvanalı mobilya birleştirmelerinin dayanımı, yoğunlaştırılmamış gürgen odunu T-tipi zıvanalı mobilya birleştirmeleri kadar dayanıklıdır.

1.4 Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

Bu çalışmanın amacı, mobilya çerçeve konstrüksiyonlarında düşük yoğunluğu ve dayanıklılığı nedeniyle kullanılması tercih edilmeyen kavak odununun yoğunlaştırılarak mobilya birleştirmelerinde kullanılmasıdır. Buna göre alt amaçlar:

- Mobilya sektörüne alternatif malzeme kazandırmak
- Gürgen odunu gibi yoğunluğu yüksek odun türlerinin kullanım oranını azaltarak dışa bağımlılığı azaltmak.
- Yoğunluğu düşük olan kavak odununun yoğunlaştırılmış kavak odunu ile kavak odunun kullanım oranını arttırmak.
- Yoğunlaştırılmış kavak odunu ile dayanımı yüksek zıvanalı mobilya birleştirmesi oluşturmak.

Çalışmanın Hedefleri:

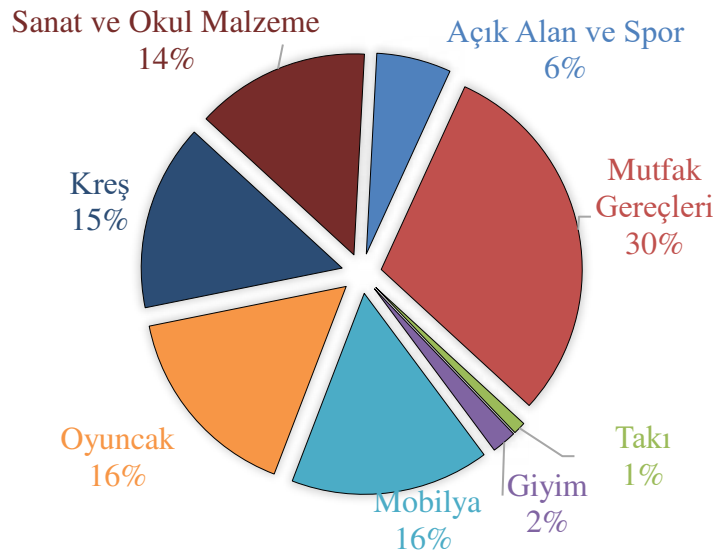
- Yoğunlaştırılmamış kavak ve gürgen odunlarının bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi,
- Yoğunlaştırılmış kavak odunun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi,
- Kavak ve gürgen odunundan elde edilmiş zıvanalı birleştirmelerin dayanımının belirlenmesi,
- Elemanlarında ve birleştirmelerinde Kavak odunu ve elemanlarında ve domino birleştirmelerinde gürgen odunundan elde edilmiş domino birleştirmelerin dayanımının belirlenmesi,
- Elemanlarında kavak odunu kullanılmış ve gürgen odunundan elde edilen domino birleştirme elemanı kullanılan birleştirmelerin dayanımının belirlenmesi ve
- Elemanlarında kavak odunu kullanılmış ve yoğunlaştırılmış kavak odunundan elde edilen domino birleştirme elemanı kullanılan birleştirmelerin dayanımının belirlenmesidir.

1.5 Çalışmanın Önemi

Daha önce yapılmış olan odun yoğunlaştırma çalışmalarından farklı olarak malzemenin mobilya sektöründe kullanılabilirliği test edilerek alternatif ürün oluşturmak.

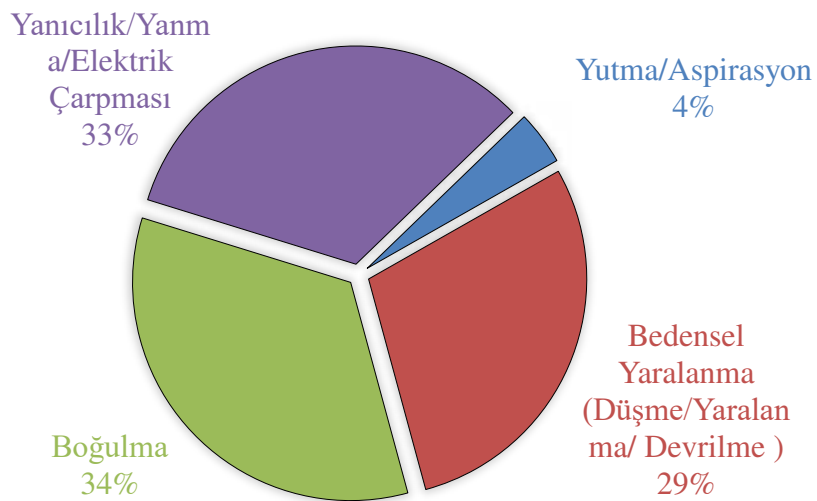
Kavağın çeşitli türlerinin olması, yetiştirme ortam şartlarına uyum sağlayabilmesi ve hızlı büyümesi gibi özellikler dikim yapılarak odun ihtiyacının giderilebilmesini sağlamıştır(Ateşoğlu ve diğ., 2022) Kavak odunu 1900’lü yıllarda mobilya için üretilirken sonrasında ise kağıt ve sunta tesisleri için üretilip kullanılmıştır (Spinelli ve diğ., 2022). Çoğunlukla levha, mobilya, ambalaj, kaplama ve kontrplak, yapı ve kağıt sektörlerinde hammadde olarak kullanılır (Velioğlu ve Akgül, 2016).

Ürün Kategorisine Göre Geri Çağrılan Birimler



Şekil 1.6 : Çocuk ürünlerinin geri çağırılması ile ilgili 2017 yılına ait veriler (a) (Anonim, 2017).

Tehlike Kategorisine Göre Geri Çağırma



Şekil 1.7 : Çocuk ürünlerinin geri çağırılması ile ilgili 2017 yılına ait veriler (b) (Anonim, 2017).

Çocuk ürünlerinin (Şekil 1.6 ve Şekil 1.7) 2017 yılına ait tehlike ve ürün kategorisine göre geri çağırılma oranları verilmiştir. Geri çağırılan mobilya oranı %16'dır (Şekil 1.6). Mühendislik tasarımı yöntemi ile mobilya birleştirmelerinin dayanım değerleri kullanım yerine uygun dayanıklılığa göre hesaplanarak ürün kullanıcılarının sandalyeden düşerek yaralanma oranı azaltılacak, ürün güvenilirliği ve insan sağlığı korunacaktır. Ayrıca dayanıklı ürünün oluşturulması; ürünün tamir için tekrar geri gelmesi ya da kalite memnuniyetsizliği nedeni ile iadesi gibi garanti problemlerini de önleyerek ürünün istenilen kalitede tek seferde üretilmesini sağlayarak maliyet açısından da olumlu etkisi olacaktır (Uysal, 2019). Ürünün kullanım süresinin artması ile kullanılan hammadde doğal kaynaklarına kendini yenileme imkanı da sunacaktır (Aydın, 2010).



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Bazı Odun Modifikasyon Yöntemleri ile Mobilya Birleştirme Dayanımının İyileştirilmesi

Odun modifikasyonu ile hücre bileşenlerinin moleküler yapısı değiştirilerek, odunun iyi özellikleri artırılır ya da kötü özellikleri azaltılır. Yöntem sayesinde hidrofilik -OH grupları, daha büyük hidrofobik gruplara dönüştürülerek odunun özellikleri iyileştirilebilmektedir. Temal modifikasyon, yüzey modifikasyonu, kimyasal modifikasyon ve emprenye modifikasyonu isminde yöntemler vardır.

Termal modifikasyon için farklı isimler kullanılabilmektedir. Finlandiya odunu buhar ile ısıtarak işlem yapmaktadır ve yöntem için “ThermoWood” adı kullanmaktadır. Hollanda sıcak hava ve buhar kullanarak Plato” yöntemi, Almanya sıcak yağ kullanarak “(OHT) Oil Heat Treatment” yöntemi ve Fransa inert gaz kullanarak “Rectification ve Perdur” yöntemi olarak isimlendirmişlerdir (Demirel ve Temiz, 2015).

Ahşabın ısıtılması işlemi 1930'larda Almanya'da Stamm ve Hansen, 1940'larda Amerika Birleşik Devletleri'nde White tarafından bilimsel olarak araştırılmıştır. 1950'lerde Alman Bavendam, Runkel ve Buro konuyla ilgili araştırmalara devam etmişlerdir. Kollman ve Schneider bulgularını 1960'larda, Rusche ve Burmester 1970'lerde yayınlamışlardır. 1990'larda Finlandiya, Fransa ve Hollanda araştırma ile ilgili çalışmalar yapmıştır. En yoğun ve kapsamlı araştırma çalışması Finlandiya'da VTT tarafından yapılmıştır. YTI (Çevre Teknolojisi Enstitüsü) tarafından da önemli pratik araştırmalar yapılmaktadır (International ThermoWood Association, 2003).

2.1.1 Isıl işlem görmüş masif malzemeler ile modifikasyon

ThermoWood, VTT tarafından geliştirilen bir yöntem kullanılarak üretilmiştir. Ahşap malzeme buharla korunurken en az 180 °C'ye kadar ısıtılır. Buhar, koruma sağlamanın yanı sıra ahşapta meydana gelen kimyasal değişimleri de etkilemektedir.

İşlem sonucunda ThermoWood oluşur. Thermowood işleminde odunun rengi koyulaşmaktadır. Değişen nem koşullarına normal ahşaba göre daha dayanıklıdır. İşlem yeterince yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilirse ahşabı çürümeye karşı dirençli hale getirirken, eğilme mukavemetinde bir azalmaya sebep olacağı belirtilmiştir (International ThermoWood Association, 2003).

ThermoWood sürecinde ilk aşama sıcaklığın arttırılması ve yüksek sıcaklıkta kurutma aşamasıdır. Fırının sıcaklığı işlem sırasında kullanılan ısı ve buhar ile hızla yaklaşık 100 °C'ye yükseltilir. Bundan sonra, sıcaklık sürekli olarak 130 °C'ye yükseltilir, bu süre içerisinde yüksek sıcaklıkta kurutma gerçekleşir ve odunda bulunan nem neredeyse sıfıra düşürülür. İkinci aşamada ısıl işlemin uygulaması aşamasıdır. Fırın içindeki sıcaklık 185 °C ile 215 °C arasına yükseltilir. Hedeflenen sıcaklığa varıldığında sıcaklık 2-3 saat sabit tutulur (son kullanım göre değişmektedir). Üçüncü aşama soğutma ve nem şartlandırma aşamasıdır. Su püskürtme sistemlerini kullanarak sıcaklık düşürülür. Sıcaklık 80–90 °C'ye ulaştığında, ahşabın nem içeriğini kullanılabilir bir seviyeye, %4–7'ye getirmek için yeniden nemlendirme gerçekleşir (International ThermoWood Association, 2003).

Ratnasingam ve Florin (2013), çalışmalarında PVAc tutkalı kullanılmıştır. Isıl işlem görmüş örneklerin, (geleneksel olarak fırınlanmış kauçuk (*Hevea brasiliensis*) odunu) kontrol örneklerine göre daha düşük yorulma direncine sahip olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş kauçuk odunundan yapılmış mobilya elemanları ve dikdörtgen zıvanalı birleştirmeler için tavsiye edilen tasarım gerilimleri, eğilme dayanımlarının %40'ı ve %25'i olarak ayarlanarak mobilya performans standartlarına uygunluğu sağlanabileceği belirtilmiştir.

Tankut ve diğ. (2014), bu araştırmalarında ısıl işlemin, farklı odun türlerinden (karaçam= Black pine (*Pinus nigra* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), doğu ladini (*Picea orientalis* L.), iroko (*Chlorophora excelsa*), dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.)) elde edilen T-tipi zıvanalı ve kör zıvanalı birleştirmelerde eğilme direnci ve rijitliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış keresteler ticari bir firmadan alınmıştır. Birleştirmelerde solvent içermeyen poliüretan esaslı tutkal kullanılmıştır. Eğilme dayanımında en düşük azalma dişbudak odunu kullanılan açık ve kör zıvanalı birleştirmelerde gözlenmiştir. Isıl işlem nedeniyle numunelerin kütlelerinde azalma olmuştur. Genel olarak ısıl işlem görmemiş numuneler daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Kör diş zıvanalı birleştirmeler genel olarak açık diş

zıvanalı birleştirmelere göre daha yüksek eğilme direncine sahiptir. Isıl işlem görmüş numunelerden en yüksek rijitlik değerlerine iroko odunu kullanılan açık ve kr dişi zıvanalı birleştirmelerde elde edilmiştir. Çalışma sonucunda dış mekanda kullanılacak oturma mobilyaları için Iroko odunu kullanılan kr dişi zıvanalı birleştirmeler en dayanıklı bulunmuştur.

Balıkçı (2016), ısıl işlem uygulanmış (3 farklı odun türüne ait) malzemelerin P ve PVAc tutkalı kullanılan kavelalı ve zıvanalı T-tipi ve H-tipi birleştirmelere ait mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. Çalışmada bir firmadan satın alınan 212 C’de 3 saat ısıl işlem uygulanmış Thermo-D kalitesinde ahşap malzeme kullanılmıştır. Isıl işlem uygulanmamış ahşap malzemelerden yapılan birleştirmelerin, ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerden yapılmış birleştirmelere göre çekme, eğilme ve kesme deney sonuçlarının daha düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ağaç türü, ısıl işlem durumu, tutkal çeşidi ve birleştirme tipi faktörleri T-tipi birleştirmelerin çekme kuvveti ve H-tipi birleştirmelerin kesme kuvvetlerinde; ağaç türü ve birleştirme tipi faktörleri T-tipi birleştirmelerin eğilme değerlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Zıvanalı birleştirmeler kavelalı birleştirmelere göre karşılaştırıldığında çekme kuvvetinde dört kat, eğilme kuvvetinde ise iki kat daha fazla dayanıma sahip olduğu belirtilmiştir.

Demirel ve Er (2022), ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış ahşap malzemelerden üretilen zımba bağlantılı L-tipi mobilya birleştirmelerinin statik ve tekrarlı yorulma yükleme performanslarını karşılaştırmıştır. Odun türü olarak sarıçam ve dişbudak kullanılmıştır. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış ahşap malzemeler ticari bir işletmeden temin edilmiştir. Uygulamada 6-zımbalı ve 8-zımbalı olmak üzere birleştirmelerde 2 farklı zımba sayısı kullanılmıştır. Eğilme test sonuçlarına göre zımba sayısındaki artış ve kullanılan odunun yoğunluğuna bağlı olarak eğilme dirençlerinde artış olduğu grlmştir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış sarıamdan üretilen birleştirmelerde istatistiksel bir fark gözlenmemiştir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış dişbudaktan üretilen birleştirmelerde ise istatistiksel bir fark tespit edilmiştir. Isıl işlemli ve işlemsiz odundan üretilen L-tipi birleştirmeler yorulma deneyinde aynı yükleme aşamalarından geçmiş ve aynı yükleme aşamalarında başarısız olmuştur. Isıl işlemli ve işlemsiz odundan üretilen L birleştirmeler aynı servis alanında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Acar ve diğ. (2023), H-tipi mobilya birleştirmelerinin kesme kuvveti kapasitelerine ısıı işlemi, odun, birleştirme ve yapıştırıcı türlerinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada ısıı işlem uygulanmış ve uygulanmamış üç tür odun (Sibirya çamı, dişbudak ve Iroko), iki tür tutkal (polivinil asetat (PVAc) ve poliüretan (PÜ), iki birleştirme türü (lamba ve zıvanalı birleştirme) kullanılmıştır. Isıl işlem görmüş ve görmemiş odun malzemeler ticari bir işletmeden satın alınmıştır. En yüksek kesme kuvveti değerleri; ısıı işlem uygulanmamış odun malzeme, PVAc tutkalı, Iroko odunu ve zıvanalı birleştirmede faktörlerinde elde edilmiştir. Isıl işlem görmüş ahşap malzemelerden yapılan birleştirmelerde en iyi sonuçlar iroko-poliüretan tutkallı kullanılmış zıvanalı birleştirmeler ve iroko polivinil asetat tutkalı kullanılmış zıvanalı birleştirmelerde elde edilmiştir ve iki birleştirme kıyaslandığında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

2.1.2 . Yoğunlaştırma işlemi ile masif malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi

Sıkıştırma ile yoğunlaştırılmış ahşap malzeme 1900'lerin başında araştırılmaya başlanmıştır (Haygreen ve Daniels, 1969). “Sıkıştırılmış ahşap ürünler için ilk patentler 1900'de Sears'a, 1923'te Walch ve Watts'a, 1929'da Oleheimer'e, 1931'de Brossmannes'e, 1934'te Esselen'e ve 1934'te Olson'a verilmiştir. Sıkıştırılmış masif ahşap ilk kez 1930'ların başında ticari isim olarak Almanya'da piyasaya sürülmüştür.” Ahşap kaplamanın 140 °C'de 25 MPa, 0,8 g/cm³ yoğunlukta sıkıştırılmasıyla “Lignofol” isimli ürün üretilmiştir. ABD'deki ormancılık laboratuvarlarında “Compreg” ve “Staypak” isimli iki ürün geliştirilmiştir. Compreg, sentetik reçine ile muamele edilmiş ahşapta reçine sertleşirken, ahşaba basınç uygulanarak elde edilir. İşlem için 150 °C sıcaklık ve 7-8 MPa basınç uygulanır. Basınç kesildiğinde ahşabın sıkıştırılmış halini koruması sağlanmış olur. Staypak, odun yüksek sıcaklıkta ısıtılarak preslenir. 150-180 °C arasında ve 9,6-17,2 MPa basınç uygulanır. İşlem sırasında selüloz zincirleri arasındaki boşluğu dolduran lignin akışkan hale gelerek malzemenin iç stresi azalır. Çeşitli sıkıştırılarak odun yoğunlaştırma yöntemleri vardır. Açık sistemde sıcaklık ve basınç kullanılarak yoğunlaştırma yöntemi ((TM) Termo Mekanik), kapalı bir sistemde sıcaklık, basınç ve buhar kullanılarak yoğunlaştırma ((THM) Thermo Hicro Mekanik), ısı, basınç ve ön buharlama ile yumuşatma işlemi yapılarak yoğunlaştırma ((VTC) Viskoelastik Termal Sıkıştırma) ve sıcaklık, basınç ve titreşim kullanılarak yoğunlaştırma ((TVM) Termo Vibro Mekanik) isimlerinde yöntemler vardır (Şenol ve Budakçı, 2016).

2.1.2.1 Termo mekanik yoğunlaştırma yöntemi

Haygreen ve Daniels (1969), bu çalışmada ahşabın merdane presinde kurutulurken yoğunlaştırılması işlemini açıklamışlardır. Farklı basınç-zaman fonksiyonlarının nihai ürünün yoğunluk dağılımı üzerindeki etkisini ve bu fonksiyonların ürünün boyutsal stabilite özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Rutubeti lif doyma noktasının üzerinde olan odun örnekleri için 143,33 °C ile 193,33 °C arasında sıcaklık ve 0,17 ile 0,52 MPa basınca sahip bir pres kullanılmıştır. Çalışmada ahşabın merkezi 100 °C'ye ulaştığında ahşap istenilen kalınlığa getirmek için basınç arttırılmıştır. Malzemenin merkezindeki sıcaklık 100 °C'ye ulaştığında en iyi yoğunluk dağılımına ve stabilite özelliğine ulaşılmıştır. Kurutma ve yoğunlaştırmadan önce ahşap fenol formaldehit emprenye reçinesinde bekletilerek daha kararlı malzeme üretilebileceği belirtilmiştir. Yoğunlaştırılmış odunun eğilme mukavemeti özelliğinin yoğunlukla ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Gasparik ve Gaff (2015), çalışmalarında kayın odunu kullanarak yoğunlaştırma ve döngüsel yüklemenin eğilme mukavemeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Odun örnekleri, ters yerleştirilmiş iki merdane (haddeleme yoğunlaştırma makinesi) kullanılarak yoğunlaştırılmıştır. Örnekler önceden plastikleştirilmemiştir ve yoğunlaştırma işlemi 20 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında ortalama 30 MPa basınç kullanılarak odun ortalama %25 yoğunlaştırılmıştır. Döngüsel yükleme için numunelere bükme şeridi olmadan serbest bükme yapılmıştır. Çalışmada döngüsel olarak yüklenmemiş yoğunlaştırılmış ahşap ile döngüsel olarak yüklenen yoğunlaştırılmış ahşabın eğilme mukavemeti kıyaslanmış ve 1000, 2000 ve 3000 devir şeklinde yükleme yapılmıştır. En yüksek eğilme mukavemetine 1000 devirlik yüklemenden sonra yoğunlaştırılmış kayın odunu örnekleri sahiptir ve yoğunlaştırılmamış ahşaptan ortalama %5.7 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Devir sayısının yoğunlaştırılmamış ve yoğunlaştırılmış odunun eğilme mukavemeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Anlamlı bir fark için, döngü sayısını önemli ölçüde artırmanın gerekli olabileceği belirtilmiştir.

Riggio ve diğ. (2016), özel uygulamalar için az yüklü ve orta yoğunlukta ahşap bileşenlerde, yeni ahşap montajlarında ve restorasyon çalışmalarında metal bağlantı elemanlarına alternatif olarak ahşap bazlı konektörlerin kullanımını incelemişlerdir. Tahta çivilerin ahşap numunelere yerleştirilmesi sırasında itme kuvvetinin değişimi incelenmiştir. Farklı yoğunluk oranlarında elde edilen yoğunlaştırılmış ahşap çivilerin

mekanik davranışını değerlendirmek için 600 basma testi yapılmıştır. Kullanılan levhaların başlangıçtaki nem içeriği yaklaşık %12'dir. Yoğunlaştırma işlemi, açık sistem (atmosfer basıncı) sıcak pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcak pres sıcaklığı 180 °C olarak kullanılmıştır. Yoğunlaştırma döngüsü, literatür referanslarına göre 10 dakika ön ısıtma (plastikleştirme), 10 dakika yoğunlaştırma, işlem sonrası 5 dakika muamele sonrası bekletme ve 5 dakika soğutma işlemlerinden oluşmaktadır. Yoğunlaştırılmış ahşap sonradan işleme tabi tutulmamıştır. Ahşap çivilerin daha düşük direnci göz önüne alındığında, yalnızca orta yoğunlukta dayanım gerektiren yerlerde (örneğin mantolama-çerçeve bağlantıları, çatı kaplaması, kaplamalar, vb. yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir. Restorasyon çalışmalarında doğal ahşaba kıyasla daha yüksek dayanıklılık, boyutsal kararlılık ve mekanik performansa sahip olması nedeniyle gerektiğinde orijinal ahşap çivilerin yerine yoğunlaştırılmış çivilerin kullanımı önerilmiştir.

Gaşparik ve diğ. (2016), çalışmalarında kayın ve kavak odunu türlerinden elde edilen 4, 6, 10, 18 mm kalınlıkta, 35 mm genişlikte ve sıkıştırma oranı (%0, %10 ve 20) olan örneklerin radyal yönde darbe eğilme mukavemeti ve Brinell sertliği üzerine etkisi incelemiştir. Üç faktörlü varyans analizi sonucunda odun türü ve malzeme kalınlığının eğilme mukavemeti üzerine etkisi olduğu tespit edilmiştir. Odun yoğunlaştırmanın eğilme mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Ayrıca kayın ağacı kavak ağacından daha yüksek eğilme mukavemeti değerlerine sahiptir. Darbe eğilme mukavemeti değerleri artan kalınlıkla orantılı olarak artmıştır. Brinell sertliğini etkileyen tüm faktörlerden genel olarak kalınlığın en küçük etkiye sahip olmasına rağmen, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Brinell sertlik değerleri, kayın ağacında kavak ağacından önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Yoğunlaştırma işleminin kavak ağacı için Brinell sertliğini arttırmada kayın ağacında daha olumlu bir etki göstermiştir.

Neyses ve Sandberg (2016), çalışmalarında yüzey yoğunlaştırmaya ve belirli bir üründe kullanıma uygun ağaç türlerinin sistematik ve ölçülebilir bir seçim yöntemi uygulanması amaçlanmıştır. Daha önceki bir çalışmada ayrıntılı olarak sunulan yöntem, birden fazla aşamadan oluşan bir iş akışı etrafında tasarlanmış, ağırlıklı seçim kriterlerini hesaba katmış ve en uygun türlerin sayısal bir sıralaması yapılmıştır. Sonuç olarak kızılğaç, ıhlamur, sedir ve obeche gibi daha önce yüzey yoğunlaştırma için

düşünülmemiş birkaç türlerin kullanıma uygun adaylar olabileceğini belirtilmiştir. Titrek kavak, kavak ve çamın uygun olduğu doğrulanmıştır.

Rademacher ve diğ. (2017), düşük yoğunluklu odun türlerinin kullanımını arttırmak için yapılan farklı ahşap yoğunlaştırma işlemlerine ilişkin en son teknoloji sunmuşlardır. Çalışma ahşap biliminde farklı COST Eylemleri aracılığıyla bu alanda işbirliği yapan farklı Avrupa araştırma gruplarının çalışmalarına dayanmaktadır. Yığın ve yüzey yoğunlaştırma gibi işlemlerin ana ilkeleri ve ayrıca yoğunlaştırılmış ahşabın şekil hafıza etkisinin azaltılmasına yönelik yöntemleri incelemişlerdir. Belirli bir üründe yoğunluk artışının gerekli olduğu belirli bölgelerin yoğunlaştırılması önerilmiştir. Örneğin döşeme için yüzeyin yoğunlaştırılması önerilmiştir.

Sözbir ve Bektaş (2017), çalışmada kavak odunun yoğunluk, hacimsel şişme, kütle kaybı, hacimsel ağırlık, lif doyma noktası ve su emme, ısı modifikasyonu ve ısı ile modifiye yoğunlaştırma etkilerini araştırmıştır. Kavak numunelerine 120 °C, 160 °C ve 200 °C'de 1 ve 3 saat süre ile buhar işlemi uygulanmıştır. Isıl modifikasyondan sonra numuneler, yoğunlaştırma için 120 °C sıcaklıkta, 5 MPa pres basıncında ve 30 dakika sıcak preste sıkıştırılmıştır. Isı modifikasyonunun yoğunlaşmayı ve artan yoğunluğu etkilediği gözlemlenmiştir. Yoğunlaştırmanın, fırın kuru yoğunluğu, ıslatma sonrası fırın kuru yoğunluğu, hacimsel ağırlığı ve lif doyma noktası üzerinde olumlu bir etkisi olurken, hacimsel şişme üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu görülmüştür. Yoğunlaştırılmamış kavak odununun yoğunluğu, ısı modifikasyonundan minimum düzeyde (%1) etkilenmiştir. Ancak yoğunluk, yoğunlaştırma öncesi ısı modifikasyonundan etkilenmiş ve yoğunluğu %34 artırmıştır. Yoğunlaştırılmamış kavak odunun hacimsel şişmesi, sadece 200 °C ısı modifikasyonunda önemli ölçüde azalmıştır ve yoğunlaştırma, geri esneme etkisinden dolayı hacimsel şişmeyi arttırmıştır. Kavak odunu, ısı değiştirme ve yoğunlaştırma işlemi ile yoğunluğu yüksek ve su emmesi daha düşük olan bir malzeme haline gelmiştir. Düşük dayanıma sahip türlerin, ısı modifikasyonu ve yoğunlaştırma işlemi ile uygulanarak yüksek yoğunluğa ve uzun kullanım ömrüne sahip ahşap malzemeye dönüştürülebileceği belirtilmiştir.

Tosun ve Sofuoğlu (2021), çalışmalarında ağaç malzemenin sıkıştırılarak yoğunlaştırılması ile ilgili 2004-2021 yılları arasında yapılmış çalışmalar hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur. Literatürdeki çalışmalara göre düşük yoğunluğa sahip odunlar farklı metodlar ile sıkıştırılarak yoğunlaştırma işlemi yapılmıştır. Sıkıştırılarak yoğunlaştırma için; (TM) Termo Mekanik, (THM) Termo Higro

Mekanik, (VTC) Viskoelastik Termal Sıkıştırma ve (TVM) Termo Vibro Mekanik yöntemlerin uygulandığı gözlemlenmiştir. Sıkıştırılarak yoğunlaştırma metodunda yoğunluk artışı ile birlikte odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde artış, yüzey pürüzlülüğü ve ıslanabilirlik özelliğinde azalma ve sertlikte ise artış olmaktadır. Yoğunlaştırılmış odunlar yoğunlaştırma işlemi öncesindeki ölçülerine dönebilmeye eğilimlidir ve bu sebep ile istenmeyen bir durum olarak belirlenmiştir. Geri esneme (spring back) oluşabildiği belirtilmiştir.

Scharf ve diğ. (2022), yüzeyi yoğunlaştırılmış ahşabın yoğunluk profili ve girinti geometrisi ve uygulanan yük gibi sertlik testi parametrelerinin ölçülen sertlik üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Yoğunluk profilinin etkisi, sertlik testi parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Sertlik testi parametrelerinin seçimi ya ürüne özel olmalı ya da yüzey yoğunlaştırılmış ahşabın sertliğini değerlendirmek için yoğunluk profilinin kendisinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Yoğunluk profilinin sertlik testleri sırasındaki iz derinliği gelişimi üzerindeki etkisi, sertlik testi yöntemlerine dayalı olarak yoğunluk profilini tahmin etme olasılığını gösterebileceği belirtilmiştir. Kullanılan yöntemle bakılmaksızın, ölçülen sertlik değerlerinde yüksek bir varyasyon olduğu gözlemlenmiştir ve yüzey için bir malzeme özelliği olarak genel olarak geçerli bir sertlik kavramının var olup olmadığı sorgulanabilir. Yoğunluk profili, yüzeyi yoğunlaştırılmış ahşabın performansını değerlendirmek için kullanılabilir ve sertlik testi sırasında malzeme davranışı üzerindeki güçlü etkisi, sertlik testleri sırasında sürekli ölçüm verilerine bağlı olduğu ve bir sertlik testindeki girinti ölçümlerinden yoğunluk profilinin tahmin edilmesini sağlayabileceği belirtilmiştir.

2.1.2.2 Termo higro mekanik yoğunlaştırma yöntemi

Jennings ve diğ. (2005), higro-termal olarak sıkıştırılmış yoğunlaştırılmış ahşabın bağ performansı, higro-termal olarak işlenmiş ve kontrol numunesi olarak sarı-kavak ağacı kullanarak incelemişlerdir. Bağ performansını değerlendirmek için açılış modu çift konsol kiriş kırılma testi ve döngüsel kaynama kullanılmıştır. Fenol-formaldehit (PF) film ve polimerik difenilmetan diizosiyanat (pMDI) yapıştırıcılar, kırılma testi için numuneleri bağlamak için kullanılmıştır. Çalışmada PF film ile bağlanmış higro-termal numunelerin kırılma tokluğu, kontrol numunelerinden daha yüksektir ve yoğunlaştırılmış numuneler için ise bir fark olmamıştır. Numuneleri bağlamak için PF

film kullanıldığında, higro-termal işlemle kırılma tokluğu önemli ölçüde iyileşirken, yoğunlaştırma kontrol numunelerinden istatistiksel bir fark görülmemiştir. İşlem tipinin sarı kavak numunelerinin kırılma tokluğu üzerindeki etkisinin, yapıştırıcı tipine göre farklılık gösterdiği bulunmuştur. Yoğunlaştırma, kırılma tokluğunu artırırken, higro-termal işlem önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Yoğunlaştırılmış sarı kavak odunun ahşap kompozit ürünler yapmak için uygun bir hammadde olabileceği belirtilmiştir.

Krisdianto (2005), çok yumuşak ve düşük yoğunluğa sahip kekabu odunu kerestesi kullanılarak mekanik yoğunlaştırma sırasında var olabilecek bazı anatomik değişiklikleri incelenmiştir. 40 mm kalınlığında, 40 mm genişliğinde ve 500 mm uzunluğundaki ahşap numuneler 126 °C'de 30 dakika boyunca buharlandıktan sonra 23,75 kg/cm² basınç altında preslenmiştir. Hem işlenmiş hem de işlenmemiş numunelerde ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak anatomik ölçümler yapılmıştır. Yapılan işlem ahşabın yoğunluğunu %50 den fazla arttırdığı, ahşap ilk yapısının boşluk hacmini ve ısı mesafesini yaklaşık yarısını önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Mekanik yoğunlaştırma, kekabu ahşabında hem yapısal hem de boyutsal olarak anatomik değişiklikler, büyüme halkalarında ve yapısal olmayan dokularda bazı deformasyonlar oluşturduğu ve sıkıştırmanın anatomik değişiklikler üzerindeki etkisinin, tanenin oryantasyonuna bağlı olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir.

Diouf ve diğ. (2011), termo-higro-mekanik yöntem ile yoğunlaştırılan titrek kavak ve hibrit kavak kaplamalarının yüzey rengi, pürüzlülüğü, ıslanabilirliği ve kimyasal bileşimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yoğunlaştırma işlemi için 700x700 mm boyutlarında kaplamalar kullanılmıştır. Kaplamalar 160 °C, 180 °C, 200 °C ve 220 °C sıcaklıklarda yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaşma sıcaklığı arttıkça kaplama renginde koyulaşmanın olduğu tespit edilmiştir. Yoğunlaştırma işleminden sonra ıslanabilirlik azaldığı ve işlem gören numuneler arasında önemli bir fark bulunmadığı fakat hibrit kavak için daha belirgin etki gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmanın ıslanabilirlik sonuçlarına göre yoğunlaştırılmış kaplamaların işlem uygulanmamış kaplamalara göre su bazlı tutkal ve son işlem uygulamalarına daha az uygun olduğu bulunmuştur. Yoğunlaştırma işlemi kaplama yüzeylerinde büyük kimyasal değişikliklere neden olmuştur.

Xu ve Tang (2012), kavak keresteleri 300 (boyuna) x 50 (teğet) x 10 (radyal) mm boyutlarında, 125 °C'de, 1 MPa basınç kullanılarak 6 aşamalı su (6 gr) ile veya susuz olarak 2, 3 ve 5 dakika sürelerde kerestelerin yüzeyini yoğunlaştırmışlardır. Keresteler buharla ısıtılan endüstriyel fırında 6 gün boyunca keretelerdeki nem oranı %10'a ulaşana kadar kurutulmuştur sonrasında yoğunlaştırma işlemi yapılmıştır. Yoğunlaştırılmış numunelerin kalınlık yönündeki dikey sıkıştırma oranı profili (VCRP), matematiksel bir modelle birleştirilmiş ve bir X-ışını yoğunluk ölçer aracılığıyla sonuçlar elde edilmiştir. Yoğunlaştırılmış numunelerin zamana bağlı geri esneme oranı kaydedilmiş ve desikatörde 240 saat boyunca 20 °C ve %65 bağıl nemde şartlandırılmış tüm numunelerin %2'nin altındaki geri esneme değerleriyle boyutsal olarak kararlı olduğu görülmüştür. Nispeten uzun sürelerde yoğunlaştırmanın geri esnemeyi azalttığı ve kavak odunu için 3 dk yoğunlaştırma işleminin uygun olabileceği belirtilmiştir. Odun yüzeyine su ilavesi, yüzey katmanlarını yoğunlaştırmaya ve yoğunlaştırılmış ahşabın stabilitesine katkı sağlamıştır. Yüzeyi yoğunlaştırılmış kavak ağacı, U-şekilli bir dikey sıkıştırma oranı profili oluşturan yüzeyden merkeze uygulanan sıkıştırma oranını kademeli olarak azaltmıştır. Kısa süreli ve düşük sıcaklıkta bir işlem sürecinin ardından kavak ağacı numuneleri, yüzey katmanlarında 33,45 ile %37,24'e varan sıkıştırma oranlarıyla etkili bir şekilde yoğunlaştırılmış ve tüm kalınlığın 21 ile %53'ünü oluşturan merkezdeki orijinal yoğunluk olarak kalmıştır. Matematiksel veri dönüştürme modeliyle birleştirilmiş bir X-ışını yoğunluk ölçerin, yüzeyi yoğunlaştırılmış ahşabın dikey sıkıştırma oranını nicel olarak tespit etmek için iyi araç olduğu, ahşaba su püskürtmenin, kerestelerin yüzey katmanlarını yoğunlaştırmaya ve sabitlemeye yardımcı olabildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yu ve diğ. (2017), hibrit kavağın yoğunluk profili, mekanik özellikleri, mukavemet potansiyel indeksi ve mikro yapı değişiklikleri, yüksek basınç işlemlerinden önce ve sonra incelemişlerdir. Yoğunlaştırma işleminde basınç verici olarak su kullanılmıştır. Basınçlı kabın başlangıç sıcaklığı 25°C'dir. Yoğunluk profili sonuçlarına göre, basınçlı odun numunelerinde yüksek homojenlikte yoğunluk dağılımı olmuştur. Mekanik özelliklerin sonuçları, yüksek basınç uygulamalarının, seçilen koşullarda yoğunlaştırılmış ahşabın elastisite modülünü, kopma modülünü ve Brinell sertliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Tüm odun örnekleri içinde, 150 MPa koşulundaki sıkıştırılmış odun, en yüksek yoğunluk ve mukavemet özelliklerine sahiptir. Taramalı elektron mikroskobu sonuçlarında sunulan ahşap hücrelerin bütünlüğü, yüksek

basıncın işlemiyle herhangi bir kırılmaya neden olmadan ahşap hücre duvarının sıkıştırıldığını ve yüksek basınç işleminin daha az yıkıcı bir sıkıştırma teknolojisi olduğunu ve hibrit kavak levhaların yoğunluğunu ve mekanik performanslarını arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Yoğunluk ve mekanik test sonuçlarına göre 150 MPa'nın optimal basınç koşulu olabileceği ve yüksek basıncın işleminin geleneksel termal sıkıştırma yöntemlerine (örneğin, termo mekanik yoğunlaştırma, termo hidro mekanik yoğunlaştırma ve viskoelastik termal yoğunlaştırma) kıyasla daha az tahrip edici bir ahşap sıkıştırma tekniği olduğu kanıtlanmıştır.

Zhou ve diğ. (2019), Termo hidro mekanik yöntemiyle masif kavak odunun ve proses parametrelerinin dikey yoğunluk profili ve sertlik üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda sıkıştırma sıcaklığının 140 ile 160 °C derece aralığında ve kapanma hızının ise 10 mm/dk olması tavsiye edilmektedir. Örneklerin ısıtılmamış taraflarının deformasyonunu önlemek amacıyla ve iyi bir yüzey yoğunluğu için numunelerin sıkıştırma sınırı %20 olarak belirtilmiştir.

Lian ve diğ. (2023), yüksek basınç, sıcaklık ve presleme işlemi ile bambu odununun yoğunlaştırılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bambu örnekleri hem nem içeriği iyileştirmek hem de hemiselüloz ve ligninin bir kısmını uzaklaştırmak için düdüklü tencere işlevinde çalışan elektrikli bir sistem kullanılmıştır. İkinci olarak, bambu, yüksek sıcaklık ve basınçlandırma işleminden sonra sıcak preslenmiştir. Sıcak preslemenin ikinci aşamasında, sıcaklık optimum sıcaklık olarak 160°C olarak ayarlanmıştır. Numunenin yoğunlaştırma ve sıkıştırma oranını kontrol etmek için kalınlık ölçer kullanılarak kademeli olarak hedeflenen sıkıştırma oranına ulaşılmaya çalışılmıştır. 15 dakika süreyle 5 MPa'da (gösterge basıncı) sıkıştırıldıktan sonra basınç, 15 dakika süreyle 6 MPa'a ayarlanıp ardından sıcak pres kapatılmıştır. Yoğunlaştırılmış bambuların sıcaklığı 45°C'ye düştükten sonra prestan çıkarılmıştır. Yoğunlaştırılmış bambuların yoğunluk, sertlik ve boyutsal kararlılıkları artmıştır ve geri esneme oluşmamıştır.

2.2 Mobilya Konstrüksiyonlarının Mühendislik Tasarımı (Yapı Analizi – Rijitlik Yöntemi)

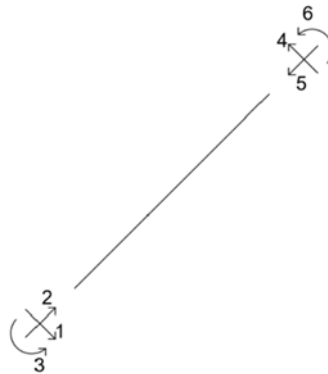
Mobilya mühendislik tasarımı mobilyanın tasarımını etkileyen faktörlerdendir. Mobilyanın kullanımı sırasında konstrüksiyonun dayanımını ve olası yüklere karşı davranışının hesaplanmasını konu alır (Efe, 1994).

Mobilya çerçevelerinde yapısal analiz yönteminin kullanılabilmesi için belirlilik derecesi önemlidir. Yan çerçevelerin analizinde ön ve arka ayaklar kayıt ya da ara kayıt ile birleştirilmiştir. İzostatik bir yapıdır ve belirlilik derecesi sıfırdır. Elemanların dayanımı denge denklemleri kullanılarak elde edilebilir. Yan çerçevede bir ara kayıt daha kullanılır ise yapı hiperstatiktir ve belirlilik derecesi birdir. Bir yapının belirsizlik derecesi (Formül 2.1) ile hesaplanır. Çerçevenin yapısal analizi için denge denklemleri yeterli değildir. Bunun için rijitlik yöntemi kullanılmalıdır.

$$s = m + h - 3j \quad (2.1)$$

Formül 2.1’de görüleceği üzere s , belirsizlik derecesini, m , eleman sayısını, j birleştirme sayısını ve h serbestlik derecesini ifade eder.

Bir yapı rijitlik yönteminde elemanlar ve düğüm noktalarıyla adlandırılır. Bir düğüm noktasının 3, bir elemanın ise 6 serbestlik derecesi vardır. Rijitlik yönteminde yapı eleman eleman incelenir ve her eleman için bir rijitlik matrisi kullanılır. Sonra, her elemana ait rijitlik matrisi genel rijitlik matrisi için toplanır. Genel rijitlik matrisi eleman uçlarındaki iç kuvvetler ve sapmalarla sonuçlanan yüklemeler ve yer değiştirmeleri ilişkilendirir. Rijitlik yöntemi şekildeki gibi uygulanır (Hibbeler, 2012).



Şekil 2.1 : Bir elemanın rijitliği için serbestlik dereceleri.

$$\{Q\} = [K] \times \{D\} \quad (2.2)$$

$$[K] = \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.3)$$

$$[k] = [T]^T \times [k'] \times [T] \quad (2.4)$$

$$k' = \begin{bmatrix} AE/L & 0 & 0 & -AE/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -AE/L & 0 & 0 & AE/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$T = \begin{bmatrix} \lambda_x & -\lambda_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_y & \lambda_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & -\lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_y & \lambda_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\lambda_x = \cos\theta_x \quad (2.7)$$

$$\lambda_y = \cos\theta_y \quad (2.8)$$

Formül 2.2'den 2.8'e kadar görüleceği üzere Q , yapı için global yükler (N), K , yapı için global rijitlik matrisi, D , Yapı için global yer değiştirmeler (mm), k_i , global rijitlik matrisi, n , eleman sayısı, T , kuvvet dönüşüm matrisi, k' , eleman rijitlik matrisi, A , elemanların enine kesit alanı (mm²), E , elemanlarda kullanılan malzemenin elastikiyet modülü (N/mm²), L , elemanın uzunluğu (mm), I , elemanın atalet momenti (mm⁴), θ_x , elemanın x eksenine göre açısı ve θ_y , elemanın y eksenine göre açısıdır.

2.3 Mobilyada Kullanılan Birleştirmeler

Mobilya yapımında kullanılan konstrüksiyon ve kullanım yeri için uygun olan mukavemet değerlerine göre kavelalı, zıvanalı, dominolu, bisküvili, minifixli ve benzerleri gibi çeşitli birleştirmeler kullanılmaktadır. T-tipi birleştirmelerde yaygın olarak kullanılan literatürdeki kavelalı, zıvanalı ve çalışmanın konusu olan dominolu birleştirme çalışmalarından bahsedilmiştir.

2.3.1 Kavelalı birleştirmeler

Kavelalı birleştirmeler, mobilya yapımında sıklıkla kullanılan birleştirme yöntemlerindendir. Çerçeve ve kutu tipi kontstrüksiyon mobilyalarda kullanılmaktadır.

Eckelman (1969), bu çalışmasında dübel bağlantılarının nihai mukavemetini tahmin etmek için kullanılabilecek geçici bir tasarım formülü sunmuştur. Kavelalar için huş, kavak, meşe ve akçaağaç odunu, birleştirme elemanları için kavak, meşe ve akçaağaç odunları kullanılmıştır. Uç uca birleştirmeli kavelalı ve kenar birleştirmeli kavelalı örnekler test edilmiştir. Birleştirmelerde 1 adet kavela kullanılmıştır. Çalışmada 133,44 kN kapasiteli test makinası kullanılmıştır. Birleştirmelerin ara kesitlerine yağlı kağıt konulmuştur. Mobilya çerçeve analizi için gerekli olan yarı-rijit eklem rotasyonu ve öteleme ifadelerinin geliştirilmesi için gerekli olan yer değiştirme fonksiyonları verilmiştir.

Eckelman (1971), çalışmasında T-tipi birleştirmelerde 2 adet kavela kullanımında kavela bağlantılarının mukavemet ve moment dönme özelliklerini incelemiştir. Çalışmada akçaağaç odunu ve tutkal olarak üre formaldehit kullanılmıştır. Kavelalı T-tipi birleştirmelerin eğilme mukavemeti ve moment-dönme özelliklerini belirlemek için testler yapılmıştır. Beş farklı kayıt genişliği ve yedi farklı kavela aralığı ve, 10 adet örnekten oluşan yedi set test yapılmıştır. Her örnek iki kez yüklenmiştir. İlk yüklemede nihai değerin yarısından daha az bir yük uygulanmış daha sonra yük serbest bırakılmıştır. İkinci yüklemede ise örneklerde kırılma oluşana kadar yükleme yapılmıştır. Birleştirme mukavemetinin $M = F \times d$ formülüyle tahmin edilebileceği bulunmuştur. Kayıt genişliği ya da kavela uzunluğu arttıkça birleştirme mukavemetlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Çağatay ve Efe (2018), T-tipi kavelalı birleştirmelere uygulanan bazı deneylerden elde edilen momentleri, teorik hesaplama ve gerinim ölçerlerden elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır. Deneyler için kayın, kestane, çam, ceviz ve meşe odun türleri, tutkal olarak PU ve PVAc kullanılmıştır. Birleştirmelerde kullanılan eleman boyutları 225x55x22 (ayak) ve 250x55x22 (kayıt) mm'dir. Tutkal 150 ± 10 gr/m² miktarda ve fırça kullanılarak, birleştirmelerin ara yüzeylerine, kavela deliklerine ve yüzeyine sürülmüştür. Kullanılan odunların rutubet ve yoğunluk değerleri için ölçüm ve hesaplamaları yapılmıştır. Statik eğilme, basma, çekme ve makaslama dirençlerini

ölçmek için testler yapılmıştır. Çalışmada eğilme testleri için kullanılan yükleme hızı 6 mm/dk'dır. Teorik hesaplamalar ve deney sonuçlarından alınan moment verileri gerinim ölçerlerden alınan moment verileriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda deneyler ile gerinim ölçerlerden elde edilen moment değerlerinin yakın değerler olduğu tespit edilmiştir.

2.3.2 Zıvanalı birleştirmeler

Erdil ve diğ. (2005), bu çalışma T-tipi birleştirmelerde ahşap türlerinin, tutkal türünün, kayıt genişliğinin, zıvana derinliğinin ve uzunluğunun, eğilme mukavemeti ve esnekliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. T-tipi birleştirmelerde akçaağaç, meşe, ceviz ve kavak odunu, tutkal olarak PVA, üre formaldehit, fenol resorsinol ve hayvansal tutkal kullanılmıştır. Kayıt omzunun ayak parçasına yapışmasını engellemek için kayıt ara kesitlerine yağlı kağıt konulmuştur. Çalışmada birleştirmelerin eğilme mukavemetini tahmin etmek için bir formül geliştirilmiştir. Zıvana uzunluğu ile eğilme momenti kapasitesi arasında yakın bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Zıvanalı birleştirmelerde kayıt üzerindeki omuzların, birleştirmelerin eğilme momenti üzerinde önemli etkisi olduğu bulunmuştur.

İmirzi (2000), farklı odun ve birleştirme türleriyle çalışılarak T-tipi birleştirmelerin çekme ve eğilme deney sonuçlarına göre direnç değerleri karşılaştırılmıştır. Çam, kayın ve meşe odunu, kavelalı ve zıvanalı birleştirme türlerinde PVAc tutkalı ve demonte birleştirmelerde minifix ve vida kullanılmıştır. Her odun türü ve birleştirme tipi için 10'ar adet örnek, toplamda ise 240 adet örnek kullanılarak deneyler yapılmıştır. Ağaç türü-birleştirme çeşidi ikili etkileşiminde çekme direnci ortalamasında en yüksek direnci kayın-vida ($13,37 \text{ N/mm}^2$) birleştirmesi en düşük değeri ise çam-zıvana ($2,21 \text{ N/mm}^2$) birleştirmelerinde elde edilmiştir. Üç odun türü için, kavelalı birleştirmelerde diğer birleştirmelere göre (Çam: $9,47 \text{ N/mm}^2$, Kayın: $10,81 \text{ N/mm}^2$, Meşe: $9,448 \text{ N/mm}^2$) çekme direnç ortalamaları yüksektir. Birleştirme tipine göre çekmede en yüksek direnç vidalı sonrasında kavelalı birleştirmelerde elde edilmiştir. Eğilmede en yüksek direnç minifixli birleştirmede ikinci olarak da vidalı birleştirmelere ait olduğu belirtilmiştir. Odun türü, birleştirme yöntemi ikili etkileşimine göre en yüksek çekme ve eğilme direncini vidalı kayın birleştirmeler, en düşük direnç çam odunu zıvanalı birleştirmede elde edilmiştir.

Tankut ve Tankut (2005), yuvarlatılmış zıvana, dikdörtgen zıvana, dikdörtgen zıvanalı-yuvarlatılmış dişi zıvanalı birleştirmelerin direnç değerleri hakkında araştırma yapılmıştır. Araştırmada kayın odunu; üç kayıt genişliği ve iki zıvana genişliği kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zıvana genişliği ve uzunluğu arttıkça birleştirmelerin direncinde de artış olmuştur. Birleştirme geometrisinin birleştirme direncini önemli oranda etkilediği belirtilmiştir. Dikdörtgen şekle sahip zıvanalı birleştirmelerin, yuvarlatılmış zıvanalı birleştirmeler ve dikdörtgen erkek zıvanalı-yuvarlatılmış dişi zıvanalı birleştirmelerden sırasıyla yaklaşık %15 ve %30 daha fazla dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çoban (2011), kör zıvanalı köşe (L) birleştirmelerinde kullanılan odun türü, tutkal (PÜ, PVAc ve D-VTKA (Desmodur-Vinil triketonol acetate)) ve emprenye (daldırma ve vakum-basınç) yöntemlerinin diyagonal çekme ve basınç performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada emprenye maddesi olarak Tanelith E kullanılmıştır. İki tutkal türü için de emprenyeden sonra yapılan tutkallama işleminin yapışmayı %10 azalttığı bulunmuştur. Emprenye maddesinin hücre duvarına ulaşması nedeniyle tutkalın bağ kuramadığı belirtilmiştir.

Efe ve diğ. (2012), T tipi birleştirmelerde farklı odun türleri ve birleştirme yöntemleri kullanılarak çekme dirençleri araştırılmıştır. Doğu kayını, sarıçam, sapsız meşe, Anadolu kestanesi ve adi ceviz odunu; zıvanalı kavelalı birleştirmelerde PÜ ve PVAc tutkalı, demonte birleştirmelerde minifiks, maksifiks ve vida kullanılmıştır. Çalışma sonucunda birleştirme yöntemi, odun ve tutkal türünün çekme direnci değerlerini etkilediğine ulaşılmıştır. Birleştirmelerde kullanılan PVAc tutkalı diğer tutkala göre çok daha başarılı belirtilmiştir. Bağlantı tipi – odun türüne göre en yüksek çekme direnci değerlerine meşe, kayın ve ceviz odunlarının zıvanalı-PVAc tutkalı birleştirmelerde; PÜ tutkalı-zıvanalı birleştirmelerde ise meşe odununda elde edilmiştir. PVAc tutkalı kullanılan zıvanalı birleştirmelerde çekme direnci en yüksek, minifiks kullanılan birleştirmelerde ise en düşük değerler aldığı bulunmuştur.

Çağatay ve diğ. (2012), T-tipi mobilya birleştirmelerde kullanılan odun türü ve birleştirme yönteminin moment kapasitesi ve elastikiyet üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan deney örnekleri için Sapsız meşe, Doğu kayını, Adi ceviz, Sarıçam ve Anadolu kestanesi odunları, beş (kavelalı, zıvanalı, maksifiksli minifiksli, ve vidalı) birleştirme yöntemi, polivinilasetat (PVAc) ve poliüretan (PÜ) tutkalları kullanılarak hazırlanmıştır. T-tipi birleştirme elemanlarının mekanik davranışını

incelemek için düşey yöndeki yer değiştirmeler ölçülerek dönme açıları ve birleştirmelerin elastikiyet değerleri hesaplanmıştır. Odun türüne göre moment ve elastikiyet değerleri en yüksek ceviz odununda, en düşük değerler ise sarıçam odununda elde edilmiştir. Eğilme mukavemeti değerleri için tutkal türü incelendiğinde PÜ ve PVAc tutkalı arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı belirtilmiştir. Montaj amacıyla iki tutkal türünün de kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada birleştirme yöntemlerine açısından moment ve elastikiyet değerleri incelendiğinde en yüksek değere PVAc ve Pü tutkalı kullanılan zıvanalı birleştirmelerin, en düşük değerlere ise minifiksli birleştirmelerin sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yörür (2012), çalışmasında mobilya L-tipi köşe birleştirmeler hem uygulama hem dijital ortamda analizi yapmış ve sonuçlar karşılaştırmıştır. Çalışmada doğu kayını ve sarıçam kullanılmıştır. L-tipi birleştirmelerde kavela ve zıvana kullanılarak eğilme, çekme direnci ve diyagonal basınç deneyleri yapılmıştır. Sonlu elmanlar metodunda (SEM) kullanılacak malzeme özelliklerinin tanımlanması için liflere paralel çekme, poisson oranı, gerinim ölçümü ve eğilmede elastikiyet modülü testleri yapılmıştır. SEM kullanılarak gerçeğe yakın değerler elde edilmiştir. Uygulama deneyleri yapılmadan sadece SEM programı kullanılarak köşe birleştirmelerin direnç özelliklerinin gerçeğe yakın olarak belirlenebileceği belirtilmiştir.

Kasal ve diğ. (2015), T-tipi birleştirmeler için bu çalışmalarında polivinilasestat (PVAc) tutkalı, üç farklı zıvana genişliği ve boyu kullanılmışlardır. Farklı kombinasyonlarda zıvanalı birleştirme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları ve sonlu elemanlar analizi için ANSYS Workbench programından elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Zıvanalı birleştirmelerin momentleri, elastikiyet değerleri, mekanik davranışları, rotasyon açıları tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için kullanılan programa ahşap malzeme orthotropik olarak belirtilerek birleştirmelerin analizi yapılmıştır. T-tipi birleştirmelerde 30 mm zıvana genişliğine sahip zıvana yerine 40 mm genişlikte zıvana kullanıldığında moment ve elastikiyet değerlerinde %46 oranında artış sağlanmıştır. Zıvana uzunluğuna göre yapılan karşılaştırmalarda 50 mm uzunluğundaki zıvanaların, zıvana genişliğine göre yapılan karşılaştırma sonucunda ise 40 mm genişliğindeki zıvanaların en iyi elastikiyet ve moment değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Zıvana uzunluğu arttıkça elastikiyet ve moment değerlerinde artış görülmüştür. T-tipi sandalye birleştirmelerinde zıvana uzunluğu için 50 mm uzunluğunda ya da zıvana genişliği için 40 mm genişliğinde zıvana kullanıldığında

dayanıklı birleştirmeler elde edilebileceği belirtilmiştir. Zıvana uzunluğundaki artışın birleştirmelerin mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir. Zıvana genişliğinin elastikiyet değerlerini, zıvana uzunluğunun moment değerlerini etkilediği tespit edilmiştir.

2.3.3 Domino (gevşek zıvanalı) birleştirmeler

Domino zıvanalı birleştirmeler kavelanın kullanım kolaylığını ve zıvanalı birleştirmelerin de dayanım özelliklerini bir arada sunmaktadır. Genellikle çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda sandalya, koltuk ve masa birleştirmelerinde kullanılmaktadır.

Aman ve diğ. (2008), kiraz, meşe ve akçaağaç odun türlerinden yapılan zıvanalı, kavelalı ve domino zıvanalı birleştirmelerin bükölme momenti kapasitelerini karşılaştırmıştır. Domino zıvanalı birleştirmelerin bükölme momenti kapasitesinin, kavelalı birleştirme ile zıvanalı birleştirmeler arasında olduğunu bulmuşlardır (Derikvand, 2014'de atıfta bulunulduğu gibi).

Derikvand ve diğ. (2013), mobilya yapımında kullanılan domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerde odun türü ve domino zıvana uzunluğunun çekme kuvveti üzerine etkisini araştırmışlardır. T-tipi birleştirmeler altı farklı odun (meşe, kayın, kavak, çınar, göknar ve ceviz) türünden yapılmıştır ve zıvanalar için Doğu kayını odunu kullanılmıştır. Araştırmada 10, 20 ve 30 mm domino zıvana uzunlukları kullanılmıştır. Araştırmada altı odun türü, üç zıvana uzunluğu, beş tekrar yapılarak toplamda 90 adet T-tipi birleştirme örnekleriyle çalışılmıştır. T-tipi birleştirmelerin ara kesitlerine yağlı kağıt konulmuştur. En yüksek çekme kuvveti değeri kayın odunu domino birleştirmelerinde tespit edilmiştir. Domino birleştirmelerde zıvana uzunluğu 10'dan 20 mm'ye değiştiğinde en büyük geri çekme kuvveti kapasitesi artışı elde edilmiştir. Kayın odunundan üretilen domino birleştirmeler en yüksek geri çekme kuvveti kapasitesine sahiptir. Meşe ve çınardan üretilen birleştirmeler arasında çekme kuvveti kapasitesinde önemli bir fark görölmemiştir. T-tipi dominomobilya birleştirmelerinde çekme kuvveti kapasitesi doğrudan gevşek zıvana uzunluğuna ve odun türlerine bağlı olduğu belirtilmiştir. Genel olarak birleştirmelerde kullanılan domino uzunluğu arttıka çekme kuvveti kapasitesi de artmıştır.

Derikvand ve Ebrahimi (2014), T-tipi birleştirmelerde zıvanalı ve domino zıvanalı birleştirmelerin mukavemet performansını etkileyen tutkal tipi ve domino zıvana

boyutlarını (kalınlık ve uzunluk) incelemişlerdir. Birleştirme elemanlarında kayın odunu ve tutkal olarak PVAc ve PU tutkalları kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan T-tipi birleştirmelerin ayak elemanı boyutları (mm) 300 x 75 x 25, kayıt elemanı boyutları 375 x 75 x 15 sırası ile erkek zıvana ve domino zıvana kalınlığı 6 ve 8 mm'dir ve genişliği ise 50 mm'dir. Kullanılan erkek zıvana derinliği ise 15, 22,5, 30 ve 45 mm'dir. PU kullanılan birleştirmelerin eğilme moment kapasitesi daha yüksek bulunmuştur. Çalışma sonucunda bükülme momenti kapasitesinin, gevşek zıvananın uzunluğunun ve kalınlığının artmasıyla önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir. Doğrusal olmayan regresyon denklemi kullanılarak birleştirme momentinin tahmin edilebileceği bulunmuştur.

Smardzewski ve diğ. (2015), bu çalışmalarında L tipi birleştirmelerde odun türleri (kayın, meşe,ceviz) ve birleştirme türlerinin (domino zıvanalı, kavelalı ve zıvanalı) eğilme mukavemeti, sertliğini ve elastikiyet modülü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Tutkal olarak PVAc kullanılmıştır. L-tipi birleştirmelerde kullanılan eleman boyutları (mm) 150 (uzunluk) x 50 (genişlik) x 30 (kalınlık), birleştirmeler için kullanılan domino zıvana, kavela ve zıvana boyutları sırası ile 40 x 40 x 8, 8 x 35 ve 50 x 50 x 9,9mm'dir. Örneklere statik diyagonal basma (kapama) ve çekme (açma) testleri yapılmıştır. Testlerin yükleme hızı 10mm/dk olarak belirtilmiştir. Kayın odunu elemanlı kavelalı birleştirmeler testlerde en düşük değerleri almıştır. Elastikiyet modülü değerlerine göre, basma (kapama) testinde en yüksek değerler zıvanalı birleştirmelerde meşe odunu (7644 MPa), ceviz odunu domino zıvanalı birleştirmelerindir(7310 MPa). Elastikiyet modülü değerlerine göre, çekme (açma) testinde ceviz odunu domino zıvanalı birleştirmeler (2830 MPa) ve meşe odunu zıvanalı birleştirmeler (2233 MPa) sahiptir. Çalışmada birleştirmeler için oluşturulan elastikiyet modülü sayısal yöntemi modelinin doğruluğu yapılan test sonuçlarıyla uygun olduğu bulunmuştur.

Záborský ve diğ. (2018), çalışmalarında domino boyutu, ağaç türleri, tutkal türü, yıllık halka açısı gibi parametrelerin birleştirme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kayın ve ladin odunları, PVAc ve PU tutkalı, kayıt elemanının yarım ve üçte bir kalınlığında domino zıvana kullanarak birleştirmelere çekme ve basma testleri yapmışlardır. Çalışmada toplam 160 adet örnek kullanılmıştır. PVAc tutkalı için 150g/m² ile 180g/m² VE PU tutkalı için 180g/m² ile 250g/m² kaplama oranı belirtilmiştir. Ladin odunu örnekleri için kayıtın yarı kalınlığında domino kullanımı

gereksiz ve kayın odunu numuneleri için uygun bulunmamıştır. Tutkalın birleştirme rijitliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğu bulunamamıştır. İkili faktör karşılaştırmalarında tutkal türünün etkisi tespit edilmiştir. Deney ve istatistiksel analiz sonuçlarına göre PVAc yapıştırıcısı ile yapıştırılmış ve üçte bir kalınlığa sahip kayın domino zıvana kullanımı uygun bulunmuştur.

Baş ve diğ. (2023, Preprint), mobilya birleştirmelerinde domino zıvana ve metal bağlantı kullanımını karşılaştırmışlardır. L ve T-tipi birleştirmelerde kayın odunu, (plastik metal kombinasyonlu) metalik köşe birleştirme aparatı ve domino zıvanalı birleştirmeler için PVAc tutkalı kullanılmıştır. 20 adet T ve L-tipi birleştirme kullanılarak toplam 40 adet örnek ile çalışılmıştır. L ve T-tipi birleştirme eleman boyutları (mm) 213 (uzunluk) x 41,5 (kalınlık) x 22 (genişlik), 252 (uzunluk) x 41,5 (kalınlık) x 22 (genişlik) ve domino zıvana boyutu için 21(uzunluk) x 8(kalınlık) x farklı genişlik kullanılmıştır. T-tipi birleştirmelerde çekme direnci L-tipi birleştirmelerde ise basma dirençleri incelenmiştir. Testlerin hepsinde 2 mm/dk yükleme hızı kullanılmıştır. Test edilen birleştirme örneklerinde elemanlarda ayrılma oluşana kadar yüklemeye devam edilmiştir. T ve L-tipi birleştirmelere yapılan çekme ve basma testi sonuçlarında metal bağlantı aparatına göre domino zıvanalı birleştirmeler daha dayanıklı bulunmuştur. T-tipi birleştirmeler kullanılan bağlantı aparatı fark etmeksizin L-tipi birleştirmelerden daha dayanıklı olduğu bulunmuştur. Domino zıvanalı birleştirmelerde ise T-tipi birleştirmelerin en yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Tasarımı

Bu çalışmada, birleştirme örnekleri İnegöl Mobilya Sektöründe sıklıkla kullanılan adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) ve mekanik özellikleri dikkate alındığında mobilya endüstrisinde direnç gerektiren mobilya elemanlarında kullanımı tercih edilmeyen Kanada kavağı (*Populus canadensis*) kullanılmıştır.

Çalışmada her örnek grubunda 5 adet örnek ile çalışılacak olup Çizelge 3.1’de örneklerde kullanılacak mobilya elemanı ve birleştirme elemanı tipi verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılacak örneklerin deney tasarımı.

Elemanda kullanılan odun türü	Birleştirme tipi	Birleştirmede kullanılan odun türü	Yoğunlaştırma oranı	Örnek grubu
Gürgen	Zıvana	Gürgen	-	G-Z
	Domino		-	G-GD0
	Zıvana	Kavak	-	K-Z
			-	K-KD0
Kavak	Domino	Kavak	%10	K-KD10
			%20	K-KD20
			%30	K-KD30
		Gürgen	%0	K-GD0

3.2 Malzemelerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan gürgen ve kavak keresteleri Bursa ilindeki bir kereste satıcısından temin edilmiştir. Hava kurusu rutubete sahip keresteler ve işlenen masif örnekler TS EN 13238 standardına göre 4 hafta 20°C ve %65 rutubet ortamında şartlandırılmıştır. Çalışmada kullanılan masif malzemeler Bursa Teknik Üniversitesi Mobilya ve Ahşap Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan atölyede işlenmiştir. Deney için hazırlanan örnekler içerisinden lif kıvrıklığı, budak, çatlak ve kusur içermeyen örnekler seçilerek kullanılmıştır.

3.2.1 Masif malzemelerin hazırlanması

ASTM D143-94 standardına göre gürgen ve kavak odunlarından elde edilen 25 x 25 x 410 mm boyutlarında 5 adet kusursuz örnekler statik eğilme ve 25 x 25 x 100 mm boyutlarında 5 adet kusursuz örnekler liflere paralel basma deneyi için hazırlanmıştır. TS EN 13238 standardına göre örnekler deney öncesinde en az 72 saat 20°C ve %65 rutubet ortamında şartlandırılmıştır.

3.2.2 Yoğunlaştırılmış masif malzemenin hazırlanması

ASTM D143-94 standardına göre kavak odunlarından elde edilen 5 adet kusursuz örnekler bölüm 3.2.1’de belirtildiği gibi hazırlanmıştır. Ancak, %10, %20 ve %30 yoğunlaştırılmış örneklerin her bir mukavemet deneyi için hazırlanacak parçaların kerestelerin kalınlıkları standartta belirtilen ölçülerden sırası ile %10, %20 ve %30 daha fazla olacak şekilde kesimi yapılmıştır ve boyutlar Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de verilmiştir. Odunların yoğunlaştırma oranına göre masif deney örnekleri için kullanılan pres parametreleri Çizelge 3.4’te ve domino örnekleri için kullanılan pres parametreleri Çizelge 3.5’te verilmiştir. Hedeflenen (masif örnekler 25mm ve domino örnekleri 10mm) kalınlığa ulaşılana kadar presleme işlemi kademeli olarak yapılmıştır. Yoğunlaştırma işleminde kullanılan odun örnekleri yıllık halkalara dik (radyal) yönde preslenerek yoğunlaştırma yapılmıştır. Yoğunlaştırma işleminde Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği test laboratuvarında bulunan CEMILUSTA marka sıcak pres (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Yoğunlaştırılmış kereste örnekleri laboratuvar ortamındaki rutubet alışverişi ile boyutunda meydana gelen artış dikkate alınarak presleme işleminden sonra şartlandırma odasında dinlendirildikten sonra bazı mekanik özelliklerini belirlemek için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2 : Yoğunlaştırma işleminde kullanılan kerestelerin enine kesit örnek boyutları.

Yoğunlaştırma Oranı	%10	%20	%30
Enine Kesit Örnek Boyutları	27,5 x 100 mm	30 x 100 mm	32,5 x 100 mm

Çizelge 3.3 : Domino örnekleri için kullanılan kerestelerin enine kesit örnek boyutları.

Yoğunlaştırma Oranı	%10	%20	%30
Enine Kesit Örnek Boyutları	11 x 50 mm	12 x 50 mm	13 x 50 mm

Çizelge 3.4 : Yoğunlaştırma oranlarına göre masif deney örneklerine ait pres süre, sıcaklık ve basınç parametreleri.

Aşama	%10			%20			%30		
	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)
1	6	80	10	6	100	10	6	100	10
2	-	-	-	7	100	5	7	100	5
3	-	-	-	7	100	10	7	100	10
4	-	-	-	8	100	5	8	100	5
5	-	-	-	8	100	10	8	100	10
6	-	-	-	9	100	5	9	100	5
7	-	-	-	10	100	5	10	100	5

(* P , basınç miktarı, T , pres sıcaklığı, t , pres süresi)

Çizelge 3.5 : Yoğunlaştırma oranlarına göre domino yapımında kullanılacak masif deney örneklerine ait pres süre, sıcaklık ve basınç parametreleri.

Aşama	% 10			% 20			% 30		
	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)	P (N/mm ²)	T (°C)	t (dk)
1	4	80	5	4	80	5	3	80	10
2	5	80	5				4	80	10
3							5	80	10
4							5	100	5



Şekil 3.1 : Presleme işlemi.

3.3 Örneklerin Yoğunluğunun Tayini

ASTM 143 – 94 Standardına göre 25x25x30 mm (radyal x teğet x boyuna) boyutlarındaki yoğunlaştırılmamış ve yoğunlaştırılmış örnekler alınarak en az 72 saat boyunca 103±2 derece kurutularak tam kuru halde %12 rutubetteki yoğunluğu formül 1'e göre hesaplanmıştır. Yine aynı eşitlik kullanılarak yoğunlaştırılmamış örnekler (Şekil 3.2 (b)) en az 72 saat 103 ± 2 derece etüvde (Şekil 3.2 (a)) kurutularak (tam kuru haldeki) yoğunlukları hesaplanmıştır (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

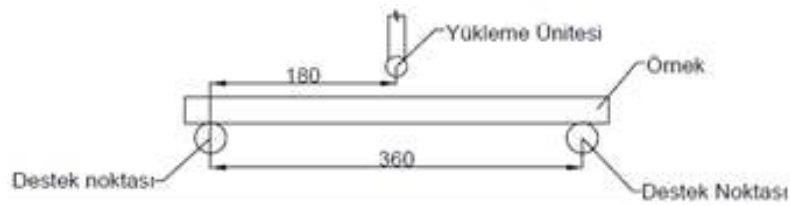
Formül 3.1'de görüldüğü üzere d , yoğunluk (gr/cm³), m , ağırlık (gr) ve V , hacim (cm³) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.2 : a. Etüv ve b. Yoğunluk tayini için hazırlanan örnekler.

3.4 Malzemelerin Mukavemet Tayini

ASTM D 143-94 standardına göre gürgen, kavak ve yoğunlaştırılmış kavak odunlarından elde edilen örnekler Şekil 3.3’de belirtildiği gibi üç nokta statik eğilme testi için SHIMADZU test cihazına (Şekil 3.4) yerleştirilerek, statik eğilme testi dakikada 1,3 mm hız ile ya örneklerin (Şekil 3.3) orta noktasındaki yer değiştirme 76 mm olana kadar ya da örneklerde kırılma meydana gelene kadar devam ettirilmiştir. Test sonucu olarak yük- yer değiştirme eğrisi elde edilerek, örneklerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırası ile formül 3.2 ve formül 3.3’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.3 : Üç nokta eğme deneyi düzeneği.



Şekil 3.4 : Üç nokta eğme deneyi için kullanılan test düzeneği ve SHIMADZU test cihazı.



Şekil 3.5 : Üç nokta eğme deneyinde kullanılan kavak odunu örnekleri.

$$\sigma_E = \frac{3 \times F_{maks} \times l}{2 \times b \times h^2} \quad (3.2)$$

Formül 3.2'de, σ_E , eğilme direnci (N/mm²), F_{maks} , kırılma anındaki kuvvet (N), l , iki destek noktası arasındaki mesafe (mm), b , örnek enine kesit genişliği (mm), h , örnek enine kesit yüksekliği (mm) göstermektedir.

$$E = \frac{\Delta F \times l^3}{4 \times \Delta d \times b \times h^3} \quad (3.3)$$

Formül 3.3'de, E , elastikiyet modülü (N/mm^2), ΔF , elastik bölgede bulunan iki kuvvet noktası arasındaki fark (N), l , iki destek noktası arasındaki mesafe (mm), Δd , elastik bölgede bulunan iki kuvvet noktası karşılında oluşan deformasyonların farkı (mm), b , örnek enine kesit genişliği (mm), h , örnek enine kesit yüksekliğini (mm) göstermektedir.

Liflere paralel basma testi için SHIMADZU test cihazında (Şekil 3.6) dakikada 0,3 mm hız ile örneklerde (Şekil 3.7) kırılma meydana gelene kadar yük uygulanmıştır. Test sonucunda yük-yer değiştirme eğrisi elde edilerek, örneklerin liflere paralel yönde basma direnci ile formül 3.4'e göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.6: Liflere paralel basma testi için kullanılan deney düzeneği ve SHIMADZU test cihazı.



Şekil 3.7: Liflere paralel basma testinde kullanılan kavak ve gürgen odunu örnekleri.

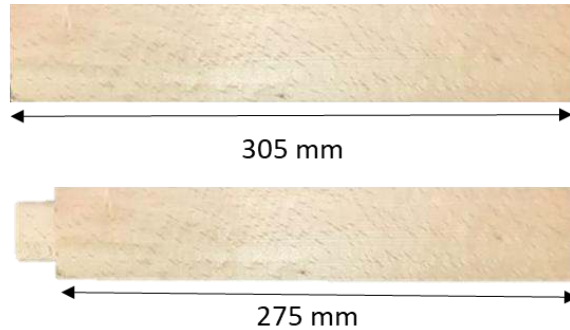
$$\sigma_B = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

Formül 3.4’de, σ_B , basma gerilmesi (N/mm²), F , kırılma anındaki kuvvet (N), A , numunenin enine kesit alanını (mm²) göstermektedir.

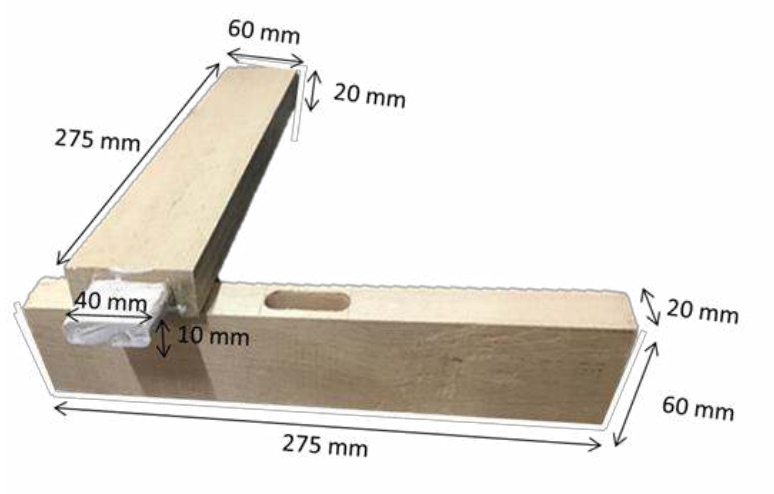
3.5 T-şekilli Zıvanalı Birleştirmelerin Hazırlanması ve Dayanıklılık Testi

3.5.1 Masif malzemeden elde edilen zıvanalı birleştirilmelerin hazırlanması

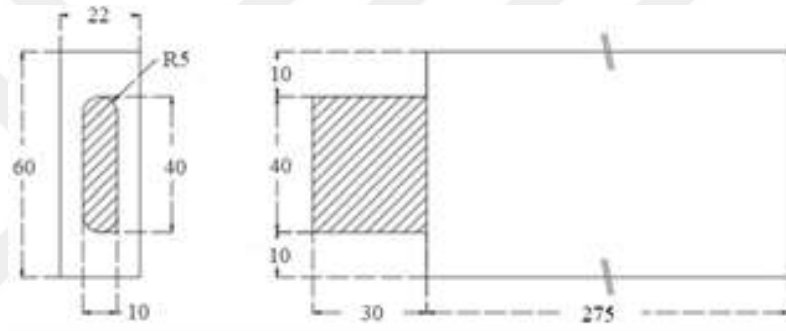
20 x 60 x 305 mm boyutlarındaki gürgen ve kavak odunundan elde edilen parçaların uç kısmında 30 mm uzunluğunda 40 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında erkek zıvanalar işlenmiştir(Şekil 3.8). Yine, malzeme havuzundan 20 x 60 x 275 mm boyutlarında alınan parçalara eşleşen dişi zıvanaların kenarları açılmıştır(Şekil 3.9). Daha sonra polivinil asetat (PVAc) tutkalı zıvana yüzeylerine sürülerek kayıt ve ayak elemanları birleştirilmiştir(Şekil 3.11). Birleştirilen parçalar en az 8 saat süre ile işkence altında bekletilmiştir. T- şekilli birleştirme ve zıvana boyutları Şekil 3.10’de verilmiştir.



Şekil 3.8 : Kayıt elemanı için kullanılan kereste parçası ve erkek zıvana işlenmiş kayıt elemanı



Şekil 3.9 : Erkek zıvana işlenmiş kayıt elemanı ve dişi zıvana işlenmiş ayak elemanı



Şekil 3.10 : Zıvanalı birleştirme konfigürasyonu (mm).

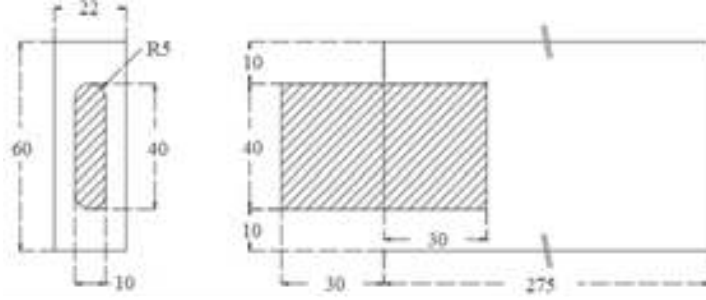


Şekil 3.11 : T-tipi birleştirme örneği hazırlama süreci a. Kayıt ve ayak elemanları b. Ayak elemanında bulunan dişi zıvananın tutkallanması, c. Kayıt elemanında bulunan erkek zıvananın tutkallanması, d. Kayıt üzerindeki zıvananın yuvaya yerleştirilmesi ve e. Birleştirmelerin işkence altında bekletilmesi.

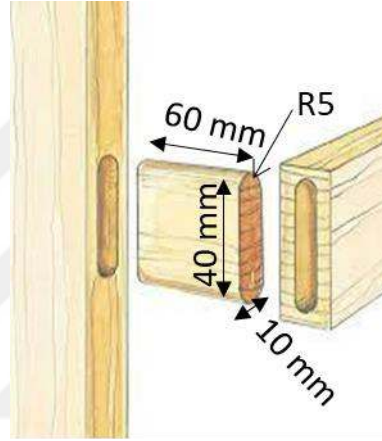
3.5.2 Masif malzemeden elde edilen domino birleştirilmelerin hazırlanması

20 x 60 x 275 mm boyutlarındaki parçalara 30 mm uzunluğunda 40 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında erkek ve dişi zıvanalar açılmıştır. Yoğunlaştırılmamış ve %10, %20 ve %30 yoğunlaştırılmış odunlardan 60 mm uzunluğunda 40 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında zıvanalar hazırlanmıştır. Daha sonra Apel marka su bazlı PVAc (Şekil 3.14) tutkalı zıvana yüzeylerine uygulanarak birleştirilip en az 8 saat süre ile

işkence altında bekletilmiştir. Uygulamada kullanılan tutkal miktarı ölçülmemiştir. T-şekilli birleştirme ve zıvana boyutları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12 : Domino birleştirme konfigürasyonu (mm)



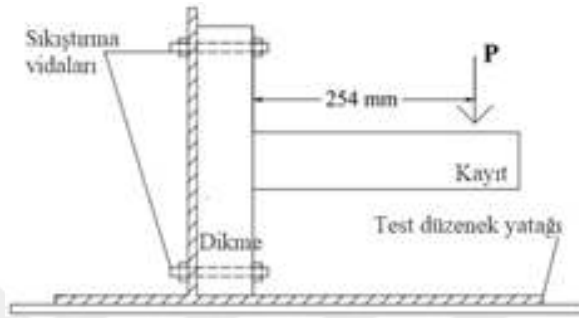
Şekil 3.13 : Dişi zıvanalı ayak elemanı, domino ve dişi zıvanalı kayıt elemanı (URL-9)



Şekil 3.14 : Birleştirmelerde kullanılan Apel marka su bazlı polivinil asetat (PVAc) tutkalı

3.5.3 T-şekilli Birleştirmelerin Dayanıklılık Testi

3.5.1 ve 3.5.2’de belirtildiği gibi hazırlanan örnekler SHIMADZU test cihazına yerleştirilerek düzlem içi statik yüklemeye Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’deki gibi maruz bırakılmıştır. Statik yüklemeye, yükleme kayıt ucundan 248 mm uzaklıktan ve dakikada 12 mm hız ile örneklerde kırılma meydana gelene kadar devam ettirilmiştir. İşlem sonunda elde edilen sonuçlar, formül 3.5 kullanılarak birleştirmelerin moment kapasitesi hesaplanmıştır (Erdil ve diğ, 2005)



Şekil 3.15 : T-tipi birleştirmeler için statik yükleme test düzeneği

$$M = F \times l \quad (3.5)$$

Formül 3.5’de, M , moment (N.m), F , kırılma anındaki kuvvet (N), l , moment kolunu (m) göstermektedir



Şekil 3.16: SHIMADZU test cihazı ve T-tipi birleştirmeler için kullanılan statik yükleme test düzeneği.

3.6 Verilerin İstatistiksel Analizi

Yapılan çalışmada deneyler sonucunda elde edilen verilerin grup içi ve gruplar arası varyasyonları istatistiksel olarak tespit edildi ve gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığı IBM SPSS Statistics 22 veri analiz yazılımından yararlanılarak belirlenmiştir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Masif ve Yoğunlaştırılmış Masif Malzemelerin Bazı Mekanik Özellikleri

Yoğunluk tayini sonuçlarına göre, en yüksek yoğunluğa gürgen odunu ve en düşük yoğunluğa ise kavak odunu sahiptir. Yoğunlaştırma yüzdeleri arttıkça odun yoğunlukları artmıştır. Masif kavak odunu ile sırasıyla %10, %20 ve %30 yoğunlaştırılan odunların yoğunlukları karşılaştırıldığında masif kavağa göre %10,86, %19,56 ve %28,26 oranında artış olduğu görülmüştür. Yoğunlaştırılmış odunda, en yüksek yoğunluk değeri %30 yoğunlaştırılan kavak odunu örneklerine aittir(Çizelge 4.1).

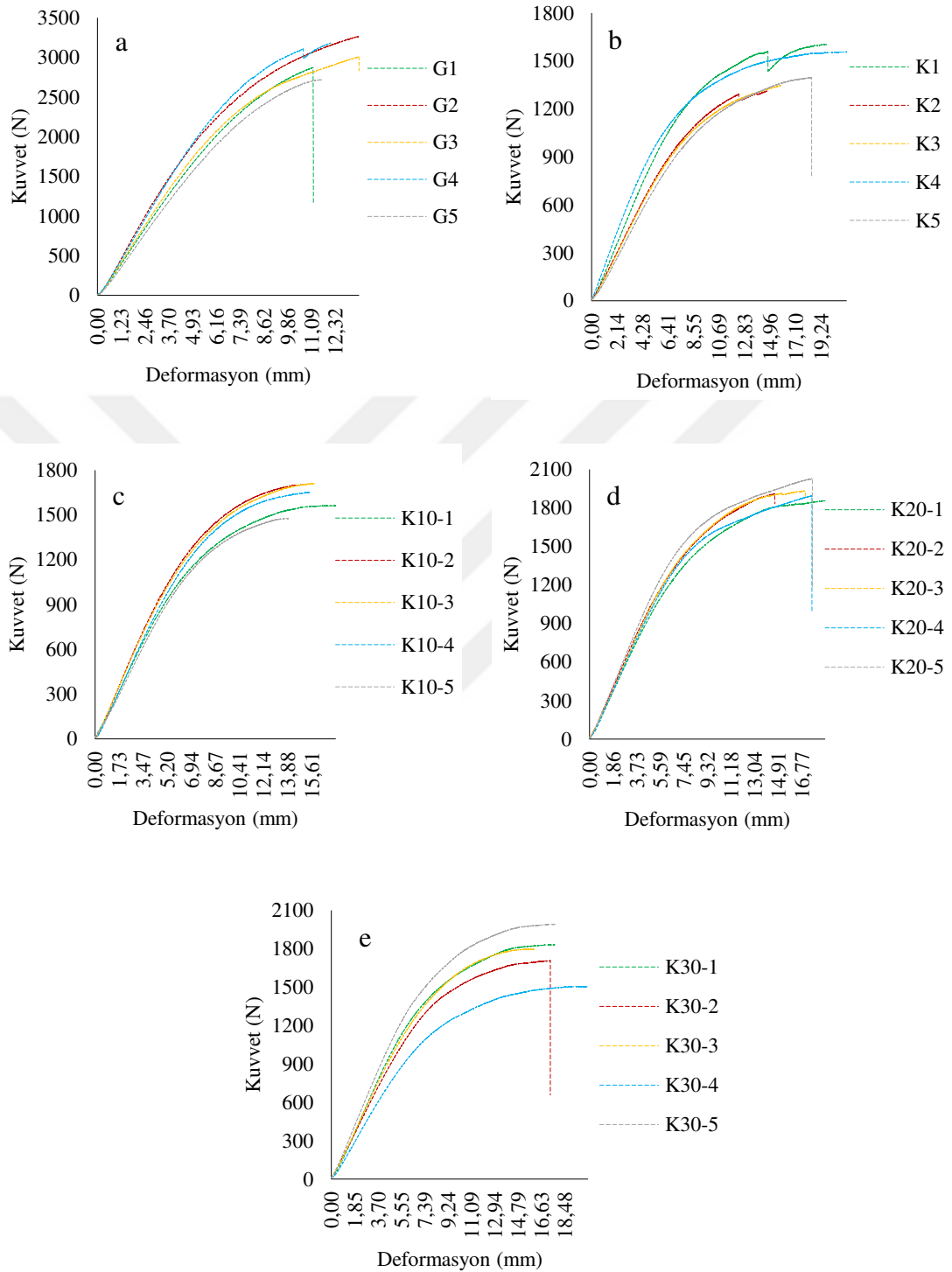
Çizelge 4.1 : Çalışmada kullanılan malzemelerin yoğunlukları (gr/cm²).

Örnek No.	Gürgen	Kavak			
		(%0)	(%10)	(%20)	(%30)
1	0.65	0.44	0.51	0.55	0.60
2	0.68	0.48	0.51	0.54	0.62
3	0.62	0.46	0.51	0.54	0.61
4	0.64	0.45	0.51	0.53	0.61
5	0.64	0.44	0.49	0.59	0.62
Ortalama	0.65	0.46	0.51	0.55	0.61
SD*	0.02	0.02	0.01	0.03	0.009
VK*	%3.90	%3.22	%1.02	%4.52	%1.41

*SD: Standart sapma ve VK: Varyasyon katsayısı

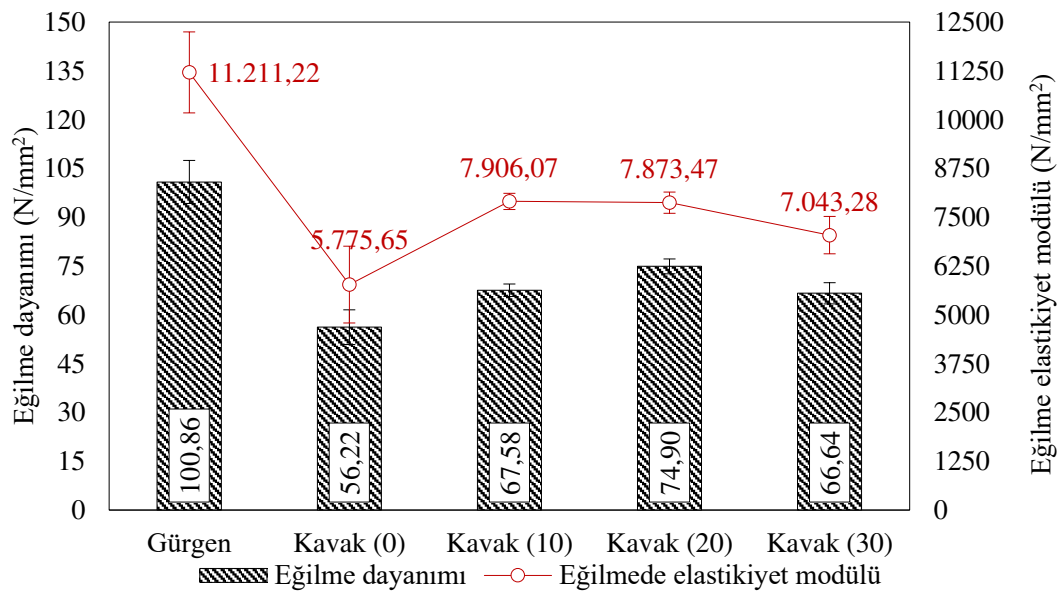
Eğilme testi sonuçlarına göre yük deformasyon grafikleri Şekil 4.1'deki gibidir. Gürgen odunu örnekleri en yüksek kırılma kuvvetlerine en düşük kırılma kuvvetlerine ise kavak odunları sahiptir(Şekil 4.1.a). Kavak odunu örneklerinin gürgen odunlarına göre daha uzun deformasyon uzunluklarında daha düşük kuvvetlerde kırılmalara sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.1.b). %10 yoğunlaştırılmış kavak odunlarında deformasyon uzunluğunun düştüğünü ama örneklerin kırılma kuvvetlerinde artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.1.c). %20 yoğunlaştırılmış kavak örneklerinin deformasyon uzunluğunda küçük bir artış olmuş, kırılma kuvvetlerinde ise artış daha büyük değerlere sahiptir(Şekil 4.1.d). %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu örneklerinde,

yoğunlaştırılmamış odun örneklerinin deformasyon uzunluklarına yakın değerlerde fakat çok daha yüksek kuvvetlerde kırılmalar oluşmuştur(Şekil 4.1.d).

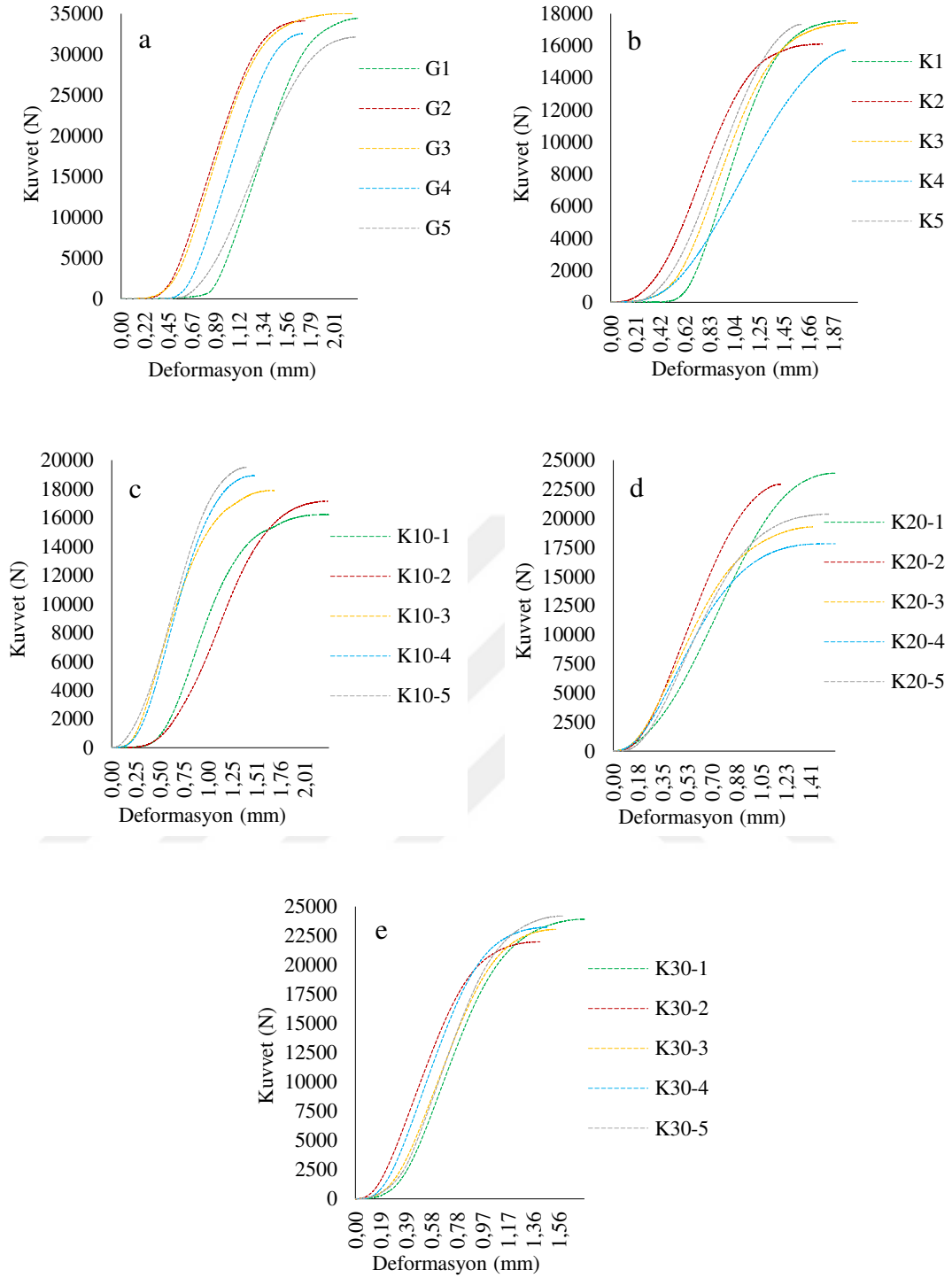


Şekil 4.1 : Eğilme testi sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen, b. Kavak, c. %10 yoğunlaştırılmış kavak, d. %20 yoğunlaştırılmış kavak ve e. %30 yoğunlaştırılmış kavak.

Eğilme dayanımı ve elastikiyet modülü değerlerinde gürgen odunu en yüksek, kavak odunu ise en düşük değeri almıştır. Yoğunlaştırılmış odun örneklerinde en düşük değerler, birbirine yakın değerler alan %20 ve %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu örnekleridir. Yoğunlaştırma işleminden sonra en yüksek değer %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu örneklerindir. %10, %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu ve kavak örneklerinin eğilme dirençleri karşılaştırıldığında masif kavağa göre artış olmuştur fakat gürgen odununun değerine ulaşamamıştır. Yoğunlaştırma oranı (%0'dan %20'ye) kadar arttıkça eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde de artış, %30 yoğunlaştırma seviyesinde ise bu değerlerde düşüş olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Odun örneklerinin eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

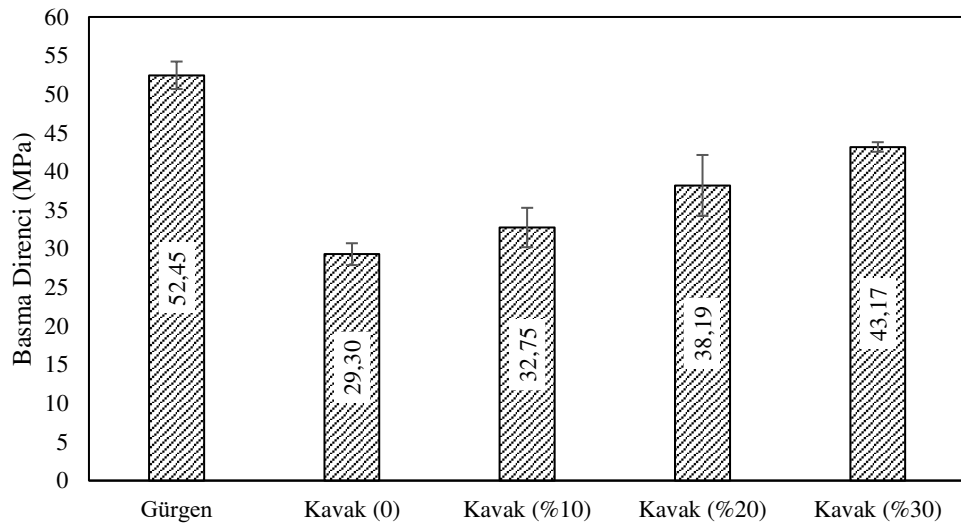


Şekil 4.3 : Liflere paralel basma deneyinde elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen, b. Kavak, c. %10 yoğunlaştırılmış kavak, d. %20 yoğunlaştırılmış kavak ve e. %30 yoğunlaştırılmış kavak.

Liflere paralel basma deney sonuçlarına göre (Şekil 4.3), en yüksek kırılma kuvvetine gürgen odunu örnekleri, en yüksek deformasyon uzunluklarına önce gürgen odunu örnekleri ve sonra ise %20 ve %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu örneklerindir.

Yoğunlaştırma işlemiyle kırılma kuvveti ve deformasyon uzunluğu %10 da artmıştır, %20 yoğunlaştırmada ise kırılma kuvvetindeki artış devam ederken deformasyon uzunluk değerlerinde düşüş olmuştur. %30 yoğunlaştırma işleminde deformasyon uzunlukdeğerlerinde %20 ye göre artış olmuştur. Endüşük kırılma kuvveti kavak odunu örneklerindir.

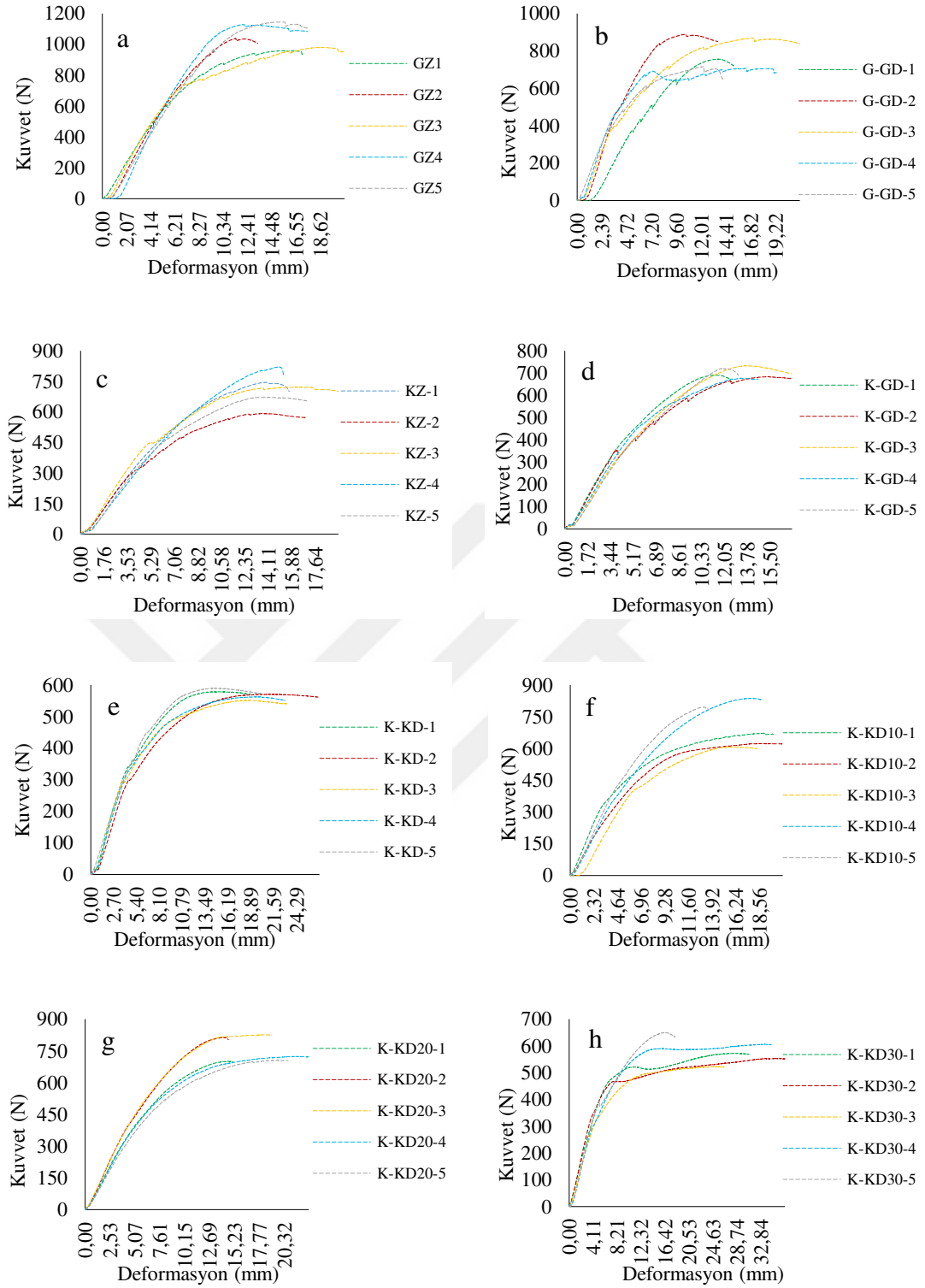
Kavak odunu en düşük basma direnci değerine, en yüksek değere ise gürgen odunu sahiptir. Yoğunlaştırma oranı arttıkça basma direnci değerlerinde artış olmuştur. Yoğunlaştırılmış odun örneklerinde en yüksek değer %30 kavak örneklerine aittir. Yoğunlaştırılmış kavak odunu örnekleri ve gürgen odununun basma dirençleri karşılaştırıldığında masif kavağa göre artış olmuştur ve çalışmada yapılan diğer test bulgularına göre gürgen odununun değerine göre yakın değer aldığı söylenebilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Örneklerin basma direnci değerleri.

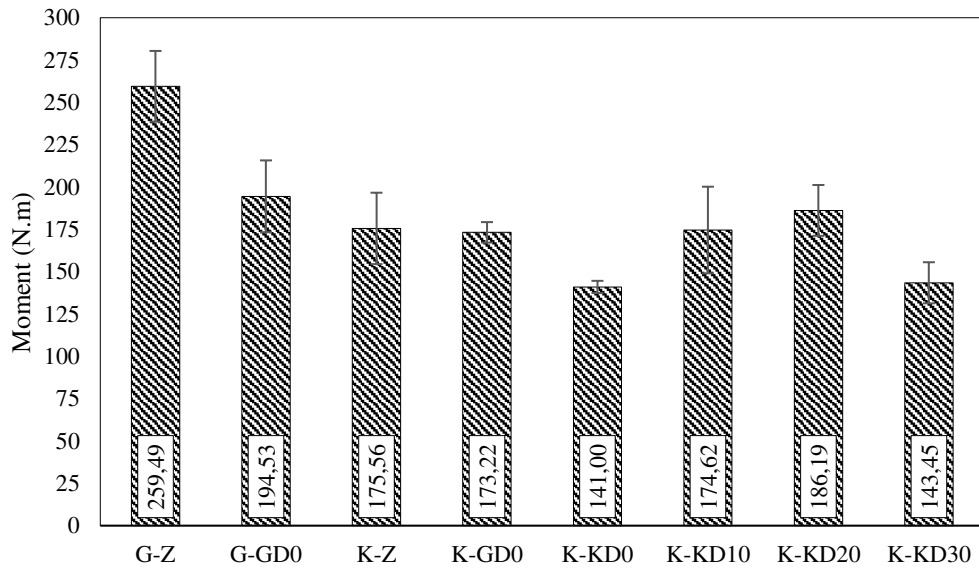
4.2 T-Tipi Birleştirmelerin Dayanımları

T-tipi birleştirmelere ait statik yükleme test sonuçlarına göre elde edilen yük-deformasyon grafikleri Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 : T-tipi birleştirmelerde statik yükleme test sonuçlarına göre elde edilen yük-deformasyon grafikleri a. Gürgen-Zıvana, b. Gürgen-Domino, c. Kavak-Zıvana, d. Kavak-Gürgen domino, e. Kavak-Domino, f. Kavak-%10 yoğunlaştırılmış kavak domino, g. Kavak-%20 yoğunlaştırılmış kavak domino ve h. Kavak-%30 yoğunlaştırılmış kavak domino.

T-tipi birleştirmelerin yük deformasyon grafiğine (şekil 4.5) göre, grge-zıvana birleştirmeleri en yüksek kırılma kavvetine sahiptir. En yüksek deformasyon uzunluğuna ise %30 yoğunlaştırılmış kavak odunundan yapılmış kavak dominolu birleştirmelerindir. Grge odunundan yapılmış grge odunu dominolu birleştirmelerde kırılma kuvvetlerinde azalma olurken deformasyon uzunluğunda artış olmuştur. Kavak odunundan yapılmış zıvanalı birleştirmelere göre Kavak odunundan yapılmış kavak odunu dominolu birleştirmelerde kırılma kuvvetlerinde azalma olurken deformasyon uzunluğunda artış olmuştur. Kavak odunundan yapılmış zıvanalı birleştirmelere göre kavak odunundan yapılmış grge odunu dominolu birleştirmelerde kırılma kuvvetlerinde ve deformasyon uzunluğunda azalma olmuştur. Kavak odunundan yapılmış zıvanalı birleştirmelere göre kavak odunundan yapılmış %10 ve 20 yoğunlaştırılmış kavak dominolu birleştirmelerde kırılma kuvvetinde artış olmuş %30 yoğunlaştırılmış dominolu birleştirmelerde ise kırılma kuvveti düşük değerler almıştır. Yoğunlaştırmaya oranına göre %10 ve %20 yoğunlaştırmada deformasyon uzunlukları artmış, %30 yoğunlaştırmada azalmıştır.



şekil 4.6. T-tipi birleştirmelerin moment değerleri.

Grge odunu kullanılan T-tipi birleştirmelerde en yüksek dayanıma sahiptir. İkinci ve nc en yüksek dayanıma sırasıyla grge odunu dominolu (G-GD0) ve %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan birleştirmeler sahiptir. En düşük dayanım kavak odunu zıvanalı t-tipi birleştirmelerindir. Yoğunlaştırılmış odun kullanılan dominolu birleştirmelerde en yüksek dayanıma K-KD20 birleştirmesinde elde edilmiştir. Yoğunlaştırılmış odun kullanılan dominolu t-tipi birleştirmelerde %10

yoğunlaştırılmış odun kullanılan t-tipi birleştirmeler, %30 yoğunlaştırılmış odun kullanılan T-tipi birleştirmelerden daha dayanıklıdır. %10 yoğunlaştırılmış odun kullanılan domino zıvanalı, kavak odunu kullanılmış zıvanalı ve gürgen odunu kullanılan domino zıvanalı t-tipi birleştirmelerin dayanımları aynıdır. %20 yoğunlaştırmadan sonra domino zıvanalı t-tipi birleştirmelerde dayanım düşmüştür. Kavak domino zıvanalı t-tipi birleştirmeler ile %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu domino zıvanalı t-tipi birleştirmelerin dayanım değerleri yakındır (şekil 4.6).

4.3 Verilerin istatistiksel analizi

Yoğunlaştırılmış kavak odunu ile masif gürgen ve kavak odunlarında meydana gelen değişikliğin eğilme direnci, liflere paralel basma direnci ve elastikiyet modülü üzerine etkisi istatistiksel veri analizi ile incelenmiştir. Bununla birlikte, bu malzemelerden elde edilen zıvanalı ve domino mobilya birleştirmelerinin moment dayanımı üzerine etkisinde incelenmiştir.

Çizelge 4.2’de malzemelerin mekanik deneyleri sonucunda elde edilen basma dayanımı, eğilme direnci ve elastikiyet modülü, varyans analizinde bağımsız değişkenin 0,05’den daha düşük p-değerlerine sahip olmasından dolayı gruplar arasında yoğunlaştırmanın istatistiksel açıdan bir öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Malzemelerin mekanik özellikleri için varyans analizi.

Mekanik Özellikler		Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamaların Karesi	F-değeri	p-değeri
Basma Dayanımı (N/mm ²)	Gruplar Arası	1659,63	4	414,90	75,01	,000
	Gruplar içi	110,62	20	5,53		
	Toplam	1770,25	24			
Eğilme Direnci (N/mm ²)	Gruplar Arası	5654,22	4	1413,55	77,06	,000
	Gruplar içi	366,86	20	18,34		
	Toplam	6021,09	24			
Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Gruplar Arası	80962816,48	4	20240704,12	42,36	,000
	Gruplar içi	9556136,12	20	477806,80		
	Toplam	90518952,61	24			

Malzemenin basma dayanımı, eğilme direnci ve elastikiyet modülü verilerinde varyansların homojenliği Levene testi ile incelenmiş olup, analiz sonucu Çizelge 4.3’de verilmiştir. Analiz sonucunda göre, basma dayanımı (Levene 4,69; p-value = 0,008 < 0,05), eğilme direnci (Levene 6,82; p-value = 0,001 < 0,05) ve elastikiyet modülü (Levene 5,68; p-value = 0,003 < 0,05) verileri için varyansların homejen olmadığını göstermektedir. Bu yüzden, Tamhane’nin T2 istatistikleri ortalama karşılaştırma için kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 : Varyansların homojenlik testi.

Mekanik Özellikler	Levene İstatistik	Serbestlik Derecesi 1	Serbestlik Derecesi 2	p-değeri
Basma Dayanımı (N/mm ²)	4,69	4	20	,008
Eğilme Direnci (N/mm ²)	6,82	4	20	,001
Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	5,68	4	20	,003

Basma dayanımı değerlerinin %95 güven aralığında gruplar arasındaki farklar Tamhane’nin T2 istatistiksel analizi ile Çizelge 4.4’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gürgen odunun ortalama basma dayanımı kavak ve yoğunlaştırılmış kavak odunundan farklı olduğu, kavak odununun ortalama basma dayanımı ile %10 ve %20 yoğunlaştırılmış kavak odunları ile anlamlı bir farklılık olmadığı ve %20 yoğunlaştırılmış kavak odununun ortalama basma dayanımı ile %30 yoğunlaştırılmış kavak odununu arasında bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Basma Dayanımı için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.

Bağımsız Değişken	N	Ortalama	Gruplama*
Gürgen	5	52,45	A
Kavak	5	29,30	B
Kavak (%10)	5	32,75	B
Kavak (%20)	5	38,19	B C
Kavak (%30)	5	43,17	C

**Aynı harfe sahip gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.*

Eğilme direnci değerlerinin %95 güven aralığında gruplar arasındaki farklar Tamhane'nin T2 istatistiksel analizi ile Çizelge 4.5'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gürgen odunun ortalama eğilme direnci kavak ve yoğunlaştırılmış kavak odunundan farklı olduğu ve kavak odununun ortalama eğilme direnci ile %10 ve %30 yoğunlaştırılmış kavak odunkiler ile anlamlı bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5 : Eğilme direnci için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.

Bağımsız Değişken	N	Ortalama	Gruplama*
Gürgen	5	100,86	A
Kavak	5	56,22	B
Kavak (%10)	5	67,58	B
Kavak (%30)	5	66,64	B
Kavak (%20)	5	74,90	C

**Aynı harfe sahip gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.*

Elastikiyet modülü değerlerinin %95 güven aralığında gruplar arasındaki farklar Tamhane'nin T2 istatistiksel analizi ile Çizelge 4.6'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gürgen odunun ortalama elastikiyet kavak ve yoğunlaştırılmış kavak odunundan farklı olduğu ve yoğunlaştırmanın kavak odununun elastikiyet modülü üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Elastikiyet modülü için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.

Bağımsız Değişken	N	Ortalama	Gruplama*
Gürgen	5	11211,22	A
Kavak (%10)	5	7906,07	B
Kavak (%20)	5	7873,47	B
Kavak (%30)	5	7043,28	B
Kavak	5	5775,65	B

**Aynı harfe sahip gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.*

Çizelge 4.7'de T-tipi birleştirmelerin statik yükleme sonucunda elde edilen moment dayanımı için varyans analizinde bağımsız değişkenin 0,05'den daha düşük p-değerine

sahip olmasından dolayı gruplar arasında yoğunlaştırmanın istatistiksel açıdan bir öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.7 : T-tipi birleştirmelerin moment dayanımı için varyans analizi.

	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamaların Karesi	F-değeri	p-değeri
Gruplar Arası	47557,07	7	6793,87	22,57	,000
Gruplar içi	9632,79	32	301,03		
Toplam	57189,87	39			

Birleştirmelerin moment dayanımı verilerinde varyansların homojenliği Levene testi ile incelenmiş olup, analiz sonucu Çizelge 4.8’de verilmiştir. Analiz sonucunda göre, moment dayanımı (Levene 4,47; p-value = 0,001 < 0,05) verileri için varyansların homojen olmadığını gözlemlenmiştir. Bu yüzden, Tamhane’nin T2 istatistik analizi ortalama karşılaştırma için kullanılmıştır.

Çizelge 4.8 : T- Tipi birleştirmeler için varyansların homojenlik testi.

Levene İstatistik	Serbestlik Derecesi 1	Serbestlik Derecesi 2	p-değeri
4,47	7	32	,001

Birleştirmeleri moment dayanımı değerlerinin %95 güven aralığında gruplar arasındaki farklar Tamhane’nin T2 istatistiksel analizi ile Çizelge 4.9’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gürgen odunun elde edilen zıvanalı (G-Z) birleştirmenin ortalama moment dayanımı diğer birleştirme tiplerinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. %20 yoğunlaştırılmış kavak kullanılan domino birleştirme ile %10 yoğunlaştırılmış kavak kullanılan domino birleştirme arasında anlamlı bir farklılık yokken, yoğunlaştırılmamış ve %30 yoğunlaştırılmış kavak kullanılan domino birleştirmeler ile anlamlı bir farklılık gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.9 : Birleştirmelerin moment dayanımı için Tamhane testi ile ortalama karşılaştırma.

Birleştirme tipi	N	Ortalama	Gruplama
G-Z	5	259,49	A
G-GD0	5	194,53	B
K-KD20	5	186,19	B
K-Z	5	175,56	B C
K-KD10	5	174,62	B C
K-GD0	5	173,22	B C
K-KD30	5	143,45	C
K-KD0	5	141,00	C

5. SONUÇ

Yoğunlaştırma işleminde en yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü %20 yoğunlaştırılmış kavak odununudur. %20 yoğunlaştırma oranından sonra eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Birleştirmelerde %20 yoğunlaştırmadan (186,19 N.m) sonra %30 yoğunlaştırılmış (143,45 N.m) domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerde dayanım düşmüştür. Yoğunlaştırılmış odunlarda su iticilik artmaktadır. Yoğunlaştırma yöntemi ve işlemde kullanılan sıcaklık, kimyasal vb. diğer faktörlere bağlı olarak odun yüzeyinde değişimler meydana gelmektedir. Yoğunlaştırma işlemiyle odun yüzeyindeki hücreler sıkışarak pürüzsüz yüzey oluşturur ve su, tutkal ya da oduna yapılacak son işlemlere (boyama, vernikleme, emprenye gibi) engel olduğu bilinmektedir (Diouf ve diğ, 2011; Tosun ve Sofuoğlu, 2021). Gasparik ve Gaff (2015), ısıtılmış ve plastikleştirilmiş odunun daha elastik ve şekillendirilebilir ve soğukta yoğunlaştırılmış (20°C'de) odunun ise hücre yapısındaki kırılmaya karşı daha hassas yapıda olduğunu belirtmiştir. Yoğunlaştırma oranındaki artış, yoğunlaştırma işleminde kullanılan sıcaklığın odunu plastikleştirecek derecede ve sürede uygulanmamış olması %30 yoğunlaştırılmış dominolu birleştirmelerin %10 (174,62 N.m) ve %20 (186,19) yoğunlaştırılmış dominolu birleştirmelerden daha düşük dayanıma sahip olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yoğunlaştırma oranıyla odun yüzeyinde oluşan pürüzsüz ve boşluksuz yapı tutkalın hücrelere geçişine engel olarak odun ve tutkal arasında oluşacak kimsayal bağı engellemiş olabilir.

Kavak domino zıvanalı T-tipi birleştirmeler (141 N.m) ile %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerin (143,45 N.m) dayanım değerleri yakındır. Yoğunlaştırma oranlarına göre birleştirme dayanımlarının karşılaştırılması yapıldığında içerisinde en iyi dayanım %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu T-tipi birleştirmeleridir. %20 yoğunlaştırmada odun yoğunluğuna bağlı olarak direnci artmış ve odun yüzeyinde yoğunlaştırma ile hücre yapısında oluşan hasar tutkal emilimine de engel olmayacak seviyede olduğu için yüksek bir birleştirme dayanımı elde edilebilmiştir.

T-tipi domino zıvanalı birleştirmelerde gürgen odunu yerine %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılabilir. Kavak domino zıvanalı T-tipi birleştirmeler ile %30 yoğunlaştırılmış kavak odunu domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerin dayanım değerleri yakındır. Yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan T-tipi domino zıvanalı birleştirmelerinde %20 yoğunlaştırma işleminden sonraki seviyede birleştirme dayanımında dūřuř gürölmektedir.

Kavak odunu zıvanalı T-tipi birleştirmeler ile gürgen odunu domino zıvanalı ve %10 yoğunlaştırılmış kavak odunu domino zıvanalı birleştirmelerin dayanımları aynıdır. Çalışmada istatistik sonuçlarına göre %10 yoğunlaştırma işlemi birleştirme dayanımı açısından anlamsız bulunmuştur. Bu üç birleştirme içerisinden bir tercih yapılması gerekir ise kavak zıvanalı T-tipi birleştirmenin kullanılması hem ekonomik ve hem de işlem kademesi açısından daha uygundur.

Gürgen zıvanalı birleştirmeler, gürgen odunu kullanılmış gürgen domino zıvanalı birleştirmelerden daha dayanıklıdır. Kavak odunu zıvanalı birleştirmelerin dayanımları, kavak odunu kullanılmış kavak odunu domino zıvanalı birleştirmelerin dayanımı daha dūřüktür.

Kavak odunu gibi dayanımı dūřük olduğu için tercih edilmeyen türler yoğunlaştırılarak dayanımı yüksek odun türleri yerine domino zıvanalı T-tipi birleştirmelerde kullanılabilecektir.

Kavak odununun dayanımı yüksek odun türlerinin yerine kullanılabilmesi çalışmanın amaçları idi ve literatürde genellikle domino zıvanalı birleştirmelerde dayanımı yüksek olan kayın odunu gibi türler kullanılmıştır. Aman ve dię. (2008), dominolu birleştirmelerin eğilme momentinin, kavelalı ve zıvanalı birleştirmeler arasında olduğunu belirtmiştir (Derikvand, 2014’de atıfta bulunulduğu gibi). Çalışmamızda da zıvanalı birleştirmelerin dayanımı, yoğunlaştırılmamış dominolu birleştirmelerin dayanımından yüksektir literatür ile aynı sonuç bulunmuştur. %20 yoğunlaştırılmış kavak odunu kullanılan domino zıvanalı birleştirmelerde (186,19 N.m), kavak odunu zıvanalı (175,56 N.m) ve kavak odunu kullanılmış gürgen odunu dominolu (173,22 N.m) birleştirme dayanımından daha yüksek değer elde edilmiştir. Gürgen odunu kullanılmış gürgen domino zıvanalı birleştirmelerden (194,53N.m) ise %20 yoğunlaştırılmış domino zıvanalı birleştirmelerin dayanımı daha dūřüktür.

Basma deneylerinde domino zıvanalı birleştirmelerin metal bağlantılı birleştirmelerden yüksek dayanımda ve aparat fark etmeksizin T-tipi birleştirmelerin L-tipi birleştirmelere göre dayanımlarının yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Baş ve diğ, 2023, Preprint). Derikvand ve Ebrahimi (2014), T-tipi birleştirmelerde domino zıvana uzunluğu ve kalınlık artışını birleştirme bklme dayanımını arttırdığını belirtmiştir. Literatürde eleman boyutlarındaki farklılık karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple çalışmanın devamlılığı için T-tipi birleştirmelerde farklı kalınlık ve uzunluklarda yoğunlaştırılmış kavak odunundan domino zıvana kullanılarak dayanım değerleri incelenebilir.

Yoğunlaştırma işleminde kullanılan odun türleri için sıcaklık ve nem önemli fatrlerdir. Çalışmalarda kullanılan odun türü ve yoğunlaştırma işleminde uygulanan yöntem ve yöntem içerisinde etki eden faktörlere göre yoğunlaştırma oranlarında farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmanın nerisi olarak bu çalışmada yapılmamış olan yoğunlaştırılmış ve işlenmemiş numuneler ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak anatomik ölçümleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Balıkcı, E., Kuskun, T., Kasal, A., & Ziya Erdil, Y.** (2023). Shear force capacities of h-type furniture joints constructed of various heat-treated wood species, *Drvna industrija*, 74(1), 33-42.
- Akgül, S., Bachilava, M., Velioğlu, E., Özdemir, E., ve Goginashvili, N.** (2022). Gürcistan Kavakçılığını Geliştirme Projesi Fidanlık Aşaması Sonuçları, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(2), 194-205.
- Anonim**, A KID Report : 2017 Children Product Recalls and 2016 Recall. 2017.
- Atamer, Y. M., ve Güner, G. K.** (2021). Ürün güvenliği ve teknik düzenlemeler kanunu ile imalatçının sorumluluğu konusu Türk hukuku açısından çözülmüş müdür?, *Ankara Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Dergisi*, 70(2), 543-588.
- Ateşoğlu, A., Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Özlüsoylu, Ş., Tonbul, H., Yılmaz, E. Ö., ve Öztürk, M. Y.** (2022). Türkiye'de Hızlı Büyüyen Türlere Ait Spektral Kütüphane Kurulması: Kavak Türleri Çalışması, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 324-338.
- Aydın, İ.** (2010). Ürün ekolojisi: mobilya oluşum ve kullanımında kapalı ortam hava kalitesinin incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Balıkcı, E.** (2016). Isıl işlem görmüş ağaç malzeme ile hazırlanan çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmelerinin mekanik özellikleri. (Yüksek lisans tezi). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Baş, S., Csiha, C., & Dénes, L.** (2023). Performance comparison of wood furniture joints fastened with domino tenons and connectors. 09 March 2023, Preprint (Version 1) available at Research Square [https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2661369/v1]
- Çağatay, K.** (2011). Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmelerinde farklı tekniklerin mukavemet özelliklerinin karşılaştırılması. (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çağatay, K., Hasan, E. F. E., Kasal, A., ve Kuşkun, T.** (2012). T-tipi mobilya birleştirmelerinde ağaç türü ve birleştirme yönteminin moment taşıma kapasitesi ve elastikiyet üzerindeki etkileri, *Politeknik Dergisi*, 15(4), 161-169.
- Çağatay, K., ve Efe, H.** (2018). T-tipi kavelalı birleştirme elemanlarının eğilme yükü altındaki momentlerinin farklı yöntemlerle tespiti. V. Uluslararası Mobilya Kongresi, Eskişehir, Türkiye

- Çati, K., Koçoğlu, C. M., ve Gelibolu, L. (2010).** Müşteri beklentileri ile müşteri sadakati arasındaki ilişki: beş yıldızlı bir otel örneği, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(1), 429-446
- Çoban, M. (2011).** Emprenye işleminin gizli zıvanalı ahşap birleştirmenin performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demirel, G. K. (2015).** Ahşap korumada çevre dostu modifikasyon yöntemleri, Selçuk-Teknik Dergisi, 14(2), 1016-1032.
- Demirel, S., & Sen Er, R. (2022).** Evaluation and comparison of control and heat treated L-shape furniture joints produced from Scotch pine and ash wood under static bending and cyclic fatigue bending loadings, Maderas. Ciencia y tecnología, 24.
- Demirel, S., ve Ergün, B. (2015).** Mobilya test tekniklerinin ülkemizdeki durumu ve uygulanmasının önemi, Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 14(2), 324-332.
- Derikvand, M., & Ebrahimi, G. (2014).** Strength performance of mortise and loose-tenon furniture joints under uniaxial bending moment. Journal of forestry research, 25, 483-486.
- Derikvand, M., Smardzewski, J., Ebrahimi, G., Dalvand, M., & Maleki, S. (2013).** Withdrawal force capacity of mortise and loose tenon T-type furniture joints, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37(3), 377-384.
- Diouf, P. N., Stevanovic, T., Cloutier, A., Fang, C. H., Blanchet, P., Koubaa, A., & Mariotti, N. (2011).** Effects of thermo-hygro-mechanical densification on the surface characteristics of trembling aspen and hybrid poplar wood veneers, Applied Surface Science, 257(8), 3558-3564.
- Düzkale Sözbir, G., & Bektaş, İ. B. (2017).** The effect of heat modification and densification on physical properties of poplar wood, Drvna industrija, 68(4), 315-321.
- Eckelman, C. A. (1969).** Engineering concepts of single-pin dowel joint design, Forest Prod J.
- Eckelman, C. A. (1971).** Bending strength and moment-rotation characteristics of two pin moment-resisting dowel joints, Forest Prod J.
- Efe, H. (1992).** Mobilya endüstrisinde bağlantı elemanı olarak kullanılan soket-vidanın mukavemet özellikleri.
- Efe, H. (1994).** Modern mobilya çerçeve konstrüksiyon tasarımında geleneksel ve alternatif bağlantı tekniklerinin mekanik davranış özellikleri. (Doktora tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Efe, H., Kasal, A., Çağatay, K., ve Kuşkun, T. (2012).** T-tipi mobilya birleştirmelerinde çeşitli birleştirme yöntemlerinin çekme mukavemetine etkileri, Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 12(2), 251-260.

- Erdil, Y. Z., Kasal, A., & Eckelman, C. A.** (2005). Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints, *Forest products journal*, 55(12), 209.
- Gaff, M., & Gařparík, M.** (2015). Influence of densification on bending strength of laminated beech wood, *BioResources*, 10(1), 1506-1518.
- Gařparík, M., Gaff, M., řafaříková, L., Vallejo, C. R., & Svoboda, T.** (2016). Impact bending strength and Brinell hardness of densified hardwoods, *BioResources*, 11(4), 8638-8652.
- Haygreen, J. G., & Daniels, D. H.** (1969). The simultaneous drying and densification of sapwood, *Wood and Fiber Science*, 38-53.
- Hibbeler, R. C.** (2012). *Structural Analysis*. 8 edition in SI Units.
- International ThermoWood Association,** (2003). Helsinki: International ThermoWood Association. 66p.
- İmirzi, H. Ö.** (2000). Çerçeve konstrüksiyonlu masif mobilya “T” birleştirmelerinin mekanik özellikleri. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jennings, J. D., Zink-Sharp, A., Kamke, F. A., & Frazier, C. E.** (2005). Properties of compression densified wood, Part I: bond performance, *Journal of adhesion science and technology*, 19(13-14), 1249-1261.
- Kasal, A., Hasan, E. F. E., Kuşkun, T., & Erdil, Y. Z.** (2015). Çeşitli ölçülerde zıvana kullanılmış t-tipi mobilya birleştirmelerinin mekanik davranış özelliklerinin sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 785-801.
- Krisdianto, K., & Balfas, J.** (2005). Anatomical changes of Kekabu wood (*Bombax ceiba* L.) due to mechanical densification, *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2(1), 27-36.
- Kurtoğlu, A.** (1986). Mobilya stillerinin tarihi gelişimi, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 36(3), 70-91.
- Lian, H., Zhang, Y., Zhou, Z., Xu, Y., Gu, Z., Zhang, X., & Bi, H.** (2023). Fabrication of high specific strength densified bamboo materials using a facile and sustainable method, *Journal of Materials Science*, 1-14.
- Malkoçoğlu, A.** (2015). Mobilya endüstrisi ders notları (basılmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Neyses, B., & Sandberg, D.** (2016). Application of a new method to select the most suitable wood species for surface densification, In *Forest Products Society International Convention*, Forest Products Society.
- Polat, C.** (2021). Türk ve Avrupa Birliđi hukukunda ürün sorumluluğu, *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakóltesi Dergisi*, 70(4), 973-1041.
- Rademacher, P., Báder, M., Németh, R., Rousek, R., & Paril, P.** (2017). European co-operation in wood research-From native wood to engineered materials part 2: densification modification in product development.

- Ratnasingam, J., & Florin, I.** (2013). Load-bearing characteristics of heat-treated rubberwood furniture components and joints, *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(2), 287-289.
- Riggio, M., Sandak, J., & Sandak, A.** (2016). Densified wooden nails for new timber assemblies and restoration works: a pilot research, *Construction and Building Materials*, 102, 1084-1092.
- Scharf, A., Neyses, B., & Sandberg, D.** (2022). Hardness of surface-densified wood. Part 1: material or product property?, *Holzforschung*, 76(6), 503-514.
- Smardzewski, J., İmirzi, H. Ö., & Döngel, N.** (2015). Method for substitute modulus determination of furniture frame construction joints, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(5), 775-785.
- Spinelli, R., Kovac, B., Heger, P., Helig, D., Heil, B., Kovács, G., & Magagnotti, N.** (2022). Manipulating grading strategy for the efficient harvesting of industrial poplar plantations, *International Journal of Forest Engineering*, 33(2), 98-107.
- Şenol, S., & Budakçı, M.** (2016). Mechanical wood modification methods, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53-59.
- Tankut, A. N., & Tankut, N.** (2005). The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(6), 493-498.
- Tankut, N., Tankut, A. N., & Zor, M.** (2014). Mechanical properties of heat-treated wooden material utilized in the construction of outdoor sitting furniture, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(1), 148-158.
- Tosun, M., ve Sofuoğlu, S. D.** (2021). Ağaç malzemenin sıkıştırılarak yoğunlaştırılması konusunda yapılan çalışmalar, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 91-102.
- TSE (2006).** Ağaç mobilya- Terimler ve tanımlar (TS 4521) Standard Detayı. Retrieved from <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084103118110100122076043076114106082047068053101055112110103057115115103116055069085083053085107108081119073116079050054087120102053107120114100071106047116108121118112097122073107098055113105050056078098105082043074081067056110082051052043119053051083088116065075087048081121108054081047109082079119048119113104104090113073050080107099082119053072110050089061>
- Uysal, E. R.** (2019) Endüstriyel mobilya (sandalye) tasarımında sağlamlık ve estetik optimizasyonu. (Yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uysal, M.** (2019). A rational approach to estimate reasonable design values of selected joints by using lower tolerance limits. (Doctoral dissertation). Purdue University.

- Velioğlu, E., & Akgül, S. (2016).** Poplars and willows in Turkey: country progress report of the National Poplar Commission. Time period: 2012-2015. www.kavakcilik.ogm.gov.tr
- Velioğlu, E., Bostancı, Y. S., & Akgül, S. (2020).** Poplars, willows, and other fast-growing trees in Turkey: country progress report for the international poplar commission, Time Period: 2016 – 2019, Poplar and Fast-Growing Forest Trees Research Institute, İzmit / Turkey.
- Xu, X., & Tang, Z. (2012).** Vertical compression rate profile and dimensional stability of surface-densified plantation poplar wood, *Lignocellulose*, 1(1), 45-54.
- Yörür, H. (2012).** Ahşap malzemeden üretilen köşe birleştirmelerin simülasyon (ANSYS) ortamında teknolojik özelliklerinin belirlenmesi.
- Yu, Y., Zhang, F., Zhu, S., & Li, H. (2017).** Effects of high-pressure treatment on poplar wood: Density profile, mechanical properties, strength potential index, and microstructure, *BioResources*, 12(3), 6283-6297.
- Záborský, V., Borůvka, V., Kašičková, V., & Gaff, M. (2018).** The effect of selected factors on domino joint stiffness, *BioResources*, 13(2), 2424-2439.
- Zhou, Q., Chen, C., Tu, D., Zhu, Z., & Li, K. (2019).** Surface densification of poplar solid wood: effects of the process parameters on the density profile and hardness, *BioResources*, 14(2), 4814-4831.
- Url-1** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mobilya#cite_note-2>, erişim tarihi 29.9.2022
- Url-2** <<https://sozluk.gov.tr/>>, erişim tarihi 29.9.2022
- Url-3** <<https://Urunguvenligi.Gov.Tr/PGD/Index.Xhtml.>>, erişim tarihi 30.10.2022
- Url-4** <<https://www.urunguvenligi.org/mevzuat/#1544773595064-def8a4e7-ab77>>, erişim tarihi 02.10.2022
- Url-5** <<https://www.urunguvenligi.org/proje-yayinlari/>>, erişim tarihi 02.10.2022
- Url-6** <<https://ugdgm.ticaret.gov.tr/data/6107bed913b87644444bcf0d/urun.guvenligi.kanun.pdf>>, erişim tarihi 10.9.2022
- Url-7** <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>, erişim tarihi 06.2023
- Url-8** <<https://www.1825interiors.com.au/products/vintage-dining-chair>>, erişim tarihi 04.06.2023
- Url-9** <<https://www.woodworkersjournal.com/loose-tenon-jig-question/>>, erişim tarihi 29.07.2023

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gizem SAYAR

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

-
-

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Uysal M. & Sayar G. (2022). Enhancing Strength of the Mortise and Tenon Joints with Densified Wood. In 30th International Conference, Research for Furniture Industry, Poznan, Poland (Online), September 22-23.

Sayar G. & Uysal M. (2022). Densification Effect on Wood Material. In 2nd International Congress On Multidisciplinary Natural Sciences and Engineering, Ankara, Turkey, December 1-2.