

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖKNAR (*Abies cilicica* (Ant.et Kotschy) Carr.) ODUNUNUN
ELASTİK SABİTLERİNİN BELİRLENMESİ

Ayşegül ÖZVEREN

Danışman
Prof. Dr. Birol ÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018



© 2018 [Ayşegül Özveren]

TEZ ONAYI

Ayşegül ÖZVEREN tarafından hazırlanan "**Göknar (*Abies cilicica* (Ant.et Kotschy) Carr.) Odununun Elastik Sabitlerinin 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.

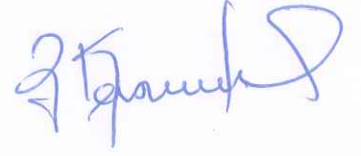
Danışman

Prof. Dr. Birol ÜNER
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Deniz AYDEMİR
Bartın 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.

Ayşegül ÖZVEREN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Ahşabın Yapısı	3
2.1.1. Anatomik Yapı	3
2.1.2. Ortotropik Yapı	5
2.2. Ahşabın mekanik davranışı	6
2.2.1. Lineer Elastik Davranış	6
2.2.2. Mekanik Anizotropi	7
2.2.3. Çekme-basma direnci	7
2.3. Elastik Özellikler	8
2.3.1. Elastikiyet Modülü (E)	8
2.3.2. Poisson Oranı	9
2.3.3. Rijitlik Modülü (G)	9
2.4. Direnç Özellikleri	9
2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler	10
2.5.1. Doğal Faktörler	10
2.5.1.1. Özgül Ağırlık	10
2.5.1.2. Budaklar	11
2.5.1.3. Lif Kıvrıklığı	12
2.5.1.4. Yıllık Halka Yönü	13
2.5.1.5. Reaksiyon Odunu	13
2.5.1.6. Genç Odun	14
2.5.1.7. Ekstraktif Maddeler	15
2.5.2. Çevresel Faktörler	15
2.5.2.1. Rutubet	15
2.5.2.2. Sıcaklık	16
2.5.2.3. Yük Altında Geçen Zaman	18
2.5.2.4. Sünme	18
2.5.2.5. Yükleme Süresi	19
2.5.2.6. Yorulma	19
2.5.2.7. Kimyasal maddeler	20
2.5.2.8. Emprenye	21
2.5.2.9. Küf ve renk mantarları	21
2.5.2.10. Çürüklük	21
2.5.2.11. Böcek Hasarları	22
2.6. Tahribatsız Muayene	22
2.6.1. Deformasyon, stres dalga, vibrasyon	22

2.6.2. Delme Yöntemi.....	24
2.6.3. Ultrasonik Yöntem.....	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması	29
3.2.2. Rutubet tayini.....	30
3.2.3. Ultrasonik ölçümler	31
3.2.4. Basma Testleri	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
6. KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖKNAR (*Abies cilicica*(*Ant et.Kotschy*) Carr.) ODUNUNUN ELASTİK SABİTLERİNİN BELİRLENMESİ

Ayşegül Özveren

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol ÜNER

Bu çalışmada, Toros Göknaında (*Abies cilicica* Carr.) rutubetin elastik sabitler üzerine etkisi incelenmiştir. Üç lif yönünde elastikiyet modülü (E_L , E_R , E_T), altı Poisson oranı (ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RT} , ν_{TR} , ν_{RL} , ν_{TL}) ve üç farklı düzlemde kesme modülü (G_{LR} , G_{RT} , G_{LT}) değerleri ultrasonik yöntem ve basma testleri yardımıyla belirlenmiştir. Basma testlerinde ayrıca üç lif yönündeki basma dirençleri de belirlenmiştir. Kusursuz ve küçük test örnekleri 20 °C sıcaklık ve % 45, 65 ve 85 nispi rutubet şartlarında bekletilmiştir. Örneklerde ses dalgası geçiş hızları ultrasonik hata bulma cihazı yardımıyla ve 2.27 MHz doğrusal, 1 MHz kesme problemleri kullanılarak ölçülmüştür. Basma testlerinde gerilme-şekil değiştirme eğrileri bi-aksiyal ekstensometre ile ölçülmüş ve elastik sabitler hesaplanmıştır. Test sonuçlarına göre rutubet, Poisson oranları hariç diğer elastik özellikleri ve basma direncini istatistiksel olarak önemli ölçüde azaltmaktadır. Göknaar odunun üç lif yönünde elastikiyet modülleri bakımından istatistiksel önemli farklar bulunmaktadır. Elastikiyet modülleri bakımından $E_L > E_R > E_T$, basma direnci yönünden $L > T > R$ kuralı geçerlidir. Kesme modülleri de bilinen $G_{LR} > G_{LT} > G_{RT}$ kuralına uymaktadır. Çalışma sonuçları Göknaar kullanılan eleman veya sistemlerin yük altındaki davranışının modellenmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Göknaar, elastik sabitler, rutubet.

2018, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF ELASTIC CONSTANTS OF FIR WOOD

Ayşegül Özveren

Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Birol ÜNER

In this study, the effect of moisture on the elastic constants of Fir wood (*Abies cilicica* Carr.) has been investigated. Three modulus of elasticity in principal directions (E_L , E_R , E_T), six Poisson's ratios (ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RT} , ν_{TR} , ν_{RL} , ν_{TL}) and three shear modulus (G_{LR} , G_{RT} , G_{LT}) were determined using ultrasound and compression tests. Compression strength in principal directions was also determined. Clear and small wood specimens were conditioned at 20 ° C and 45%, 65 and 85 relative humidity conditions. Ultrasound wave speed was determined using flaw detector with 2.27 MHz longitudinal and 1 MHz shear transducers. Strain-strain curves of the samples were obtained using bi-axial extensometer in order to calculate elastic constants. Test results indicated that moisture content significantly reduced the measured properties except Poisson's ratios. The elastic modulus in three principal directions is significantly different. Well-known order of $E_L > E_R > E_T$ for elasticity, and $L > T > R$ for compression strength is valid. Shear modulus obeys the $G_{LR} > G_{LT} > G_{RT}$ rule. The results of this study can be used in the modeling of behavior of elements or systems under load using Fir wood.

Keywords: Fir, elastic constants, moisture content.

2018, 62 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Birol ÜNER'e teşekkürlerimi sunarım. Tezin gerçekleşmesinde her aşamada bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Dr. Tuğba YILMAZ AYDIN ve Uzman Murat AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

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

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Ferhat Özveren ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayşegül ÖZVEREN
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ahşabın anatomik yapısı.....	4
Şekil 2.2. Yıllık halkada yaz odunu – ilkbahar odunu dağılımı.....	5
Şekil 2.3. İğne yapraklı traheid hücre yapısı	5
Şekil 2.4. Ağaç malzemedeki anatomik yönler.....	6
Şekil 2.5. Ahşap malzeme için farklı yönlerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	8
Şekil 2.6. Özgül ağırlık ve elastikiyet modülü arasındaki ilişki	11
Şekil 2.7. Budaklar ve lif yönü üzerine etkisi.	12
Şekil 2.8. Yıllık büyüme halkalarının yönüne göre yük yönü: 90° veya dik (R), 45°, 0° veya paralel (T).	13
Şekil 2.9. Genç odun ve normal odun karşılaştırması.....	15
Şekil 2.10. Sıcaklığın mekanik özelliklere ani etkisi a) elastikiyet modülü, b) eğilme direnci, c) liflere paralel basma direnci (20 °C'ye göre)	17
Şekil 2.11. Ahşap malzeme için yükleme süresi ile maksimum gerilme arasındaki ilişki.....	18
Şekil 2.12. Farklı gerilme seviyeleri altında oluşan sünme eğrileri.....	19
Şekil 2.13. Yük süresi ile kırılma zamanı arasındaki ilişki.....	19
Şekil 2.14. Tekrarlı yüklemelerde dayanma sınırı	20
Şekil 2.15. Deformasyon prensibiyle çalışan Metriguard MOE ölçüm cihazı	23
Şekil 2.16. Stres dalga prensibi ile çalışan cihazlara örnekler	24
Şekil 2.17. Delme yöntemi ile tel direk muayenesi	25
Şekil 2.18. Pulse – eko tekniği ile kusur belirlenmesi	26
Şekil 2.19. Doğrudan iletim tekniği ile kusur belirlenmesi.	27
Şekil 3.1. Göknaarın ülkemizde yayılış alanları	29
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan tomrukların biçilmesi.	30
Şekil 3.3. Göknaar tomruklarından elde edilen keresteler ve test örnekleri.	30
Şekil 3.4. Göknaar örneklerinde ses dalgası geçiş sürelerinin ölçülmesi.	32
Şekil 3.5. Göknaar örneklerinde basma testleri.	35
Şekil 4.1. Ses hızlarının rutubete göre değişimi.....	39
Şekil 4.2. Ses hızı kullanılarak tahmin edilen elastikiyet modüllerinin rutubete göre değişimi	39
Şekil 4.3. Ses hızı kullanılarak tahmin edilen kesme modüllerinin rutubete göre değişimi.	40
Şekil 4.4. Ses hızları kullanılarak tahmin edilen Poisson oranlarının rutubete göre değişimi.	40
Şekil 4.5. Basma testlerinden elde edilen yük-deformasyon eğrileri.....	41
Şekil 4.6. Basma testlerinde rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi.	43
Şekil 4.7. Basma testlerinde rutubetin direnç üzerine etkisi.	47
Şekil 4.8. Basma testlerinde rutubet ile Poisson oranları arasındaki ilişki.	50
Şekil 4.9. Basma testlerinde rutubetin kesme modülleri üzerine etkisi.	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Hankinson formülü sabitleri (Kretschmann, 2010).	13
Çizelge 2.2. Bazı mekanik özelliklerin rutubet ile değişimi (Gerhards, 1982).	16
Çizelge 4.1. Göknaar örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).	37
Çizelge 4.2. Göknaar odunu için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.	38
Çizelge 4.3. Göknaar odununun L, R ve T yönlerindeki elastikiyet modülü değerleri.	42
Çizelge 4.4. Göknaar örneklerinde lif yönü ve rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi.	42
Çizelge 4.5. Göknaar örneklerinde lif yönünün elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi.	43
Çizelge 4.6. Göknaar odununun L, R ve T yönlerindeki basma direnci değerleri	45
Çizelge 4.7. Göknaar örneklerinde lif yönü ve rutubetin basma direnci üzerine etkisi.	45
Çizelge 4.8. Göknaar örneklerinde lif yönünün basma direnci üzerine etkisi.	45
Çizelge 4.9. Göknaar odununun Poisson (ν_{TR} , ν_{TL} , ν_{RL} , ν_{RT} , ν_{LR} , ν_{LT}) değerleri	48
Çizelge 4.10. Göknaar'da rutubetin ν_{LR} üzerine etkisi	48
Çizelge 4.11. Göknaar'da rutubetin ν_{LT} üzerine etkisi	48
Çizelge 4.12. Göknaar'da rutubetin ν_{RL} üzerine etkisi	49
Çizelge 4.13. Göknaar'da rutubetin ν_{RT} üzerine etkisi	49
Çizelge 4.14. Göknaar'da rutubetin ν_{TL} üzerine etkisi	49
Çizelge 4.15. Göknaar'da rutubetin ν_{TR} üzerine etkisi	49
Çizelge 4.16. Göknaar odununda basma testlerinden elde edilen ortalama kesme	51
Çizelge 4.17. Göknaar'da G_{LR} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	52
Çizelge 4.18. Göknaar'da G_{LR} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	52
Çizelge 4.19. Göknaar'da G_{LT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	52
Çizelge 4.20. Göknaar'da G_{LT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	52
Çizelge 4.21. Göknaar'da G_{RT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	53
Çizelge 4.22. Göknaar'da G_{RT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.	53

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

E	Elastikiyet modülü
G	Kesme modülü
C	Katılık matrisi
TMY	Tahribatsız muayene yöntemi
V	Ses hızı
L	Boyuna yön
R	Radyal yön
T	Teğet yön
σ	Gerilme
ε	Şekil değiştirme
ν	Poisson oranı
τ	Kesme gerilmesi
γ	Kesme şekil değiştirmesi
σ_V	Düşey gerilme
ε_H	Yatay şekil değiştirme
ε_V	Düşey şekil değiştirme

1. GİRİŞ

İnsanoğlu'nun kullandığı en eski yapı malzemelerinden birisi ahşaptır. Ahşabın yenilenebilir olması, kolay işlenmesi, üretiminde az enerji gereksinimi vb. avantajlarına rağmen mantar ve böceklerle, yangına karşı hassas olması gibi bazı dezavantajları da taşımaktadır. Her geçen gün artan insan nüfusu ahşap malzemelere olan talebi arttırmaktadır. Bu da ahşabın kullanım yerine uygun olarak rasyonel bir biçimde tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu da ahşap malzemenin tüm mühendislik özelliklerinin bilinmesiyle olacaktır. Ahşap anizotropik bir malzeme olduğu için fiziksel ve mekaniksel özellikleri yönlerine bağlı değişmektedir. Ahşap malzeme özel bir anizotropi durumu olan ortotropik malzeme olarak kabul edilir. Buna göre ahşap malzemenin L, (Lif yönüne paralel), R (Radyal) ve T (Yıllık halkalara teğet) yönlerinde elastik ve direnç özellikleri değişmektedir.

Kullanım yerinde yük altındaki ahşap malzemenin davranışın tam ve detaylı olarak tahmin edilebilmesi için ortotropik elastik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Emniyet gerilmeleri içinde üç yöndeki direnç özellikleri araştırılmalıdır. Ortotropik elastikiyetin temelinde ahşap malzemenin elastik davranışı, dokuzu bağımsız on iki elastik sabit ile temsil edilir. Bunlar üç lif yönündeki elastikiyet modülü (E_L, E_R, E_T), altı Poisson oranı ($\nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RL}, \nu_{RT}, \nu_{TL}, \nu_{TR}$) ve üç kesme veya makaslama modülüdür (G_{LR}, G_{LT}, G_{RT}). Benzer şekilde direnç davranışı da her üç ortotropik yöndeki direnç özellikleri ile belirlenebilir (Bodig ve Jayne, 1993).

Ahşap malzemedeki elastik özellikler lif yönlerine göre farklılık gösterir. Liflere paralel yöndeki elastikiyet modülü diğer yönlerle göre oldukça yüksektir. Fakat radyal ve teğet yönlerdeki elastikiyet modülleri arasında büyük farklar bulunmaz. Benzer şekilde Poisson oranları ve kesme modülleri de lif yönüne göre farklılık gösterebilir. Bu farklar ağaç türü ve yoğunluk gibi ahşap malzemenin doğasından kaynaklanabilir veya rutubet gibi çevresel faktörlerden etkilenebilir (Kretschmann, 2010).

Ağaç malzeme orta derece gerilme seviyelerinde ve kısa süreli yüklemelerde genellikle lineer elastik malzeme olarak kabul edilir (Bodig ve Jayne, 1993). Bu temel elastik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Bodig ve Jayne (1993)'e göre temel lif yönlerinin elastikiyet modülleri arasında ($E_L:E_R:E_T$) yaklaşık 20:1.6:1 oranı bulunmaktadır. Kesme modülleri ($G_{LR} : G_{LT} : G_{RT}$) arasında ise 10:9.4:1 oranı olduğunu kabul etmişlerdir.

Ahşap aynı zamanda higroskopik bir malzemedir ve sürekli olarak denge rutubet seviyesine ulaşmak için çevresi ile rutubet alışverişinde bulunur. Bu yüzden ahşabın rutubet seviyesi her zaman ortamdaki havanın nem oranına bağlıdır. Rutubet elastik ve direnç özelliklerini değiştiren en önemli çevresel faktördür. Odunun mekanik özellikleri genellikle rutubet içeriğinin lif doygunluğu noktasının altına düşmesi ile artar. Bu etki odunun yapısal olarak kullanılacağı yerlerde dikkate alınmalıdır. Lif doygunluğu noktasının (LDN) altında rutubet miktarının artması mekanik özellikleri azaltırken LDN'nin üzerinde rutubet miktarının artması mekanik özellikleri anlamlı bir şekilde değiştirmez. Genellikle lif doygunluğu noktasından % 6 rutubet seviyesine kadar mekanik özelliklerde artış görülmektedir ve maksimuma % 6 rutubet miktarında ulaşılır (Gerhards, 1982).

Ülkemizde yetişen ağaç türleri ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle eğilmede elastikiyet modülü ile bazı direnç özellikleri belirlenmiştir. Ahşap malzemenin mekanik davranışının tanımlanabilmesi ve modelleme yapılabilmesi için 12 sabite ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojileri ile ahşap malzemenin 12 elastik sabiti sonlu elemanlar programlarında kullanılarak daha detaylı ve kesin sonuçlar almak mümkündür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Ahşabın Yapısı

Ahşap malzemenin yük altındaki davranışı ahşabın anatomik ve kimyasal yapısına bağlıdır. Örneğin traheidlerin veya liflerin çoğunun ağacın boyuna yönünde paralele yakın konumlanması bu yöndeki mekanik özellikleri farklı yapmaktadır. Çekme direncinin basma direncinden yüksek olması bu diziliş ile alakalıdır. Liflere dik yöndeki özelliklerin düşük olması bu odun hücreleri arasındaki konfigürasyonun sonucudur. Dolayısıyla mekanik davranışı anlayabilmek için ahşabın yapısal elemanlarının bilinmesi gerekmektedir.

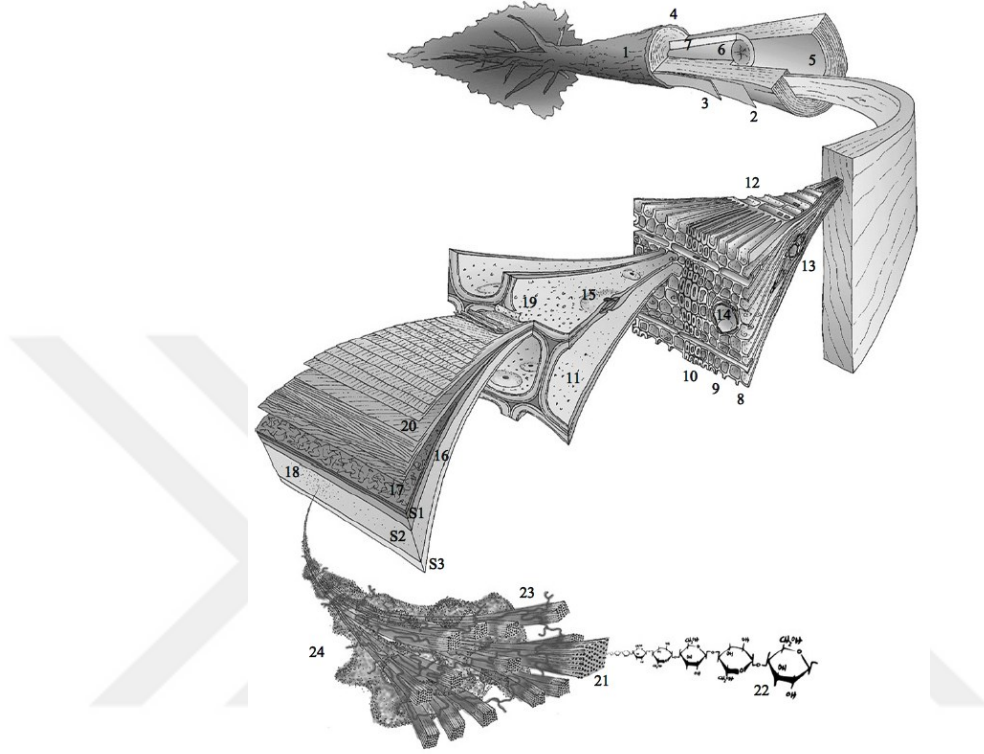
2.1.1. Anatomik Yapı

Ahşap malzemenin yük altındaki davranışının tam olarak anlaşılması için yapısının iyi bilinmesi gerekir. Ahşap doğal bir malzemedir ve birbiri ile bağlantılı yapısal elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 2. 1). Ahşap malzemenin en küçük yapılarına bakıldığında bireysel hücre duvarları ve bunların bileşenleri selüloz, hemi-selüloz, lignin ve ekstraktif maddeler bulunmaktadır. Ahşap malzeme aşağıdaki şekilde karakterize edilebilir:

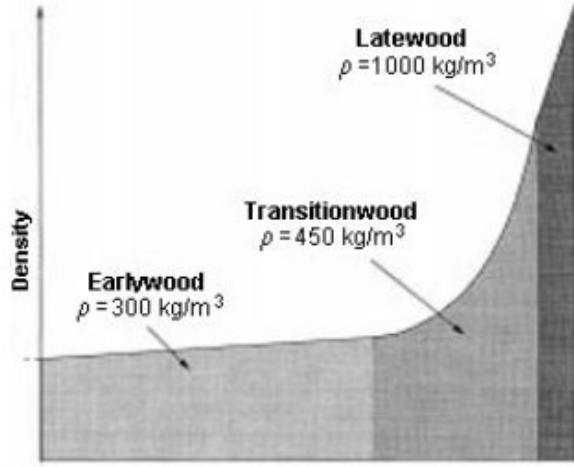
1. Masif yapı: 1 m den büyük boyutlara sahip yapısal kereste
2. Makro ölçekli yapı: 0.1-1 m arasındaki malzeme
3. Mezo ölçekli yapı: Büyüme halkası seviyesinde olan yapılar
4. Mikro ölçekli yapı: Hücre seviyesinde olan yapılar
5. Nano ölçekli yapı: Hücre duvarı seviyesi, molekül yapısında olan yapılar

Ahşabın mekanik özellikleri farklı ölçek seviyelerinde birbiriyle karşılaştırma yapılamaz sadece belirlenen aynı ölçek seviyesinde karşılaştırma yapılabilir (Ozyhar, 2013). Ahşap malzemedeki selüloz zincirlerinin uzunluğu, bu zincirlerin hücre eksenine ile yaptığı açı, hücre duvarının kalınlığı, hücre duvarı içerisindeki S2 tabakasının kalınlığı ve oranı, hücre boyutları, yıllık halka genişliği, yıllık halka içerisindeki yaz odunu oranı (Şekil 2. 2), lif kıvrıklığı vb. mekanik davranışları

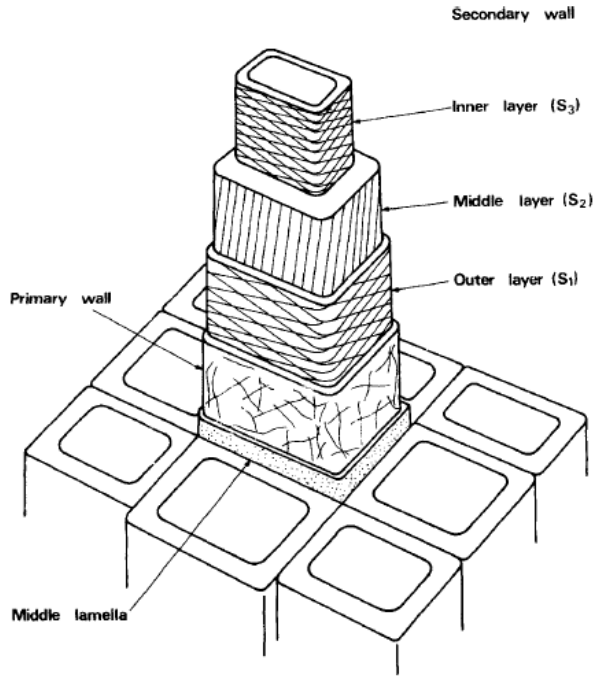
üzerinde etkilidir. Bunlar genellikle ağaç türü, yetiştirme ortamı vb. faktörlerden etkilenmektedir. S2 tabakası (Şekil 2. 3) genellikle en kalın tabaka olduğu için ahşabın özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Dinwoodie, 2000).



Şekil 2.1. Ahşabın anatomik yapısı; 1.Kabuk 2. Kambiyum 3. İç kabuk 4. Dış kabuk 5. Diri odun 6. Öz odun 7. Genç odun 8. İlkbahar odun 9. Geçiş odunu 10. Yaz odunu 11. Traheid 12. Öz ışını 13. Radyal reçine kanalları 14. Eksenel reçine kanalları 15. Kenarlı geçit. 16. Orta lamel 17. Primer çeper 18. Sekonder çeper 19. Siğilli tabaka 20. Hücre duvarı lameli 21. Mikrofibriller 22. Selüloz zinciri 23. Hemisülülöz tabakası 24. Amorf yapı (Harrington, 1996).



Şekil 2.2.Yıllık halkada yaz odunu – ilkbahar odunu dağılımı (Persson 1997).

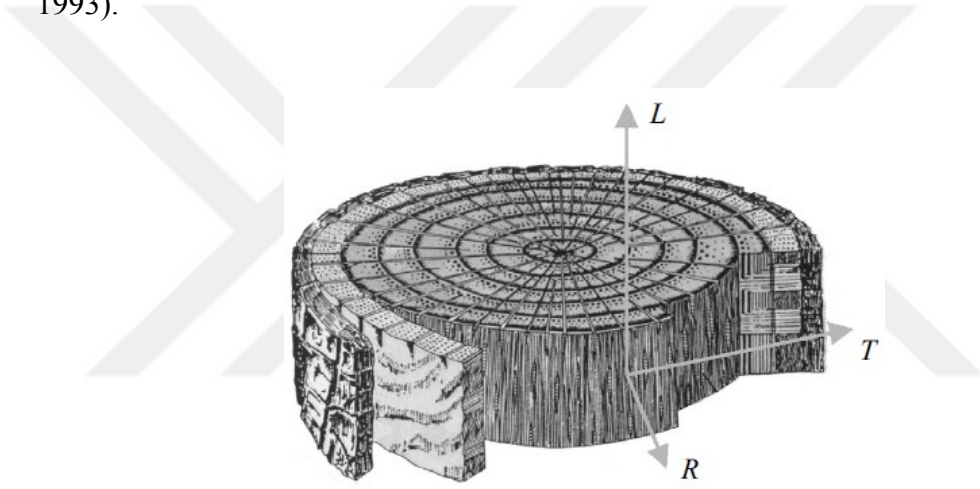


Şekil 2.3. İğne yapraklı traheid hücre yapısı (Dinwoodie, 2000) .

2.1.2. Ortotropik Yapı

Ahşap anizotropik bir malzemedir ve bu da fiziksel ve mekanik özelliklerinin lif yönüne bağlı olduğu anlamına gelir. Ahşap için kabul edilen en yaygın anizotropi, ortotropik simetrisidir. (Bodig ve Jayne, 1993). Ortogonal malzeme simetrisi üç anatomik yön ile tanımlanır (Şekil 2. 2); boyuna (L, lif boyuna paralel), radyal (R,

yıllık halkalarına dik) ve teğet (T, yıllık halkalarına teğet). Ahşabın ortotropik karakteri mekanik özellikleri de dahil olmak üzere tüm özelliklerini etkiler. Sonuç olarak, ahşabın elastik ve direnç özellikleri, belirlenen yöne bağlıdır. Ahşabın mekanik davranışının belirlemek için tüm yönlerdeki özelliklerin (L, R ve T) bilinmesi gerekir. Bu pratikte, oldukça fazla deneysel çalışma demektir. Elastik ortotropi teorisi, temelinde ağaç malzemenin elastik davranışı, dokuzu bağımsız olmak üzere on iki elastik sabite dayanmaktadır. Aynı şekilde, direnç davranışı her üç ortotropik yöndeki direnç özellikleri ile belirlenir. Başka bir deyişle, ana eksenler arasındaki mekanik özellikler, yani üç yöne dayalı mekanik davranışı ayırt etmek için her üç anatomik eksenin belirlenen özellikleri gereklidir (Bodig ve Jayne, 1993).



Şekil 2.4. Ağaç malzemedeki anatomik yönler (Dinwoodie, 2000)

2.2. 2.2 Ahşabın mekanik davranışı

Ahşap kompleks bir anatomik yapıya sahip bir malzemedir bu da mekanik davranışına yansır (Ozyhar, 2013). Kısa süreli ve düşük yükleme seviyelerinde ahşap malzemenin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilir (Bodig ve Jayne, 1993).

2.2.1. Lineer Elastik Davranış

Lineer elastik yapısal kuramı gerilme σ_{kl} ve şekil değiştirme ϵ_{mn} tensörleri arasındaki multilineer ilişki (Denklem 1) ile tanımlanır (Bodig ve Jayne, 1993).

$$\sigma_{kl} = C_{klmn} \cdot \epsilon_{mn} \quad (1)$$

Burada; C_{klmn} elemanları malzemenin elastik parametrelerinin olduğu katılık tensörüdür (Denklem 2). Katılık matrisi (C) ile uyum matrisi (S^{-1}) arasındaki ilişki kullanılarak L, R ve T yönlerindeki elastik davranış on iki sabit ile tanımlanabilmektedir (Bodig ve Jayne, 1993).

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{LR} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{RT} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{LR} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{RT} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Bu yüzden uyum matrisinin diyagonal elemanları Young modülü ve kesme modülünün tersidir ve denklem 3'deki gibi ifade edilebilir (Bodig ve Jayne, 1993);

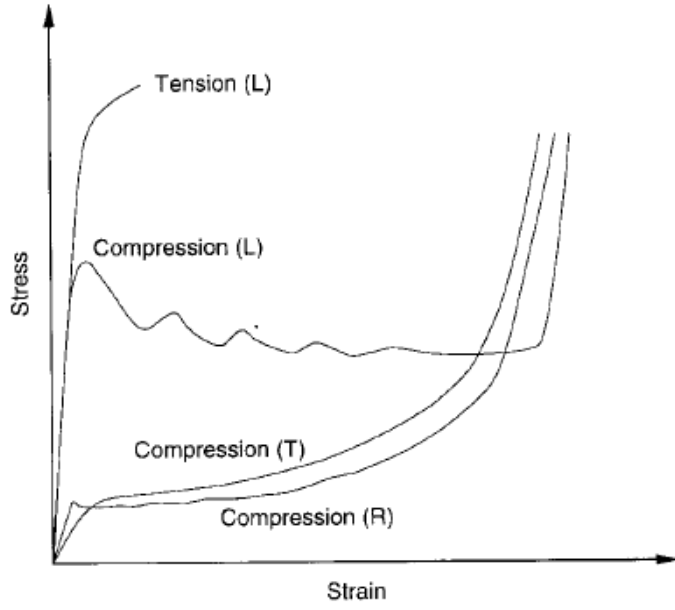
$$S_{11}=E_L^{-1}, S_{22}=E_R^{-1}, S_{33}=E_T^{-1}, S_{44}=G_{LR}^{-1}, S_{55}=G_{LT}^{-1}, S_{66}=G_{RT}^{-1} \quad (3)$$

2.2.2. Mekanik Anizotropi

Makro ölçekteki ya da kusursuz ahşap örneği, silindirik malzeme eksen bakımından anizotropik olarak değerlendirilir (Dahl, 2009). Dolayısı ile mekanik özellikler L R ve T olmak üzere üç temel yöne bağlı olarak değişir. Bu da birbirine dik yönlerin oluşturduğu malzeme simetrisinden dolayı orthotropik davranışı meydana getirir. Bu davranış sonucu ağaç malzemenin mekanik özellikleri dahil tüm özelliklerinde yönlerimize bağlı olarak değişmektedir. Bodig ve Jayne (1993)'ye göre anizotropik yapı özelliği elastikiyet modülü oranında belirgindir ($E_L : E_R : E_T \approx 20 : 1.6 : 1$). Direnç özellikleri bakımından da lif yönleri açısından farklar görülür. Örneğin lif yönündeki basma direnci liflere dik yöndeki basma direncinin 8-12 katıdır (Aydın vd. 2007). Çekme direnci liflere dik yönde oldukça zayıftır.

2.2.3. Çekme-basma direnci

Ahşap mekanik davranışına has bir özelliği de çekme-basma davranışındaki asimetridir. Bu, çekme direncinin basma direncinden önemli derecede yüksek olduğunu gösterir (Şekil 2. 5). Çekme direnci basma direncinin iki katına kadar çıkabilir (Ozyhar, 2013).



Şekil 2.5. Ahşap malzeme için farklı yönlerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Holmberg vd, 1999).

2.3. Elastik Özellikler

2.3.1. Elastikiyet Modülü (E)

Elastikiyet, düşük gerilmeler sonucu oluşan deformasyonun yük kaldırıldıktan sonra geri döndürülebildiği anlamına gelir. Daha yüksek gerilme seviyelerinde plastik deformasyon veya hasar veya kırılma oluşmaktadır. Ahşap malzemede ortotropik elastikiyeti tanımlamak için boyuna (E_L), radyal (E_R) ve teğet (E_T) olmak üzere üç elastikiyet modülü kullanılır. Bu modüller genellikle basma veya çekme testlerinden elde edilir, ancak basma testi daha basit olduğu için tercih edilmektedir. Boyuna yönde elastikiyet modülü verileri oldukça yaygın olmakla birlikte, E_R ve E_T verileri fazla değildir. Elastikiyet modülleri türler içinde, arasında, ve yoğunluklarına göre değişmektedir (Kretschmann, 2010). Bir aksenal testten ziyade eğilmede elde edilen elastikiyet modülü MOE olarak adlandırılmaktadır (Bodig ve Goodman, 1973). Eğilmeden elde edilen elastikiyet modülü (MOE) kesme deformasyonu içerdiğinden aksenal elastikiyet modülünden (E_L) daha düşüktür. Elastikiyet modülü ilk defa İngiliz fizikçi Thomas Young (1773-1829) tarafından tanımlandığı için “Young’s modulus” olarak da isimlendirilir.

2.3.2. Poisson Oranı

Bir ahşap eleman aksenal olarak yüklendiğinde, yük yönüne dik olan şekil değiştirmesi, yük yönüne paralel şekil değiştirmesi ile orantılıdır. Bu orana Poisson oranı denir. İlk defa Fransız matematikçi ve fizikçi Siméon Poisson (1781-1840) tarafından tanımlanmıştır. İzotropik malzemeler tek Poisson oranı ile temsil edilir, ortotropik ahşap malzeme ise altı Poisson oranı ile temsil edilir. Bunlar ν_{LR} , ν_{RL} , ν_{LT} , ν_{TL} , ν_{RT} ve ν_{TR} ile gösterilir. Alt simgenin ilk alt karakteri uygulanan stres yönünü ve ikincisi ise yanal deformasyon yönünü ifade eder. Örneğin ν_{LT} teğet yönde oluşan deformasyonun lif yönünde oluşan deformasyona oranını göstermektedir. Poisson oranlarının ikisi yani ν_{RL} ve ν_{TL} çok düşüktür ve diğer Poisson oranlarına göre daha az belirlenmiştir. Poisson oranı türler içinde, arasında değişir ve rutubete, özgül ağırlığa göre değişmektedir (Kretschmann, 2010). Poisson oranlarının gösterilmesinde bazı kaynaklarda “ μ ” simgesi de kullanılmaktadır.

2.3.3. Rijitlik Modülü (G)

Kesme veya makaslama modülü olarak da adlandırılan rijitlik modülü, bir malzemenin aynı düzlemde ters yöndeki kuvvetlerin etkisiyle oluşan şekil değiştirmeye karşı direncinin bir ölçüsüdür. Ortotropik davranan ahşap malzeme için LR, LT ve RT düzlemlerinde olmak üzere üç adet kesme modülü tanımlanır; G_{LR} , G_{LT} ve G_{RT} (Dinwoodie, 2000).

2.4. Direnç Özellikleri

Direnç özellikleri ahşap malzemenin kullanım yerinde gerekli emniyet gerilmelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Eğilme direnci, liflere paralel basma direnci, liflere dik basma direnci ve liflere paralel kesme direnci önemli direnç özelliklerindedir. Bunlara ek olarak eğilmede iş, şok direnci, liflere dik çekme direnci, sertlik ve liflere paralel çekme direnci sayılabilir. (Kretschmann, 2010).

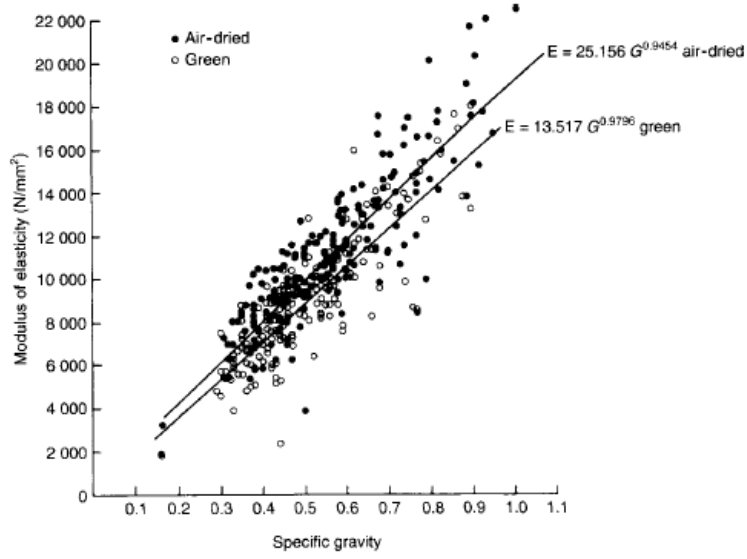
2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler

2.5.1. Doğal Faktörler

Temel mekanik özelliklerin laboratuvar ortamında belirlenmesi için standartlarda belirtilen küçük düz lifli kusursuz ahşap örnekleri kullanılır. Ağaçların yetişme ortamı faktörlerinden dolayı, ahşap özellikleri büyük ölçüde özgül ağırlığa, doğal kusurlara göre değişebilir. Ahşabın gerçek özelliklerini değerlendirirken veya ahşabın gerçek performansını tahmin etmede bu ahşap özellikleri dikkate alınmalıdır (Bodig ve Jayne, 1993).

2.5.1.1. Özgül Ağırlık

Ahşabı oluşturan madde (hücre duvarı) aslında sudan daha ağırdır; Ağaç türleri arasında fark olmaksızın hücre duvarının özgül ağırlığı yaklaşık 1.5'tir (Dinwoodie, 2000). Buna rağmen, çoğu ahşap türü suda kolaylıkla yüzmekte ve hacminin bir kısmı hücre boşlukları veya gözenekleri tarafından tutulmaktadır. Bu boşlukların boyutlarındaki ve hücre duvarlarının kalınlığındaki değişiklikler, bazı türlerin birim hacim başına diğer türlere göre daha fazla ahşap ve dolayısıyla daha yüksek özgül ağırlık almasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, özgül ağırlık, bir ahşap parçasında bulunan ahşap maddenin miktarının mükemmel bir indeksidir (Kretschmann, 2010). Ahşap, düz lifli ve kusurlardan arındırılmış olduğu sürece mekanik özelliklerin en iyi göstergelerinden biri özgül ağırlıktır. Bununla birlikte, özgül ağırlık değerleri reçine ve ekstraktif maddelerin varlığını yansıtır ve mekanik özelliklere az da olsa etkilemektedir (Bodig ve Jayne, 1993). % 12 rutubet miktarından ahşabın elastikiyet modülü ile özgül ağırlığı arasında elde edilen ilişki doğrusaldır ve korelasyon katsayısı 0.88'dir (Şekil 2.6), bu ilişki yaş ahşap için 0.8'dir (Dinwoodie, 2000).



Şekil 2.6. Özgül ağırlık ve elastikiyet modülü arasındaki ilişki (Dinwoodie, 2000).

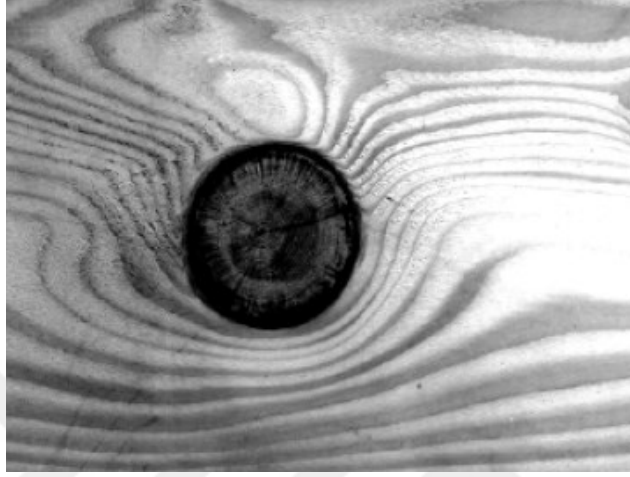
2.5.1.2. Budaklar

Budak, ağacın gövde içerisinde kalmış bir dalın parçasıdır (Şekil 2. 7). Budaklar genellikle lif yönünü ve sürekliliğini değiştirdikleri için mekanik özellikleri etkilemektedirler. Budağın etkisi büyüklüğüne, bulunduğu yere, şekline ve sağlamlığına ve aynı zamanda ahşap elemanın maruz kaldığı gerilme türüne bağlıdır. Budağın şekli kesim yönüne bağlıdır. Kereste bir dal uzunluğuna dik açı ile kesildiğinde neredeyse yuvarlak bir budak oluşur. Çoğu mekanik özellik budak içeren ahşapta kusursuz ahşap elemana göre azalmaktadır. Bunun sebepleri;

- lifler budak ile lif kıvrıklığına uğrar,
- ahşap özellikleri değişir,
- liflerin sonlanması budak etrafında yoğunlaşmasına sebep olur,
- kurutma sırasında budaklar etrafında çatlaklar oluşabilir (Kretschmann, 2010).

Sertlik ve liflere dik basma direnci budaklar nedeniyle azalmayabilir. Budaklar kısa elemanlarda çekme direncini basma direncine göre daha çok etkiler. Eğilmeye maruz kalmış ahşap elemanda budak ahşap elemanın alt tarafında kalırsa daha çok etkilenir.

Çünkü ahşap elemanın alt tarafında çekme gerilmesi oluşmaktadır. Eğer budak yükleme yapılan ahşap elemanın üst tarafında ise daha az gerilme olur. Nedeni ise basma gerilmesine maruz kalmasıdır. Yuvarlak olarak kullanılan ahşap elemanlarda budakların etkisi kesilmiş elemanlara göre daha azdır (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.7. Budaklar ve lif yönü üzerine etkisi (Kretschmann, 2010).

2.5.1.3. Lif Kıvrıklığı

Lif kıvrıklığı, herhangi bir ahşap elemanda liflerin eksenden sapması olarak tanımlanabilir. Lif kıvrıklığı ahşap elemanın tomruktan nasıl elde edildiği ve büyüme koşullarıyla ilgili olabilir (Kretschmann, 2010). Ahşap malzemelerin kullanıldığı uygulamalarda önemli gerilmelerin doğal lif yönüyle çakışmayabilir. Doğal eksen dışındaki elastik ve direnç özellikleri Hankinson formülü ile hesaplanabilir (Bodig ve Jayne, 1993):

$$N = \frac{PQ}{P \sin^n \theta + Q \cos^n \theta}$$

Burada

N = lif yönünden θ açısı ile oluşan direnç özelliği,

Q , liflere dik yöndeki direnç özelliği,

P , liflere paralel yöndeki direnç özelliği,

n , deneysel katsayı.

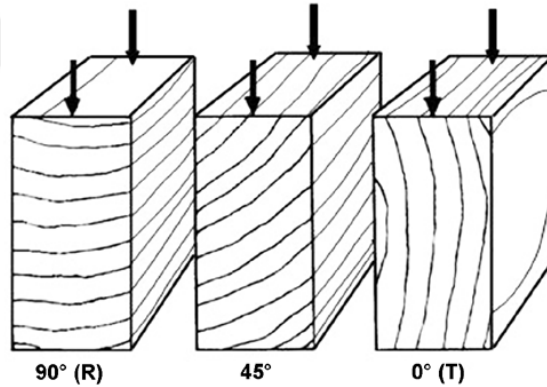
Yapılan çalışmalarda n ve Q/P değerleri çizelge 2.1'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Hankinson formülü sabitleri (Kretschmann, 2010).

Özellik	n	Q/P
Çekme direnci	1.5-2	0.04-0.07
Basma direnci	2-2.5	0.03-0.4
Eğilme direnci	1.5-2	0.04-0.1
Elastikiyet modülü	2	0.04-0.12
Toughness	1.5-2	0.06-0.1

2.5.1.4. Yıllık Halka Yönü

Liflere dik yönde olan gerilmeler (Şekil 2. 8), büyüme halkalarına 0° (T yönü) ila 90° (R yönü) arasında olabilmektedir. Liflerin dik yöndeki mekanik özellikleri paralel yöndeki mekanik özelliklerinden oldukça azdır (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.8. Yıllık büyüme halkalarının yönüne göre yük yönü: 90° veya dik (R), 45° , 0° veya paralel (T) (Kretschmann, 2010).

2.5.1.5. Reaksiyon Odunu

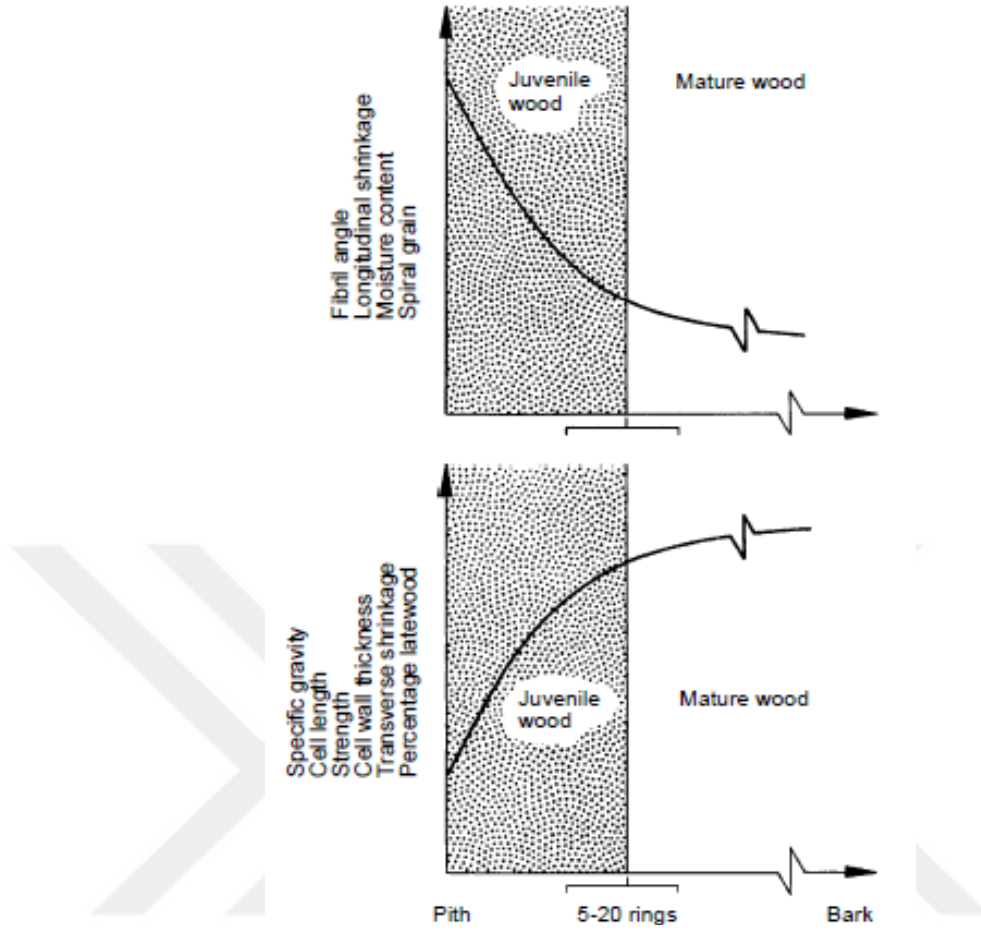
Dış hava koşullarından ve eğimli araziden etkilenen ağaç gövdesinin normal ekseninden sapması sonucu oluşan yapıya reaksiyon odunu denmektedir (Örs ve Keskin, 2008). Reaksiyon odunu, hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçlarda görülebilir. İğne yapraklı ağaçlarda reaksiyon odunu basınç odunu olarak adlandırılır ve eğilen gövdenin alt kısmında oluşur. Geniş yapraklı ağaçlarda reaksiyon odunu

çekme odunu olarak da bilinir ve eğimli gövdenin üst tarafında bulunur. (Kretschmann, 2010).

Reaksiyon odununun kimyasal, anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin çoğu, normal odundan farklılık gösterir. En önemli farklılığı ise normal oduna kıyasla yoğunluk artışıdır. Basınç odununun özgül ağırlığı normal odununkinden % 30 ila % 40 daha fazladır; çekme odununun özgül ağırlığı genelde normal odununkinden % 5 ila % 10 arasında değişir, ancak %30'a kadar artabilir. Basınç odunu genellikle normal ahşaptan biraz daha koyu, çünkü yaz odunu oranı daha yüksektir ve cansız bir görünüme sahiptir. İlbahar odunundan yaz odununa geçişler anidir. Çünkü basınç odunu normal oduna göre daha mattır (Kretschmann, 2010).

2.5.1.6. Genç Odun

Ağaçların 5 ile 20 yılları arasında oluşan dokuya genç odun denmektedir (Arslan ve Aydemir, 2009). Genç odun, normal oduna göre oldukça farklı fiziksel ve anatomik özelliklere dolayısıyla mekanik özelliklere sahiptir. Genç odun yüksek bir mikrofibril açısına sahiptir, bu da normal odunda oluşan daralma ve genişlemenin çok daha yüksek olmasına sebebiyet verir (Bodig ve Jayne, 1993). Genç odun ile normal odun yapısı arasındaki farklar şekil 2. 9'de gösterilmiştir. Genç odunun birçok mekanik özelliği normal oduna göre düşüktür. Genç odunun eğilme direnci, çekme direnci ve elastikiyet modülü normal oduna göre sırasıyla % 50 - 90, % 50- 95 ve % 45-75 arasında daha azdır (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.9. Genç odun ve normal odun karşılaştırması (Kretschmann, 2010).

2.5.1.7. Ekstraktif Maddeler

Birçok ağaç türü odunu selüloz-lignin yapısını bozmayan uzaklaştırılabilir yabancı maddeler veya ekstraktif maddeler içerir. Ekstraktif maddeler çıkarıldıktan sonra bazı ağaç türlerinde eğilme direnci ve liflere paralel basma direncinde az miktarda bir azalma görülebilir. Ekstraktif maddelerin mekanik özellikleri nasıl etkilediği rutubete ve ekstraktif madde miktarına göre değişmektedir (Kretschmann, 2010).

2.5.2. Çevresel Faktörler

2.5.2.1. Rutubet

Birçok mekanik özellik lif doyunluğunun altındaki nem içeriğindeki değişimlerden etkilenmektedir. Odun içerisinde su hücre çeperlerinde ve hücre boşluklarında bulunmaktadır. Hücre çeperi içerisinde bulunan suya bağlı su veya higroskopik su,

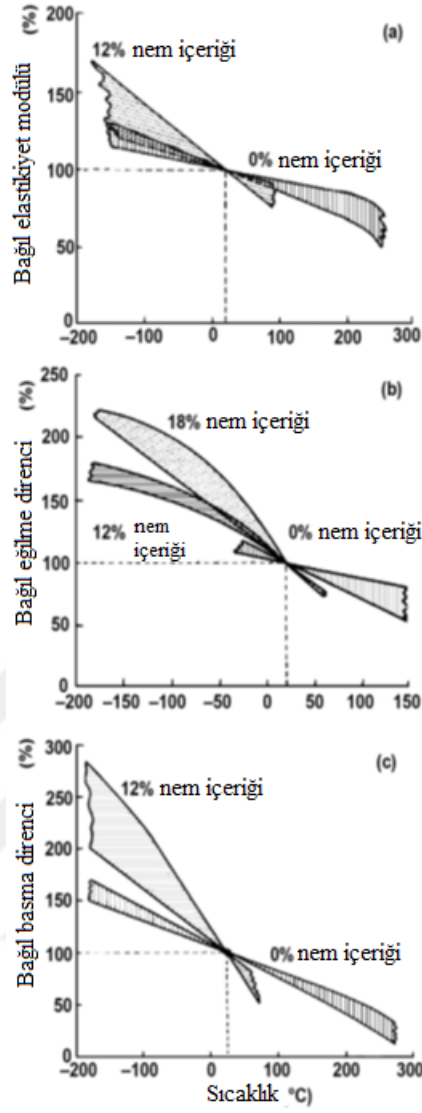
hücre boşluklarında bulunan suya serbest su adı verilmektedir. Odunda serbest suyun hiç bulunmadığı, fakat bağlı suyun mümkün olan en yüksek miktarda bulunduğu noktaya lif doyunluğu noktası (LDN) denilmektedir. LDN ahşap teknolojisi bakımından son derece önemli bir unsurdur. Mekanik özelliklerin çoğu LDN altındaki rutubet değişikliklerinden etkilenmektedir (Dinwoodie, 2000). Gerhards'a (1982) göre rutubetin % 1 artması liflere paralel elastikiyet modülünü % 1.65, liflere dik basma direncini ise % 4.3 civarında azaltmaktadır (Çizelge 2.2). Rutubetin mekanik özelliklere etkisi ile ilgili detaylı bilgi Kretschmann (2010) ve Dinwoodie (2000) bulunabilir. Literatürde artan rutubet artışının mekanik özellikleri azalttığı genel bir kabul olmakla birlikte Poisson oranları üzerine etkisi tartışmalıdır.

Çizelge 2.2. Bazı mekanik özelliklerin rutubet ile değişimi (Gerhards, 1982).

Özellik	% 12 rutubete göre oransal değişim (%)	
	% 6 rutubette	% 20 rutubette
Liflere // elastikiyet modülü	+ 9	-13
⊥modülü elastikiyet Liflere	+20	-23
Kesme modülü	+20	-20
Eğilme direnci	+30	-25
Liflere // çekme direnci	+8	-15
Liflere // basma direnci	+35	-35
Liflere // kesme direnci	+18	-18
Liflere⊥ çekme direnci	+12	-20
Liflere ⊥basma direnci (at the proportional limit)	+30	-30

2.5.2.2. Sıcaklık

Genel olarak, ahşap malzemenin mekanik özellikleri sıcaklık artınca azalır ve sıcaklık düşünce yükselir. Rutubet sabit tutulduğunda, 150 ° C'nin altında mekanik özellikler sıcaklıkla yaklaşık olarak doğru orantılıdır. 100 ° C'nin altındaki sıcaklıklarda, sıcaklık etkisi tersine çevrilebilir yani özellik eski haline geri döner. Şekil 2. 10'da, sıcaklığın kusursuz ve küçük deney örneklerinde liflere paralel elastikiyet modülü, eğilme direnci ve liflere paralel basma direnci üzerindeki anlık etkisi görülmektedir (Kretschmann, 2010).

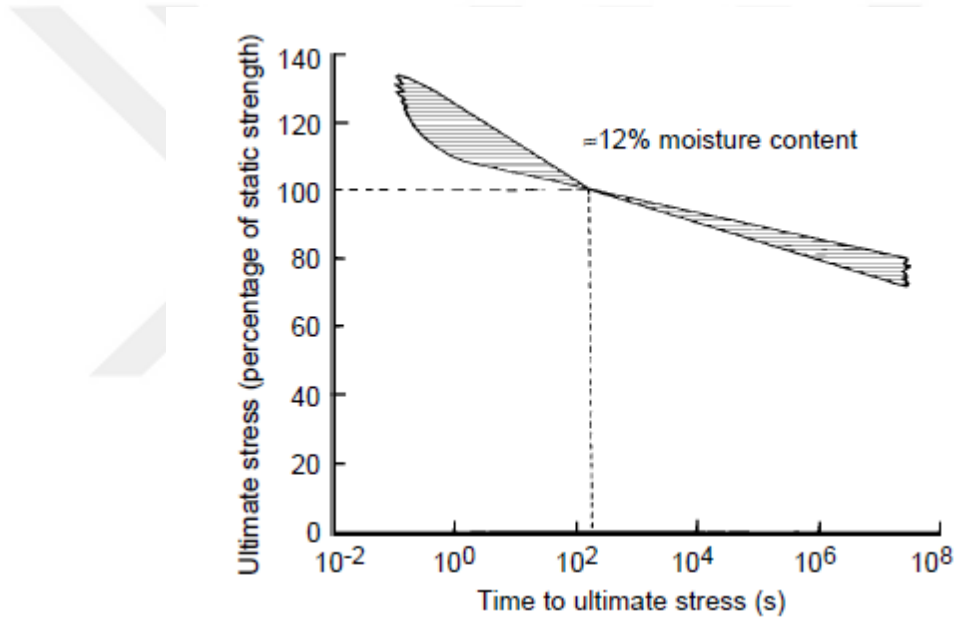


Şekil 2.10. Sıcaklığın mekanik özelliklere ani etkisi a) elastikiyet modülü, b) eğilme direnci, c) liflere paralel basma direnci (20 °C'ye göre) (Kretschmann, 2010).

Sıcaklığın yüksek sıcaklıkta ahşap malzeme üzerinde geri döndürülemez bir etkisi vardır. Bu kalıcı etki, ahşap malzemenin kimyasal değişimi sonucu oluşmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisi günümüzde ısıl işlem adı altında ticari yöntemlerin geliştirilmesinde kullanılmıştır (Green ve Evans, 1994). Isıl işlem sonucu odunun yoğunluğu, denge rutubet miktarı ve bazı mekanik özellikleri azalmakla birlikte doğal dayanıklılık sağlanmaktadır.

2.5.2.3. Yük Altında Geçen Zaman

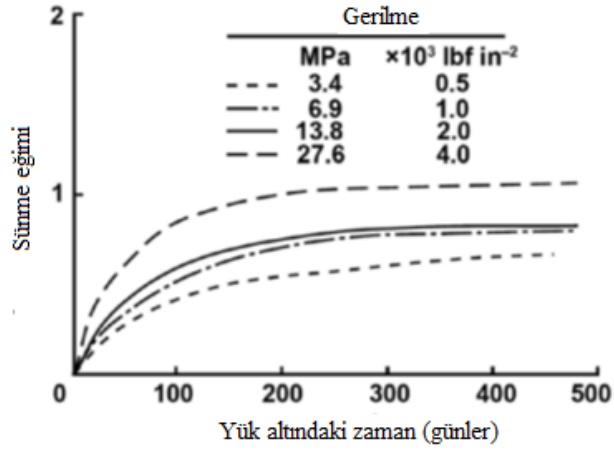
Dinwoodie'e (2000) göre ahşap tam olarak elastik davranış göstermez, davranışı daha çok zamana bağlıdır. Literatürde verilen mekanik özellikler genellikle 5 dakika veya daha kısa süre içerisinde maksimum yüke ulaşmak için bir yükleme hızı veya deformasyon hızı ile elde edilmiştir. Daha hızlı yükleme sürelerinde daha yüksek direnç değerleri elde edilirken daha düşük yükleme sürelerinde daha düşük değerler elde edilir (Şekil 2. 11). Örneğin, ahşap elemanlarda 1 saniyede kırılma veya hasar meydana getirmek için gereken yük miktarı, standart statik testlerde elde edilenden yaklaşık % 10 daha yüksektir (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.11. Ahşap malzeme için yükleme süresi ile maksimum gerilme arasındaki ilişki (Kretschmann, 2010).

2.5.2.4. Sünme

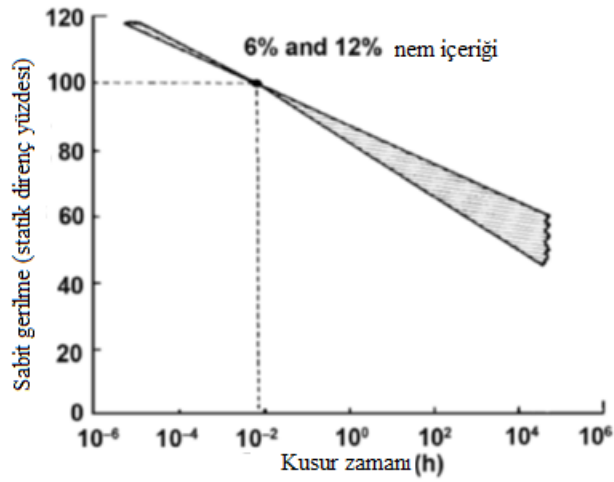
Sabit yük altında zamana bağlı meydana gelen şekil değiştirmelerine sünme denilmektedir. Sünme, çok düşük yüklemelerde bile meydana gelebilir ve yıllarca devam edebilir. Yüksek gerilmelerde, kısa sürede kırılmalara veya hasara sebep olabilir (Güntekin, 2003). Sünme sonucu oluşan deformasyon % 30'luk yükleme seviyelerinde bile birkaç yıl içinde anlık sünmenin iki katına çıkabilir (Şekil 2. 12). Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerde sıcaklık ve rutubet artışı ile sünmenin arttığı bilinmektedir (Güntekin, 2003).



Şekil 2.12. Farklı gerilme seviyeleri altında oluşan sünme eğrileri (Kretschmann, 2010).

2.5.2.5. Yükleme Süresi

Yükleme süresi veya bir yükün bir ahşap eleman üzerinde kaldığı süre malzemenin davranışını etkilemektedir (Şekil 2. 13). Malzemenin güvenli bir şekilde taşıyabileceği yükün belirlenmesinde önemli bir faktördür ve sıcaklık ile rutubet değişimlerinden etkilenebilir (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.13. Yük süresi ile kırılma zamanı arasındaki ilişki (Kretschmann, 2010).

2.5.2.6. Yorulma

Malzemelerin tekrarlı (çevrim) bir şekilde maruz kaldığı yükler sonucunda, statik dayanımının çok altında bir gerilmeye kırılması yorulma olarak tanımlanmaktadır (Güntekin ve Aydın, 2015). Hansen'e (1991) göre ahşap esaslı malzemelerde

2.5.2.8. Emprenye

Ahşap kullanım sırasında yanma veya çürümeye karşı direncini arttırmak için kimyasal maddeler ile emprenye edilebilir. Farklı emprenye işlemlerinin mekanik özellikleri üzerinde kendine özgü bir etkisi bulunmaktadır (Winandy ve Morrel, 1993). Alev yayılmasını geciktirici işlemler veya kimyasallar, mantarlara karşı uygulanan kimyasallar ahşabın mekanik özelliklerini genellikle belirgin bir şekilde azaltır (Kretschmann, 2010).

2.5.2.9. Küf ve renk mantarları

Küf ve renk mantarları, ahşabın mekanik özelliklerini ciddi olarak etkilemez. Çünkü bu mantarlar, hücre boşluğundaki maddeler üzerinde veya yapısal duvarın kendisinden ziyade hücre duvarına yapışırlar. Enfeksiyon süresinin ve ilgili mantar türlerinin bozulma derecesinin belirlenmesinde önemli faktörler olduğu görülmüştür. Düşük seviyedeki biyolojik renk, dirençte az bir kayba neden olmasına rağmen, yüksek derecede renklenmede, özgül ağırlığı % 1 ila % 2, yüzey sertliğini % 2 ila % 10, eğilme ve liflere dik basma direncini % 1 ila % 5 ve şok direncini % 15 ila % 30 oranında azaltabilir. Küf ve renk mantarlarının genellikle direnç üzerinde önemli bir etkisi olmamasına rağmen, bu organizmaları oluşturduğu koşullar ahşabı zarar veren mantarların gelişmesine sebebiyet verir (Winandy ve Morrel, 1993).

2.5.2.10. Çürüklük

Küf ve renk mantarlarının aksine, ahşabı tahrip eden çürüklük mantarları odunun yapısında bulunan selülozdan beslenerek odundaki direnç özelliğini ciddi şekilde azaltır (Kretschmann, 2010). Çürümenin ilk aşamalarının belirlenmesi neredeyse olanaksızdır. Örneğin, kahverengi çürüklük mantarı, odunda ölçülebilir bir ağırlık kaybına sebebiyet vermeden ve çürümenin gözle görülür hale gelmesinden önce mekanik özellikleri % 10'dan daha fazla azaltabilir. Ahşabın ağırlık kaybı % 5 ile % 10'a ulaştığında, mekanik özellikler % 20- % 80'e oranında azalır (Wilcox, 1978).

2.5.2.11. Böcek Hasarları

Dikili ağaçlarda, tomruklarda ve kurutulmuş ya da kurutulmamış kerestelerde böcek hasarı oluşabilir. Ancak dikili ağaçta böceğin hasar kontrolü zordur. Böcek hasarı uygun kontrol yöntemleri ile önemli ölçüde önlenabilir. Böceklerden hasar görmüş ahşabın görünümünden dirençteki azalmayı tahmin etmek için bir yöntem bilinmemektedir. Direncin önemli olduğu yerlerde böcek hasarı olan parçaların kullanılmaması gerekmektedir (Wilcox, 1978).

2.6. Tahribatsız Muayene

Malzemenin kullanım yerinde gerekli fiziki yapısını ve kullanılabilirliğini bozmadan malzeme içerisindeki düzensizliklerin veya malzeme özelliklerinin belirlenmesine tahribatsız muayene adı verilir. Tahribatsız muayene yöntemleri günümüzde tıp alanından metalurji'ye kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Orman endüstrisinde en eski tahribatsız muayene yöntemi kerestelerin görsel muayene ile sınıflandırılmasıdır. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra endüstrideki gelişmelere paralel olarak ormancılık ve orman endüstrisi alanında da bazı tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanılmasına başlanmıştır. Ormancılık ve orman endüstrisinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri; deformasyon, stres dalga, vibrasyon, delme, ultrasonik, x-ray ve lazer tarama yöntemleridir (Ross, 2015). Aşağıda bu yöntemlerden en çok kullanılanları ile ilgili temel bilgiler ve ormancılık / orman endüstrisinde temel uygulama alanları gösterilmiştir.

2.6.1. Deformasyon, stres dalga, vibrasyon

Başlıkta sıralanan tahribatsız muayene yöntemleri genellikle kereste vb. orman ürünlerinin sınıflandırılmasında ve/veya eğilme özelliklerinin (MOE/MOR) bulunmasında kullanılmaktadır. Görsel sınıflandırmadan sonra özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da en çok ve en eski yöntemlerden birisi deformasyon yöntemidir. Bu yöntem elastik bölgede uygulanan yük sonucu oluşan deformasyonun ölçülmesi ve bu verilerin kullanılmasıyla elastikiyet modülünün hesaplanmasını ve eğilme direncinin tahmin edilmesini kapsar. Kuzey Amerika'da yetişen türlerin keresteleri üzerinde yapılan çalışmalarda elastikiyet modülü ile eğilme direnci

arasındaki korelasyon katsayısının 0.72 ile 0.88 arasında olduğu bulunmuştur (Ross, 2015). Bu yöntemi kullanan makineler özellikle Kuzey Amerika’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların en bilinenleri Metriguard şirketi tarafından üretilmektedir (Şekil 2. 15).



Şekil 2.15. Deformasyon prensibiyle çalışan Metriguard MOE ölçüm cihazı (metriguard.com).

Stres dalga yönteminde, bir vurma etkisi veya darbe sonucu oluşan ses dalgasının yayılım hızı ölçülerek elastikiyet belirlenir. Kusursuz kereste örneklerinde yapılan çalışmalarda stres dalga yöntemiyle elde edilen elastikiyet modülü ile eğilme elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayısının 0.87 ile 0.98 arasında olduğu görülmüştür (Ross, 2015). Ülkemizde yetişen kızılçamın farklı sınıflardaki kerestelerinde stres dalga yöntemi ile tahmin edilen elastikiyet modülü ile eğilmede elastikiyet modülü arasındaki regresyon katsayısının 0.84 (Güntekin ve Yılmaz, 2012), kusursuz kayın keresteleri için 0.86 (Güntekin vd. 2014), farklı sınıflardaki karaçam keresteleri için 0.74 (Güntekin ve Bülbül, 2015) olduğu bulunmuştur. Vibrasyon tekniğinde ise ilk hareket sonucu oluşan salınımların frekansı ölçülerek elastikiyet modülü hesaplanabilmektedir. Vibrasyon frekansı ile tahmin edilen elastikiyet modülü ile eğilme elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayısının örnek türü ve ölçülerine bağlı olarak 0.99’a kadar çıkabildiği görülmektedir (Ross, 2015). Stres dalga ve vibrasyon yöntemlerinde dalga veya salınımlar test örneğinin enine kesiti tarafından etkilendiği için tahmin edilen elastikiyet modülü gerçek

elastikiyet modülüne çok yakındır. Vibrasyon yöntemi zaman aldığı için stres dalga yöntemi kadar pratikte kabul görmemiştir. Stres dalga yöntemini kullanan cihazlar (MTG, Fakopp, Hitman vb.) birçok ülkede tomruk ve kereste özelliklerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Şekil 2. 16). Ülkemizde yetişen Karaçamın farklı görsel sınıflardaki kerestelerinde vibrasyon yöntemi ile tahmin edilen elastikiyet modülü ile eğilme elastikiyet modülü arasındaki korelasyon katsayısının 0.82 olduğu bulunmuştur (Görgün ve Dündar, 2016).



Şekil 2.16. Stres dalga prensibi ile çalışan cihazlara örnekler (broukhuis.com, fakopp.com)

2.6.2. Delme Yöntemi

1980'lerin sonlarında geliştirilen bu yöntem daha çok şehir içlerindeki dikili ağaçlarda kusur ve durum tespiti, büyük ebatlı ahşap kolon veya kirişlerde mantar veya böcek tahribatının belirlenmesi ahşap direklerde mantar veya böcek tahribatının belirlenmesi (Şekil 2.17) için kullanılmaktadır (Brashaw, 2015). Bu yöntemde kullanılan cihazlarda 1.5 – 3 mm çapında bir iğne bulunmaktadır. Cihazın iğnesi kontrol edilecek malzemenin içine nüfuz ederek ilerler ve malzemedeki delmeye karşı oluşan elektriksel direnç kaydedilir. Kontrol edilen elemanların içerisinde bulunan çürüme, boşluklar, çatlaklar vb. kusurlar ile karşılaşması durumunda direnç değişim göstermektedir. IML firmasının geliştirdiği “resistograph” adlı cihaz alanında sıkça kullanılmakta ve bu prensibi kullanmaktadır.



Şekil 2.17. Delme yöntemi ile tel direk muayenesi (Brashaw, 2015).

2.6.3. Ultrasonik Yöntem

Ultrasonik yöntem günümüzde birçok endüstri alanında malzeme iç kusurlarının veya çatlakların tespitinde, malzeme veya bitmiş ürün muayenesinde kullanılan bir yöntemdir. Sıradan kalınlık ölçüm yöntemlerinin başarısız olduğu yerlerde kalınlık ölçmede de kullanılır. Ormancılık ve orman endüstrisinde ise en çok elastikiyet modülünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Elastikiyet modülü malzeme kalitesi için iyi bir indekstir. Malzemelerde ultrasonik ses hızı ile elastikiyet modülü arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Bucur, 2006). Ultrasonik yöntem, pulse-eko (pulse-echo) ve doğrudan iletim (through transmission) tekniği olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Her iki yöntemin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Pulse-eko tekniğinde, test veya muayene örneğinin yalnızca bir yüzeyine erişime ihtiyaç vardır. Doğrudan iletim tekniği için numunenin her iki tarafına erişim gereklidir (Senalik vd., 2015). Ultrasonik ses dalgalarının frekansı saniyede 0.1-20 MHz arasındadır. Ultrasonik hız, frekans ve dalga boyu arasında aşağıdaki ilişki bulunmaktadır:

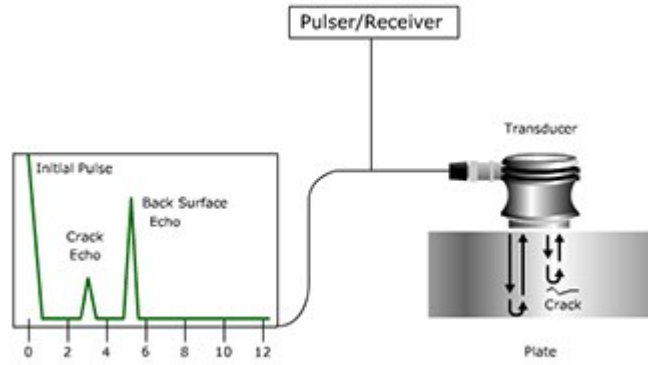
$$v = f \cdot \lambda$$

v = hız, f = frekans ve λ = dalga boyu.

Ultrasonik dalgaların üretilmesi için, yani, 200 kHz'in üzerindeki mekanik titreşim frekansları için piezo-elektrik transdüserler kullanılır. Piezo-elektrik transdüserleri,

mekanik olarak baskı yapıldığında elektrik yükleri üreten malzemelere dönüşürler. Bu olay piezo-elektrik malzemelerin ultrasonik muayenede kullanılmasına yardımcı olmuştur. Muayenede kullanılan ünitelere ultrasonik probalar denir. Bu ultrasonik probalar, probun içinde bulunan piezo-elektrik kristaline bir elektriksel darbe uygulandığında kısa bir ultrason dalgası üretir. Bu kısa dalga, uygun bir eşleştirici (coupling agent) vasıtasıyla test edilen malzemeye yönlendirilir. Doğrusal (longitudinal) ve kesme (shear) olmak üzere iki çeşit ultrasonik dalga bulunmaktadır. Doğrusal dalgalarda yayılma yönü ile dalga aynı doğrultudadır. Kesme dalgalarında yayılma yönü ile dalga birbirine diktir.

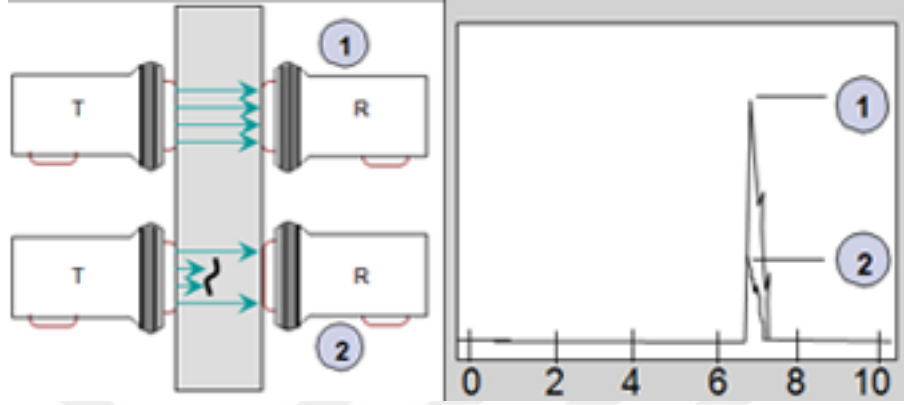
Pulse eko tekniğine yansıma tekniği denir ve doğrudan iletim yöntemi ile karşılaştırıldığında kusurların tespitinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Pulse-eko yönteminde, adından da anlaşılacağı üzere, piezo-elektrik kristaline bir titreşimle titreşen voltaj uygulanır ve ultrasonik bir dalga dizisi oluşur ve bu ultrasonik dalganın "echo" sesi, test edilen malzeme kalitesini veya kusurları belirler (Şekil 2. 18).



Şekil 2.18. Pulse – eko tekniği ile kusur belirlenmesi (media.licdn.com).

Doğrudan iletim tekniğinde (Şekil 2. 19) malzemenin içinden ultrason enerjisini iletir. Bir kusur farklı malzemelerde ultrasonik enerjiyi farklı şekillerde absorbe ederler. Dökme bir malzemede ise malzeme kusur içeriyorsa, arızasız zemine ait iletilen ultrasonik kırıının yoğunluğu, arzulanan bölgeye ait yoğunluğa kıyasla farklı bulunur. Homojen bir malzemede, ultrasonik enerji çok az bir kayıp verir veya kaliteli homojen materyallerin ultrasonik ışınları zayıflatmadığı söylenebilir.

Bununla birlikte, dökme malzemedeki hava yuvalarının (boşluklar, darbe delikleri, çatlaklar vb.) varlığı durumu değiştirir ve bu kusurları içeren alanlarda ultrasonik dalgada önemli ölçüde zayıflama görülür.



Şekil 2.19. Doğrudan iletim tekniği ile kusur belirlenmesi (media.licdn.com).

Ormancılık ve orman endüstrisinde ultrasonik uygulamalar son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Ultrasonik yöntem ile dikili ağaçlarda kusur bulunmasından özelliklerin belirlenmesine, tomruk veya kerestelerde sınıflandırma ve özellik belirlenmesi, ahşap yapılarda kiriş veya kolonlarda durum tespiti, malzeme elastik katsayılarının belirlenmesi gibi birçok alanda uygulamalar görülmektedir (Senalik vd., 2015). Ultrasonik yöntem ile belirlenen elastikiyet modülleri basma veya çekme testlerinden elde edilen elastikiyet modüllerinden % 20 daha yüksek olabilir (Keunecke vd. 2011). Ultrasonik yöntemle elastik sabitlerin belirlenmesinde ahşap malzemenin farklı yönlerinden ölçülen doğrusal ve kesme ses dalgalarının hızları kullanılmaktadır (Bucur, 2006).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Önemli iğne yapraklı ağaç türleri arasında kapladığı alan bakımından dördüncü sırada olan Gökmar'ın ülkemizde dört türü bulunmaktadır (Anonim, 2013).

Abies nordmanniana Link. (Doğu Karadeniz Gökmarı)

Abies bornmülleriana Mattf. (Uludağ Gökmarı)

Abies equitrojani Aschers. et Sint. (Kazdağı Gökmarı)

Abies cilicica Carr. (Toros Gökmarı)

Toros Gökmarı kozalaklarındaki dış pul iç puldan kısa olduğu için diğer Gökmar türlerinden ayrılır. Toros Gökmarı, 40 metreye kadar boy, 1.5-2 metreye kadar çap yapabilen, 250-300 yaşlarına ulaşabilen asli bir orman ağacımızdır. Ağaçlarının kabuğu gridir. İğne yaprakları 15–40 mm boyunda, parlak açık yeşil, uç kısımları hafif kertiktir. Kırmızı-kahverengi kozalaklarının boyu ortalama 12–25 cm boyundadır (Bozkuş, 1988).

Genel yayılış alanı (Şekil 3. 1) Bucak ile Kahramanmaraş arasındaki Toros dağları ve Osmaniye ile Hatay arasındaki Amanos dağlarıdır. Bazen saf, genellikle Sedir, Karaçam, Meşeler, Kızılçam vb. türler ile karışık meşçereler oluşturur (Bozkuş, 1988).

Gökmar odununda diri ve öz odun renk farkı yoktur, odun rengi sarımsı beyaz ile gri beyaz arasındadır, yıllık halka sınırları belirgin, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. Makroskopik olarak görülmeyen öz ısınları çok incedir. Doğal reçine kanalı bulunmaz. Traheid çapı 25– 65µm, uzunluğu 3400–4600µm, öz ısınları tek sıralı ve homojen. Odunu yumuşak ve hafif olduğundan kolay işlenir. Gökmar odunu genellikle endüstride kaplama, kontrplak, ambalaj malzemesi, yapı malzemesi,

mobilya, doğrama, lif ve yonga levha, selüloz ve kâğıt, müzik aletleri yapımında kullanılabilir (Merev, 1984; Yaltırık, 1993). İğne yapraklı ağaç türleri içerisinde Gök nar doğal dayanıklılığı düşük olan türlerden birisidir (Bozkurt ve Erdin, 1997).



Şekil 3.1. Gök narın ülkemizde yayılış alanları (Anonim, 2013)

Fiziksel özelliklerinden tam kuru yoğunluk değeri ortalama $0,4 \text{ g/cm}^3$; hava kuru yoğunluğu $0,429 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Mekanik özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama 37 N/mm^2 ; eğilme direnci 73 N/mm^2 ; elastikiyet modülü 8300 N/mm^2 ; çekme direnci 62 N/mm^2 ve makaslama direnci 5 N/mm^2 olarak gösterilmektedir (Merev, 1984).

3.2. Yöntem

3.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Isparta Organize Sanayi Bölgesindeki özel bir şirketten temin edilen yaklaşık 50 cm çapındaki Gök nar tomrukları Isparta sanayi bölgesinde faaliyet gösteren başka bir kereste fabrikasında 2.5 cm kalınlığında biçilerek keresteler haline getirilmiştir (Şekil 3.2). Daha sonra elde edilen keresteleri daire testere yardımıyla lif yönü, radyal, teğet ve 45° lik açılı olacak şekilde latalara ayrılmıştır. Bu latalardan ultrasonik ses ölçümü için $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$ ve basma testlerinde kullanılmak üzere yaklaşık $20 \times 20 \times 60 \text{ mm}$ ölçülerinde örnekler hazırlanmıştır (Şekil 3. 3). Ultrasonik ölçümlerde

kullanılmak üzere toplam 60 adet, basma testlerinde kullanılmak üzere her lif yönü için (L, R, T) 20, her kesme düzlemi (LR, LT, RT) için 10 adet olmak üzere toplam 270 adet örnek hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan tomrukların biçilmesi.



Şekil 3.3. Gök nar tomruklarından elde edilen keresteler ve test örnekleri.

3.2.2. Rutubet tayini

Hazırlanan test örnekleri üç farklı gruba ayrılarak ağırlık miktarında değişme duruncaya kadar % 45, 65 ve 85 rutubet ve 21 °C'de bekletilmiştir. Örneklerde yoğunluk ve rutubet tayini aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$d = \frac{m}{v} \text{ g/cm}^3$$

Burada;

$$d = \text{yoğunluk (g/cm}^3\text{)},$$

m = ağırlık (g),

v = hacim (cm³).

$$\omega = \frac{m_r - m_0}{m_0} \times 100 (\%)$$

Burada;

ω = rutubet (%),

m_0 = tam kuru ağırlık (g),

m_r = rutubetli ağırlık (g).

3.2.3. Ultrasonik ölçümler

Çalışmanın ilk aşamasında yoğunluğu belirlenen örneklerin Olympus marka Epoch 650 model ultrasonik tahribat belirleme cihazı ve iki farklı sensör (doğrusal 2.27 MHz ve kesme 1 MHz) kullanılarak ses dalgası geçiş süreleri (μ s) ölçülmüştür (Şekil 3. 4). Ultrasonik ses dalgası geçiş hızı cihazdan elde edilen geçiş süresinin örnek uzunluğuna bölünmesiyle aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

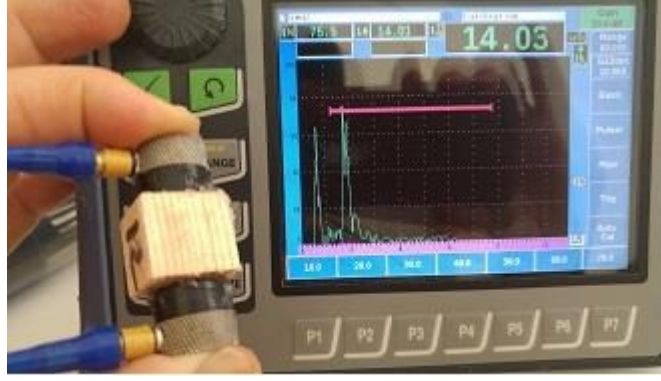
$$V = t/l \times 10\,000 \text{ m/sn}$$

Burada:

V = Ses dalgası geçiş hızı (m/sn),

t = sinyal geçiş süresi (μ s),

l = örnek uzunluğu (cm).



Şekil 3.4. Göknar örneklerinde ses dalgası geçiş sürelerinin ölçülmesi.

Kısa süreli yüklemelerde ve yüksek olmaya gerilme seviyelerinde ahşap malzeme elastik olarak kabul edilir (Bodig ve Jayne, 1993) ve gerilme şekil değiştirme arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\sigma_{kl} = C_{klmn} * \epsilon_{mn}$$

Burada; σ gerilme, ϵ şekil değiştirme, C ise katılık (stiffness) tensörüdür ve aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Katılık tensorünün (C) elemanları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{11} = C_{LL} = \rho V_{LL}^2 \quad (2)$$

$$C_{22} = C_{RR} = \rho V_{RR}^2 \quad (3)$$

$$C_{33} = C_{TT} = \rho V_{TT}^2 \quad (4)$$

$$C_{44} = C_{RT} = (\rho V_{RT}^2 + \rho V_{TR}^2) / 2 \quad (5)$$

$$C_{55} = C_{LT} = (\rho V_{LT}^2 + \rho V_{TL}^2) / 2 \quad (6)$$

$$C_{66} = C_{RL} = (\rho V_{RL}^2 + \rho V_{LR}^2) / 2 \quad (7)$$

$$C_{12} + C_{66} = \sqrt{(C_{11} + C_{66} - 2\rho V_{LR/LR}^2) + (C_{66} + C_{22} - 2\rho V_{LR/LR}^2)} \quad (8)$$

$$C_{13} + C_{55} = \sqrt{(C_{11} + C_{55} - 2\rho V_{LT/LT}^2) + (C_{33} + C_{55} - 2\rho V_{LT/LT}^2)} \quad (9)$$

$$C_{23}+C_{44} = \sqrt{(C_{22} + C_{44} - 2 \rho V_{RT/RT}^2) + (C_{33} + C_{44} - 2 \rho V_{RT/RT}^2)} \quad (10)$$

Bu eşitliklerde V = ses hızı (m/sn), ρ = yoğunluk (g/cm³).

Katılık matrisi ile uyumluluk (compliance) matrisi ise birbirinin tersidir ($C = S^{-1}$).

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{21}}{E_R} & -\frac{\nu_{31}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{32}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_L} & -\frac{\nu_{23}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dolayısıyla ortotropik bir malzeme olan ahşabın üç lif yönündeki elastik özellikleri arasında aşağıdaki ilişki bulunmaktadır (Bodig ve Jayne, 1993):

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{LR} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{RT} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{LR} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{RT} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Burada uyumluluk matrisinin diyagonal C_{ii} elemanları elastik (E_i) ve kesme (G_{ij}) modüllerinin tersidir ve aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C_{11} = E_L^{-1}, C_{22} = E_R^{-1}, C_{33} = E_T^{-1}, C_{44} = G_{LR}^{-1}, C_{55} = G_{LT}^{-1}, C_{66} = G_{RT}^{-1}$$

Diyagonal olmayan ($i \neq j$) elemanları arasındaki ilişki ise aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$C_{12} = -\nu_{LR} * C_{22}, C_{13} = -\nu_{LT} * C_{33}, C_{23} = -\nu_{RT} * C_{33}, C_{21} = -\nu_{RL} * C_{11}, C_{31} = -\nu_{TL} * C_{11}, C_{32} = -\nu_{TR} * C_{22}$$

Böylelikle ahşap malzemedeki ortotropik elastik davranışın tam olarak tanımlanabilmesi için 9 tanesi bağımsız toplam 12 adet elastik sabit belirlenmiş olur.

3.2.4. Basma Testleri

Çalışmanın ikinci aşamasında yaklaşık 20 x 20 x 60 mm ölçülerindeki örnekler basma testlerine maruz bırakılarak elastik sabitleri hesaplanmıştır (Şekil 3. 5). Basma testlerinde örneklerdeki kısıalma ve genişleme miktarları bi-aksiyal (çift eksenli) ekstensometre kullanılarak belirlenmiştir. Yüklemeye karşılık kısıalma ve genişleme grafikleri oluşturularak elastik sabitler hesaplanmıştır. Elastik bölgedeki gerilmenin (ϵ) şekil değiştirmeye (σ) oranından üç lif yönündeki elastikiyet modülü aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$E_i = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\epsilon_i} = \frac{\sigma_{i,2} - \sigma_{i,1}}{\epsilon_{i,2} - \epsilon_{i,1}} \quad i \in R, L, T$$

Burada,

E_i = elastikiyet modülünü (Young modülü, N/mm²),

$\Delta\sigma_i$ = elastik bölgedeki gerilme (N/mm²).

$\Delta\epsilon_i$ = elastik bölgedeki gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme.

$$\Delta\sigma_i = \frac{P}{A} \quad (\text{N/mm}^2)$$

P = elastik bölgedeki yük (N),

$$\Delta\epsilon_i = \frac{\Delta L}{L_0}$$

L_0 = ekstensometre ölçüm aralığını (25.4 mm),

A = örnek enine kesit alanını (mm²),

ΔL = elastik bölgedeki yüke karşılık gelen kısıalmayı (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Gökmar örneklerinde basma testleri.

Poisson oranı basma örneğinde enine yöndeki genişlemenin boyuma yöndeki kısılmaya oranını ifade etmektedir. Poisson oranı denklem aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\nu_{ij} = -\frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i} \quad i, j \in R, L, T \text{ ve } i \neq j$$

Burada:

ν_{ij} = Poisson oranı

$\Delta\varepsilon_i$ = boyuna (düşey) kısılma,

$\Delta\varepsilon_j$ = enine (yatay) genişleme.

Kesme (makaslama) modülleri lif yönlerine 45° açı yapan örnekler üzerinden aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Aira vd., 2014):

$$G_{LR} = \frac{\tau_{LR}}{\gamma_{LR}} = \frac{\sigma_V}{2(\varepsilon_H - \varepsilon_V)}$$

$$G_{LT} = \frac{\tau_{LT}}{\gamma_{LT}} = \frac{\sigma_V}{2(\varepsilon_H - \varepsilon_V)}$$

$$G_{RT} = \frac{\tau_{RT}}{\gamma_{RT}} = \frac{\sigma_V}{2(\varepsilon_H - \varepsilon_V)}$$

Burada: G_{ij} ij düzlemindeki kesme veya makaslama modülü (RT, TL, LR), τ , kesme gerilmesi, γ , kesme şekil değiştirmesi, σ_v , düşey gerilme, ϵ_H , yatay şekil değiştirme, ϵ_v , düşey şekil değiştirme.

Çalışmada elde verilen veriler SPSS statistik programında ANOVA ve DUNCAN testleri kullanılarak değerlendirilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Gökmar odunundan elde edilen örneklerin ultrasonik yöntemle ölçülen ses hızları Çizelge 4. 1' de, ses hızları kullanılarak hesaplanan elastik sabitler Çizelge 4. 2'de gösterilmiştir. Ses hızları örneklerde $V_{11}>V_{22}>V_{33}$ ve $V_{66}>V_{55}>V_{44}$ şeklinde görülmektedir. Ses hızlarında varyasyon katsayıları % 10'un altındadır. Ölçülen ses hızları Bucur (2006) tarafından Douglas Gökmarı için verilen ses hızlarından düşüktür. L, R, T yönlerindeki ses hızları oranları Bucur (2006), Keunecke vd. (2011), ve Baradit ve Niemz (2012) tarafından bazı iğne yapraklı ağaç türleri için belirtilen oranlardan düşüktür. Güntekin vd. (2015) tarafından farklı bir ultrasonik ölçüm cihazı ve 22 kHz frekans ile yapılan ölçümlerde Kızılcım için daha yüksek, Sedir için L yönünde daha düşük ses hızları ölçülmüştür. Aynı cihaz ve sensörle Karaçam'da yapılan ölçümlerde L yönünde daha az diğer yönlerde (R, T) daha yüksek sonuçlar alınmıştır (Güntekin ve Aydın, 2016). Yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında Gökmar'ın düşük yoğunluğa sahip olduğu için ses hızının da düşük olması beklenebilir. Ancak literatürde yoğunluğun ses hızı üzerine etkisi konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bazı kaynaklarda (Oliveira vd. 2002; Ilic, 2003; Teles vd. 2011) yoğunluk ile ses hızı arasında bir ilişki olmadığı belirtilmiş, bazılarında ise (Oliveira ve Sales, 2006; Baradit ve Niemz, 2012) ses hız ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Gökmar örnekleri için ölçülen ortalama ses hızları (m/s).

d^1 (g/cm ³)	R^2 (%)	V_{11}	V_{22}	V_{33}	V_{44}	V_{55}	V_{66}	V_{12}	V_{13}	V_{23}
0.4	8	4720	1370	981	952	1247	1299	1280	1070	672
0.41	11.75	4591	1358	931	924	1193	1237	1205	1012	655
0.43	17.15	4403	1346	906	896	1099	1168	1160	980	640
0.443	12	5500	2330	1990	560	1660	1662			
0.534	13.4	5045	2261	1651						
0.575	12.8	4388	2142	1756						
0.536	11.75	4454	1973	1036						

¹yoğunluk, ²rutubet miktarı, ³Bucur'e (2006) göre Douglas gökmarında ölçülen ses hızları, ⁴Güntekin vd.'ne (2015) göre Kızılcım'da ölçülen ses hızları, ⁵Güntekin vd.'ne (2015) göre Sedir'da ölçülen ses hızları, ⁶Güntekin ve Aydın'a (2016) göre Karaçam'da ölçülen ses hızları

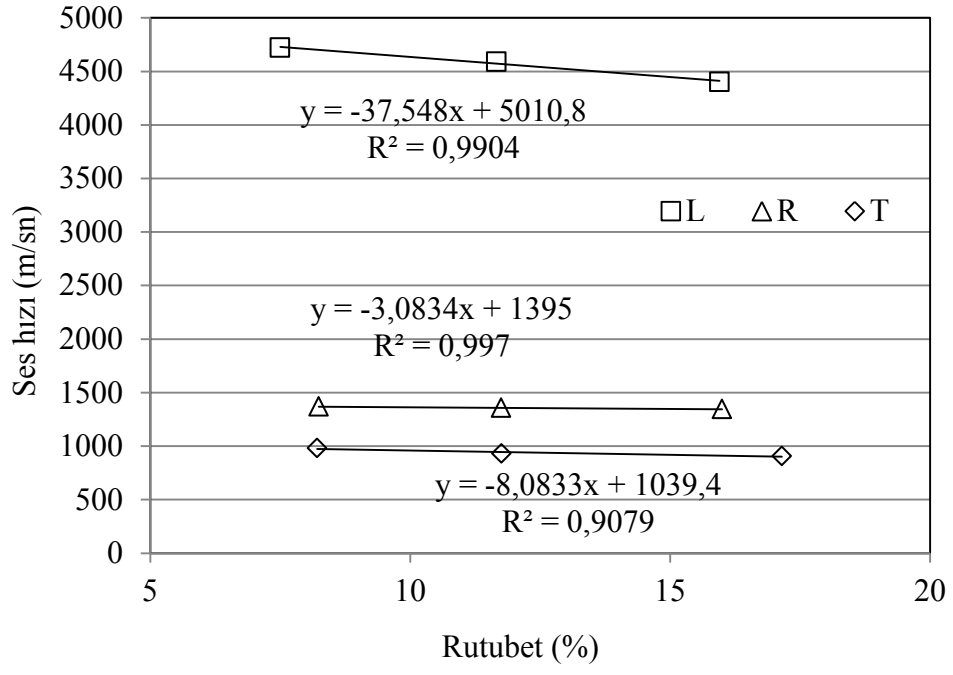
Çizelge 4.2. Gök nar odunu için ultrasonik yöntemle farklı rutubet miktarlarında belirlenmiş elastik sabitler.

d^1 (g/cm ³)	R^2 (%)	E_L	E_R	E_T	G_{RT}	G_{LT}	G_{LR}	ν_{LR}	ν_{LT}	ν_{RT}	ν_{TR}	ν_{RL}	ν_{TL}
0.4	8	9011	693	330	386	640	688	0.35	0.17	0.47	0.22	0.02	0.006
0.41	11.75	8314	684	362	360	584	643	0.57	0.84	0.44	0.23	0.05	0.03
0.43	12	7418	622	306	338	497	581	1.09	0.42	0.57	0.25	0.1	0.01

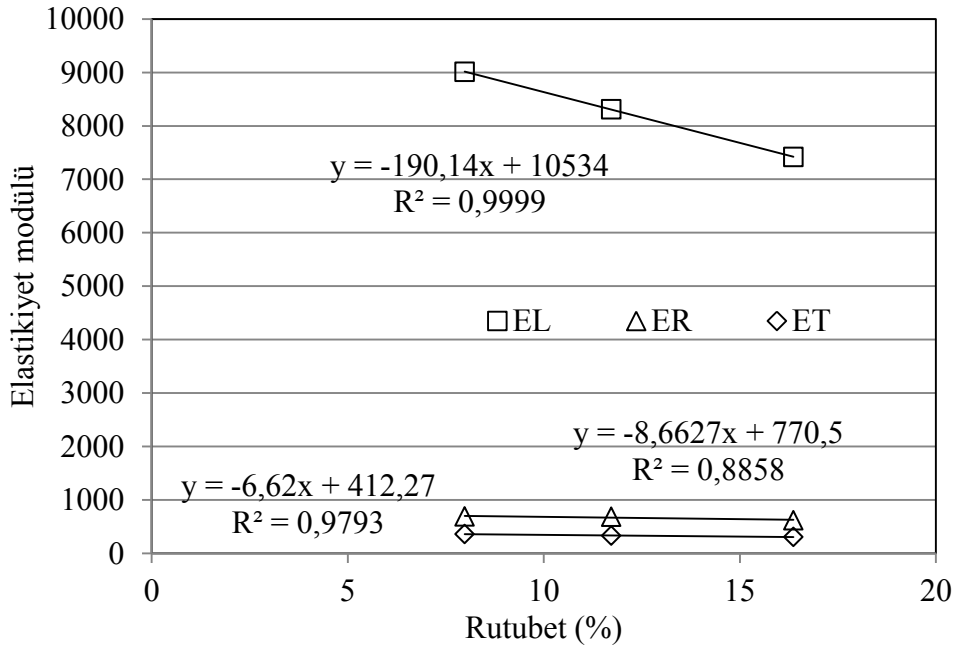
¹yoğunluk, ² rutubet miktarı

Genel olarak, masif ahşap malzemede lif yönündeki ses hızı radyal yöndeki ses hızının yaklaşık üç katı, teğet yöndeki ses hızı ise radyal yöndeki ses hızının yarısı kadardır (Beall, 2002). Bu çalışmada % 65 rutubet seviyesinde lif yönleri arasında ses hızları bakımından yaklaşık olarak 4.6:1.3:1oranı oluşmuştur. Traheidlerin, büyüklüğü ve dizilişi ses hızları üzerine etkili olmaktadır. Hücre içi ve hücreler arası boşluklar ses hızını azaltmaktadır (Dackermann vd. 2016).

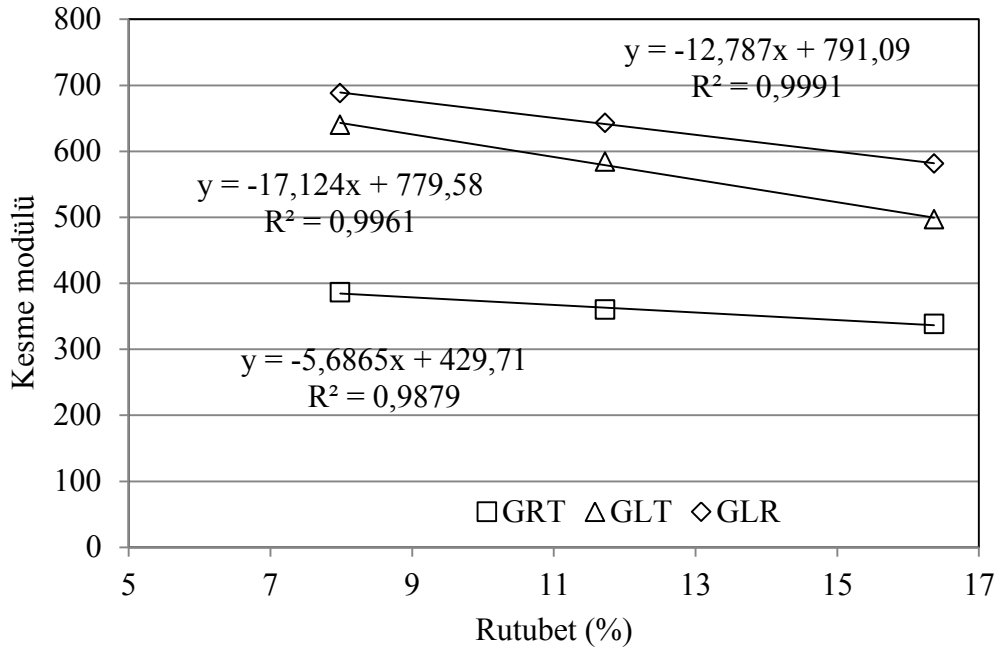
Rutubetin artması ses hızını genel olarak düşürmektedir. Rutubetteki % 1'lik artış ses hızında % 0.45-0.8 arasında bir düşüş meydana getirmektedir (Llana vd. 2014). Gök nar örneklerinde L yönünde % 1'lik rutubet artışı ses hızında % 0.74 azalmaya sebep olmuştur, bu sonuç Llana vd. (2014) tarafından bulunan sonuçlara benzemektedir. Diğer yönlerdeki azalma daha düşüktür. Şekil 4. 1 'de L, R ve T yönlerindeki doğrusal ultrasonik ses hızlarının rutubete göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4. 2'de ise ses hızları kullanılarak hesaplanan elastikiyet modüllerinin, Şekil 4. 3'te kesme modüllerinin, Şekil 4. 4'te ise Poisson oranlarının rutubete göre değişimi gösterilmiştir. Rutubetin ses hızı kullanılarak tahmin edilen elastikiyet ve kesme modüllerini azalttığı net olarak görülmektedir. Bazı Poisson oranlarının (ν_{LR} , ν_{TR} , ν_{RL}) rutubet ile arttığı diğerlerinin ise rutubetten etkilenmediği görülmektedir.



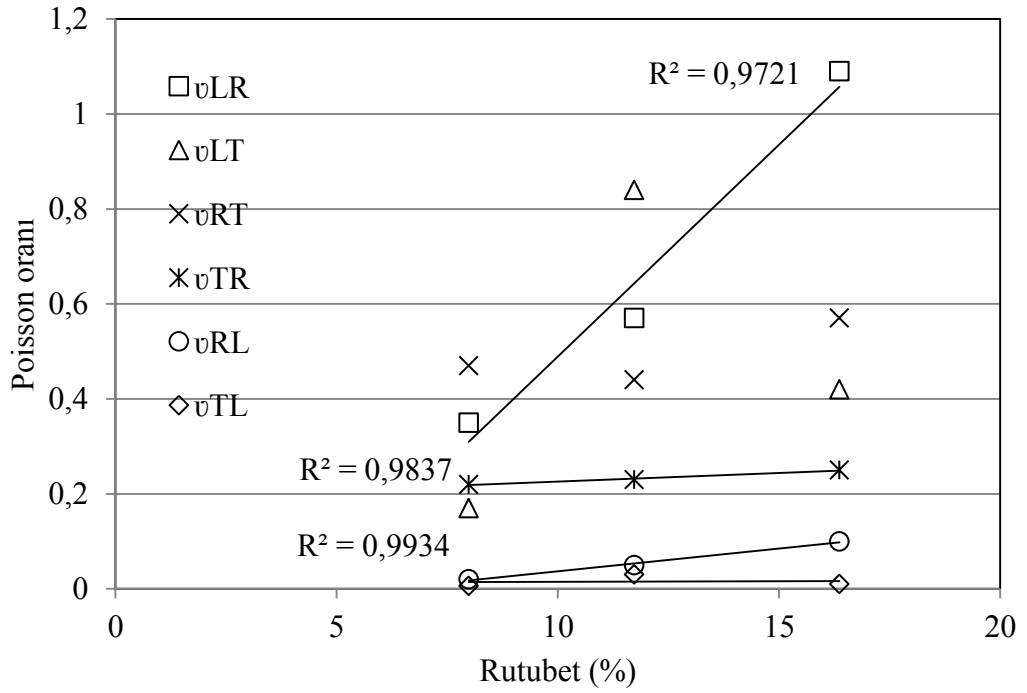
Şekil 4.1. Ses hızlarının rutubete göre değişimi.



Şekil 4.2. Ses hızı kullanılarak tahmin edilen elastikiyet modüllerinin rutubete göre değişimi

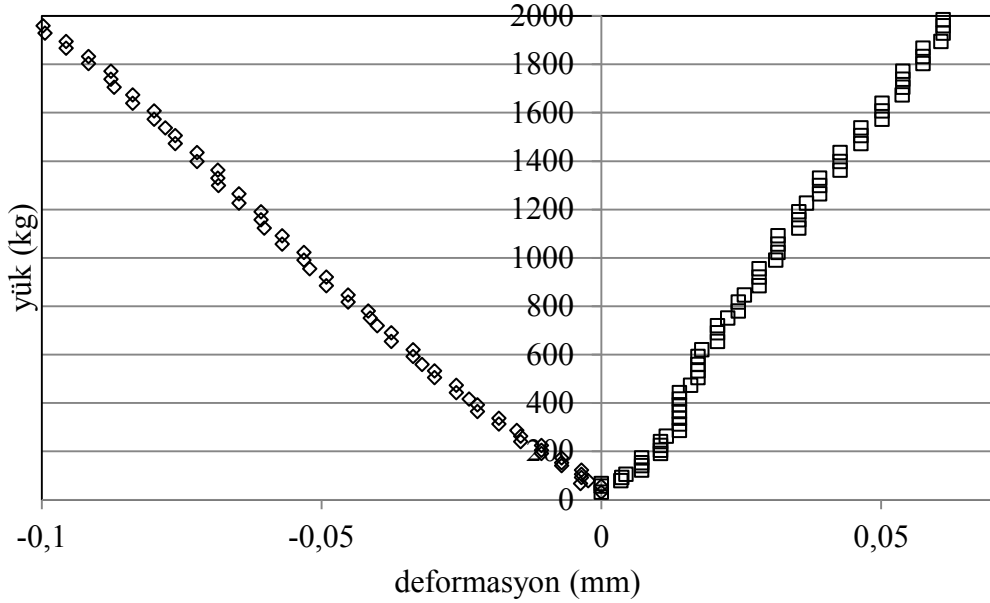


Şekil 4.3. Ses hızı kullanılarak tahmin edilen kesme modüllerinin rutubete göre değişimi.



Şekil 4.4. Ses hızları kullanılarak tahmin edilen Poisson oranlarının rutubete göre değişimi.

Basma testlerinde elastik sabitlerin belirlenmesi için yük-deformasyon eğrileri kullanılmıştır (Şekil 4. 5). Burada eksi deformasyon yükleme sonucu ölçme bölgesinde meydana gelen kısalmayı, artı deformasyon ise yükleme sonucu ölçülen bölgedeki genişlemeyi göstermektedir.



Şekil 4.5. Basma testlerinden elde edilen yük-deformasyon eğrileri.

Gökmar odunun basma testlerinden elde edilen elastikiyet modülü ortalama değerleri çizelge 4. 3' te gösterilmiştir. Lif yönünün ve rutubetin elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi ANOVA testi ile belirlenmiştir. ANOVA çizelgesine göre (Çizelge 4. 4) rutubet ve lif yönleri elastikiyet modülü değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Lif yönlerine göre elastikiyet modülü değerleri $E_L > E_R > E_T$ şeklindedir. Gökmar örneklerinde L yönünde elastikiyet modülü değerleri en yüksek %45 rutubet seviyesinde (11873 N/mm^2), olmak üzere rutubetin artmasıyla birlikte azalarak en düşük %85 rutubet seviyesinde (10039 N/mm^2) hesaplanmıştır. R ve T yönlerinde elastikiyet modülü değerleri sırasıyla $650 - 399 \text{ N/mm}^2$ ve $365 - 276 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Duncan testi sonuçlarına göre R ve T yönleri arasında elastikiyet modülü değerleri bakımından bir fark yoktur (Çizelge 4. 5). Test edilen örneklerin $E_L : E_R : E_T$ oranı yaklaşık olarak (% 65 rutubet seviyesi için) $32:1.38:1$ civarındadır. Bodig ve Jayne (1993)'ye göre iğne yapraklı ağaç türü odunları için bu oran $E_L : E_R : E_T \approx 20 : 1.6 : 1$ şeklindedir.

L yönünde rutubetin % 7.5'ten % 15.95'e yükselmesiyle elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen azalma % 15 civarındadır. Buda rutubetteki % 1'lik yükselmeye karşı olarak elastikiyet modülü değerlerinde yaklaşık % 2 azalma anlamına gelmektedir. Bu azalma R yönünde yaklaşık % 4.8, T yönünde ise % 3.5 civarındadır. Gerhards'a (1982) göre rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi dik yönlerde L yönüne göre daha fazladır. Bu değerler Kretschmann (2010) tarafından açıklanan değerler (Wood Handbook) ile uyumludur. Şekil 4. 6'da rutubetin elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Gökmar odununun L, R ve T yönlerindeki elastikiyet modülü değerleri.

φ[%]		N [-]	E_L	E_R	E_T
			(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
45	\bar{x}	20	11813	650	365
	V(%)		10	55	44
	d (gr/cm ³)		0.41	0.4	0.42
	ω(%)		7.5	8.24	8.21
65	\bar{x}	20	11172	481	348
	V(%)		17	44	36
	d(gr/cm ³)		0.42	0.41	0.43
	ω(%)		11.66	11.75	11.76
85	\bar{x}	20	10039	399	276
	V(%)		15	40	45
	d(gr/cm ³)		0.43	0.42	0.43
	ω(%)		15.95	16.0	17.15

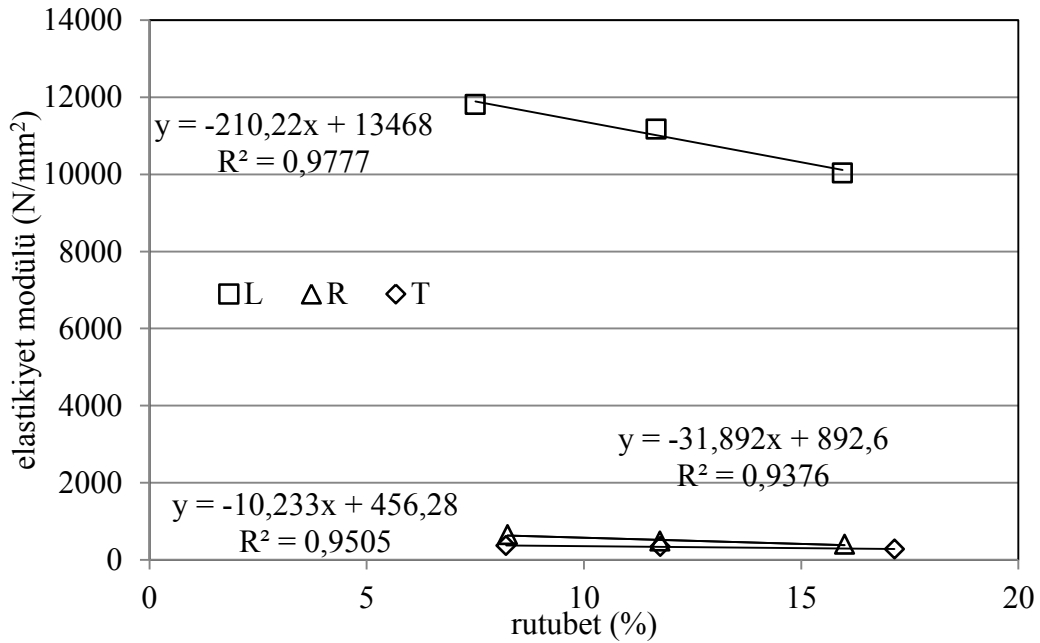
\bar{x} :Ortalama, V(%):Varyasyon katsayısı, d:Yoğunluk, ω(%):Rutubet seviyesi, φ [%]: Bağlı nem, N:Örnek sayısı, L:Lif yönü, R:Radyal yön, T:Teğet yön

Çizelge 4.4. Gökmar örneklerinde lif yönü ve rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	4518448891.244	8	564806111.406	1006.187	.000
Intercept	2808157707.606	1	2808157707.606	5002.656	.000
Rutubet	15143328.044	2	7571664.022	13.489	.000
Yön	4485403729.644	2	2242701864.822	3995.312	.000
Yön x Rutubet	17901833.556	4	4475458.389	7.973	.000
Hata	95988002.150	171	561333.346		
Toplam	7422594601.000	180			
Düzeltilmiş Toplam	4614436893.394	179			
$R^2 = .979$ (Adjusted R Squared = .978)					

Çizelge 4.5. Gökmar örneklerinde lif yönünün elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi.

Yön	N	Duncan Grubu	
		1	2
T	60	330.18	
R	60	510.58	
L	60		11008
Sig.		.189	1.000
a. Örnek büyüklüğü eşit = 60.000.			
b. $\alpha = .05$.			



Şekil 4.6. Basma testlerinde rutubetin elastikiyet modülü üzerine etkisi.

Kretschmann (2010) Kuzey Amerika’da yetişen Douglas Gökmarının hava kurusu yoğunluk değerlerinin $0.46 - 0.5 \text{ g/cm}^3$ arasında E_L değerlerinin ise $10300 - 13400 \text{ N/mm}^2$ arasında değiştiğini göstermektedir. Diğer Gökmar türlerinde ise yoğunluğun $0.32-0.43 \text{ g/cm}^3$ arasında, E_L değerlerinin ise $8900 - 11900 \text{ N/mm}^2$ olduğu görülmektedir. Ülkemizde yetişen Uludağ Gökmarının (*Abies bornmülleriana* Mattf.) hava kurusu yoğunluktaki (0.5 g/cm^3) eğilmede elastikiyet modülü 9365 N/mm^2 olarak belirtilmiştir (Hekimoğlu, 2014). Keskin (2002) ile İter vd.’ne (2001) göre hava kurusu yoğunluktaki (0.42 g/cm^3) Uludağ Gökmarın eğilmede elastikiyet modülü 8300 N/mm^2 ’dir. Kol (2010) ise benzer özelliklerdeki Gökmar odunun için eğilmede elastikiyet modülünü 8474 N/mm^2 olarak belirtmiştir. Çalışmada elde edilen değerleri ile literatürde ki Gökmar odununun elastikiyet modülü değerleri

arasında farklar bulunmaktadır. Toros Göknaarında elastikiyet modülünün daha yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca, sunulan elastikiyet modülü değerleri eğilme testlerinden elde edilmiştir. Eğilme testlerinden elde edilen bu değerler kesme veya kayma deformasyonu içerdüğinden olması gerekenden daha düşük sonuçlar elde edilmektedir (Bodig ve Jayne, 1993).

Çalışma sonuçları Kuzey Amerika Göknaar türleri ile karşılaştırıldığında yoğunluk ve E_L bakımından benzerlik olduğu görülmektedir. Nitekim Aydın vd. (2007) tarafından daha düşük yoğunluktaki (0.328 g/cm^3) Göknaar odunu örneklerinde basma testlerinden elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin (13810 N/mm^2) bu çalışmada elde edilen değerler ile benzer olduğu görülmektedir. Yetiştirme ortamı, örneğin ağacın neresinden alındığı vb faktörler de farklılığın oluşmasına katkıda bulunabilir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda Göknaar odununun liflere dik yönlerdeki (R, T) elastikiyet modülü değerlerine ait bir veriye rastlanmamıştır. Hearmon'a (1948) göre 0.45 g/cm^3 yoğunluktaki Göknaar odununun üç lif yönündeki elastikiyet modülleri; $E_L = 12700$, $E_R = 930$ ve $E_T = 480 \text{ N/mm}^2$ şeklindedir. Bu değerler çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Göknaar odunun basma testlerinden elde edilen direnç değerleri çizelge 4. 6' da gösterilmiştir. Lif yönünün ve rutubetin basma direnci üzerine etkisi ANOVA testi ile belirlenmiştir. ANOVA çizelgesine göre (Çizelge 4. 7) rutubet ve lif yönleri basma direnci değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Lif yönlerine göre basma direnci değerleri $R_L > R_T > R_R$ şeklindedir.

Göknaar örneklerinde L yönünde basma direnci en yüksek % 45 rutubet seviyesinde (47 N/mm^2), olmak üzere rutubetin artmasıyla birlikte azalarak en düşük % 85 rutubet seviyesinde 31 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. R ve T yönlerinde basma dirençleri sırasıyla $3.85 - 3.2 \text{ N/mm}^2$ ve $5.25 - 3.17 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Duncan testi sonuçlarına göre L, R ve T yönleri arasında basma direnci değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır (Çizelge 4. 8).

Çizelge 4.6. Gökmar odununun L, R ve T yönlerindeki basma direnci değerleri

φ[%]		N [-]	L	R	T
			(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
45	\bar{x}	20	47	3.85	5.25
	V(%)		7	8.03	19.22
	d(gr/cm ³)		0.51	0.4	0.42
	ω(%)		7.5	8.24	8.21
65	\bar{x}	20	35.29	3.38	4.34
	V(%)		4.32	5.08	19
	d(gr/cm ³)		0.43	0.41	0.43
	ω(%)		11.66	11.75	11.76
85	\bar{x}	20	31.06	3.20	3.17
	V(%)		5	4.29	25
	d(gr/cm ³)		0.43	0.42	0.43
	ω(%)		15.95	16	17.15

\bar{x} :Ortalama, V(%):Varyasyon katsayısı, d:Yoğunluk, ω(%):Rutubet seviyesi, φ [%]: Bağlı nem, N:Örnek sayısı, L:Lif yönü, R:Radyal yön, T:Teğet yön

Çizelge 4.7. Gökmar örneklerinde lif yönü ve rutubetin basma direnci üzerine etkisi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	48951.561	8	6118.945	3316.604	.000
Intercept	41571.394	1	41571.394	22532.61	.000
Rutubet	1236.569	2	618.285	335.124	.000
Yön	46122.692	2	23061.346	12499.76	.000
Yön x Rutubet	1592.300	4	398.075	215.765	.000
Hata	315.485	171	1.845		
Toplam	90838.440	180			
Düzeltilmiş Toplam	49267.046	179			

$R^2 = .994$ (Adjusted R Squared = .993)

Çizelge 4.8. Gökmar örneklerinde lif yönünün basma direnci üzerine etkisi.

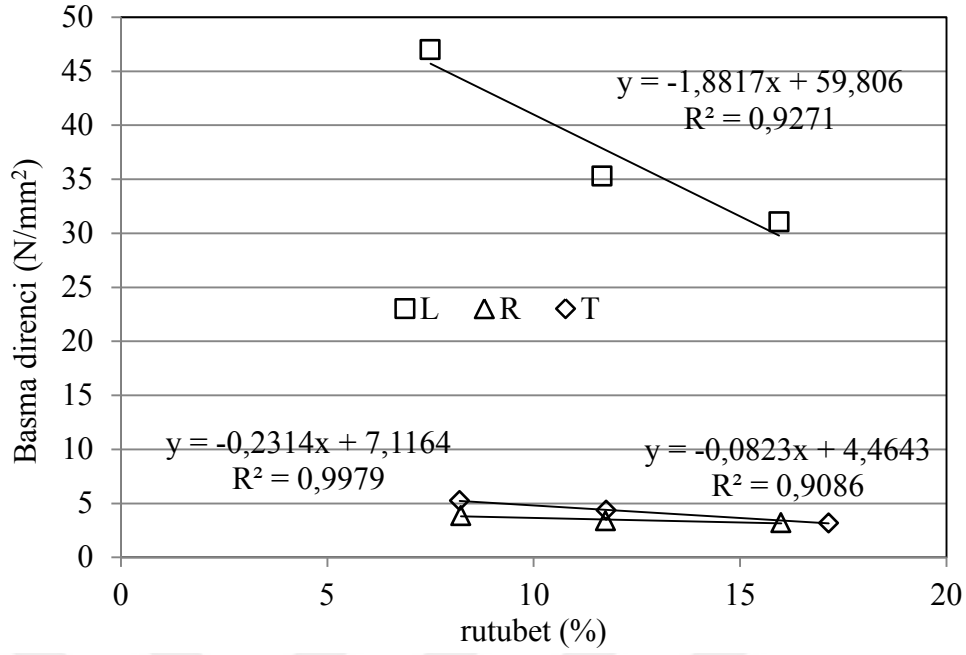
Yön	N	Duncan Grubu		
		1	2	3
R	60	3.47		
T	60		4.28	
L	60			37.83
Sig.		1	1	1

a. Örnek büyüklüğü eşit = 60.000.
b. $\alpha = .05$.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda Gökmar odununun liflere paralel basma direnci değerleri hava kurusu örnekler için 32-40 N/mm² civarındadır (Aydın vd. 2007;

Özçiftçi ve Batan, 2009; Keskin, 2002; Kol, 2010). Bu çalışmada liflere paralel yönde elde edilen basma direnci literatürde bulunan değerlere benzerdir. Göknar odunun liflere dik yönde basma direnci ile ilgili tek veri (2.6 N/mm^2) Aydın vd. (2007) tarafından verilmiştir, ancak dik yöndeki basma direncinin hangi yöne ait olduğu belirtilmemiştir. Liflere paralel ve dik yönlerdeki basma dirençlerinin oranı ağaç türüne bağlı olmakla birlikte 4.8 ile 12.4 arasında değişmektedir (Aydın vd. 2007). Bu çalışmada hava kurusu örneklerde liflere paralel ile radyal ve teğet yönlerdeki basma direnci oranları sırasıyla yaklaşık 10 ve 8'dir.

L yönünde rutubetin % 7.5'ten % 15.95'e yükselmesiyle basma direnci değerlerinde meydana gelen azalma % 34 civarındadır. Buda rutubetteki % 1'lik yükselmeye karşı olarak basma direnci değerlerinde yaklaşık % 4 azalma anlamına gelmektedir. Bu azalma R yönünde yaklaşık % 2, T yönünde ise % 4.4 civarındadır. Basma direncindeki azalma miktarları Gerhards (1982) tarafından açıklanan değerler ile uyumludur. Şekil 4. 7'de rutubetin basma direnci değerleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Basma direncinin bilinmesi özellikle ahşap elemanların birbirleri ile temas ettikleri noktalardaki etkileşimin bilinmesi için önemlidir. Örneğin yük taşıyıcı vazifesi gören bir ahşap kirişin temas noktalarında liflere dik basma dirençleri kullanılarak emniyet gerilmeleri hesaplanmaktadır. Liflere dik basma direncinin önemli olduğu diğer bir alanda tabakalı kereste veya OSB gibi kompozit malzeme üretimidir. Bu alanlarda da üretim sırasında uygulanan basınç miktarın liflere dik yöndeki emniyet gerilmesini geçmemesi gerekmektedir.



Şekil 4.7. Basma testlerinde rutubetin direnç üzerine etkisi.

Göknar odunun basma testlerinden elde edilen Poisson oranları çizelge 4. 9' da gösterilmiştir. Örneklerinde Poisson değerleri üzerinde rutubetin etkisi her bir Poisson değeri için ayrı incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4. 10-4. 15) rutubetin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi görülmemektedir. Poisson değerlerindeki yüksek varyasyon katsayıları rutubetin etkisini anlamsız gösterebilir. Poisson oranları için yüksek varyasyon katsayısı birçok araştırmada göze batmaktadır (Kretschmann ve Green, 1996; Hering vd. 2012; Jeong vd. 2010; Mizutani ve Ando, 2015; Ozyhar vd. 2013). Ayrıca rutubet artışı ile birlikte yoğunluk değerlerinin de artması rutubetin Poisson değerleri üzerindeki etkisini değiştirebilir. Kretschmann'a (2010) göre Poisson oranı türlere göre değişmekte ve rutubet ile özgül ağırlıktan etkilenmektedir. Rutubetin Poisson oranları üzerine etkisi konusunda yapılan çalışmalarda bir fikir birliği bulunamamıştır. Ozyhar vd. (2013) rutubetin Poisson oranlarını değiştirmedigini, Hering vd. (2012) bir miktar rutubet artışı ile Poisson oranlarında bir miktar azalma olduğunu, Kretschmann ve Green (1996) ile Mizutani ve Ando (2015) rutubet artışı ile L yönündeki Poisson oranlarında önemli bir düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Bu fikir ayrılığı yüksek varyasyon katsayılarından kaynaklanıyor olabilir, ayrıca ahşap malzemenin çok

değişkenlik göstermesi de (Dinwoodie, 2000) bunda etkili olabilir. Şekil 4.4'te rutubet ile Poisson oranları arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Gökmar odununun Poisson (ν_{TR} , ν_{TL} , ν_{RL} , ν_{RT} , ν_{LR} , ν_{LT}) değerleri

ϕ [%]		N [-]	ν_{TR}	ν_{TL}	ν_{RL}	ν_{RT}	ν_{LR}	ν_{LT}
45	\bar{x}	10	0.85	0.06	0.133	0.66	0.6	0.68
	V(%)		15	46	70	28	24	23
	d(gr/cm ³)		0.42	0.42	0.4	0.4	0.41	0.41
	ω (%)		8.21	8.21	8.24	8.24	7.52	7.52
65	\bar{x}	10	0.7	0.07	0.171	0.61	0.54	0.81
	V (%)		20	46	55	34	35	14
	d(gr/cm ³)		0.43	0.43	0.41	0.41	0.43	0.43
	ω (%)		11.76	11.76	11.75	11.75	11.66	11.66
85	\bar{x}	10	0.77	0.08	0.124	0.57	0.74	0.77
	V (%)		12	43	68	27	22	17
	d(gr/cm ³)		0.43	0.43	0.42	0.42	0.43	0.43
	ω (%)		17.15	17.15	16	16	15.95	15.95

\bar{x} :Ortalama, V(%):Varyasyon katsayısı, d:Yoğunluk, ω (%):Rutubet seviyesi, ϕ [%]: Bağlı nem, N:Örnek sayısı, ν : Poisson oranı

Çizelge 4.10. Gökmar'da rutubetin ν_{LR} üzerine etkisi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.220	2	.110	3.833	.034
Intercept	11.750	1	11.750	410.054	.000
Rutubet	.220	2	.110	3.833	.034
Hata	.774	27	.029		
Toplam	12.743	30			
Düzeltilmiş Toplam	.993	29			

a. $R^2 = .221$ (Adjusted R Squared = .163)

Çizelge 4.11. Gökmar'da rutubetin ν_{LT} üzerine etkisi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.083	2	.042	2.289	.121
Intercept	17.148	1	17.148	943.049	.000
Rutubet	.083	2	.042	2.289	.121
Hata	.491	27	.018		
Toplam	17.722	30			
Düzeltilmiş Toplam	.574	29			

a. $R^2 = .145$ (Adjusted R Squared = .082)

Çizelge 4.12. Gök nar'da rutubetin v_{RL} üzerine etkisi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.023	2	.012	1.018	.375
Intercept	.791	1	.791	68.844	.000
Rutubet	.023	2	.012	1.018	.375
Hata	.310	27	.011		
Toplam	1.124	30			
Düzeltilmiş Toplam	.333	29			

a. $R^2 = .07$ (Adjusted R Squared = .001)

Çizelge 4.13. Gök nar'da rutubetin v_{RT} üzerine etkisi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.042	2	.021	.630	.540
Intercept	11.206	1	11.206	332.637	.000
Rutubet	.042	2	.021	.630	.540
Hata	.910	27	.034		
Toplam	12.158	30			
Düzeltilmiş Toplam	.952	29			

a. $R^2 = .045$ (Adjusted R Squared = .026)

Çizelge 4.14. Gök nar'da rutubetin v_{TL} üzerine etkisi

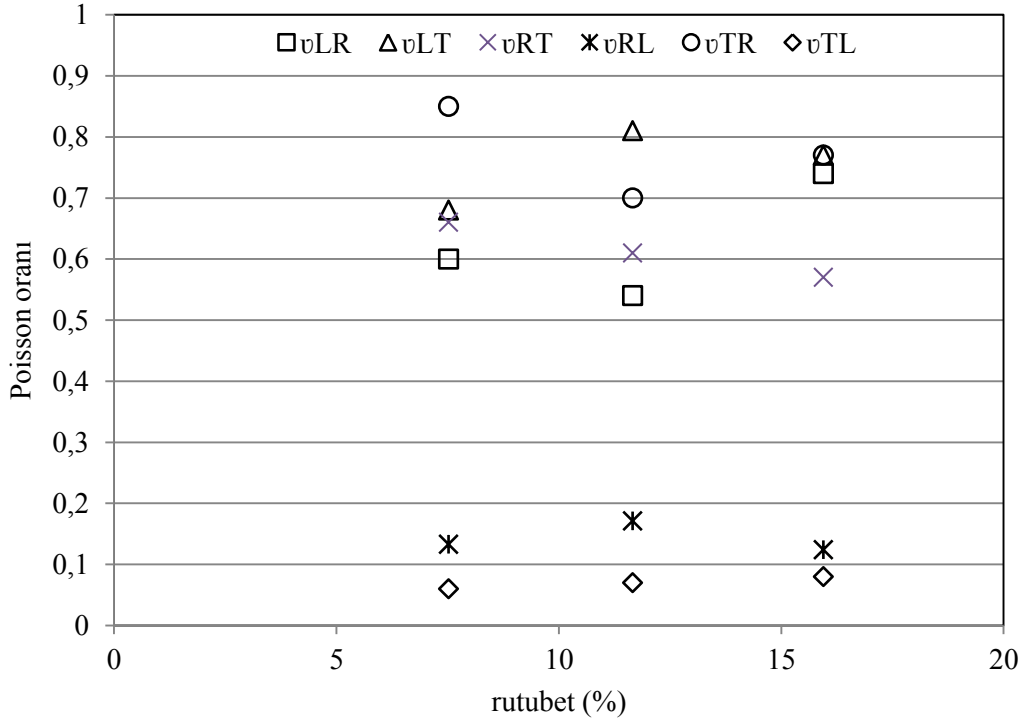
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.002	2	.001	.687	.512
Intercept	.161	1	.161	144.941	.000
Rutubet	.002	2	.001	.687	.512
Hata	.030	27	.001		
Toplam	.193	30			
Düzeltilmiş Toplam	.032	29			

a. $R^2 = .048$ (Adjusted R Squared = .022)

Çizelge 4.15. Gök nar'da rutubetin v_{TR} üzerine etkisi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	.115	2	.058	3.807	.035
Intercept	18.163	1	18.163	1198.802	.000
Rutubet	.115	2	.058	3.807	.035
Hata	.409	27	.015		
Toplam	18.688	30			
Düzeltilmiş Toplam	.524	29			

a. $R^2 = .22$ (Adjusted R Squared = .162)



Şekil 4.8. Basma testlerinde rutubet ile Poisson oranları arasındaki ilişki.

Çizelge 4.16'da açılı örneklerden hesaplanan kesme (makaslama) modülü değerleri gösterilmiştir. Kesme modülleri arasında literatürde geçerli olan $G_{LR} > G_{LT} > G_{RT}$ sıralaması geçerlidir. Göknaş'da kesme modülleri üzerinde rutubetin etkisi her bir düzlem için ayrı incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4. 17- 4. 19) kesme modülü değerleri üzerinde rutubetin zayıf bir etkisi olduğu görülmektedir. Bunda kesme modülü değerlerindeki yüksek varyasyonun da etkisi olabilir. Kesme modülü Göknaş örneklerinde en yüksek G_{LR} yönünde % 45 rutubet seviyesinde (1328 N/mm^2) en düşük G_{RT} yönünde % 85 rutubet seviyesinde (28 N/mm^2) elde edilmiştir. Örneklerde rutubet miktarı arttıkça kesme modülleri değerinde azalma görülmüştür. En büyük azalma % 40 ile G_{RT} değerlerinde görülmektedir bunu sırasıyla % 37 ile G_{LR} ve % 31 ile G_{LT} takip etmektedir. Gerhards'a (1982) göre % 1'lik rutubet artışı kesme modülünü yaklaşık % 2.5 azaltmaktadır. Göknaş örneklerinden elde edilen kesme modülü değerleri % 1'lik rutubet artışı karşısında yaklaşık % 3.4 ile 4.4 arasında azalmaktadır. Hearmon'a (1948) göre 0.45 g/cm^3

yoğunluktaki Gökmar odununun üç düzlemdeki kesme modülleri; $G_{LR} = 930$, $G_{LT} = 750$ ve $G_{TR} = 140 \text{ N/mm}^2$ şeklindedir.

Çizelge 4.16. Gökmar odununda basma testlerinden elde edilen ortalama kesme

ϕ [%]		N [-]	G_{LR} (N/mm ²)	G_{LT} (N/mm ²)	G_{RT} (N/mm ²)
45	\bar{x}	10	1328	774	47
	V(%)		24	48	50
	d(gr/cm ³)		0.42	0.41	0.42
	ω (%)		8.0	7.75	8.1
65	\bar{x}	10	1077	576	40
	V (%)		33	25	37
	d(gr/cm ³)		0.43	0.43	0.44
	ω (%)		13.35	12.77	12.7
85	\bar{x}	10	837	534	28
	V (%)		20	15	23
	d(gr/cm ³)		0.44	0.44	0.45
	ω (%)		17.22	16.67	17.6

\bar{x} :Ortalama, V(%):Varyasyon katsayısı, d:Yoğunluk, ω (%):Rutubet seviyesi, ϕ [%]: Bağlı nem, N:Örnek sayısı, ν : Poisson oranı

Bodig ve Jayne'e (1993) göre iğne yapraklı ağaç türleri için LR, LT ve RT düzlemlerindeki kesme modülü oranı 10:9.4:1, E_L ile G_{LR} arasında ise 14:1 oranı bulunmaktadır. Bu çalışmada test edilen Gökmar odunu örneklerinde elde edilen düzlemler arası oran ise % 65 rutubet seviyesinde yaklaşık 27:14:1 şeklindedir ve Bodig ve Jayne (1993) tarafından verilen orandan büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Divos vd. (1998) ile Harrison'a (2006) göre E_L : G_{LR} oranı yaklaşık olarak 16'dır ve kesme modülünü elde etme yöntemine göre 8 ile 65 arasında değişebilmektedir. Test edilen Gökmar örnekleri için E_L : G_{LR} oranı ise 12.2'dir. Bu oran Bodig ve Jayne (1993) tarafından öne sürülen orana yakındır. Yumuşak ağaç türleri odunları için E_L : G_{LT} oranı yaklaşık 16 ve E_L : G_{RT} oranı ise 140 civarındadır (Kretschmann, 2010). Çalışmada Gökmar örnekleri için elde edilen E_L : G_{LT} oranı 22.8 ve E_L : G_{RT} oranı ise 329 bulunmuştur. Her iki oranda yumuşak ağaç türleri için verilen oranlardan yüksektir. Şekil 4. 9'da rutubetin kesme modülü üzerine etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Gökmar'da G_{LR} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	1507404.004	2	753702.002	9.585	.001
Intercept	38726992.057	1	38726992.057	492.489	.000
Rutubet	1507404.004	2	753702.002	9.585	.001
Hata	2437692.113	31	78635.229		
Toplam	43146098.000	34			
Düzeltilmiş Toplam	3945096.118	33			

a. $R^2 = .382$ (Adjusted R Squared = .342)

Çizelge 4.18. Gökmar'da G_{LR} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

Rutubet	N	Duncan grubu	
		1	2
85	13	836	
65	9	1076	
45	12		1328
Sig.		.53	1

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 11.055.
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c. Alpha = .05.

Çizelge 4.19. Gökmar'da G_{LT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	468119.283	2	234059.642	3.920	.029
Intercept	14300226.193	1	14300226.193	239.523	.000
Rutubet	468119.283	2	234059.642	3.920	.029
Hata	2089605.690	35	59703.020		
Toplam	16742701.000	38			
Düzeltilmiş Toplam	2557724.974	37			

a. $R^2 = .183$ (Adjusted R Squared = .136)

Çizelge 4.20. Gökmar'da G_{LT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

Rutubet	N	Duncan grubu	
		1	2
85	12	533	
65	14	537	
45	12		774
Sig.		.97	1

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.60.
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c. Alpha = .05.

Çizelge 4.21. Göknar'da G_{RT} değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

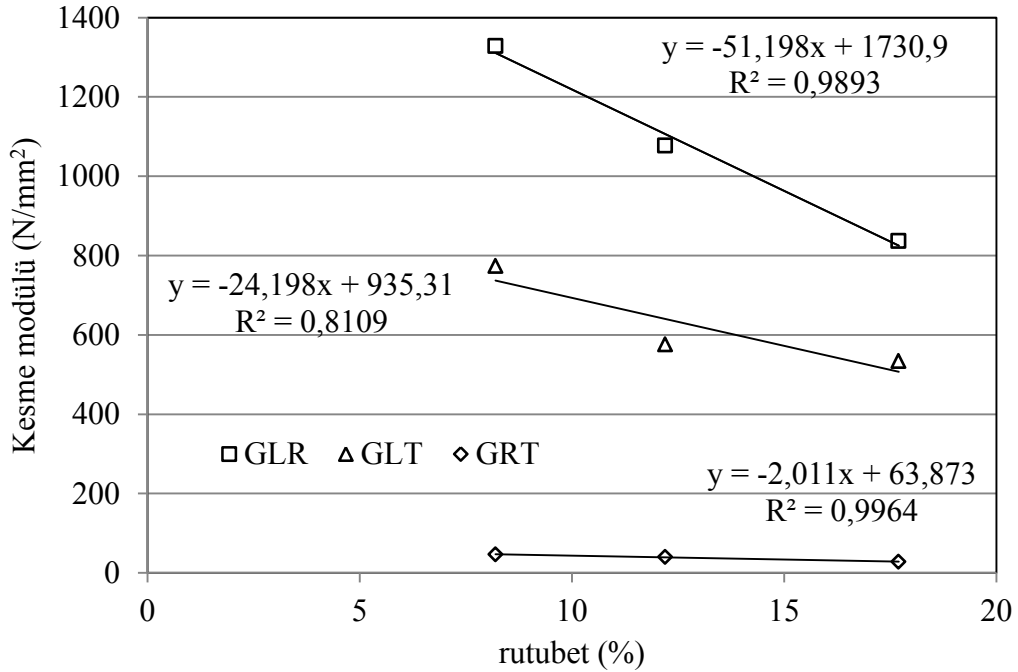
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	Sig.
Model	2750.576	2	1375.288	5.232	.009
Intercept	64288.022	1	64288.022	244.570	.000
Rutubet	2750.576	2	1375.288	5.232	.009
Hata	10777.333	41	262.862		
Toplam	77216.000	44			
Düzeltilmiş Toplam	13527.909	43			

a. $R^2 = .203$ (Adjusted R Squared = .164)

Çizelge 4.22. Göknar'da GRT değerleri üzerinde rutubetin etkisi.

Rutubet	N	Duncan grubu	
		1	2
85	12	27.8	
65	14		39.9
45	12		47.0
Sig.		1	.24

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 14.65.
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c. Alpha = .05.



Şekil 4.9. Basma testlerinde rutubetin kesme modülleri üzerine etkisi.

Genel olarak ultrasonik yöntem ile tahmin edilen elastikiyet ve kesme modüllerinin daha yüksek sonuçlar verdiği bilinmektedir (Keunecke vd. 2011). Ancak çalışma

sonuçlarına göre basma testlerinden elde edilen E_L değerleri her rutubet seviyesi için daha yüksek bulunmuştur. Bu ölçme yapılan örneklerin farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ultrasonik yöntemle belirlenen E_R değerleri basma testlerine göre biraz yüksektir. Her iki yöntemde belirlenen E_T değerleri benzerdir. Kesme modüllerinde en büyük fark G_{LR} ve G_{RT} değerlerinde oluşmuştur. G_{LT} değerlerinin benzer olduğu söylenebilir. Poisson oranlarında genel olarak farklılıklar görülmektedir. % 65 rutubet seviyesinde ölçülen ν_{LR} , ν_{LT} , ν_{RT} değerleri benzerdir, rutubetin farklılaşması farkın artmasına sebebiyet vermiştir. Ayrıca ultrasonik yöntemde ν_{LR} 1'in üzerinde tahmin edilmiştir. Pratik olarak 1 ve üzeri Poisson oranı mümkün olmamakla birlikte literatürde ultrasonik yöntemle 1'den yüksek Poisson oranlarının bulunduğu görülmüştür (Bucur ve Archer, 1984; Gonçalves vd. 2011; Ozyhar vd. 2013). Yüksek Poisson oranları için gerçekçi bir açıklama mevcut değildir, ancak ahşap malzemedeki silindirik ortotropiden (yıllık halkaların yuvarlak olması) kaynaklanıyor olabileceği tahmin edilmektedir (Bucur, 2006). Yüksek Poisson oranı Aira vd. (2014) tarafından yapılan basma testlerinde de bulunmuştur. Gonçalvez vd. (2014) ve Vazquez vd. (2015) göre aynı örneklerin kullanılması bu sorunu ortadan kaldırmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Gökmar odunun farklı rutubet ortamında ultrasonik yöntem ve basma testleri ile elastik sabitleri belirlenmiştir. Çalışmada üç farklı lif yönünde basma direnci de hesaplanmıştır. Ultrasonik testlerde 2.27 Mhz doğrusal ve 1 Mhz kesme frekanslı probalar kullanılarak ses dalgası geçim hızları ölçülmüştür. Gökmar odununda doğrusal ses hızlarının V_{11} için iğne yapraklı ağaçlar için bulunan ses hızlarına benzer diğer yönlerde (V_{22} , V_{33}) ise oldukça az olduğu söylenebilir. Kesme ses hızları ise iğne yapraklı türlere V_{55} ve V_{66} için benzer, V_{44} için yüksektir. Elastikiyet modülü ile ses hızları arasındaki ilişkiyi yararlanarak örneklerde elastik sabitler hesaplanmıştır. Genel olarak örneklerin rutubet miktarı ve ses hızları arasında doğrusal negatif bir ilişki olduğu söylenebilir. Aynı ilişki rutubet ve ses hızları kullanılarak hesaplanan elastikiyet ve kesme modülleri için de geçerlidir. Bazı Poisson oranlarının rutubetten etkilenmediği bazılarının ise rutubet artışı ile arttığı görülmektedir. Ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bunun nedeni varyasyon katsayılarının yüksek olması olabilir. Çok büyük ve çok düşük Poisson oranlarının tahmin edilmesi ultrasonik yöntemin dezavantajlı yönlerinden birisidir. Bu ahşabın silindirik ortotropik özellikte olması ile açıklanabilir. Ultrasonik yöntemin pratikte kısa sonuç vermesi önemli avantajlarından biridir.

Çalışmanın ikinci aşamasında basma testleri yardımıyla elastik sabitler belirlenmiştir. Rutubet ile basma testlerinden elde edilen elastikiyet modülü ve kesme modülü arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif bir ilişki mevcuttur. Rutubetin basma direncini de azalttığı görülmektedir. Rutubetin basma testlerinden elde edilen Poisson oranlarına etkisi istatistiksel olarak anlamsızdır. Poisson oranlarındaki yüksek varyasyon katsayısı bu sonuçta etkili olabilir. Basma testleri ultrasonik yöntemle karşılaştırıldığında örnek hazırlama süresi, veri toplama ve analiz süreleri bakımından oldukça uzun sürmektedir.

İki yöntem ile elde edilen elastik katsayılar karşılaştırıldığında; genel olarak ultrasonik yöntemde elde edilen elastik katsayılar (E ve G) daha yüksek çıkması beklenirken özellikle basma testlerinden elde edilen E_L ve G_{LR} değerleri ultrasonik yöntemle tahmin edilen değerlerden her rutubet seviyesi için yüksek bulunmuştur.

Bu test örneklerinin farklı olması ve Göknaın sahip olduğu anizotropi ile açıklanabilir. Ayrıca, elastikiyet modülünün L:R:T oranı diğer iğne yapraklı ağaçların ortalamalarının üzerindedir. R ile T yönleri birbirine yakın elastikiyet modülüne sahiptir. Ultrasonik yöntemle tahmin edilen E_R değerleri, basma testlerinden elde edilen E_R değerlerinden daha yüksek, E_T değerleri ise oldukça benzer bulunmuştur. Ultrasonik yöntemle tahmin edilen Poisson oranları ile basma testlerinden elde edilen Poisson oranları % 65 rutubet seviyesinde benzerlik göstermektedir. Diğer rutubet seviyelerinde oldukça yüksek farklar mevcuttur. Bu rutubet-ses hızı-yoğunluk değişimi etkileşiminden kaynaklanabilir.

Ülkemizde yetişen ağaç türleri için elastik özellikler genel olarak eğilme testlerinden elde edilen elastikiyet modülü (MOE) ile temsil edilmektedir. Bu da ahşap malzemenin izotropik olarak kabul edilmesi anlamını taşımaktadır. Sadece MOE değeri kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizi gibi yapısal analizlerde büyük hatalara sebebiyet verebilmektedir. Çalışmada bulunan sonuçlar daha detaylı ve gerçekçi yapısal analiz sonuçlarının elde edilmesine olanak verecektir.

6. KAYNAKLAR

- Aira, J. R., Arriaga, F., Gonzalez, G.I. 2014. Determination of elastic constants of Scots pine wood by means of compression tests, *Biosystem engineering*, 126:12-22
- Anonim, 2013. Orman Atlası, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Arslan, M. B. Aydemir, D. Genç odun ve özellikleri, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(16):25-32.
- Aydın, S., Yardımcı, M.Y., Ramyar, K. 2007. Mechanical properties of Four Species Commonly used in Turkey. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 31:19-27.
- 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.
- Baradit, E., Niemz, P., 2012: Elastic constants of some native Chilean wood species using ultrasound techniques, *Wood Research* 57(3):497-504.
- Beall, F. C. 2002. Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties, *Wood Science and Technology* 36(3), 197-212
- Bodig J, Jayne BA., 1993. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Krieger Publishing Company, 736p, Malabar, Florida, USA.
- Bodig, J.; Goodman, J.R. 1973. Prediction of elastic parameters for wood. *Wood Science*. 5(4): 249–264.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., 1997. Odun Anatomisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Yayın. No: 466.
- Bozkuş, F., 1988, Toros Göknarı (*Abies cilicica* Carr.)’nın Türkiye’deki Doğal Yayılışı ve Silvikültürel Özellikleri. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları No: 660/60. Ankara, 118 s.
- Brashaw, B. K. 2015. Sounding, Probing, Moisture Content and Resistance Drilling Techniques in “Nondestructive evaluation of wood” Ross, R.J., (Ed.), General Technical Report FPL-GTR 238, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Bucur, V. 2006. *Acoustics of wood*. Springer Verlag, Berlin.
- Bucur, V., Archer, R. R. 1984. Elastic constants for wood by an ultrasonic method, *Wood Science and Technology*, 18: 255-265.

- Dackermann, U., Elsener, R., Li, J. and Crews, K. 2016. A comparative study of using static and ultrasonic material testing methods to determine the anisotropic material properties of wood, *Construction and Building Materials*, 102, 963-976.
- Dahl, K.B., 2009. Mechanical Properties of Clear Wood from Norway Spruce, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Structural Engineering, PhD Thesis, 235p, Trondheim.
- Dinwoodie, J.M. 2000. Timber: Its nature and behaviour. Van Nostrand Reinhold Co. Ltd, NY. USA.
- Divos, F., Tanaka, T., Nagao, H., Kato, H. 1998. Determination of shear modulus on construction size timber, *Wood Science and Technology*, 32:393-402.
- Gerhards, C.C., 1982. Effect of Moisture Content and Temperature on the Mechanical Properties of Wood: An Analysis of Immediate Effects. *Wood and Fiber Science*, 14(1): 4-36.
- Gonçalves, R., Trinca, A. J., Cerri, D. G. P. 2011. Comparison of Elastic Constants of Wood Determined by Ultrasonic Wave Propagation and Static Compression Testing, *Wood and Fiber Science*, 43(1): 64-75.
- Gonçalves, R., Trinca, A. J., Pellis, B. P. 2014. Elastic constants of wood determined by ultrasound using three geometries of specimens, *Wood Science and Technology*, 48:269-287.
- Görgün, V., DüNDAR, T. 2016. Yapı Kerestelerinde Eğilme Özelliklerinin İncelenmesinde Akustik Esaslı Tahribatsız Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2):61-621.
- Green, D.W., Evans, J.W. 1994. Effect of ambient temperatures on the flexural properties of lumber. In: PTEC 94 timber shaping the future: Proceedings, Pacific timber engineering conference; 1994 July 11–15; Gold Coast, Australia. Fortitude Valley MAC, Queensland, Australia: Timber Research Development and Advisory Council: 190–197.
- Green, D.W., Kretschmann, D.E., 1994. Moisture Content and the Properties of Clear Southern Pine. USDA Forest Service Forest Prod. Lab. Res. Pap. FPL-RP-531, 28p.
- Güntekin, E. 2003. Ahşap ve Ahşap Kompozitlerinde Sünmeyi Etkileyen Faktörler, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi* 1:87-102.
- Güntekin, E. Aydın, T.Y. 2015. Kızılcam odununda (*Pinus brutia* Ten.) yorulma özelliklerinin belirlenmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1):36-41.

- Güntekin, E. Yılmaz, T. 2012. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kerestesi için direnç sınıflandırması, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 13: 140-142
- Güntekin, E., Aydın, T. Y. 2016. Determination of elastic constants for Anatolian black pine wood using ultrasound, WCTE 2016 World Conference on Timber Engineering, August 22-25, Vienna, Austria, p: 976-981.
- Güntekin, E., Aydın, T.Y., Niemz, P. 2015) Prediction of compression properties in three orthotropic directions for some important Turkish wood species. BioResources 10(4):7252-7262.
- Güntekin, E., Bülbül, Z. 2015. Karaçam (*Pinus nigra* A.) kerestesinde eğilme özelliklerinin stres dalga yöntemiyle belirlenmesi, Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 10(2):11-17.
- Güntekin, E., Özkan, S., Yılmaz, T. 2014. Prediction of bending properties for beech lumber using stress wave method, Maderas. Ciencia y tecnología, 16(1): 93-98.
- Hansen, L.P., 1991. Experimental investigation of fatigue properties of laminated wood beams. Timber Engineering Conference, London, pp: 3742.
- Harrington, M. 1996. Artwork Copyright University of Canterbury.
- Harrison, S. K. 2006. Comparison of Shear Modulus Test Methods. Master's Thesis, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, USA.
- Hearmon RFS (1948) The elasticity of wood and plywood. Department of Science and Industry Research. Forest Products Research Special Rep7. HMSO, London
- Hekimoğlu, V. 2014. Gökmar ve Sarıçam odunlarından nanokil ilaveli çapraz lamine kereste üretim olanaklarının incelenmesi, YL tezi. Bartın Üniversitesi, 92 s.
- Hering, S., Keunecke, D., Niemz, P. 2012. Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. Wood Science and Technology, 45:927 – 938
- Holmberg, S., Persson, K., Petersson, H. 1999. Nonlinear mechanical behaviour and analysis of wood and fibre materials, Computers & Structures, 72:459-480.
- Ilic, J. 2003. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams, Holz als Roh- und Werkstoff 61(3):167-172.
- İlter, E. Çamlıyurt, C., Balkız, Ö. D., 2001. Uludağ Gökmarı (*Abies bommülleriana* mattf.) Odununun Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları. No:281: 19 s.
- Jeong, G.Y., Hindman, D.P., Zink-Sharp, A. 2010. Orthotropic properties of loblolly pine (*Pinus taeda*) strands. Journal of Material Science, (45):5820–5830

- Keskin, H. 2002. Lamine Uludağ Göknaı (*Abies Bornmülleriana*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 10(11):127-136.
- Keunecke, D., Merz, T., Sonderegger, W., Schnider, T., and Niemz, P. 2011. "Stiffness modulus of various softwood and hardwood species determined with ultrasound," Wood Material Science and Engineering 6(1): 91-94.
- Kol, H.Ş. 2010. Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing, Journal of Environmental Biology, 31(6): 1007-1011.
- Kretschmann, D. E. 2010. Mechanical Properties of Wood in "Wood handbook: Wood as an engineering material." R.J. Ross (ed.). Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture. Forest Service, 508 p.
- Kretschmann, D.E., Green, D.W., 1996. Modeling Moisture Content-Mechanical Property Relationships for Clear Southern Pine. Wood and Fiber Science, 28(3): 320-337.
- Llana, D.F., Gonzalez, G.I., Arriaga, F., Niemz, P. 2014. Influence of Temperature and Moisture Content on Non-Destructive Measurements in Scots Pine Wood. Wood Research, 59(5):769-780.
- Merev, N. 1984. Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, Ders Notları, KTÜ Orm. Fak.Yay.3652. Trabzon.
- Mizutani, M., Ando, K. 2015. Influence of a wide range of moisture contents on the Poisson's ratio of wood. Journal of Wood Science, (61):81-85
- Oliveira, F. G. R., Campos, J. A. O., Sales, A. 2002. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood, Materials Research 5(1):51-55.
- Oliveira, F. G. R., Sales, A. 2006. Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods, Bioresource Technology 97: 2443-2446.
- Ozyhar, T., 2013. Moisture and Time-Dependent Orthotropic Mechanical Characterization of Beech Wood. Swiss Federal Institute of Technology, PhD. Thesis, 150p, Zurich.
- Ozyhar, T., Hering, S. Sanabria, S.J. Niemz, P. 2013. Determining moisture-dependent elastic characteristics of beech wood by means of ultrasonic waves. Wood Science and Technology, 47:329-341.
- Örs, Y., Keskin, H. 2008. Ağaç Malzeme Teknolojisi, Gazi Kitabevi, İstanbul, 199 s.
- Özçiftçi, A., Batan, F. 2009. Bor Yağının Ağaç Malzemenin Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 12(4):287-292.

- Persson, K. 1997. Modelling of wood properties by a micromechanical approach, Report TVSM- 3020, Lund University, Sweden.
- Ross, R. 2015. Static Bending, Transverse Vibration, and Longitudinal Stress Wave Nondestructive Evaluation Methods in “Nondestructive evaluation of wood” Ross, R.J., (Ed.), General Technical Report FPL-GTR 238, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Senalik, C.A, Schueneman, G., Ross, R. 2015. Ultrasonic-Based Nondestructive Evaluation Methods for Wood in “Nondestructive evaluation of wood” Ross, R.J., (Ed.), General Technical Report FPL-GTR 238, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Teles, F. T., Del Menezzi, C. S., de Souza, F., de Souza, M. R. 2011. Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: Interrelationship between methods and physical-acoustical variables, *Ciência da Madeira* 2(1): 1-14.
- Vazquez, C., Golçalvez, R., Bertoldo, C., Bano, V., Vega, A., Crespo, J., Guaita, M. D. 2015. Determination of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. using ultrasonic wave propagation and compression with static compression and bending methods, *Wood Science and Technology*, 49:607-622.
- Wilcox, W.W. 1978. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood and Fiber Science*. 9(4): 252–257.
- Winandy, J.E., Morrell, J.J. 1993. Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas- fir heartwood. *Wood and Fiber Science*. 25(3): 278–288.
- Yalçırık, F. 1993. Dendroloji, Ders Kitabı I, Gymnospermae (Açık Tohumlular), 2. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü. yayın No: 3443, O.F. Yayın No: 386, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşegül ÖZVEREN

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1991

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eposta : aysegul_kucukkose@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Mustafa Kaçıkçı Anadolu Lisesi, 2004-2008

Lisans : SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, 2010
2015

Mesleki Deneyim

SDÜ Atabey Meslek Yüksek Okulu :2016-.. (halen)