

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİFLEVHA'NIN (MDF) ELASTİK SABİTLERİNİN
ULTRASONİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ

Hasan KAYA

Danışman
Prof. Dr. Birol ÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA- 2017



© 2017 [Hasan KAYA]

TEZ ONAYI

Hasan KAYA tarafından hazırlanan " **Liflevha'nın (MDF) Elastik Sabitlerinin Ultrasonik Yöntemle Belirlenmesi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Birol ÜNER

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

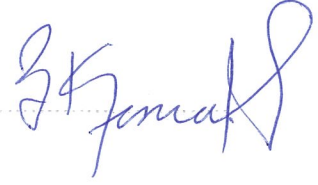
Bartın Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL

Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hasan KAYA



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. MDF'nin Tanımı	3
2.2. Dünya'da MDF Endüstrisinin Genel Durumu	4
2.3. Türkiye'de MDF Endüstrisinin Tarihsel Gelişimi	5
2.4. Türkiye'de MDF Endüstrisinin Genel Durumu	5
2.5. MDF'nin Özellikleri.....	6
2.6. MDF'nin Kullanım Yerleri.....	8
2.7. MDF'nin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler	9
2.7.1. Üretim faktörleri	9
2.7.1.1 Ağaç türü.....	9
2.7.1.2. Odunun yoğunluğu.....	10
2.7.1.3. Liflerin karakteristik özellikleri	13
2.7.1.4. Odunun pH değeri	15
2.7.1.5. Odundaki ekstraktif maddeler	15
2.7.1.6. MDF kalınlığı.....	16
2.7.1.7. Kabuk	16
2.7.1.8 Katkı maddeleri.....	16
2.7.1.9 Levha yoğunluğu.....	17
2.7.2. Kullanım yeri faktörleri	18
2.7.2.1. Rutubet	18
2.7.2.2. Sıcaklık.....	20
2.7.2.3. Yükleme süresi.....	20
2.7.2.4. Yükleme hızı	21
2.7.2.5. Sünme ve gevşeme	22
2.7.2.6. Yorulma	23
2.8. Levhalarda Anizotropik Davranış	24
2.9 Tahribatsız Muayene	27
2.9.1. X - Ray Tomografi Yöntemi.....	27
2.9.2. Akustik Emisyon Yöntemi	27
2.9.3. Stres-Dalga Yöntemi	27
2.9.4. Vibrasyon Yöntemi.....	28
2.9.5. Ultrasonik muayene yöntemi	28
2.9.5.1. Ultrasonik dalga üretimi.....	31
2.9.5.2. Ultrasonik dalga tipleri.....	32
2.9.5.3. Akustik direnç	34
2.9.5.4. Ses zayıflaması.....	34
2.9.5.5. Probların seçimi	35
2.10. Ultrasonik Test Yöntemiyle Orman Endüstrisinde Yapılan Çalışmalar	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37

3.1. Materyal.....	37
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması	37
3.2.2. Yoğunluk Değerlerinin Bulunması	38
3.2.3. Rutubet Tayini	39
3.2.4. Ultrasonik Ölçümler	40
3.2.5. Basma Testleri	43
3.2.6. İstatiksel Analiz	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	63



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİFLEVHA'NIN (MDF) ELASTİK SABİTLERİNİN ULTRASONİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ

Hasan KAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol ÜNER

Bu çalışmada Türkiye’de üretilen liflevha’nın (MDF) rutubetin elastik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Bu özellikler liflevhanın (MDF) kullanım yerlerinde sistemlerin mühendislik analizi için gereklidir. Çalışmada belirlenen özellikler; Elastikiyet modülleri (E_x , E_y , E_z), Poisson oranları (μ_{xy} , μ_{xz} , μ_{yx} , μ_{yz} , μ_{zx} , μ_{zy}) ve kesme modülleridir (G_{xy} , G_{xz} , G_{yz}). Levha örnekleri ticari olarak 3 farklı firmadan sadece biri rastgele seçilerek elde edilmiştir. Levhaların katmanları iç ve dış olarak ayrılarak 20 x 20 x 30 mm ve 18 x 18 x 60 mm ölçülerinde örnekler oluşturulmuştur. Bu örnekler farklı rutubet seviyelerinde ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilerek, yoğunlukları ve rutubetleri ölçülmüş, ultrasonik ve basma testlerine maruz bırakılarak gerilme-şekil değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Test örnekleri 21 °C sıcaklık % 45, % 65 ve % 85 nispi rutubet şartlarında bekletilmişlerdir. Örneklerin gerilme-şekil değiştirme davranışları bi-aksiyal ekstansometre ile belirlenmiştir. Elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrilerinden elastik özellikler hesaplanmıştır. MDF’nin katmanları arasındaki elastik özellikler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir. Ultrasonik yöntem ile test edilen MDF’lerde ortalama elastikiyet modülü x yönünde 2615 MPa, y yönündeki 2472 MPa, z yönünde 213 MPa’dır. Dış tabakaların ortalama elastikiyet modülü 2358 MPa, iç tabakaların elastikiyet modülü ise 1178 MPa’dır. Ortalama kesme modülleri dış tabakada 677 MPa, iç tabakada ise 402 MPa’dır. Ortalama kesme modülleri dış tabakada en yüksek xy düzleminde (1845 MPa), en düşük yz düzleminde (141 MPa), iç tabaka da ise en yüksek xy düzleminde (1115 MPa), en düşük yz düzleminde (70 MPa) bulunmuştur. Ortalama Poisson oranları 0.012 ile 0,42 arasında değişmektedir. Genel olarak rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi diğer elastik özelliklere etkisinden daha belirgindir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, MDF olarak üretilen elemanlar veya sistemlerin, yük altındaki davranışlarının ortotropik modellenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Liflevha (MDF), ultrasonik yöntem, elastik özellikler, rutubet.

2017, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF ELASTIC CONSTANT FOR FIBERBOARD (MDF) USING ULTRASONIC METHOD

Hasan KAYA

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industrial Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Birol ÜNER

This study examined the effect of fiberboard(MDF) produced in Turkey on the elastic properties of moisture. These properties are required for engineering analysis of systems in the use of fiberboard(MDF). Characteristics determined in the study; Modulus of elasticity (E_x , E_y , E_z), Poisson ratios (μ_{xy} , μ_{xz} , μ_{yx} , μ_{yz} , μ_{zx} , μ_{zy}) and shear modulus (G_{xy} , G_{xz} , G_{yz}). Panel specimens were obtained commercially from three different companies by choosing only one randomly. Specimens were formed with dimensions of 20 x 20 x 30 mm and 18 x 18 x 60 mm by dividing the layers of panels inside and outside. These specimens waited at different moisture levels until their weights were unchanged, their densities and moisture were measured, strain - deformation graphs were created by exposing to ultrasonic and compression tests. The test specimens were waited at 21 °C temperature %45, %65, %85 in relative moisture conditions. Strain - deformation behavior of specimens was determined with bi-axial extensometer. Elastic properties were calculated from the obtained strain – deformation graphs. The differences between the elastic properties of the fiberboard(MDF) layers are statistically significant. Fiberboards (MDF) that tested with ultrasonic method, average modulus of elasticity is 2615 MPa in the x direction, 2472 MPa in the y direction and 213 MPa in the z direction. The average modulus of elasticity of the outer layers is 2358 MPa and the modulus of elasticity of the inner layers is 1178 MPa. The average shear modulus are 677 MPa in the outer layer and 402 MPa in the inner layer. The average shear modulus was found in the outer layer at the highest xy plane (1845MPa), the lowest yz plane (141MPa), and the inner layer at the highest xy plane (1115MPa), the lowest yz plane (70MPa). The average poisson ratios change between 0,012 and 0.42 In general, the effect of moisture on the modulus of elasticity is more evident than other the effect of elastic properties. As a result of the study; It can be used in orthotropic modeling of behavior under load of element or systems produced using fiberboard (MDF).

Keywords: Fiberboard (MDF), ultrasonic method, elastic properties, moisture.
2017, 62 pages.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile her aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Birol ÜNER'e teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda ve atölye çalışmalarımnda yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Tuğba YILMAZ AYDIN ve Uzman Murat AYDIN'a teşekkür ederim. Örnek hazırlama ve deney çalışmalarında yardımcı olan Orman Endüstri Mühendisi Serhat AKAR ve Orman Endüstri Mühendisi Hulusi KAYA'ya teşekkür ederim.

Deney örneklerimin hazırlanmasında ve deneylerimin yapılmasında kullanılan araç ve gereçleri sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Atölyesine teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 214O708 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve yardımlarını esirgemeyen aileme ve Endüstri Mühendisi Sاریe ŞENÇOBANA'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hasan KAYA
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Odunun yoğunluğunun direnç özellikleri üzerine etkisi.....	12
Şekil 2.2. Çekme gerilimi altında lif bağları.....	13
Şekil 2.3. MDF içerisindeki liflerin yönleniş şekilleri.....	14
Şekil 2.4. Levha yoğunluğu ve eğilme direnci arasındaki ilişki ve yoğunluğa bağlı olarak eğilme direncinde meydana gelen değişim.....	18
Şekil 2.5. Havanın bağıl nemine göre MDF'nin rutubet miktarı.....	19
Şekil 2.6. Yük süresi ile kırılma zamanı arasındaki ilişki.....	21
Şekil 2.7. Ahşap malzeme için direnç- yükleme zamanı ilişkisi.....	22
Şekil 2.8. Farklı gerilme seviyeleri altında oluşan sünme eğrileri.....	23
Şekil 2.9. Tekrarlı yüklemelerde dayanma sınırı.....	24
Şekil 2.10. Yongalevha ve MDF’de yoğunluk dağılımı.....	25
Şekil 2.11. Boyuna dalga.....	33
Şekil 2.12. Enine dalga.....	34
Şekil 3.1. Levha katmanlarının ayrılması.....	38
Şekil 3.2. Ultrasonik yöntem ve rutubet test örnekleri.....	38
Şekil 3.3. Test örneklerinin iklimlendirme dolabında kondisyonlanması.....	40
Şekil 3.4. Ultrasonik örneklerde ses geçiş hızlarının ölçülmesi.....	41
Şekil 3.5. Elastik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test örnekleri.....	43
Şekil 3.6. MDF levhalardan üretilen test örnekleri.....	44
Şekil 3.7. Örneklerle uygulanan basma testleri.....	45
Şekil 4.1. Elastik özelliklerin (E_i ve G_{ij}) hesaplanmasında kullanılan yük-şekil değiştirme grafiği.....	49
Şekil 4.2. Poisson sabitlerinin (ν_{ij}) hesaplanmasında kullanılan aktif-pasif şekil değiştirme grafiği.....	49
Şekil 4.3. MDF için bağıl nemin ortalama elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi.....	52
Şekil 4.4. MDF dış tabaka elastikiyet modülünün ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.5. MDF dış tabaka kesme modülünün ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.6. MDF dış tabaka poisson oranlarının ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.7. MDF iç tabaka elastikiyet modülünün ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.8. MDF iç tabaka kesme modülünün ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.9. MDF iç tabaka poisson oranlarının ultrasonik ve basma testiyle karşılaştırılması.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye’de lif levha ve MDF üretimi yapan fabrikalar	5
Çizelge 2.2. Standart MDF’lerin Teknolojik Özellikleri ve Üretiminde Kullanılan Hammadde Oranları	7
Çizelge 2.3. MDF ve Yonga Levhaya ait Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	8
Çizelge 3.1. Ultrasonik yöntemle belirlenen elastik katsayılar.....	42
Çizelge 4.1. MDF dış tabaka örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).....	46
Çizelge 4.2. MDF iç tabaka örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).....	46
Çizelge 4.3. MDF dış tabaka örnekleri için katılık matrisi (C) elemanları.....	46
Çizelge 4.4. MDF iç tabaka örnekleri için katılık matrisi (C) elemanları.....	47
Çizelge 4.5. MDF dış tabaka için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.....	47
Çizelge 4.6. MDF iç tabaka için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.....	47
Çizelge 4.7. MDF dış tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.....	50
Çizelge 4.8. MDF iç tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.....	50
Çizelge 4.9. MDF için ANOVA tablosu (elastikiyet modülü)	51
Çizelge 4.10. MDF için rutubetin etkisi (elastikiyet modülü)	51
Çizelge 4.11. MDF için ANOVA Tablosu (kesme modülü)	52
Çizelge 4.12. MDF için ANOVA tablosu (Poisson oranları)	53
Çizelge 4.13. Yönlere göre Poisson oranları (MDF)	53

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

b	Basma testi
C	Katılık matrisi
cm ³	Santimetreküp
DRM	Denge rutubet miktarı
E	Elastikiyet modülü
f	Frekans
G	Kesme modülü
GYA	Geniş yapraklı ağaç
gr	Gram
GYA	Geniş yapraklı ağaç
HDF	High Density Fiberboard (Yüksek yoğunluklu liflevha)
Hz	Hertz
İYA	İğne yapraklı ağaç
KHz	Kilohertz
L	Boyuna yön
L	Lif uzunluğu
LDN	Lif doygunluk noktası
LDF	Low Density Fiberboard (Düşük yoğunluklu liflevha)
L _s	İki lif arasındaki temas uzunluğu
m	Metre
mm	Milimetre
m ³	Metreküp
mm ²	Milimetrekare
M ₀	Tam kuru ağırlık
M _R	İstenilen rutubetteki ağırlık
MDF	Medium Density Fiberboard (Orta yoğunluklu liflevha)
MHz	Megahertz
MOE	Modulus of elastic
MPa	Megapaskal
N	Newton
OSB	Oriented Structurel Board (Yönlendirilmiş yongalevha)
p	Malzemenin yoğunluğu
pH	Potansiyel hidrojen
R	Radyal yön
r ²	Kolerasyon katsayısı
s	Saniye
T	Teğet yön
TMY	Tahribatsız muayene yöntemi
TS	Türk standartları
u	Ultrasonik
V	Ses hızı
V _c	Boyuna dalga hızı
V _s	Enine dalga hızı
x	Levha üretim yönü
y	Levha üretim yönüne dik yön
YL	Yongalevha
z	Levhaya dik yön
Z	Akustik direnç

σ	Gerilme
ε	Şekil değıştirme
ν	Poisson oranı
τ	Kesme gerilmesi
γ	Kesme şekil değıştirmesi
σ_v	Düşey gerilme
ε_H	Yatay şekil değıştirme
ε_v	Düşey şekil değıştirme
%	Yüzde
°C	Derece santigrat
λ	Dalga boyu



1. GİRİŞ

Ahşap günümüzde çoğu ortamlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fakat ormanlarımızın azalmasıyla odun hammadde fiyatları artmıştır. Bu yüzden masif ahşabın yerine kullanılabilecek ahşap esaslı kompozit malzemelerin üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Bu ahşap esaslı kompozit malzemelerden bir tanesi MDF (Medium Density Fiberboard)'dir.

MDF, odun malzemesinden elde edilen liflerin, tutkal ve diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak belirli sıcaklık ve basınç altında preslenmesi ile elde edilen bir kompozit malzemedir. Özellikle iç ortamlarda kullanılan MDF'nin yoğunluğu genelde 0.55-0.80 g/cm³ arasında değişmektedir (Akbulut, 1999). MDF bir orta tabaka ve iki dış tabakalardan oluşmaktadır. Orta tabakadaki lif boyutları dış tabakadaki liflerine göre daha uzundur.

MDF'nin rasyonel olarak kullanılabilmesi için mekanik özellikleri ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır. MDF üzerine yapılan çalışmalarda x yönünde (levha üretim yönü) incelemeler yapılmıştır. y (levha üretimine dik yön) ve z (levhaya dik yön) yönlerindeki elastik özellikler üzerinde çok fazla çalışma yoktur. MDF kullanımında iyi bir sonuç alabilmek için üç yöndeki elastik özellikler hakkında bilgi sahip olunması gerekmektedir.

Türkiye'de MDF üzerine yapılan çalışmalarda levhaların izotropik olduğu kabul edilmiş ve en çok eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, yüzeye dik çekme direnci gibi mekanik özellikler ve bazı üretim faktörlerin bu özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. MDF'nin mekanik davranışının tam olarak tanımlanmasında on iki adet sabite (dokuzu bağımsız) ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar üç elastikiyet modülü (E), üç rijitlik (kesme) modülü (G) ve altı Poisson oranıdır (μ , ν). Elastikiyet modülü (Young modülü) genellikle basma/çekme testlerinden elde edilir. Eğilme testlerinde elde edilen elastikiyet değerleri kesme deformasyonu içermektedir. MDF'nin ortotropik olarak incelenmesi ile ilgili çalışmalar az sayıdadır ve bu çalışmalar statik yük altında sabit sıcaklık ve rutubet şartlarında yapılmıştır. Ticari olarak üretilen levha ürünlerinde katmanlara göre elastik özelliklerin bulunması bu malzemelerden

yapılmış sistemlerin modellenmesinde önemlidir. Özellikle farklı mobilya birleştirme elemanlarının bu kompozitlerde farklı katmanlarla temas edeceği ve bu noktalardaki gerilme ve deformasyonların bulunmasında bu elastik özelliklerin kullanılması daha gerçekçi sonuçlar bulunmasını sağlayacaktır.

Ultrasonik test yöntemi ile malzemelerdeki kusurların tespiti yapılarak malzeme sınıflandırması yapılabilir. Ayrıca elastik özelliklerin belirlenmesinde de kullanılabilir. Ultrasonik test cihazı ile malzeme içerisine gönderilen ses dalgaları ile sesin hızı hesaplanarak formüle uygulanmasıyla elastik sabitler elde edilmiştir. Ses dalgalarını çevresel ve malzeme yapısı gibi faktörler etkileyebilir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

MDF'nin malzeme olarak kullanılabilmesi için, yapısının, üretim faktörlerinin, kullanım yeri faktörlerinin, mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde MDF'nin direnç ve elastik özelliklerini, mekanik davranışını etkileyen faktörlerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Tahribatsız muayene orman endüstrisi için oldukça önemlidir. Tahribatsız muayenede kullanılan yöntemlerden biri olan ultrasonik yöntem hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ultrasonik yöntem ile orman endüstrisinde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2.1. MDF'nin Tanımı

MDF'nin kelime anlamı orta yoğunlukta lif levhadır. MDF İngilizce Medium Density Fiberboard kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. MDF yaş, yarı kuru ve kuru yöntemlerle üretilmektedir. Günümüzde %100'e yakını kuru yöntemle üretilmektedir.

MDF, orta sertlikte bir liflevha olup, odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden üretilmektedir. Liflendirme yöntemi ile elde edilen lifler belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulur. Daha sonra yaklaşık %9-11 oranında sıcaklıkla sertleşen tutkal ile karıştırılır. Taslağın sıcaklık ve basınç altında preslenmesi ile oluşan homojen yapıya MDF denir. MDF'nin kalınlığı 60-80 mm, yoğunluğu ise genelde 0.55-0.80 g/cm³ arasında değişmektedir. Genellikle yoğunluğu 0.7-0.8 g/cm³ arasında üretilmektedir (Akbulut, 1999).

TS 3635 ve ISO 818'e göre lif levhalar yoğunluklarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- 1-) Düşük yoğunlukta lif levhalar (LDF Light Density Fiberboard): 0.35 gr/cm³ 'den daha düşük yoğunlukta lif levhalar.
- 2-) Orta yoğunlukta lif levhalar (MDF Medium Density Fiberboard): 0.35-0.80 gr/cm³ yoğunluğa sahip lif levhalar.
- 3-) Yüksek yoğunlukta lif levhalar-sert lif levhalar (HDF High Density Fiberboard): 0.80-1.1 gr/cm³ arasında yoğunluğa sahip lif levhalar.

2.2. Dünya’da MDF Endüstrisinin Genel Durumu

Araştırmalar, Yongalevha ve MDF’de tüketim miktarının 2017 yılında 225 milyon m³’e ulaşmasının beklendiğini göstermektedir. Bu durumda Asya Pasifik bölgesinde devam etmesi beklenen üretim artışının Çin ihracatından kaynaklanacağı düşünülmektedir.

2013 yılı itibari Dünyada ağaç bazlı levha sektöründeki üretimin dağılımı şu şekilde olduğu görülmektedir: MDF üretimi 85.3 milyon m³, yonga levha 83.9 milyon m³, OSB 22.3 milyon m³, laminat parke 7.4 milyon m³, kapı paneli ise 1.0 milyon m³’tür. Bunların dağılımına yüzdeler olarak baktığımızda ilk sırada MDF, %28 ile yer almaktadır. Daha sonra ise %27.5 yonga levha, %7.3 OSB, %2.4 laminat parke, %0,3 kapı paneli gelmektedir.

Global MDF sektörü üretimi yılda %9 oranında büyümektedir. 2012 yılı itibariyle yine 82 milyon m³ civarında bir üretimin söz konusu olduğu görülmektedir. İthalat 14.5 milyon m³ civarında gerçekleşirken ihracatın ise 16.2 m³ civarında olduğunu ve görünür tüketimin ise üretimin çok az altında 80.6 milyon m³ civarında seyrettiği görülmektedir.

2008-2012 global MDF üretimlerine bakıldığında Türkiye’nin yıllık ortalama %20 büyüme ile Çin’den sonra pazarın ikinci büyük üreticisi haline geldiği ve 4.000 milyon m³’lük bir üretim hacmine sahip olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla Polonya (2.3 milyon m³), ABD (1.4 milyon m³), Almanya (1.5 milyon m³) ile gelmektedir.

Avrupa MDF / HDF Sektörü 2010-2012 yılları üretim miktarına bakıldığında mobilyanın yine %51 ile başta olduğunu ve bunu %29 ile zemin kaplamalarının takip ettiği görülmektedir. Daha sonra %11 ile inşaat, %8 ile kapı sektörü gelmektedir (Mobilya dergisi 2016).

2.3. Türkiye’de MDF Endüstrisinin Tarihsel Gelişimi

1980’li yıllardan itibaren MDF üretimi tüm Dünyada hızlı bir yükseliş göstermiştir. Türkiye’de bu amaçla 1984 yılında Orduda kısa adı ÇAMSAN olan ilk MDF fabrikası kurulmuştur. Kurulduğunda Yıllık kapasitesi 62000 m³/yıl’dır (ÇAMSAN, 2016).

2.4. Türkiye’de MDF Endüstrisinin Genel Durumu

Ülkemizde 1994 yılında ikinci MDF fabrikası açılmıştır. Kastamonu Entegre Gebze’de 1994 yılında MDF üretimine başlamıştır. Türkiye’de hızla büyüyen lif levha ve MDF sektörü diğer fabrikalarında açılmasıyla birlikte hızla gelişme göstermiştir. Dünyada bugün Türkiye lif levha ve MDF sektöründe önemli bir konuma ve pazara sahiptir. Aşağıdaki Çizelge 2.1’de Türkiye’de lif levha ve MDF üretimi yapan fabrikalar gösterilmiştir (Anonim 2015);

Çizelge 2.1. Türkiye’de lif levha ve MDF üretimi yapan fabrikalar (Anonim, 2015)

FİRMA ADI	FABRIKA YERİ	KAPASİTE (m ³ /gün)	KAPASİTE (m ³ /yıl)
Bolu Lif (Gbs) A.Ş.	Bolu	80	24.000
Çamsan A.Ş.(Ordu)	Ordu	600	180.000
Çamsan A.Ş.(Adapazarı)	Adapazarı	600	180.000
Divapan A.Ş.	Düzce	400	120.000
Kast.Entegre A.Ş.(Gebze)	İzmit	1.000	300.000
Kast.Entegre A.Ş.(Kastamonu)	Kastamonu	1.200	360.000
Kuroğlu A.Ş.	İzmit	300	90.000
Selolit A.Ş	Manisa	60	18.000
Serdar Ağaç A.Ş.	Bursa	650	195.000
S.F.C. A.Ş.	Kastamonu	835	250.000
Teverpan A.Ş.	Tekirdağ	500	150.000
Tever Mdf A.Ş.	Tekirdağ	800	240.000
Yıldız Sunta Mdf A.Ş.	İzmit	1.550	465.000
Yıldız Entegre A.Ş.	İzmit	3.000	900.000
Turanlar Grup (Vezir Ağaç)	Samsun	750	225.000
KURULU TOPLAM KAPASİTE		12.325	3.697.500

2.5. MDF'nin Özellikleri

Levha endüstrisinde kontrplak ve kaplama levha üretimi yapımında çok değerli ve yüksek kalitede odunlara ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde ormanların azalmasıyla da bu tür değerli odunlarında fiyatları artmıştır. Bunların yerine MDF kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü düşük kaliteli odunlardan da üretim yapılabilir. Bu sayede fiziksel ve mekaniksel özellikleri yüksek masif ağaç malzemeye yakın levha üretilmektedir. Günümüzde çoğu kullanım yerinde rahatlıkla kullanılabilir (Eroğlu, 1994).

MDF'nin kullanım yerlerinde üstünlük sağlayan en önemli özelliği homojen bir yapıya sahip olmasıdır. Kalınlık yönündeki homojenlik kullanılan liflerin inceliğinden kaynaklanmasından dolayı kullanılan pres teknolojisi de düzgün bir özgül ağırlık profili sağlamaktadır.

MDF'nin orta tabaka ve yüzeyler arasındaki yoğunluk farkı azdır. Bundan dolayı daha homojen bir yapısı vardır. Bu özellik MDF'nin kenar ve yüzeylerinin frezelenmesini sağladığı gibi çoğu alanda da masif odunun kullanıldığı yerlerde de kullanılmasını sağlamaktadır.

MDF'nin yoğunluğu arttıkça eğilme direnci de artmaktadır. Ayrıca yoğunluğu arttığından dolayı yüzeye dik çekme direnci de artmaktadır. Bu artış yonga levhaya göre daha azdır (Eroğlu ve Usta, 2000).

MDF'nin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Eroğlu, 1994);

- 1-) Özellikleri doğal odunun özelliklerine yakındır. Yapay bir odundur. Orta tabaka ve yüzeyler arasında yoğunluk farkı azdır bu sayede homojen yapıya sahiptir.
- 2-) Levha yüzeyleri yüzey işlemleri için uygundur. Zamanla pürüzlenme ve yüzeylerde parlaklık azalması olmaz.
- 3-) Levha kenarlarını kusursuzdur. Kolayca kaplanabilir, işlenebilir, zımpara istemez. Cilalanması, direkt desen baskı yapılabilmesi ve kolayca yapıştırılması mümkündür.
- 4-) Fazla hafif değildir fakat mekanik ve fiziksel özellikleri yüksektir.

5-)Düşük kaliteli odunlardan da üretilebilmektedir.

6-)Hacmi büyük bir malzemedir.

7-) Rutubete karşı direnci yüksektir, kolay yarılıp parçalanmaz, kolay kesilebilir ve çivilenip vidalanabilir.

8-) Sağlamlık her yönde aynıdır. Bu sayede doğal oduna oranla daha geniş mobilya dizaynı imkânı verir.

MDF'lerin masif malzemelere göre bazı üstünlükleri vardır. Masif ağaç malzemenin aksine direnç özellikleri farklı yönlerde değişik olmayıp homojen bir yapıya sahiptir. Masif odunda bulunan budak, çürüklük ve lif kıvrıklığı gibi kusurlar ile üç değişik yönde farklı çalışması sonucu görülen çarpılma ve çatlaklar MDF'lerde söz konusu olmamaktadır. Bununla birlikte, MDF üretiminde uygulanan bazı yöntem ve tekniklerle, direnç, sertlik ve yoğunluk gibi teknolojik özelliklerinin yanında boyutların da istenildiği gibi değiştirilmesi mümkündür (Eroğlu, 1994). Çizelge 2.2'de Standart MDF'lerin teknolojik özellikleri ve üretiminde kullanılan hammadde oranları gösterilmiştir (Eroğlu, 1994 ve Kurtoğlu, 1999). Çizelge 2.3'te ise MDF ve Yonga Levhaya ait fiziksel ve mekanik özellikler karşılaştırılmıştır (Ayrılmış, 2000).

Çizelge 2.2. Standart MDF'lerin Teknolojik Özellikleri ve Üretiminde Kullanılan Hammadde Oranları (Eroğlu, 1994 ve Kurtoğlu, 1999)

Odun Lifleri	% 80-90
Üre- Formaldehit Tutkalı	% 9-11
Parafin	% 1-2
Rutubet Oranı	% 6-9
Kalınlık	6-19 mm
Yoğunluk	680-750 kg/m ³
Eğilme Direnci	20-40 N/mm ²
Elastikiyet Modülü	2000-2200 N/mm ²
Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci	0.7 N/mm ²
2 Saatte	% 3
24 Saatte	% 6
120 Saatte	% 22
Boyuna Yönde Genişleme	% 0.2-0.3
Boyuna Yönde Daralma	% 0.4

Çizelge 2.3. MDF ve Yonga Levhaya ait Fiziksel ve Mekanik Özellikler (Ayrılmış, 2000).

Özellikler	Birim	MDF	Yonga Levha
Levha Kalınlığı	mm	18	18
Yoğunluk	g/cm ³	0.760	0,647
Rutubet Oranı	%	7.2	9.2
Kalınlığına Şişme (%) 2 saat 24 saat	%	1.45 6,71	5.3 8
Su Emme (%) 2 saat 24 saat	%	3.86 15.9	- -
Eğilme Direnci	N/mm ²	30.21	13.81
Eğilmede Elastikiyet Modülü	N/mm ²	3078.62	2760.4
Levha Yüzeyine Dik Çekme Direnci	N/mm ²	0.83	0.64
Levha Yüzeyine Paralel Yönde Çekme Direnci	N/mm ²	13.17	7.16
Levha Yüzeyine Dik Yönde Janka Sertlik Değeri	N/mm ²	52.48	33.2
Yüzey Emiciliği (Akma Uzunluğu)	mm	235	200

2.6. MDF'nin Kullanım Yerleri

MDF'nin türlerini ve kullanım yerlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1-) İnce MDF: 1.8-2.5 mm arası kalınlıklardaki bu levhalar sert lif levha (HDF) ve ince kontrplağa alternatif olarak üretilmektedir. Tipik kullanım yerleri; çekmece altlıkları, mobilya ve kabin arkalıkları, kapı yüzeyleri, sergi paneli, üzerinde delikler açılarak dekoratif paneller ve kolayca bükülebildiklerinden dolayı eğik yüzeylerin oluşturulmasında kullanılır.

2-)Kalın MDF: 45-60 mm arası kalınlıklarda üretilir. Kullanım yerleri binalarda sütun, plaster ve kemer gibi mimari araçlarla değerlendirilmesidir. Ayrıca, ağır döşeme ve raf, merdiven basamakları, çalışma tezgahı ve bank oturaklarıdır.

3-) Rutubete Dayanıklı MDF: Bu tip levhalara rutubete dayanıklı tutkallar (fenol formaldehit v.b) ilave edilmiştir. Kapalı yerlerde %80 bağıl neme kadar kullanılabilir. Kullanım yerleri banyo ve mutfak mobilyası, döşeme, pencere, merdiven ve mimari kalıp ürünleridir.

4-) Açıkta Kullanılan MDF: Rutubete dayanıklı tutkallarla üretilmiş olmasının yanı sıra, bütün yüzey ve kenarları açık havaya dayanıklı olacak şekilde kaplanmıştır. Bu levhalar; yol işaretleri, reklam panoları, mağaza vitrinleri, bahçe mobilyaları, bot kabinleri, skor board, açık depolama alanlarında, raf ve açık havada kullanılan kapı panellerinde kullanılmaktadır.

5-) Yangına Dayanıklı MDF: Standart MDF'lerin, üretiminden sonra yüzeylerine alev almayı geciktiren kimyasal madde sürme veya levhaların bazı tuzlarla emprenye edilmesi suretiyle yangına karşı dayanıklı hale getirilirler. Bu levhalar, duvar ve pano kaplamaları, büro bölme sistemleri, sergi panoları, gemilerde kabin ve bölme elemanları ile binalara bitişik yapılan ekipmanlarda kullanılabilir.

6-) Yüksek Yoğunlukta MDF: Bu tip MDF'lerin yoğunluğu 0.8 g/cm³'den fazla olup HDF (High DensityFiberboard) olarak da isimlendirilir. İşlenme özellikleri ve yüzey işlemlerine uygunluğu çok daha iyidir. Bu levhalar; endüstriyel raf, çalışma tezgahları, ağır döşeme, merdiven basamakları, mobilya altları ile mutfak ve banyo birimleri için kapı üretiminde kullanılabilir(Akbulut, 1999).

2.7. MDF'nin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler

2.7.1. Üretim faktörleri

MDF'nin mekanik ve fiziksel özellikleri, üretim esnasında çeşitli özelliklerin değişmesinden dolayı etkilenmektedir.

2.7.1.1 Ağaç türü

Odun hammaddesi MDF'nin yaklaşık olarak %90'ndan fazlasını oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı ağaç türü, MDF'nin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Liflevha endüstrisinde en çok kullanılan ağaç türü iğne yapraklı ağaçlardır. Bunun nedeni nispeten hafif olmaları ve liflerinin uzun olmasıdır. pH değerleri de levha üretimi için uygundur. Ayrıca kolay sıkıştırılabilmeleri de iğne yapraklı ağaçların kullanılmasında önemli bir faktördür.

Yapraklı ağaçlar dakuru yöntemle liflevha üretiminde büyük oranlarda kullanılmaktadır.Liflevha retimindeyapraklı ağaçların tercih nedenleridoğada fazla miktarlarda bulunmaları ve ekonomik olmalarıdır.Liflevha  retiminde tanen, re ineveboyar maddeler gibi ekstraktif madde oranı yüksek ağaç türleri kullanılması tercih edilmemektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Ayrılmış (2000) diğ r üretim şartları aynı olmak üzere Saplı Meşe (Quercus robur), Doğu Kayını (Fagus orientalisLipsky) ve Karaçam (Pinus nigra var. Pallasianaş), bu üç tür ağacın karışımından üretilen (%40 Meşe + %40 Kayın + %20  am) MDF'lerin özelliklerini tespit ettiği çalışmada  am liflerinden yapılan liflevhaların janka sertlik değeri hariç diğ r fiziksel ve mekanik  zellikleri Meşe, Kayın ve bu üç türün karışımından daha iyi sonuçlar vermiştir. Kayın ağacının odunun liflerinden yapılan MDF'lerin özellikleri meşe liflerinden yapılan MDF'lerden yüksek çıkmıştır.

Liflevha  retiminemeşe odunufazla oranda katılırsa hem yüzey emiciliği hem de yüzey pürüzlülüğü kötüleşmektedir. Liflevhaya katılankayının oransal olarakartması yüzey pürüzlülüğü açısından,çamın oransal olarak artması isey zey emiciliği vediren  değerleri açısından iyi sonuçlar vermektedir.

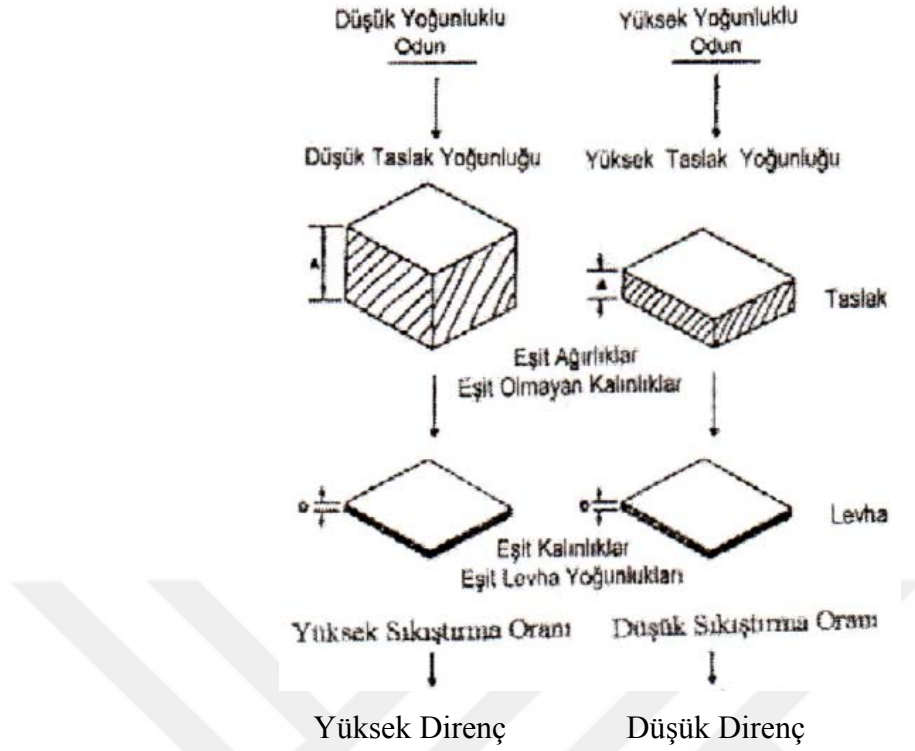
Plantasyonda yetişenkavak odunları çeşitli miktarlardareaksiyon odunu içeriğinden dolayı  eşitliproblemler oluşturabilir. Çünkü reaksiyon odunu normal oduna kıyasla çok daha fazla çalışmaktadır. Farklı anatomik yapısından dolayısıyla bıçakla kesilme işlemi yapılırken t ylenmelere sebep olmaktadır. Ancak,liflevha üretiminde sadece kavak kullanılırsa üretim değişkenleri kavak odununa göre ayarlanabilir ve kaliteli MDF  retilbilir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

2.7.1.2. Odunun yoğunluğu

MDF üretimine bir ağaç türünün uygun olup olmadığını belirleyen en önemli özelliği ağacın yoğunluğudur. Genel olarak; yoğunluğu düşük ağaç türleri tercih edilmektedir.Orta yoğunluktaki türler ise kolaylıkla ve ucuz fiyata bulunabiliyorsa kullanılır, fakat yüksek yoğunluğu olan türler fazla kullanılmamaya çalışılır. MDF teknik olarak her ağaç türünden elde edilir. Fakat yoğunluğu çok yüksek olan

türlerde bazı sorunlar oluşmaktadır. En önemli sorunlar; taşıma masrafları yüksektir. İşlenmesi zordur ve maliyetleri artırmaktadır. Yoğunlukları fazla olduğu için ağır bir malzeme olmaktadır. Bu tür odunların yoğunlukları fazla olduğu için yongalama işlemi yapılırken bıçaklar daha kısa sürede körelmektedir. Bu yüzden MDF üretiminde düşük ve orta yoğunluklu ağaç türleri tercih edilmektedir. MDF üretimi için yoğunluğu 0.35-0.65 g/cm³ arasında olan ağaç türleri tercih edilmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinden daha dirençli ve mekanik özelliklerinin yüksek olduğu liflevhaların üretilebileceği düşünülebilir. Fakat aynı yoğunluğa sahip liflevha üretildiği zaman, düşük yoğunluktaki türler yüksek direnç özellikleri verecektir. Şekil2.1’de gösterildiği gibi düşük yoğunluktaki odunlardan elde edilen lifler, yüksek yoğunluktaki odundan elde edilen liflerden daha hacimli taslak oluşturmaktadır. Bu iki taslaktan eşit kalınlıkta ve yoğunluğa sahip liflevha üretilmek istediği zaman yoğunluğu düşük olan taslağa daha yüksek sıkıştırma oranı (levha yoğunluğu/odunun yoğunluğu), yoğunluğu yüksek olan taslağa ise düşük sıkıştırma oranı uygulanacaktır. Uygulanan farklı sıkıştırma oranlarından dolayı elde edilen bu iki levhanın direnç özellikleri birbirine benzer olmayacaktır. Çünkü düşük yoğunluktaki odunun liflerinden hazırlanan levha taslağındaki lif miktarının ve levha kalınlığının, yüksek yoğunluklu oduna oranla fazla olmasından dolayı eşit kalınlığa ulaşabilmek için daha yüksek basınç uygulanması gerekmektedir. Böylece lifler arasındaki temas da artmaktadır. Bunun sonucu olarak düşük yoğunluklu odundan yapılan liflevhanın mekanik direnç değerleri ve fiziksel özellikleri yüksek yoğunluktaki odundan elde edilen liflevhadan daha iyi olacaktır (Suchland ve Woodson, 1991).



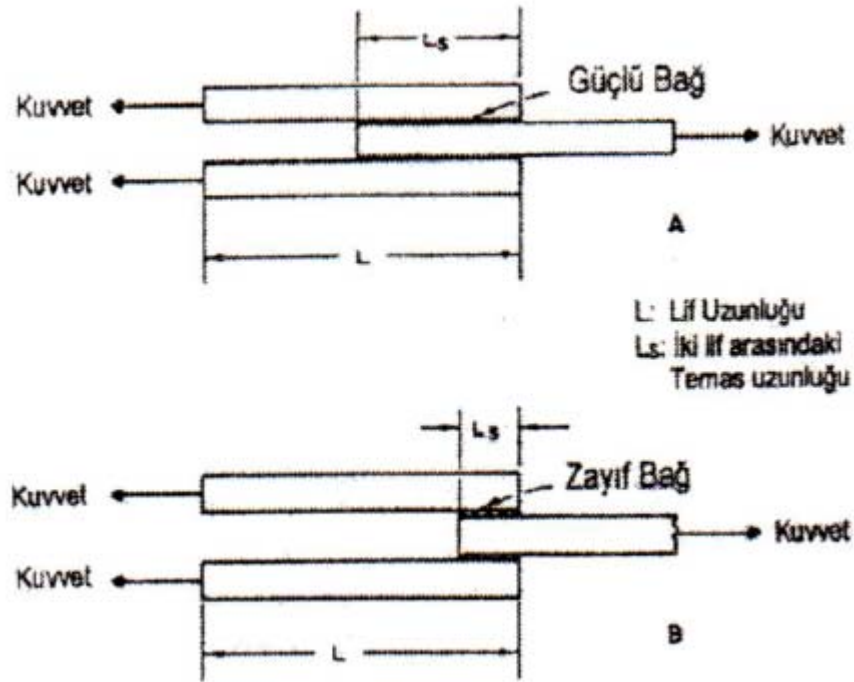
Şekil 2.1. Odunun yoğunluğunun direnç özellikleri üzerine etkisi (Suchland ve Woodson, 1991).

MDF üretiminde genel amaç; mekanik özellikleri yüksek, fiziksel özellikleri iyi, düzgün yüzeyli ve yoğunluğu düşük levha üretmektir. Bu amaçla hammadde kullanımı olarak, en iyi ekonomik çare, düşük yoğunluğa sahip türleri (bazı yapraklılar ve iğne yapraklılar) ile yoğunluğu yüksek türlerin uygun oranlarda karıştırılmasını sağlamaktır. Yoğunlukları birbirinden çok farklı ağaç türlerinin (Örnek olarak kavak ile gürgen) birlikte pişirme kazanına konulması uygun olmamaktadır. Çünkü pişirme süresi ile yoğunluk arasında çok sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Odunun yoğunluğu ne kadar yüksek ise yongaları yumuşatmak için gerekli olan pişirme süresi de o kadar fazla olmaktadır (Suchland ve Woodson, 1991).

2.7.1.3. Liflerin karakteristik özellikleri

2.7.1.3.1. Lif direnci

Liflerin tek tek çekme direnci, MDF de direncin yükseltilmesinde önemi çok büyüktür. Her ne kadar tek bir lifin boyuna yönde çekme direnci çok fazla olsa da MDF nin direnç değerleri açısından lif uzunluğunun sadece belli bir bölümünden yararlanılır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi iki lif arasındaki üst üste binme uzunluğu (L_s) kısalsın, bağ kalitesi düşecek ve uygulanan çekme kuvvetleri sonucu meydana gelen kopma lif direncinden bağımsız olarak liflerden ziyade meydana gelen bağdan olacaktır. MDF de büyük çoğunlukla kopma, yapışma alanında meydana gelmektedir (Suchland ve Woodson, 1991).

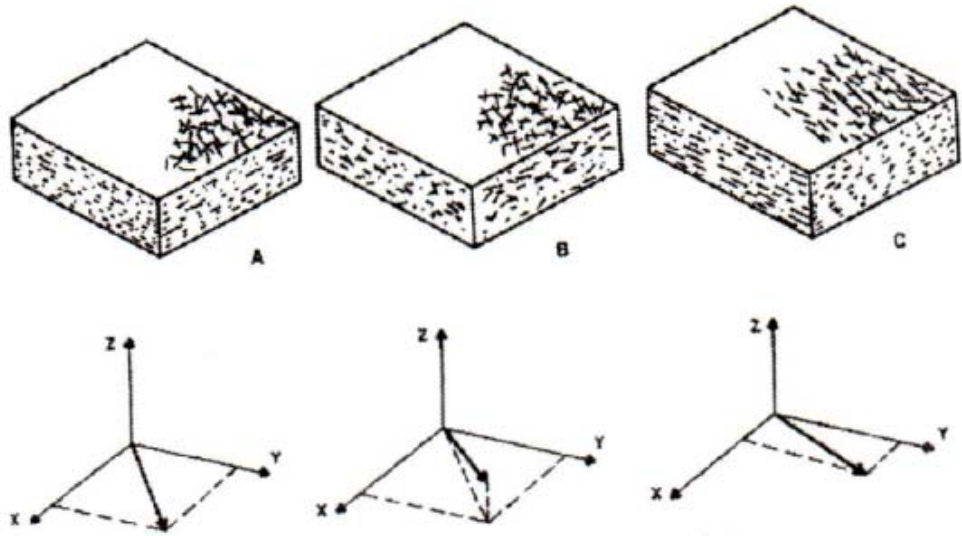


Şekil 2.2. Çekme gerilimi altında lif bağları (Şematik) A: Maksimum direnç B: Düşük direnç (Suchland ve Woodson, 1991).

2.7.1.3.2. Lif morfolojisi

Lif morfolojisi bir lifin yapısını ve şeklini (boyutsal özellikleri) ifade etmektedir. Lif morfolojisi lifin mekanik özelliklerinden çok taslağın özelliklerinin geliştirilmesinde çok büyük öneme sahiptir.

Lif morfolojisi, MDF taslağının homojen olması ve direnç özellikleri için çok önemlidir. Uzun lifler daha açık yapıdır ve daha hacimli bir taslak oluşturmaya eğilimi içindedir. Lif uzunluğu aynı zamanda MDF'nin içindeki liflerin yönlenmesini de etkilemektedir. Kısa lifler uzun liflere kıyasla daha fazla dikey ya da Z bileşeni istikametine yönelmektedirler. Liflerin yönleniş şekilleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Uzun lifler MDF'nin mekanik ve elektrik araçlarla yön verilmesinde kısa liflerden çok daha iyi sonuçlar vermektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).



Şekil 2.3. MDF içerisindeki liflerin yönleniş şekilleri (Suchland ve Woodson, 1991).

Hücre çeperi kalınlığı, taslağın özelliklerini dolaylı olarak etkilemektedir. Hücre çeperleri ince ise, liflerde kollaps oluşabilmektedir. Bu kollaps ince çeperli liflerin yüksek elastikiyetleri ile birleşince, liflerin arasında daha fazla bir temas oluşabilir. Böylelikle liflerin yapışması çok daha iyi olacaktır. Eğer iğne yapraklı ağaçların yaz odunundaki hücre çeperleri gibi kalın olur ise, hücrelerde kollaps oluşmamaktadır.

Bundan dolayı lif esnekliği azalacağından daha zayıf bir bağlanma geekleŖecektir (Akbulut ve AyrılmıŖ, 2001).

2.7.1.3.3. Lif boyutları

Lif boyutları yüzey düzgünlüğü ve direnç açısından oldukça önemlidir. MDF retiminde lif boyutlarının ölçülmesi pratikte mümkün değildir. Lif boyları yonga boyutları, ağaç türü, disk açıklığı ve piŖirme Ŗartları gibi birden fazla faktöre bağlıdır. Ayrıca istenilen liflerin boyutları fabrikadan fabrikaya deđiŖiklik göstere bilmektedir.

Lif boyutlarının ölçülmesi yerine pratikte elek analizleri yapıla bilmektedir. Elek analizleri sonucunda 0.5 mm'den geçen ve 0,3 mm elek üzerinde kalan lifler ile 0.3 mm elekten geçip 0.1 mm elek üzerinde kalan liflerin büyük çoğunluğu (yaklaŖık %75) oluŖturması hem direnç değerleri hem de özellikle boyalık ve profillik MDF'lerde yüzey düzgünlüğü açısından uygun olmaktadır. Uzunluk olarak 0.5-2 mm arasında olan liflerin toplam ağırlık içerisinde en az %65-75 oranlarda bulunması uygundur (Akbulut ve AyrılmıŖ, 2001).

2.7.1.4. Odunun pH değerı

Odun bazlı liflevha üretiminde yapıŖtırıcı olarak resol tipi fenolformaldehit veya üre-formaldehit sentetik tutkalları kullanılmaktadır. Fakat bu tutkallar belli bir seviyenin üzerinde pH değerine karŖı duyarlı olduklarından MDF retiminde kullanılacak odunun pH değerı çok önemlidir. Üre tutkalları, fenolik tutkallardan odunun pH değerine karŖı çok daha hassastır. Bu yönden yapraklı ağaçlar büyük farklılık göstermektedir. Bu yüzden MDF retiminde genelde iğne yapraklı ağaç türleri tercih edilmektedir. Bu yüzden yapraklı ağaç türleri MDF'nin direnç ve mekanik özelliklerini dŖrmektedir (Akbulut, 1991).

2.7.1.5. Odundaki ekstraktif maddeler

Odundaki ekstraktif maddeler, MDF retiminde tutkalın sertleŖmesini ve tutkal tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Yani odundaki ekstraktif maddeler

yapışmayı olumsuz yönde etkiler. Bazı iğneyapraklı ağaçların ekstraktifleri, üretilen MDF'nin suya karşı olandirencini önemli ölçüde etkilemektedir. Rutubet ile etkileşim içinde olan MDF'nin direnç ve mekanik özellikleri değişmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

2.7.1.6. MDF kalınlığı

MDF'nin kalınlığı kullanım koşulları açısından oldukça önemlidir. Çünkü MDF'nin kalınlığı direnç ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kullanım koşulları ve yeri belirlendikten sonra istenilen mekanik ve direnç özelliklerine uygun kalınlıkta ve yoğunluktaki MDF seçilmelidir.

TS 64'e göre odun liflevhaların boyut toleransları uzunluk için 5 mm. kalınlık için 3 mm. olarak verilmiştir. Aynı levha içindeki kalınlık değişimleri özellikle levha içinde form değişikliklerine neden olmaktadır. Kalınlık farkları düzensiz taslak oluşumu, yetersiz liflendirme ve sıcak preste gerçekleşen yetersiz basınç ve sıcaklıktan oluşmaktadır. Kalın liflevhalarda kalınlık farkı, ince liflevhalara göre daha fazla olmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

2.7.1.7. Kabuk

Kabukta bulunan lifler kısıdır ve yoğunluğu düşüktür. Bu yüzden MDF'nin direnç ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca yapışma özelliklerini etkilemektedir. Pişirme kazanında enerjinin fazla harcanmasına neden olduğu için maliyetleri artırmaktadır. MDF üretiminde kabuk oranı %15-20'yi geçtiği an itibariyle MDF'nin mekanik ve fiziksel özellikleri azalmaktadır. %15-20'nin altında mekanik ve fiziksel özellikleri çok fazla etkileyecek düşüslere neden olmamaktadır (Suchland ve Woodson, 1991).

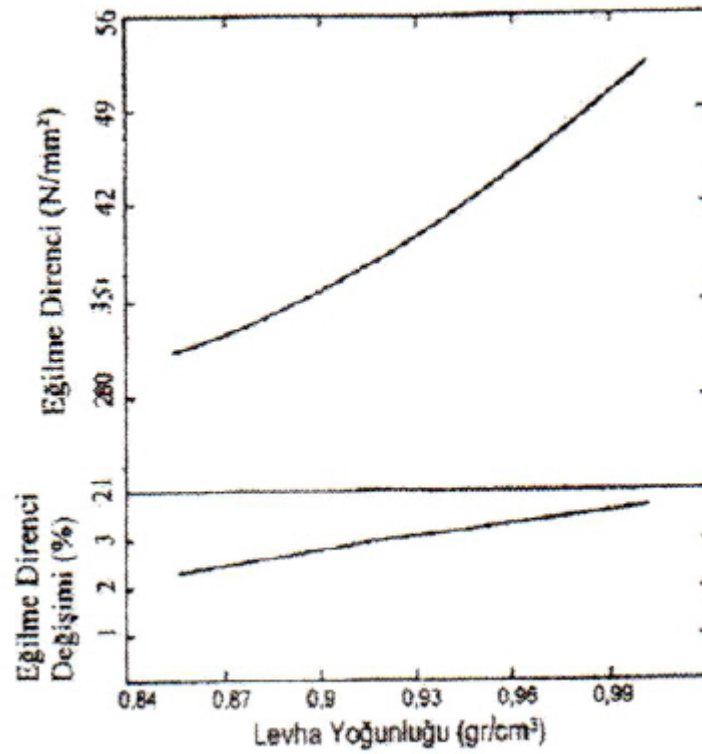
2.7.1.8 Katkı maddeleri

MDF ye su iticilik özellik kazandırmak için belli bir oranda parafin katılır. Bu katılma oranı %1'in üzerine çıktığı zaman MDF'nin direnç özellikleri

düşebilmektedir. %1'in altında etkilememektedir. Çünkü parafin lifler arasındaki yapışma alanını küçülterek iyi bir yapışma olmasını engellemektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

2.7.1.9 Levha yoğunluğu

Levha yoğunluğu, levhaların en çok fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca yüzey ve kenar işlemlerini, makinelerle işleme özelliklerini, transportunu etkilemektedir. MDF'de yoğunluk artışı ile boyut stabilitesi ve kalınlığına şişme özellikleri hariç diğer tüm özellikler iyileşmektedir. Yoğunluğu artırmak pratikte, levha özelliklerini yükselmenin en kolay yoludur. Yoğunluğun artması sonucu liflerin arasındaki temas daha iyi olur. Ayrıca, yoğunluğun artmasıyla birlikte hem tutkal etkili kullanılmış olur hem de mekanik özellikler yükseltilmiş olur. Ancak yoğunluğun fazla miktarda artırılması, taşıma masraflarını ve işlenmeyi zorlaştırır maliyetlerin artmasına neden olur. Levha yoğunluğuna bağlı olarak Şekil 2.4'de eğilme direnci ve eğilme direncinde meydana gelen değişimler görülmektedir (Suchland ve Woodson, 1991).



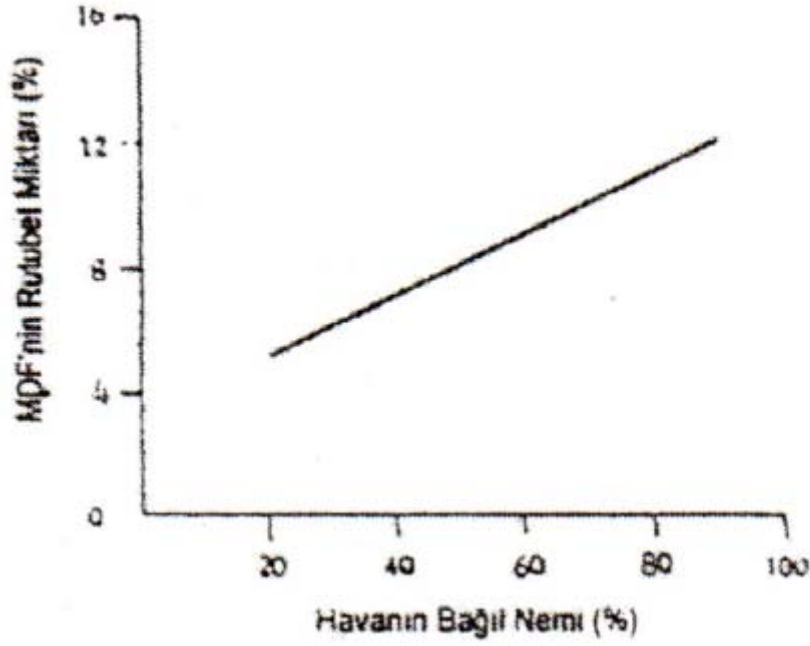
Şekil 2.4. Levha yoğunluğu ve eğilme direnci arasındaki ilişki ve yoğunluğa bağlı olarak eğilme direncinde meydana gelen değişim (Suchland ve Woodson, 1991).

2.7.2. Kullanım yeri faktörleri

MDF'nin kullanım yerinde çeşitli nedenlerden dolayı mekanik ve fiziksel özellikleri değişmektedir. Aşağıda bu nedenler verilmiştir.

2.7.2.1. Rutubet

Kullanım ortamlarına göre liflevhalar çeşitli hava şartlarına maruz kalabilirler. MDF'nin yapısal kullanıldığı ortamlarda, havadaki rutubet değişimlerinin MDF'nin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri çok önemlidir. Bunun için çeşitli sıcaklık ve rutubet derecelerinde liflevha özelliklerinin hangi şekilde değiştiğinin tespiti için bir çok çalışmaya yapılmıştır. Şekil 2.5'de ortamda bulunan havanın bağıl nemine göre MDF'nin rutubet miktarındaki değişim gösterilmiştir. (ANONİM 1993).



Şekil 2.5. Havanın bağıl nemine göre MDF'nin rutubet miktarı (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Levhanın rutubeti arttıkça eğilme direnci öncelikle artma eğilimi göstermektedir. Rutubetin %6-7 olmasıyla birlikte eğilme direnci en yüksek değere ulaşmaktadır. Rutubetin %6-7'yi geçmesiyle birlikte azalmaktadır. Lif doygunluğu noktasının üstünde rutubetin eğilme direncine etkisi bulunmamaktadır. Levhanın rutubet miktarının yükselmesi ile birlikte liflerin arasındaki tutkal bağı zayıflamaktadır. Bu yüzden iç yapışma direnci, eğilme direnci gibi bazı mekanik özelliklerinde düşüş görülecektir.

MDF, masif odundan daha az değişim göstermektedir. Masif odunla karşılaştırıldığı zaman rutubetteki %1'lik değişim sonucunda masif odunun teğet yönünde %0.5 ve radyal yönünde %0.2 boyut değişimi olmaktadır. MDF'nin boyutlarında ise %0.05, kalınlığında ise %0.35'lik bir değişim olmaktadır.

Normalde MDF 8 ± 3 rutubette üretilir. Fakat alıcıya teslim edildiğinde rutubeti taşıma ve depolama şartlarına bağlıdır. Rutubetli ortamlarda belli bir miktar su alması veya kuru ortamlarda belli bir miktar su kaybetmesi normaldir. Bu değişiklik, başlangıçta istifin yüzey tabakalarını ve levha kenarlarını etkilemektedir. Sonuç olarak bundan bütün istif etkilenmektedir.

MDF serbest halde hava şartlarına maruz bırakıldığında 2-3 gün içinde denge rutubet miktarına (DRM) ulaşmaktadır. Bütün istifin ve özellikle istifin orta kısımlarının DRM'ye ulaşabilmesi için ise 10-15 gün beklemek gerekebilir.

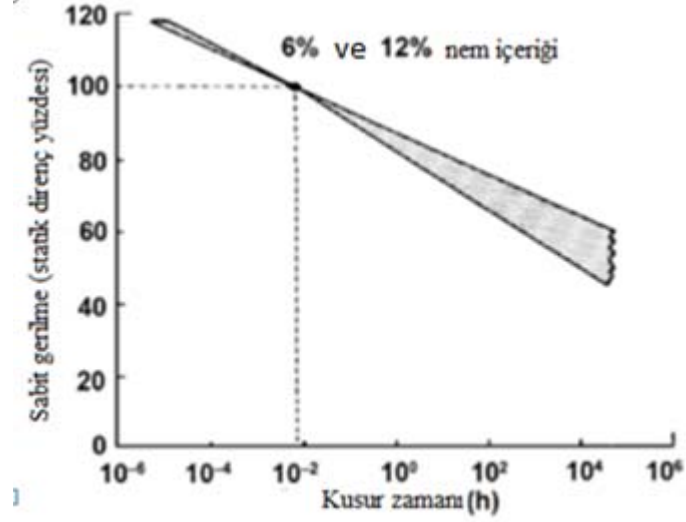
MDF'nin son kullanımında rutubet değişimlerinden kaynaklanan sorunları en aza indirmek için, MDF'nin veya parçaların rutubetleri kullanılacak alandaki rutubet miktarına eşitlendiği zaman işlenmeli ve birleştirme işlemi yapılmalıdır. (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

2.7.2.2. Sıcaklık

MDF üretim esnasındaki preslemede 180-220°C arasında sıcaklığa maruz kalmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000). MDF genelde iç mekanlar da kullanılmaktadır. TS EN ISO 898 e göre iç mekanların ortalama sıcaklığı 10-35°C arasındadır. Bu sıcaklık MDF'nin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilememektedir. Bu yüzden MDF sıcaklıktan direk olarak etkilenmez. Havadaki sıcaklığın değişiminden dolayı havada bulunan nem miktarı değişeceği için MDF rutubetten direk etkilenmektedir

2.7.2.3. Yükleme süresi

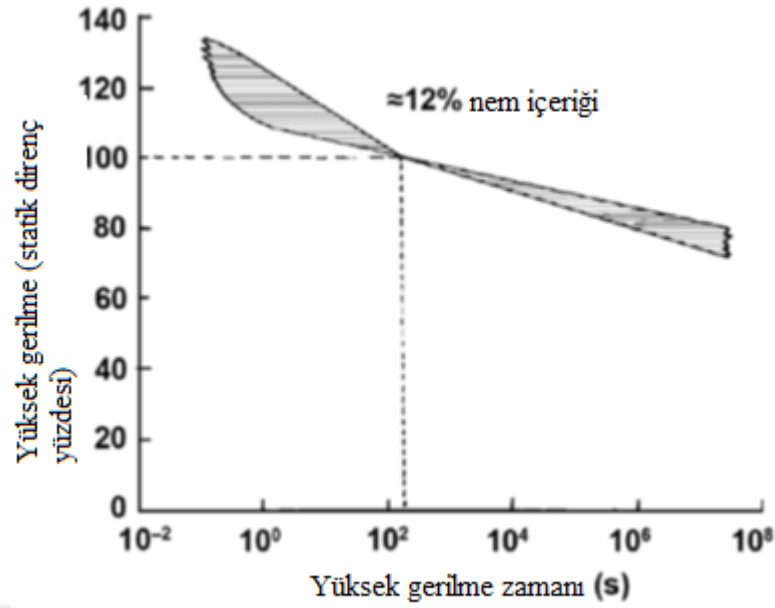
Yükleme süresi ya da bir yükün bir ahşap elemana sürekli ya da aralıklı olarak etki ettiği süre, ahşabın yükü güvenli bir şekilde taşıyabileceği yükün belirlenmesinde önemli bir etmendir. Yükleme süresi sıcaklık ve rutubete bağlı olarak değişebilmektedir. Şekil 2.6'ya göre 10 yıl boyunca sürekli eğilme gerilmelerine maruz kalmış bir malzeme standart statik direncinin % 60'ı ve daha azını taşır. Bunun zıttı olursa eğer yük süresi kısa ise yük taşıma kapasitesi statik direnç özelliklerinin üzerinde olacaktır. Sıcaklık ve rutubetin değişmesi sünmeyi artırmakta ve ahşap malzemenin kaldırabileceği yük süresini kısaltır. Kapalı ortam koşullarında sıcaklık ve rutubet fazla etki etmemektedir (Gerhards, 1977).



Şekil 2.6. Yük süresi ile kırılma zamanı arasındaki ilişki (Gerhards, 1977).

2.7.2.4. Yükleme hızı

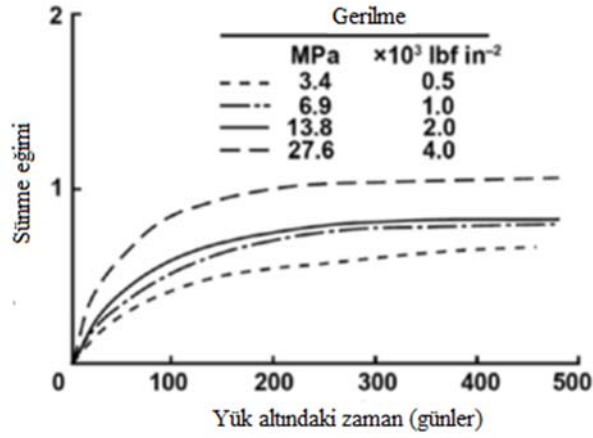
Şekil 2.7 de verilen mekanik özellik değerleri genelde statik direnç değerleri olarak isimlendirilmektedir. Statik direnç testleri tipik olarak yaklaşık 5 dakika içinde maksimum yük elde etmek için bir yükleme hızı ya da deformasyon hızı ile gerçekleştirilir. Daha hızlı yüklenen ahşap için daha yüksek direnç değerleri elde edilir. Daha düşük hızlarda ise daha düşük değerler elde edilir. Örneğin, ahşap elemanlarda 1 saniyede hata meydana getirmek için gereken yük, standart statik mukavemet testinde elde edilenden yaklaşık% 10 daha yüksektir(Gerhards, 1977).



Şekil 2.7. Ahşap malzeme için direnç- yükleme zamanı ilişkisi (Gerhards, 1977).

2.7.2.5. Sünme ve gevşeme

Ahşaba başlangıçta yük yüklendiğinde, ahşapta elastik olarak deformasyon oluşur. Yük devam eder ise zamana bağlı deformasyon oluşur. Buna sünme denilmektedir. Sünme, çok düşük streslerde bile oluşabilir ve belirli bir süre boyunca devam eder. Bu kırılma olgusu yükleme süresi (veya sünme kırılması) olarak bilinir. Tasarım yükleri altında, belirli bir süre kullanıldıktan sonra oluşan sünme anlık elastik deformasyona eşit olabilir. Şekil 2.8’da farklı gerilme seviyeleri altında oluşan sünme eğrileri gösterilmiştir. Sıcaklık ve nem sünme oranını değiştirmektedir. Sıcaklığın 28°C artması sünmeyi 2-3 kat artırmaktadır. Yük altındaki yaş ahşap malzeme kururken elastik deformasyonu 4 - 6 kat arasında artabilir (Kingston, 1962).



Şekil 2.8. Farklı gerilme seviyeleri altında oluşan sünme eğrileri (Kingston, 1962).

Malzeme üzerindeki yükün kaldırılması ile elastik deformasyonun geri kazanılır. Zamanla sünmenin yaklaşık yarısı da yük kaldırıldıktan sonra geri kazanılabilir. Sıcaklık ve rutubetteki değişimler geri kazanım hızını arttırabilir. Düşük gerilme seviyelerindeki yükleme sonucu oluşan nispi sünme miktarı eğilme, çekme ve liflere paralel basma testlerinde benzerlik taşımaktadır. Ancak çekmede eğilmeye veya basmaya göre değişik gösteren rutubet şartlarında daha az olabilir.

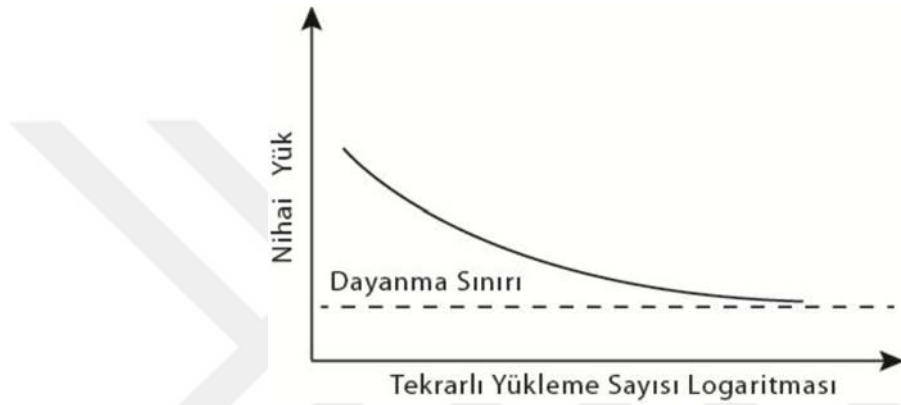
Yük veya gerilme yerine sabit bir deformasyon miktarı ahşap bir elemanda oluşturulsa, anlık gerilme zamanla % 60 -70 oranında azalarak birkaç ay içerisinde azalmaktadır. Zamanla gerilmenin azalması gevşeme olarak isimlendirilmektedir. 18°C ve 49°C’de 2-3 aylık sürelerde yapılan eğilme testlerinden elde edilen gevşeme eğrisi sünme eğrisinin ayna görüntüsüdür. Bu testler ahşabın eğilme direncinin yaklaşık% 50'sine kadar olan başlangıç gerilmelerinde gerçekleştirilmiştir. Sünmede olduğu gibi, gevşeme sıcaklık ve rutubetteki değişimlerden belirgin şekilde etkilenmektedir (Gerhards, 1982).

2.7.2.6. Yorulma

Malzeme yavaşça artan yükler altında deneylere tabi tutulduğu zaman, belirli bir sınır gerilmesinde dayanımını aşmakta ve kopmaktadır. Bulunan bu gerilme değerine malzemenin statik dayanımı ismi verilmektedir. Aynı malzemeyi, zorlayan gerilmeler zaman ile değişir ise malzeme kopma değerinin altındaki bir gerilmeye, sünmek dahi olsa plastik şekil değiştirmeden dolayı malzeme kırılır. Bu olaya yorulma

denir. Başka bir tanımda aralıklı olarak inip çıkan yüklere veya strese maruz kalan malzemelerde, zamanla ilerleyen hasarlara yorulma denmektedir. Yorulma hasarının etkisi güçlüdür. Yükleme ortadan kalksa bile malzeme eski haline dönemez (Bao vd., 1996).

Zaman, yorulma deneylerindeki önemli öğelerden birisidir. Bir malzemenin yorulma özelliklerini belirlemede dayanma limitindeki veriler çok önemlidir. Dayanma sınırı teorik olarak kırılmanın olmadığı tekrarlanabilir yüklerde ki gerilme değeridir. Şekil 2.9 da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Tekrarlı yüklemelerde dayanma sınırı (Bodig ve Jayne, 1982)

Yorulma analizinin temel amacı, malzemenin ömrü boyunca ne kadarlık bir çevrime dayanabileceğini karakterize etmektir. Genel olarak bakıldığında, yorulma belirlenen gerilme seviyesindeki yıkımı, salınım yüklerinin sayısı tarafından tanımlanmaktadır.

2.8. Levhalarda Anizotropik Davranış

Ağaç malzemenin yapısı diğer yapı malzemelerinden tamamen farklı bir özellik gösterir. Her yönde aynı mekanik özellikler gösteren yani izotropik bir malzeme olan çeliğe benzemeyen ağaç malzeme, birbirine dik üç yönde farklı özellikler gösterir. (Ross, 2010). Ahşap malzemedeki ortotropik elastik davranışın tam olarak belirlenebilmesi için 12 adet elastik sabite (E_L , E_R , E_T , G_{LR} , G_{LT} , G_{RT} , μ_{LR} , μ_{RL} , μ_{LT} , μ_{TL} , μ_{RT} , μ_{TR}) gereksinim duyulmaktadır. (Bodig and Jayne, 1993). Hook kanuna göre ortotropik kompozit malzemelerde gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (Bodig and Jayne, 1993; Wilczynski and Kociszewski, 2003; Wilczynski and Kociszewski, 2011):

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & -\frac{\nu_{zx}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}$$

Bu eşitlikte, E_i , Elastikiyet veya Young modülü G_{ij} , kesme modülü ve ν_{ij} Poisson oranlarıdır.

Ağaç malzeme kullanılarak üretilen ahşap kompozitlerde de levha yönü, levhaya dik yön olmak üzere elastik özellikler farklılık göstermektedir. Örneğin, üç katmandan oluşan yongalevha ortotropik malzeme olarak kabul edilebilir (Bodig and Jayne, 1993; Bucur et al. 1998). Buna göre elastikiyet özellikleri levhanın üretim yönü (x,1), levha üretimine dik yön (y,2) ve levhaya dik yön (z,3) olarak farklılık gösterecektir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında levha özelliklerinin genellikle levhanın her tabakası için aynı olduğu kabul edilmektedir. Ancak YL ve MDF enine kesitine bakıldığında yoğunluk profillerinin değiştiği ve ortotropik malzeme olarak kabul edilebileceği görülmektedir (Bodig and Jayne 1993; Bucur et al. 1998; Wilczynski and Kociszewski, 2011).

Ticari olarak üretilen MDF levhalar her ne kadar tek katman olarak üretilse de (serme) enine kesitte yoğunluk farklılıkları görülmektedir. Bu da katmanların mekanik özelliklerinin farklı olacağını göstermektedir. Bu özelliklerin bilinmesi MDF'nin kullanıldığı mobilya gibi ürünlerin yük altındaki davranışlarının rasyonel analizi için gereklidir.

Ahşap kompozitlerde en çok araştırılan malzeme özellikleri eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülüdür. Eğilme testlerinden elde edilen elastikiyet modülü değerleri kesme etkisinden dolayı gerçek elastikiyet değerlerinden farklılık gösterecektir (Plenzler et al. 2013). Ahşap kompozit paneller için kullanılan Poisson oranları 0.1 ile 0.3 arasında değişmektedir (Bodig and Jayne, 1993). Ahşap kompozit malzeme özellikleri arasında en az araştırılan özellik Poisson oranıdır. Poisson oranı aksenal testlerde enine şekil değiştirmenin boyuna şekil değiştirmeye oranı olarak bilinen bir malzeme katsayısıdır. Ahşap gibi visko-elastik malzemelerde rutubet ve zamana bağlı olarak değişebilmektedir.

Ahşap kompozitleri üzerinde yapılan ilk çalışmaların çoğu bu kompozitleri kendi düzlemlerinde izotropik olarak ele almış dolayısıyla malzemenin sadece tek bir elastikiye modülü, E_x , bir kesme modülü, G_{xy} ve bir Poisson oranı, μ_{xy} , ile temsil edilebileceğini kabul etmiştir. Moarcas ve Irle (1999) tarafından yongalevha üzerine yapılan bir çalışmada farklı üreticilerden temin edilen levhaların Poisson oranlarının (μ_{12}) 0.118 ile (μ_{13}) 0.176 arasında değiştiği görülmüştür. Thomas (2003) tarafından OSB levhalarda yapılan araştırmalarda ise Poisson oranları levha yönünde 0.23 ve levha dik yönünde ise 0.16 olarak bulmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise levha özelliklerinin 5 elastik sabit ile temsil edilebileceği üzerinde durulmuştur (Plenzler et al 2013). Ganev vd. (2005) tarafından MDF üzerinde yapılan çalışmada ortalama yoğunluğun ve rutubetin MDF panellerde elastikiyet modülü (E_1 , E_3), kesme modülü (G_{13}) ve Poisson oranı (μ_{12} , μ_{13}) üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçları E_1 , E_3 , G_{13} değerlerinin yoğunluğun artması ile arttığı rutubetin artması ile azaldığını, Poisson oranlarının ise değişmediğini göstermiştir. Pavlekovich vd. (2008) MDF levha yönündeki Poisson oranına rutubetin etkisini incelemiştir. Rutubetin % 6 dan % 16 ya çıktığında Poisson oranının (μ_{12}) 0.48'den 0.31'e düştüğü görülmüştür. Sebera vd. (2014) MDF'de Poisson oranının yoğunluk dağılımına bağlı olarak değiştiğini farklı kalınlıktaki panellerde göstermiştir.

Ülkemizde ahşap kompozit malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarda genellikle bazı direnç özellikleri ve eğilmede elastikiyet modülütayinleri yapılmıştır. Ahşap kompozit levhaların ortotropik olarak incelenmesiyle ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ahşap malzemenin sonlu elemanlar gibi uygulamalarda rasyonel

olarak modellenenilmesi için bu özelliklerin bilinmesi gereklidir. Söz konusu özellikleri etkileyen en önemli faktörlerden birisi rutubettir.

2.9 Tahribatsız Muayene

Günümüzde malzemeye zarar vermeden muayene edilmesi mümkündür. Bunun için çeşitli yöntemler vardır. En kolay ve basit yöntem göz ile muayenedir. Göz ile muayene yönteminin incelikleri vardır. Diğer yöntemler ise; X-Ray tomografi, akustik emisyon, stres-dalga, vibrasyon ve ultrasonik yöntemlerdir. Ultrasonik yöntem günümüzde hemen hemen bütün malzemelerde yaygın şekilde kullanılabilmektedir.

2.9.1. X - Ray Tomografi Yöntemi

X-Ray Tomografi yöntemi, test edilecek malzemenin yapısına çoklu x ışınları göndererek ölçüler ve kesit elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem yaygın olarak tahribatsız muayene yöntemlerinde endüstriyel araştırmalar sunmaktadır (Davis, vd., 1991). Tomografi yöntemi test edilen malzemenin yoğunluk haritasını ve rutubet miktarı hakkında bilgi vermektedir (Lindgren, 1992). Odun yoğunluğunun ve odun kusurlarının bulunmasında X-Ray tomografi tekniği kullanılabilir (Zombori, 2001).

2.9.2. Akustik Emisyon Yöntemi

Akustik emisyon, test edilecek malzemede elastik bir dalga oluşturur ve bu dalga uygun duyargalarla algılanıp analizi yapılabilir. İzleme sisteminin amacı, akustik emisyonlardan oluşan sinyalleri algılamaktır. Sinyallerin basınç, stres, ve sıcaklık gibi faktörlerle ilişkili olarak bunların sayısal ve dağılımlarını kaydetmek, sınıflandırılmasını ve konum tespitini sağlamaktır (Tuncel, 2008).

2.9.3. Stres-Dalga Yöntemi

Bir malzemede uyarılmış stres dalgalarının ve ses iletim hızının zayıflamasıdır. Çalışma şekli, homojen viskoelastik herhangi bir çubuğa darbe uyguladığında dalga oluşumu sağlanır. Oluşan bu dalga çubuk boyunca ilerler ve dalganın önünde olan parçacıklar hareketlenmeye başlarken geride kalan parçacıklar dinlenmeye başlar.

Dalga çubukta rutin bir hızla hareket eder. Çubuğun serbest ucuna doğru ilerleyen dalga geldiğinde çarpar ve yansır. Yansdıktan sonra geri döner. Dalga, çubukta ilerler iken enerji dağılır. Bu nedenle, dalganın hızı aynı kalmasına rağmen, her bir dalga hareketinde parçacıkların hareketi azalır. Sonuç olarak çubuktaki parçacıkların hepsi dinlenme aşamasına geçer. Bu şekildeki çubuğun ucuna yakın bir kesit hareketini stres dalga yayılımına tepki olarak izlenmesi, eşit aralıklı bir dizi darbeden oluşan dalga biçimleriyle sonuçlanır. Ahşap malzeme izotropik ve homojen değildir. Bu yöntemi ahşapta tanımlaya bilmek için tek boyutlu dalga teorisi kullanılabiliirliği araştırılmıştır. Ahşap ve ahşap ürünlerde stres-dalga yöntemi ile yayılan dalgaların gerçek dalga formları araştırılmıştır (Ross ve Pellerin, 1994).

2.9.4. Vibrasyon Yöntemi

Vibrasyon yöntemi önemli tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntemi göstermek için bir ahşap kirişin titreşen davranışı ile hafif yaya ve iç sürtünme şiddetine tutturulmuş kütlenin titreşimi arasında benzetme olması gerekebilir (Ross ve Pellerin, 1994). Büyük odun esaslı malzemeler için titreşim yönteminde basit destekli kiriş yöntemini kullanmak daha kolaydır. Malzemenin boyutları kısaldıkça küçük hafif kirişin basit bir şekilde desteklenmesi ve kirişlere titreşim uygulanmadan desteklerde serbest titreşimi ölçmek zordur. (Guo vd., 2009). Malzemenin ağırlığının bilinmesi uzunluk ya da hacim başına yoğunluk değerinin hesaplanmasını sağlar. Hesaplanan bu değer ise direnç regrasyon analizlerinde kullanılabilir (Ross vd., 1991).

2.9.5. Ultrasonik muayene yöntemi

Ultrasonik muayene bir malzemeye yüksek frekanslı sesin gönderilmesi ve bu yüksek frekanslı ses dalgalarının ölçülerek hata veya kaliteyi belirlemek olarak tanımlanabilir. Bu sinyaller elektronik olarak kontrol edilebilir. Bu sinyaller malzeme içinde ilerledikten sonra akustik enerjinin tekrardan elektronik sinyallere dönüştürülmesiyle toplanabilmektedir. Bu ses dalgaları belirli sınırlardan kırınımının ve yansımanın yorumlanması, incelenen malzemedeki hatalar hakkında bilgi

vermektedir. Ultrasonik yöntemde, yüksek frekanslı ses dalgaları bir çok malzemede ilerliyebildiği için ultrasonik muayene hem iç hem de yüzeydeki hataların tespitinde yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesidir (Grandt, Jr., 2004).

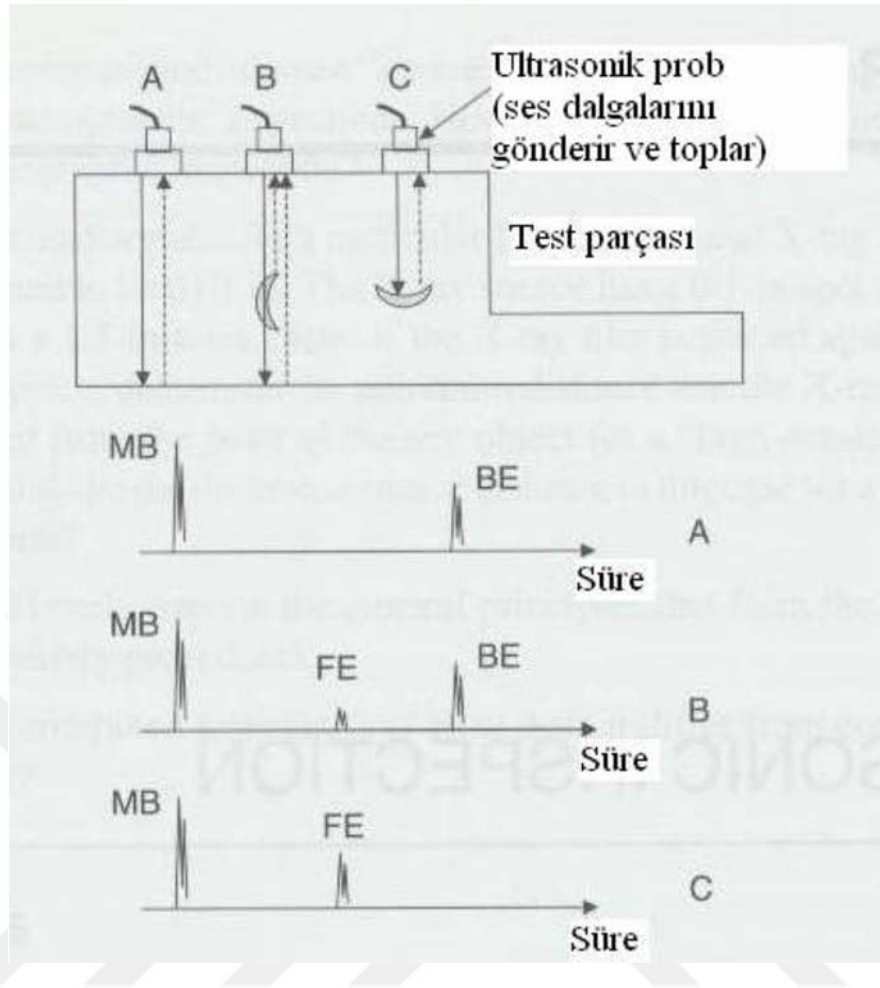
Ultrasonik dalgalar piezoelektrik kristal adı verilen ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine çeviren özelliklere sahip kristaller aracılığıyla üretilirler ve algılanırlar. Ultrasonik dalgaların üretilmesinde ters piezoelektrik etkisinden faydalanılır. Ultrasonik dalgaların algılanmasında ise doğrudan piezoelektrik etkisinden yararlanılır. Ultrasonik yöntemlerde kullanılan piezoelektrik malzemelerin en önemlileri: Kurşun-Zirkonat-Titanat (PZT) Baryum titanat (BaTiO_3), Kurşun-metaniobat (PbNb_2O_6), Lityum sülfat (LiSO_4), Kuvars (SiO_2), Lityum niobat (LiNbO_3). Ultrasonik ses dalgalarının yayıldığı ortam değişir ise fizikteki gibi optik yasalara uygun olarak yansır. Malzeme içindeki katı ile gaz ortamlarının arasındaki yansımaya neden olursa bu sınır yüzeylere ultrasonik sınır yüzey olarak isimlendirilmektedir. Üretilen ultrasonik ses dalgaları, test edilen malzemeye gönderilir. Bu dalgalar sınırdaki bir yüzeye geldiğinde yansır, geri dönen ses dalgaları piezoelektrik kristal tarafından algılanırlar. Ses dalgalarının piezoelektrik kristalden çıkış ve dönüş zamanları elektronik olarak ölçülüp bir osiloskop ekranı üzerine düşer böylece malzemenin iç yapısıyla alakalı bilgiler elde edilmektedir (Kayalı vd., 1997).

Ses dalgaları, elastik-mekanik özellik gösterir. Frekans değerlerine göre ultrasonik ($f > 16 \text{ kHz}$) akustik ($16 \text{ Hz} \leq f \leq 16 \text{ kHz}$), ses-altı ($f < 16 \text{ Hz}$) olarak sınıflandırılabilir. Tahribatsız muayene yöntemlerinde çoğunlukla 0.5–20 MHz aralığı kullanılmaktadır (Gür 1999b). Tahribatsız muayenede kullanılan karakteristik ultrasonik frekans aralığı, 20 ile 20000 Hz frekans aralığı ile sınırlı insan kulağının duyamayacağı 200 kHz ile 25 MHz arasındadır. Ses dalgaları, X-ışınları ve gama ışınları gibi sağlığa zararlı değildir. Buna ek olarak elektronik sinyallerle üretilmeleri ve toplanırken de tekrar elektronik sinyallere dönüştürülmeleri sebebiyle, analiz sonuçlarını değerlendirirken sinyalleri işleyip kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Grandt, Jr., 2004).

Ultrasonik muayene yöntemi değişen çevre koşulları ve malzeme özelliklerinden etkilenmektedir. Odun rutubeti ile ultrason hızı doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle malzemenin rutubet ve sıcaklığı göz önünde tutularak ultrasonik parametreler ona göre ayarlanmalıdır. Ultrason hızı lif yönüyle de ilişkilidir ve liflere paralel yöndeki iletim hızı, liflere dik yöndeki iletim hızından daha fazladır. Malzeme içerisindeki boşluklar ve kusurlarda dalga yayılımını etkilemektedir (Mcdonald, 1978).

Vibrasyon yöntemi ve ultrasonik dalga hızı özellikle elastikiyet modülünün elde edilmesinde önemli rol oynar. Ultrasonik dalga diğer tekniklere göre uygulamada daha avantajlıdır (Esteban vd., 2009).

Şekil 2.10'da darbe-yankı ultrasonik muayenenin şematik olarak görünüşünde normal bir dalganın hareketi ve bir hatanın varlığında ses dalgasının yansımasının nasıl değiştiği görülmektedir. Hatanın varlığı ve yeri, süre eksenini ile birlikte belirlenebilmektedir. Hata ses dalgasına dik yönde olduğunda hatanın algılanması, tespit edilebilecek en yüksek değerde elde edilmektedir (Grandt, Jr., 2004).



Şekil 2.10. Ultrasonik muayenenin (darbe-yankı tekniği) şematik gösterimi (Grandt, Jr., 2004)

Dalgaboyu (λ), aynı salınım durumuna sahip art arda gelen noktalar arasındaki mesafedir. Frekans (f) ise bir saniyede salınan dalgaların sayısıdır. Dalga boyu arttıkça frekans değeri azalmaktadır (Gur 1999b). İlerleyen sesin hızı (V), titreşimin dalgaboyu (λ) ve frekansına (f) bağlı olarak Denklem 2.1’deverilmektedir.

$$V = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

2.9.5.1. Ultrasonik dalga üretimi

Analiz veya test amaçlı tüm mekanik titreşimler elektromekanik dönüştürücüler tarafından üretilmektedir. Elektromekanik dönüştürücüler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye, ve bunun tersini içermektedir. Ultrasonik dalgaların üretilmesi için, 200

kHz'in üzerindeki mekanik titreşim frekansları için piezo-elektrik transdüserler kullanılır. Ultrasonik tahribatsız muayene için, titreşim frekansı yüksek olduğu zaman titreşimin genliği düşüktür. Bu düşük titreşim nedeniyle, ultrasonik testler test edilen malzemeyi etkilemez. Yüksek genlikli zorlanmış titreşim kalıcı deformasyon veya test edilen malzemenin bozulmasına neden olabilir.

Cihaza takılan ünitelere ultrasonik prob denir. Bu ultrasonik prob, probun içinde bulunan piezo-elektrik kristaline bir elektriksel darbe uygulandığında kısa bir ultrason dalgalarını üretir. Bu kısa dalgalar, uygun bir bağlantıyla test edilen malzemeye yönlendirilir. Bu bağlantı katı veya sıvı olabilir (Prakash, 2011).

2.9.5.2. Ultrasonik dalga tipleri

Ses dalgaları malzeme boyunca değişik şekillerde ilerleyebilmektedir. Bunlar enine dalgalar, boyuna dalgalar, lamb dalgaları, yüzey dalgaları, duran dalgalar. Boyuna dalgaların diğer adı zamanda basma dalgalarıdır. Boyuna dalgalarda, Şekil 2.11'de gösterildiği dalgaların ilerleme yönü, parçacıkların titreşim yönlerine paralel şeklindedir. Tahribatsız muayenede en çok kullanılan dalga türü malzemenin yüzeyine dike yakın şekilde girdiği durumlardır. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz olan maddelerde ilerleyebilme özelliğine sahiptir. Denklem 2.2 Bir test örneğinde boyuna dalganın ilerleme hızı (V_c) gösterilmiştir.

$$V_c = \left(\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

burada V_c : boyuna dalga hızı,

E: malzemenin elastik modülü,

ν : Poisson oranı,

ρ : malzemenin yoğunluğu'dur.

2.9.5.5. Probların seçimi

Probun seçimi yapılırken probun kalitesine bakılarak değil, hatayı inceleyerek prob seçimi yapılmalıdır. Bazı durumlarda sönümleme kritik bir faktör olabilirken, bazı durumlarda da frekans kritik bir faktör olabilir. Buna benzer şekilde odak noktası çapı ya da odak uzunluğu da kritik öneme sahip olabilmektedir (Ülker, 1995).

Normal problemleri birbirinden bazı özellikler ayırır. Bu özellikler; osilatör cinsi, osilatör çapı ve frekansıdır. Yüksek frekanslı prob seçilir ise;

- Daha az hassasiyet,
- Daha iyi bir hata tespiti,
- Daha uzun bir silindirik hüzme,
- Daha iyi bir ayırt etme yeteneği elde edilebilmektedir (Kayalı vd.,1997).

Hata türü ve hatanın malzeme içindeki konumuna göre kullanılabilen 5 adet prob çeşidi bulunmaktadır:

- 1-) Normal prob: Genellikle kofluk şeklinde tanımlanan hatalarda ve anormal ayrışmalarda kullanılır.
- 2-) Açısız prob: Malzeme içindeki hata malzeme yüzeyi ile belli bir açıda bulunmuyorsa bu tarz problemler kullanılır.
- 3-) Daldırma probu: Su ile yapılan testler için kullanılan problemlerdir.
- 4-) Çift elemanlı prob: Kalınlık ölçümlerinde bu prob tipi kullanılabilir.
- 5-) Geciktirme bloklu prob: Genelde kalınlık ölçümlerinde kullanılır. Yüzeye paralel olmayan hataların bulunmasına yardımcı olur (Topuz, 2003).

2.10. Ultrasonik Test Yöntemiyle Orman Endüstrisinde Yapılan Çalışmalar

Wang (2006), tarafından yapılan çalışmada ultrasonik ve vibrasyon yöntemi kullanılarak Douglas kerestesinde dinamik elastikiyet modülü hesaplanmış ve statik elastikiyet modülü arasında 0.80 – 0.86 arasında regresyon katsayısının olduğunu hesaplamışlardır.

Kohantorabi vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada ultrasonik yöntem kullanılarak kavak kerestesinin kurutulmasında oluşan çatlaklar bulunmuştur. Çatlakların özelliğine göre kavak kerestelerinin sınıflandırılmasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılacak deneme materyalleri (MDF) ticari olarak üç farklı üreticiden temin edilmiş kaplanmamış levhalardan oluşmaktadır. Üç farklı üreticiden alınan 18 mm'lik (MDF) ortalama 1830 x 3660 mm ebatları kullanılmıştır. Deneyler üç MDF'den biri rastgele seçilerek tek plaka üzerinden yapılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışmada izlenen yöntem Wilczynski and Kociszewski (2011)'den alınmıştır.

3.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Seçilen levha ilk önce 8 x 48 cm ölçülerine göre kesilmiştir. Kesildikten sonra iç ve dış katmanlarına ayrılmıştır (şekil 3.1). Bu ölçülerdeki parçaların ilk önce dış tabakaları yapıştırılmış; kesme, planya ve tutkallama işlemleri tekrar edilerek dış tabaka örnekleri hazırlanmıştır. Çalışmada katmanların yapıştırılmasında PVA-D3 tipi montaj tutkalı kullanılmıştır (yaklaşık 180 g/m²). Benzer aşamalar iç tabaka örneklerinin hazırlanmasında da kullanılmıştır. Yapıştırılan katmanlardan yaklaşık 18 x 18 x 60 mm ölçülerinde 6 farklı basma örneği ve yaklaşık 18 x 18 x 18 mm ölçülerinde rutubet belirleme örneği hazırlanmıştır. Örneklerin rutubet oranları fırın kurusu (102 °C ±3) yöntemine göre belirlenmiştir. Yoğunlukları ise ağırlık ve hacim ölçüleri kullanılarak belirlenmiştir. Her bir test için en az 10-15 adet test örneği hazırlanarak 21°C sıcaklık ve % 45, 65, 85 nispi rutubet şartlarında ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilmişlerdir (şekil 3.3).Yapıştırılan tabakalardan yaklaşık 20 x 20 x 30 mm ölçülerinde ultrasonik yöntem ve rutubet örnekleri hazırlanmıştır (şekil 3.2).

$$d_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (3.2)$$

Burada; d_R (gr/cm^3) rutubetli yoğunluğu, M_R (gr) rutubetli ağırlığı, V_R (cm^3) rutubetli hacimi, d_0 (gr/cm^3) tam kuru yoğunluğu, M_0 (gr) tam kuru ağırlığı, V_0 (cm^3) tam kuru hacmi ifade etmektedir.

3.2.3. Rutubet Tayini

İklimlendirme dolabında istenilen rutubet miktarına (%45, %65, %85) gerilen 20 x 20 x 30 mm ölçülerdeki örneklerin hassas terazide ağırlıkları ölçüldükten hemen sonra tam kuru ağırlıkların tespiti için kurutma fırınında $102 \pm 3^\circ\text{C}$ ' de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Rutubetleri eşitlik 3.3'teki formül ile hesaplanmıştır.

$$DRM = \frac{M_R - M_0}{M_0} * 100 \quad (3.3)$$

Burada; DRM (%) denge rutubet miktarını, M_R (gr) istenilen rutubetteki ağırlık, M_0 (gr) tam kuru ağırlığı ifade etmektedir.

Her bir test örneği hazırlanarak 21°C sıcaklık ve %45, %65, ve %85 nispi rutubet şartlarında iklimlendirme fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir (Şekil 3.3).

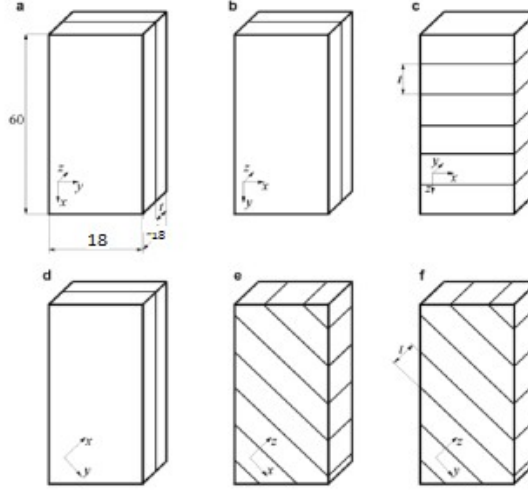
Çizelge 3.1. Ultrasonik yöntemle belirlenen elastik katsayılar

Dalga tipi	Eşitlik
V_{XX}	$C_{11} = \rho V_{XX}^2$
V_{YY}	$C_{22} = \rho V_{YY}^2$
V_{ZZ}	$C_{33} = \rho V_{ZZ}^2$
V_{YZ}/V_{ZY}	$C_{44} = (\rho V_{YZ}^2 + \rho V_{ZY}^2)/2$
V_{XZ}/V_{ZX}	$C_{55} = (\rho V_{XZ}^2 + \rho V_{ZX}^2)/2$
V_{XY}/V_{YX}	$C_{66} = (\rho V_{XY}^2 + \rho V_{YX}^2)/2$
$V_{ZY/ZY}$	$C_{23} = \sqrt{(C_{22} + C_{44} - 2\rho V_{ZY/ZY}^2)(C_{33} + C_{44} - 2\rho V_{ZY/ZY}^2)} - C_{44}$
$V_{XZ/XZ}$	$C_{13} = \sqrt{(C_{11} + C_{55} - 2\rho V_{XZ/XZ}^2)(C_{33} + C_{55} - 2\rho V_{XZ/XZ}^2)} - C_{55}$
$V_{XY/XY}$	$C_{12} = \sqrt{(C_{11} + C_{66} - 2\rho V_{XY/XY}^2)(C_{22} + C_{66} - 2\rho V_{XY/XY}^2)} - C_{66}$

Burada; V dalga hızı, ρ yoğunluğu, C katılık tensörünü, x levha üretim yönünü, y levha üretim yönüne dik ve z levhaya dik yönü ifade etmektedir.

3.2.5. Basma Testleri

Şekil 3.5 a, b, c,'de gösterilen örnekler x, y, z yönlerindeki Elastikiyet modülü (E_x , E_y , E_z) ve Poisson oranlarının (μ_{xy} , μ_{xz} , μ_{yx} , μ_{yz} , μ_{zx} , μ_{zy}) belirlenmesinde; d, e, f'deki 45° diyagonal örnekler ise kesme modüllerinin (G_{xy} , G_{xz} , G_{yz}) belirlenmesinde kullanılmıştır. Örneklerde (şekil 3.6) basma testi sırasında oluşan aktif ve pasif şekil değiştirmeleri bi-aksiyal ekstensometre ile ölçülmüştür (Şekil 3.7).



Şekil 3.5. Elastik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test örnekleri

Çalışmada elastik özelliklerin hesaplanması Wilczynski ve Kociszewski (2011) de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan MDF'nin ortalama yoğunluk değeri 0.75 g/cm^3 'tür. Çalışmanın birinci aşamasında ultrasonik yöntem kullanılarak elastik özellikler belirlenmiştir. Ultrasonik yöntem ile elde edilen tabakaların ses hızları Çizelge 4.1 ve 4.2' de gösterilmiştir. Ultrasonik ses hızları dış tabaka örneklerinde $V_{11} > V_{22} > V_{33}$ ve $V_{66} > V_{44} > V_{55}$ şeklinde görülmektedir. İç tabaka örneklerinde ise $V_{11} > V_{22} > V_{33}$ ve $V_{66} > V_{44} > V_{55}$ şeklindedir. Ses hızları kullanılarak hesaplanan katılık matrisleri çizelge 4.3 ve 4.4' de gösterilmiştir. Katılık sıralaması dış tabaka örneklerinde $C_{11} > C_{22} > C_{66} > C_{33} > C_{55} > C_{44}$, iç tabakalarda $C_{11} > C_{22} > C_{66} > C_{33} > C_{55} > C_{44}$ biçimindedir.

Çizelge 4.1. MDF dış tabaka örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).

d ¹ (g/cm ³)	DRM ² (%)	V ₁₁	V ₂₂	V ₃₃	V ₄₄	V ₅₅	V ₆₆	V ₁₂	V ₁₃	V ₂₃
0.76	4.48	2460	2410	1150	775	605	1530	925	858	812
0.83	6.7	2235	2190	1042	708	555	1392	843	775	738
0.87	11.1	1861	1829	870	589	463	1162	705	645	610

¹ yoğunluk

²denge rutubet miktarı

Çizelge 4.2. MDF iç tabaka örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).

d (g/cm ³)	DRM (%)	V ₁₁	V ₂₂	V ₃₃	V ₄₄	V ₅₅	V ₆₆	V ₁₂	V ₁₃	V ₂₃
0.66	3.35	2017	1916	608	563	559	1166	569	476	470
0.67	7.21	1917	1843	585	542	538	1122	547	458	452
0.68	10.9	1667	1610	511	473	470	980	478	400	395

Çizelge 4.3. MDF dış tabaka örnekleri için katılık matrisi (C) elemanları.

d (g/cm ³)	DRM (%)	C ₁₁	C ₂₂	C ₃₃	C ₄₄	C ₅₅	C ₆₆	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₃
0.76	4.48	4596	4406	1007	593	604	1520	886	441	426
0.83	6.7	4148	3976	909	530	539	1358	791	394	380
0.87	11.1	3020	2894	662	453	461	1160	676	337	325

Çizelge 4.4. MDF iç tabaka örnekleri için katılık matrisi (C) elemanları.

d (g/cm ³)	DRM (%)	C ₁₁	C ₂₂	C ₃₃	C ₄₄	C ₅₅	C ₆₆	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₃
0.66	3.75	2685	2423	244	198	201	865	481	245	238
0.67	7.21	2462	2277	229	173	175	752	419	213	207
0.68	10.9	1890	1763	178	150	152	654	364	185	180

Çizelge 4.5 ve 4.6’da ultrasonik yöntem kullanılarak hesaplanmış elastik sabitler gösterilmiştir. Genel olarak elastikiyet modülü ve kesme modülleri arasında iç ve dış tabakada büyük farklar görülmektedir. Bu farklar tutkal ve yoğunluk farkından kaynaklanmış olabilir. Uygulamada dış tabaka için daha fazla tutkal kullanıldığı bilinmektedir.

Çizelge 4.5. MDF dış tabaka için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.

d (g/cm ³)	DRM (%)	E _x	E _y	E _z	G _{xy}	G _{xz}	G _{yz}	ν_{xy}	ν_{xz}	ν_{yx}	ν_{yz}	ν_{zx}	ν_{zy}
0.76	6.9	4495	4355	381	1845	271	202	0.32	0.36	0.41	0.33	0.048	0.065
0.83	8	4084	3933	353	1653	248	176	0.32	0.38	0.42	0.34	0.051	0.055
0.87	11.9	1887	1550	154	1361	198	141	0.3	0.28	0.21	0.25	0.026	0.033

Çizelge 4.6. MDF iç tabaka için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.

d (g/cm ³)	DRM (%)	E _x	E _y	E _z	G _{xy}	G _{xz}	G _{yz}	ν_{xy}	ν_{xz}	ν_{yx}	ν_{yz}	ν_{zx}	ν_{zy}
0.66	7	2122	2038	151	1115	118	89	0.39	0.35	0.38	0.29	0.042	0.046
0.67	8.1	1965	1887	148	1050	110	83	0.42	0.38	0.4	0.3	0.045	0.045
0.68	11.9	1139	1067	93	892	92	70	0.3	0.2	0.37	0.38	0.012	0.039

Elastik özellikleri sıralaması dış tabaka örneklerinde $E_x > E_y > E_z$ ve $G_{xy} > G_{xz} > G_{yz}$ şeklindedir. İç tabaka örneklerinde ise $E_x > E_y > E_z$ ve $G_{xy} > G_{xz} > G_{yz}$ şeklindedir. Dış tabaka örneklerinde en yüksek elastikiyet modülü x yönünde %45 rutubet seviyesinde (4495 MPa), en düşük elastikiyet modülü z yönünde %85 rutubete seviyesinde (154 MPa) bulunmuştur. İç tabakada ise en yüksek elastikiyet modülü x yönünde %45 rutubet seviyesinde (2122 MPa), en düşük z yönünde %85 rutubet

seviyesinde (93 MPa) bulunmuştur. Kesme modülü dış tabaka örneklerinde en yüksek xy yönünde %45 rutubet seviyesinde (1845 MPa), en düşük yz yönünde %85 rutubet seviyesinde (141 MPa) elde edilmiştir. İç tabakada ise en yüksek xy yönünde %45 rutubet seviyesinde (1115 MPa), en düşük yz yönünde %85 rutubet seviyesinde (70 MPa) elde edilmiştir. Poisson oranları dış tabakada en yüksek yx düzleminde %65 rutubet değerinde (0.42), en düşük xz düzleminde %85 rutubet değerinde (0.026) bulunmuştur. İç tabakalarda ise en yüksek poisson oranı xy düzleminde %65 rutubet değerinde (0.42) en düşük zx düzleminde %85 rutubet değerinde (0.012) bulunmuştur. Elastikiyet ve kesme modülleri sonuçlara göre rutubetten en fazla etkilenenlerdir. Rutubete bağlı olarak poisson oranlarında büyük değişimler olmamıştır. Dış ve iç tabakalı örneklerde rutubet arttıkça elastikiyet ve kesme modülünde azalma görülmüştür. Poisson oranında rutubet arttıkça dış tabakalı örneklerde artma, iç tabakalılarda genel olarak azalıp artmıştır.

Silva vd. (2007) ses hızından yoğunluk bulma çalışmasında kızılçamdan üretilen MDF'nin ses hızı ortalaması 2274 m/s, Okaliptüs ağacından üretilen MDF de ise ses hızı ortalama 2214 m/s dir.

Literatürde yapılan çalışmada Janowiak vd. (1992) kesme modülünü yonga levhada G_{xy} yönünde ortalama 979.1 MPa, OSB'de yine aynı yönde ortalama 1501 MPa değerleri bulunmuştur.

Najafi vd. (2005) elastikiyet modülünü 3630 – 280 MPa ve kesme modülünü 1674 – 351 MPa arasında değişen özellikleri bildirmiştir. Poisson oranını 0.36 ve 0.45 değerlerinde ölçmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında basma testlerinden yararlanılarak elastik özellikler (E_i ve G_{ij}) hesaplanmıştır. Elastik özelliklerin hesaplanmasında kullanılan yük - şekil değiştirme ve aktif/pasif şekil değiştirme grafikleri için birer örnek şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.

MDF dış tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. MDF dış tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.

d (g/cm ³)	DRM (%)	E _x	E _y	E _z	G _{xy}	G _{xz}	G _{yz}	ν _{xy}	ν _{xz}	ν _{yx}	ν _{yz}	ν _{zx}	ν _{zy}
0.75	6.7	4495	3355	381	1845	1264	1550	0.324	0.36	0.412	0.33	0.048	0.13
0.77	7.8	4084	2933	353	1832	1170	1360	0.327	0.383	0.429	0.348	0.051	0.138
0.86	12	3455	3150	292	1557	990	1283	0.35	0.389	0.455	0.372	0.054	0.156

MDF iç tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. MDF iç tabaka için basma testiyle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.

d (g/cm ³)	DRM (%)	E _x	E _y	E _z	G _{xy}	G _{xz}	G _{yz}	ν _{xy}	ν _{xz}	ν _{yx}	ν _{yz}	ν _{zx}	ν _{zy}
0.66	6.5	2122	2038	151	1115	643	554	0.397	0.359	0.384	0.289	0.042	0.046
0.67	7.5	1965	1887	148	1050	616	510	0.423	0.382	0.409	0.307	0.045	0.045
0.74	11.7	1616	1533	116	875	504	428	0.44	0.406	0.434	0.321	0.043	0.048

Elastik özellikleri sıralaması dış tabaka örneklerinde $E_x > E_y > E_z$ ve $G_{xy} > G_{yz} > G_{xz}$ şeklindedir. İç tabaka örneklerinde ise $E_x > E_y > E_z$ ve $G_{xy} > G_{xz} > G_{yz}$ şeklindedir. Dış tabaka örneklerinde en yüksek elastikiyet modülü x yönünde %45 rutubet seviyesinde (4495MPa), en düşük elastikiyet modülü z yönünde %85 rutubete seviyesinde (292 MPa) bulunmuştur. İç tabakada ise en yüksek elastikiyet modülü x yönünde %45 rutubet seviyesinde (2122 MPa), en düşük z yönünde %85 rutubet seviyesinde (116 MPa) bulunmuştur. Kesme modülü dış tabaka örneklerinde en yüksek xy yönünde %45 rutubet seviyesinde (1845 MPa), en düşük xz yönünde %85 rutubet seviyesinde (990 MPa) elde edilmiştir. İç tabakada ise en yüksek xy yönünde %45 rutubet seviyesinde (1115 MPa), en düşük yz yönünde %85 rutubet seviyesinde (428 MPa) elde edilmiştir. Poisson oranları dış tabakada en yüksek yx düzleminde %85 rutubet değerinde (0.455), en düşük zx düzleminde %45 rutubet değerinde (0.048) bulunmuştur. İç tabakalarda ise en yüksek poisson oranı yx düzleminde %85 rutubet değerinde (0.434) en düşük zx düzleminde %45 rutubet değerinde (0.042)

bulunmuştur. Elastikiyet ve kesme modülleri sonuçlara göre rutubetten en fazla etkilenenlerdir. Rutubete bağlı olarak poisson oranlarında büyük değişimler olmamıştır. Dış ve iç tabakalı örneklerde rutubet arttıkça genel olarak elastikiyet ve kesme modülünde azalma görülmüştür. Poisson oranında rutubet arttıkça dış tabakalı örneklerde artma, iç tabakalılarda genel olarak azalıp artmıştır. MDF için ANOVA tablosu elastikiyet modülü Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. MDF için ANOVA tablosu (elastikiyet modülü)

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-değeri	Pr>F
Model	6	862941432	143823572	215.57	<.0001
Katman	1	120164868.3	120164868.3	180.11	<.0001
Yön	2	707571922.3	353785961.2	530.28	<.0001
Yoğunluk	1	11090796.1	11090796.1	16.62	<.0001
Bağıl nem	2	24113845.3	12056922.6	18.07	<.0001
Hata	230	153447691	667163.8		
Düzeltilmiş toplam	236	1016389123			
R-kare	Varyasyon katsayısı	Ortalama hata	Ortalama E		
0.849027	32.36730	597.3735	1845.608		

MDF için rutubet etkisi elastikiyet modülü Çizelge 4.10 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. MDF için rutubetin etkisi (elastikiyet modülü)

Duncan Grubu	Ortalama	N	RH
A	2090	60	45
B C	1895	60	65
C	1775	60	85

Şekil 4.3’de test edilen MDF’nin elastikiyet modülleri üzerine bağıl nemin etkisi görülmektedir. Buna göre ortalama değerler göz önünde bulundurulduğunda bağıl neme bağlı elastikiyet modülü aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilebilir.

$$\text{Elastikiyet modülü (MDF)} = -7.875 \cdot \text{Bağıl Nem} + 2261.6 \quad (R^2 = 0.9815)$$

MDF için yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.11) katman farkı ve yön kesme (makaslama) modülünü önemli derecede etkilemektedir. Dış

bakımından farklıdır (Çizelge 4.13). Rutubet Poisson oranlarını etkilememektedir.

Çizelge 4.12. MDF için ANOVA tablosu (Poisson oranları)

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-değeri	Pr>F
Model	9	9.76849346	1.08538816	60.17	<.0001
Katman	1	0.00062602	0.00062602	0.034	0.7985
Poisson yönü	5	9.49247318	1.89849464	105.25	<.0001
Yoğunluk	1	0.12038843	0.12038843	6.67	0.0004
Bağıl nem	2	0.15500583	0.07750291	4.30	0.0032
Hata	227	4.09471367	0.01803839		
Düzeltilmiş toplam	236	13.86320713			
R-kare	Varyasyon katsayısı	Ortalama hata	Ortalama Poisson		
0.704634	38.34821	0.097926	0.255360		

Çizelge 4.13. Yönlere göre Poisson oranları (MDF)

Duncan Grubu	Ortalama	N	Poisson
A	0.409	63	μ_{yx}
B	0.372	72	μ_{xy}
C	0.371	64	μ_{xz}
D	0.324	74	μ_{yz}
E	0.093	85	μ_{zy}
E	0.046	81	μ_{zx}

Yapılan çalışma da ultrasonik (u) ve basma (b) test sonuçları karşılaştırılmıştır. MDF dış tabaka elastikiyet modülü (Şekil 4.4), MDF dış tabaka kesme modülü (Şekil 4.5), MDF dış tabaka poisson oranları(Şekil 4.6) ve MDF iç tabaka elastikiyet modülü (Şekil 4.7), MDF iç tabaka kesme modülü (Şekil4.8), MDF iç tabaka poisson oranları (Şekil 4.9) karşılaştırılmaları yapılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir firmanın üretmiş olduğu MDF levha, ortotropik bir malzeme olarak kabul edilmiş ve farklı rutubet şartlarında elastik özellikleri belirlenmiştir. MDF’de rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Bu MDF’nin düşük denge rutubetine sahip olmasından kaynaklanabilir. Diğer taraftan iç ve dış tabakalar arasında özellikle elastikiyet modülü ve kesme modülleri arasında önemli farklar bulunmuştur. Test edilen MDF örneklerinde x, y, z yönlerindeki elastikiyet modülleri de genel olarak farklıdır.

Genel olarak MDF’de yön ve katman farkı elastik sabitler üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahiptir. Elde edilen elastik özellikler MDF kullanılarak tasarlanan eleman veya sistemlerin (mobilya) sonlu elemanlar gibi programlarda yük altındaki davranışlarının ortotropik olarak modellenmesinde kullanılabilir. Ayrıca üretilen MDF’lerde istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesinde gerekli katman kalınlığının son ürün üzerinde etkisi sonlu elemanlar gibi programlarda önceden belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, T., 1991. Orüs-Vezirköprü Yongalevha Fabrikasında Üretilen Levhaların Teknolojik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134s, İstanbul.
- Akbulut, T., 1999. Dünya'da ve Türkiye'de MDF Endüstrisinin Genel Durumu. Laminart Dergisi, Sayı 3.
- Akbulut, T., Ayrılmış N., 2001. MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51(2), 26-41.
- Anonim, 1993. Euro MDF Board: A Users Manuel, Almanya.
- Anonim, 2015. Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu 2013. TOBB, Ankara, 68s.
- Anonim, 2016. Türkiye ve Dünyada Ağaç Bazlı Levha Sektörü. Erişim Tarihi: 13.11.2016. <http://www.mobilyadergisi.com.tr/haber/turkiye-ve-dunyada-agac-bazli-levha-sektoru>
- Ayrılmış, N., 2000. MDF'nin Yonga Levhaya Göre Üstünlükleri. Laminart Dergisi, Sayı 7.
- Bao, Z., Eckelman C. A., Gibson H. 1996. Fatigue Strength and Allowable Design Stresses for Some Wood Composites Used in Furniture, Holz als Roh- und Werkstoff, 54, 377-382.
- Bodig, J.; Jayne, B.A. 1982. Mechanics of wood and wood composites. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Bodig, J., Jayne, B.A., 1993. Mechanics of wood and wood composites. Krieger Publishing Co. Malabar Florida, 712 pp.
- Bucur, V., Ansell, M.P., Barlow, C.Y., Pritchard, J., Garros, S., Deglise, X., 1998. Physical methods for characterizing wood composite panel products. Holzforschung 52: 553-561.

Çamsan A.Ş., 1978. Erişim Tarihi: 17.11.2016.

<http://www.camsan.com.tr/hakkimizda/>

Davis, J., Wells, P., Hie, J., Lindgren, O., 1991. Microstructure of Wood Using High Resolution X-ray Computed Tomography. Proceedings of the 8th NDT of Wood Symposium, Vancouver, Washington, 13pp.

Eren, E., 2011. Seramik karoların ultrasonografik tahribatsız muayene metodu ile incelenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 211 s. Eskişehir.

Eroğlu, H., 1994. Liflevha Endüstrisi. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 212s, Trabzon.

Eroğlu, H., Usta, M., 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 351s, Trabzon.

Esteban L G, Fernandez F G and de Palacios P. 2009. MOE prediction in Abies pinsapo Boiss. timber: Application of an artificial neural network using non-destructive testing, Computers and Structures 87, 1360-1365.

Ganev, S., Gendron, G., Cloutier, A., Beauregard, R., 2005. Mechanical properties pf MDF as function of density and moisture content. Wood and Fiber Science, 37(2):314-326.

Gerhards, C.C. 1977. Effect of duration and rate of loading on strength of wood and wood based materials. Res. Pap.

Gerhards, C.C. 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. Wood and Fiber. 14(1): 4-36.

Grandt, Jr., A.F. (2004), Fundamentals of structural integrity damage tolerant design and nondestructive evaluation, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, A.B.D.

Guo, Z., Zhang, H., Hunt, J.F., Fu, F., 2009. Cantilever Beam Static Bending and Vibration Test Apparatus Developed for Thin Composite Products. Proceedings of the 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood, October 12-14, Beijing, China, 242 - 247.

- Gür, C.H. (1999b), “Tahribatsız tekniklerin malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki yeri”, 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara, 357–372.
- ISO 818, 1975. (E), Fibre building boards, International Standard Organization,
- İşleyici, U., 2005. Effect of Surface Roughness on Ultrasonic. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134s, Ankara.
- Janowiak, J. J., Pellerin, R. F., 1992, Shear moduli determination using torsional stiffness measurements, Wood and fiber science, V.24(4), p. 398-400.
- Kayalı, E.S., Eruslu, N., Ürgen, M., Taptık, Y., Çimenoglu, H., 1997. Hasar Analizi Seminer Notları T.M.M.O.B. Metalurji Muhendisleri Odası, 8-36.
- Kingston, R.S.T. 1962. Creep, relaxation, and failure of wood. Research Applied in Industry. 15(4).
- Kurtoğlu, A. 1999. Mobilya Endüstrisi Lisans Ders Notları. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Lindgren, O., 1992. Medical CT-Scanners for Non-Destructive Wood Density and Moisture Content Measurements. Luleå University, Department of Wood Technology, Doctoral Thesis, Sweden, 92p.
- McDonald, K.A., 1978. Lumber defect detection by ultrasonics. Forest Prod Lab Res Paper FPL 311, USDA, Madison, WI, 25 pp.
- Moarcas, O. and Irle, M. 1999. Determining of Poisson’s ratio for particleboard in pure bending. Wood Science and Technology, (33): 439-444.
- Najafi, S.K., Bucur, V., Ebrahimi, G., 2005. Elastic Constants of Particleboard with Ultrasonic Technique. Materials Letter, 59(16), 2039 - 2042.
- Pavlekovich, A. Niemz, P., Sonderegger, W., Molnar, S. 2008. Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften von Spanplatten und MDF. Holz Roh Werkstoffe, 66:99-105

- Plenzler, R. Ludwiczak-Niewiadomska, L. Mielcarek, P. 2013. Shear and bending properties of structural oriented strand boards OSB/4. *Wood Research*. 58(2): 285-294.
- Prakash, R., 2011. Non-destructive testing techniques, new academic science, proquest ebook central. 10-24p.
- Ross, R.J., Geske, E.A., Larson, G.H., Murphy, J.F., 1991. Transverse Vibration Nondestructive Testing Using a Personal Computer. Research Paper FPLRP-502, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, 17 pp.
- Ross, R.J., Pellerin R.F., 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures. General Technical Report FPL – GTR – 70, USDA, Forest Product Laboratory, Madison, WI, 40 pp.
- Ross RJ (ed) (2010) Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. U.S. Dept. Of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.
- Sebera, V., Tippner, J. Simek, M., Srajer, J. Decky, D. Klimova, H. 2014. Poisson's ratio of the MDF in respect to vertical density profile. *European Journal of Wood Products*, 72:407-410.
- Suchland, O., Woodson, G., 1991. Fiberboard Manufacturing Practices in the United States. U.S. Department of Agriculture, Forest Service No: 640, Louisiana, USA.
- Silva, M. A. S., Gonçalves. R., 2007. Avaliação da distribuição da densidade em MDF a partir da tecnica da onda de ultra-som, *Scientia Forestalis*, n.74, p. 19-26
- Thomas, W.H., 2003: Poisson's ratios of an oriented strand board. *Wood Sci. Technol.* 37(3-4): 259-268.
- Topuz, A. (2003), Tahribatsız Muayeneler, Fatih Gençlik Vakfı Matbaası, İstanbul.
- TS 64-1 EN 622-1, 2005. Liflevhalar-özellikler-bölüm1: genel özellikler. TSE, Ankara.

TS EN ISO 898-1, 2013. İmalat makineleri ve takımları teknik komitesi. TSE, Ankara.

Tuncel, S., 2008. Tahribatsız Muayene Teknolojilerinde Son Gelişmeler: Akustik Emisyon. 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, April, Istanbul. 12pp.

Ülker, A. (1995), Characterization of directivity patterns of ultrasonic nondestructive testing probes, Master of Science Thesis, The Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara.

Wang, S.Y., 2006. Evaluation of the Mechanical Properties of Douglas – fir Lumber and It' s Structural Glulam by Non – destructive Techniques. In: 9th World Conference in Timber Engineering.

Wilczyński, A., Kociszewski, M., 2003: Elastic properties of particleboard as heterogeneous material. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 6 (2), 9 pp.

Wilczynski, A., Kociszewski, M., 2011. Determination of elastic constants of particleboard layers by compressing glued layer specimens. Wood Research, 56(1):77-92.

Zombori, B., 2001. “In situ” nondestructive testing of built in wooden members. Erişim Tarihi: 22.02.2017.

<http://www.ndt.net/article/v06n03/skatter/skatter.htm>