

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAÇAM (*Pinus nigra* A.) ODUNUNDA ORTOTROPİK  
MEKANİK DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Seda DEMİRATLI**

**Danışman  
Prof. Dr. Birol ÜNER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA – 2017**



© 2017 [Seda DEMİRATLI]

TEZ ONAYI

Seda DEMİRATLI tarafından hazırlanan " Karaçam (*Pinus nigra* A.) odununda ortotropik mekanik davranış özelliklerinin belirlenmesi " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Ana bilim 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.

**Seda DEMİRATLI**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	2
2.1. Ahşap Malzemenin Yapısı .....	2
2.1.1. Anatomik yapı.....	2
2.1.2. Ortotropik yapı.....	2
2.2. Ahşap Malzemenin Mekanik Davranışı .....	3
2.3. Elastik Özellikler .....	3
2.3.1. Elastikiyet modülü .....	3
2.3.2. Poisson oranı .....	4
2.3.3. Rijitlik modül .....	4
2.4. Direnç Özellikler .....	4
2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler .....	5
2.5.1. Doğal faktörler .....	5
2.5.1.1. Özgül ağırlık.....	5
2.5.1.2. Budaklar .....	6
2.5.1.3. Lif kıvrıklığı .....	6
2.5.1.4. Yıllık halka yönü.....	6
2.5.1.5. Reaksiyon odunu .....	7
2.5.1.6. Genç odun ve ergin odun .....	8
2.5.1.7. Ekstraktif maddeler .....	8
2.5.1.8. Reçine kanalları.....	8
2.5.2. Çevresel faktörler.....	9
2.5.2.1. Rutubet .....	9
2.5.2.2. Sıcaklık.....	11
2.5.2.3. Yorma.....	19
2.5.2.4. Yük süresi.....	19
2.5.2.5. Sünme.....	20
2.5.2.6. Kimyasal maddelerin oduna etkisi .....	20
2.5.2.7. Mantar zararları .....	21
2.5.2.8. Böcek zararları .....	21
3. METERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Karaçam ( <i>Pinus nigra</i> A.).....	22
3.1.1.1. Botanik özellikler .....	22
3.1.1.2. Fiziksel ve mekanik özellikler .....	24
3.2. Yöntem .....	25
3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması .....	27
3.2.2. Özgül ağırlık.....	28
3.2.2.1. Hava kurusu özgül ağırlık .....	28
3.2.2.2. Tam kuru özgül ağırlık.....	29

3.2.2.3. Rutubet tayini .....	29
3.2.3. Rutubetin örnekler üzerine etkisi .....	29
3.2.2.1. Basma direnci.....	30
3.2.2.2. Young modülü.....	30
3.2.2.3. Poisson oranı .....	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	33
4.1. Rutubetin Etkisi .....	33
4.1.1. Young modülü.....	36
4.1.2. Basma direnci.....	38
4.1.3. Poisson oranı .....	40
4.2. Yapılmış Olan Deneylerde Sıcaklığın Etkisi.....	44
4.2.1. Young Modülü .....	44
4.2.2. Basma direnci.....	49
4.2.3. Poisson oranı .....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	62
KAYNAKLAR .....	65
ÖZGEÇMİŞ .....	68

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KARAÇAM (*Pinus nigra* A.) ODUNUNDA ORTOTROPİK MEKANİK DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Seda DEMİRATLI

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Birol ÜNER

Bu tez çalışmasında Türkiye’de yetişen önemli ağaç türlerinden olan Karaçam odununda bazı ortotropik mekanik özelliklerine rutubetin ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Tomruklar radyal ve teğet yönde kesilerek kusursuz örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerde, lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki; Young modülü ( $E_L$ ,  $E_R$ ,  $E_T$ ), basma direnci ve poisson oranları hesaplanmıştır ( $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{TR}$ ).

Bazı ortotropik mekanik özelliklere rutubetin etkisini araştırmak için üç farklı yönde (L,R,T),  $20 \times 20 \times 60$  mm ölçülerinde hazırlanan örnekler, %45, 65, 85 ve 95 rutubette ve  $21^\circ\text{C}$  sıcaklıkta değişmez ağırlıklar elde edilinceye kadar bekletilmiştir. Deney örnekleri bi-aksiyal ekstensometre ile universal test cihazı kullanılarak elastik ve basma testleri (basma direnci, Young modülü ve Poisson oranı) belirlenmiştir. Rutubetin, elastik ve direnç özellikleri üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Rutubetin artması ile basma direnci değerlerinde (L,R,T) ve Young modülü değerlerinde ( $E_L, E_R, E_T$ ) azalış görülürken, Poisson oranı değerlerinde ise genel olarak artış görülmüştür.

Bazı ortotropik mekanik özelliklere sıcaklığın etkisini araştırmak için  $20 \times 20 \times 60$  mm ölçülerinde hazırlanan örnekler, iki farklı sıcaklığa ( $180$  ve  $210^\circ\text{C}$ ) ve üç farklı süreye (2,5 ve 8 saat) atmosferik ortamdaki etüvde sıcaklık uygulanmıştır. Deney örnekleri bi-aksiyal ekstensometre ile universal test cihazı kullanılarak elastik ve basma testleri (basma direnci, Young modülü ve Poisson oranı) belirlenmiştir. Sıcaklığın ve uygulama süresinin elastik ve direnç özellikleri üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve sürenin artması ile basma direnci değerlerinde (L,R,T) ve Young modülü değerlerinde ( $E_L, E_R, E_T$ ) azalış görülürken Poisson oranları değerleri ( $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{TR}$ ) üzerinde sıcaklık ve sürenin anlamlı bir etkisi görülmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ortotropik, Young modülü, Poisson oranı, sıcaklık, rutubet.

2017, 68 sayfa

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### DETERMINATION OF ORTHOTROPIC MECHANICAL PROPERTIES OF BLACK PINE (*Pinus nigra* A.) WOOD

Seda DEMİRATLI

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

Supervisor: Prof. Dr. Birol ÜNER

In this thesis, an important type of tree which grows in Turkey, namely black pine, were investigated in terms of orthotropic mechanical properties relying on vapour and heat changings. Stainless samples were prepared by cutting radial and tangent side. These samples were used for calculating some test methods such as Young Module ( $E_L$ ,  $E_R$ ,  $E_T$ ), compression resistant and poisson rate values ( $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{TR}$ ) on their fiber direction, radial and tangent sides.

In order to investigate the effect of vapour on some orthotropic mechanical properties of the wood, samples first prepared 20×20×60 mm dimensions then were held on different vapour atmosphere (45%, 65%, 85%, 95% of moisture) and heat (21°C) until obtaining unchanging weightness. Then, samples were tested by using biaxial extensometer and universal test device for resulting elastic and compression tests (Compression resistance, Young module and Poisson rate). It was observed that vapour had a significant influence on samples' elastic and resistant feature. Moreover, compression resistance (L,R,T) and young module ( $E_L$ ,  $E_R$ ,  $E_T$ ) values were decreased with residual vapour quantity, despite Poisson rate generally monitored as increase.

*Pinus Nigra* 20×20×60 mm dimensions producing test samples were also held in stove in two different temperature (180°C and 210°C) and three different time (two, five and eight hours) to examine the impression of heat. Samples then went on mechanical tests by using biaxial extensometer and universal test device to calculate Young module and poisson rate values. Temperature and heat applying time show an important impact on compression resistance and young module values on samples. Particularly, compression resistance (L,R,T) and young module values were decreased while poisson rate numbers ( $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{TR}$ ) were not seen any significant variation opposing increased temperature and time.

**Keywords:** Orthotropic, Young's modulus, Poisson's ratio, moisture, temperature

2017, 68 pages



## TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı danışman hocam Prof. Dr. Birol ÜNER'e teőekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karőılaőtıđım zorlukları bilgileri ve tecrübeleri ile aőmamda yardımcı olan kaynaklarından yararlandığım gerektiğinde birebir bana yardım eden değerli tüm hocalarıma teőekkürlerimi sunarım. Literatür araőtırmalarımnda ve çalıőmalarımnda yardımcı olan hocam Dr. Tuđba YILMAZ AYDIN'a teşekkür ederim.

Labaratuvar çalıőmalarım sırasında yardımlarından dolayı Orman Endüstri Mühendisi Serhat AKAR'a ve Orman Endüstri Mühendisi Hasan KAYA'ya teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan annem, babam, kardeőlerim ve arkadaőlarıma sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Seda DEMİRATLI  
ISPARTA, 2017

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Üç ana eksen yönleri.....	3
Şekil 2.2. Yıllık halka yönüne bağlı olarak yükleme yönleri.....	7
Şekil 2.3. Doğu ladini odunun enine, teğet ve radyal kesit görüntüsü .....	9
Şekil 2.4. Mekanik özelliklere sıcaklığın ani etkisinin iki farklı rutubet miktarının Elastikiyet modülüne etkisi .....	12
Şekil 2.5. Mekanik özelliklere sıcaklığın ani etkisinin iki farklı rutubet miktarının basma direncine etkisi .....	12
Şekil 2.6. Isıl işlem safhaları .....	15
Şekil 2.7. Isıl işlem görmüş çam odununun renginde meydana değişme .....	18
Şekil 2.8. Ahşap malzeme için statik direnç - yükleme zaman ilişkisi .....	20
Şekil 3.1. Karaçamın Türkiye’deki yayılış alanı.....	23
Şekil 3.2. Örneklerin denet standartlara uygun şekilde kesilmiş gösterimi (radyal, teğet, lif yönü).....	28
Şekil 3.3. Gerilme- Şekil değiştirme diyagramı.....	31
Şekil 3.4. Universal test cihazı.....	27
Şekil 4.1. Karaçam odunun T, R ve L yönlerindeki Elastikiyet modülü ve rutubet miktarı arasındaki ilişki .....	37
Şekil 4.2. Karaçam Odununun T, R ve L yönlerindeki rutubet miktarı ve basma direnci arasındaki ilişki.....	40
Şekil 4.3. Karaçam odununun Poisson oranları ve rutubet miktarları arasındaki ilişki .....	43
Şekil 4.4. Karaçam odununun lif yönü, radyal ve teğet yönündeki Young modülünün sonuçlarının kontrol ve sıcaklık uygulanmış örneklerin değerlerinin değişimi .....	48
Şekil 4.5. Karaçam odununun lif yönü, radyal ve teğet yönündeki basma direnci sonuçlarının kontrol ve sıcaklık uygulanmış örneklerin değerlerinin değişimi .....	53
Şekil 4.6. Karaçam odununda sıcaklık uygulanmış örneklerin, Kontrol örneklerine göre Poisson oranı değerindeki değişimi.....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Karaçam'da basma testlerinden elde edilen özellikler (L yönü ortalama değerleri).....	33
Çizelge 4.2. Karaçam'da basma testlerinden elde edilen özellikler (R yönü ortalama değerleri).....	34
Çizelge 4.3. Karaçam'da basma testlerinden elde edilen özellikler (T yönü ortalama değerleri). ....	35
Çizelge 4.4. Karaçam örneklerinde Young modülü için ANOVA çizelgesi .....	36
Çizelge 4.5. Karaçam örneklerinde lif yönü ortalamalarının Young modülü için DUNCAN tablosu.....	36
Çizelge 4.6. Karaçam örneklerinde rutubet ortalamalarının Young modülü için DUNCAN tablosu.....	37
Çizelge 4.7. Karaçam örneklerinde basma direnci için ANOVA çizelgesi .....	39
Çizelge 4.8. Karaçam örneklerinde direnç değerlerinin lif yönü ortalamaları için DUNCAN tablosu.....	39
Çizelge 4.9. Karaçam örneklerinde direnç değerlerinin rutubet ortalamaları için DUNCAN tablosu.....	39
Çizelge 4.10. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{LT}$ ) değerine etkisinin varyans analizi .....	41
Çizelge 4.11. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{LR}$ ) değerine etkisinin varyans analizi .....	41
Çizelge 4.12. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{RT}$ ) değerine etkisinin varyans analizi .....	41
Çizelge 4.13. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{RL}$ ) değerine etkisinin varyans analizi .....	42
Çizelge 4.14. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{TR}$ ) değerine etkisinin varyans analizi.....	42
Çizelge 4.15. Rutubetin $v_{TR}$ üzerine etkisi (Duncan tablosu).....	42
Çizelge 4.16. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{TL}$ ) değerine etkisinin varyans analizi.....	43
Çizelge 4.17. Karaçam örneklerinde yön, sıcaklık ve sürenin Young modülüne etkisinin ANOVA çizelgesi .....	45
Çizelge 4.18. Karaçam odununda Young modülünün sıcaklık değerlerine ait DUNCAN değerleri .....	45
Çizelge 4.19. Karaçam odununda Young modülünün süre değerlerine ait DUNCAN değerleri.....	46
Çizelge 4.20. Karaçam odununun teğet yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular.....	46
Çizelge 4.21. Karaçam odununun radyal yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular.....	47
Çizelge 4.22. Karaçam odununun teğet yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular.....	48
Çizelge 4.23. Karaçam örneklerinde yön, sıcaklık ve sürenin basma direncine etkisinin ANOVA çizelgesi.....	49
Çizelge 4.24. Karaçam odununda basma direncinin sıcaklık değerlerine ait DUNCAN değerleri.....	50

Çizelge 4.25. Karaçam odununda basma direncinin sürelerle ait DUNCAN değerleri.....	50
Çizelge 4.26. Karaçam odununun lif yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular.....	51
Çizelge 4.27. Karaçam odununun radyal yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular.....	51
Çizelge 4.28. Karaçam odununun teğet yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular .....	52
Çizelge 4.29. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{LR}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	54
Çizelge 4.30. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{LT}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	55
Çizelge 4.31. Karaçam odununda $v_{LT}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri.....	55
Çizelge 4.32. Karaçam odununda $v_{LT}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri.....	55
Çizelge 4.33. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{RL}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	56
Çizelge 4.34. Karaçam odununda $v_{RL}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri.....	56
Çizelge 4.35. Karaçam odununda $v_{RL}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri .....	56
Çizelge 4.36. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{RT}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	57
Çizelge 4.37. Karaçam odununda $v_{RT}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri.....	57
Çizelge 4.38. Karaçam odununda $v_{RT}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri .....	57
Çizelge 4.39. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{TL}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	58
Çizelge 4.40. Karaçam odununda $v_{TL}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri.....	58
Çizelge 4.41. Karaçam odununda $v_{TL}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri.....	58
Çizelge 4.42. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin $v_{TR}$ değerine etkisinin ANOVA çizelgesi .....	59
Çizelge 4.43. Karaçam odununda $v_{TR}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri.....	59
Çizelge 4.44. Karaçam odununda $v_{TR}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri .....	60
Çizelge 4.45. Karaçam odununun poisson oranına ait veriler ( $v_{TR}$ , $v_{TL}$ , $v_{RL}$ , $v_{RT}$ , $v_{LR}$ , $v_{LT}$ ).....	60

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D.G	DUNCAN grubu
$D_0$	Tam Kuru Yoğunluk
$D_{12}$	Hava kurusu yoğunluk
DIC	Digital Image Corelation
E	Young modülü
L	Lif yönü
LDN	Lif doygunluğu noktası
MC	Rutubet seviyesi
N	Örnek sayısı
R	Radyal yön
RH	Bağıl nem
T	Teğet yön
V	Varyasyon katsayısı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$\varepsilon$	Şekil değiştirme
$\nu$	Poisson oranı
$\omega$	Rutubet miktarı

## 1. GİRİŞ

Ahşap, binlerce yıldır insan hayatında olan bir malzemedir. Günümüzde ağaç malzeme birçok alanda kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin bu kadar çok kullanım alanının olmasının en önemli sebepleri; doğal ve yenilenebilir bir hammadde olması, hücre yapısı ve kimyasal yapısı nedeniyle yoğunluğuna oranla direncinin yüksek olması, metal konstrüksiyonlarla karşılaştırıldığında sıcaklık değişimlerine karşı çok az miktarda boyutsal değişiklik göstermesi, kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı iyi bir yalıtıcı olması, renk ve estetik özellikleri, çelik ve betonla karşılaştırıldığında çok yüksek yorulma direncine sahip olması gibi özellikleri örnek verilebilmektedir (Güller ve Korkut, 2006; Akgün, 2008).

Karaçamın Türkiye ormancılığında ibreli türler içerisinde ikinci sırada yer alarak toplam 46.930,06 km<sup>2</sup> yayılış alanı ile ormanlarımızın % 21.6'sını kapsamaktadır (OGM, 2014).

Ülkemizde Orman Ürünleri Endüstrisinde Karaçam (*Pinus nigra* A.) önemli bir kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanları arasında: tel-maden direkleri, çit kazığı, travers, temel kazık ve direkleri, selüloz üretimi, yonga levha, lif levha, gemi taşıtları yapımında, bina inşaatları, mobilya, iç dekerasyon, kuru madde ambalaj fiçileri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Göker, 1977).

Çalışmada karaçamın, bazı ortotropik mekanik özelliklere, rutubetin ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Karaçam odununa dört farklı bağıl nem seviyelerindeki (%45, 65, 85,95) örneklerle rutubetin etkisini araştırmak için üç yönde ( L, R, T); basma direnci, Young modülü ve Poisson oranı değerleri ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) basma testleriyle bulunmuştur. Sıcaklığa bağlı mekanik değişkenler iki farklı sıcaklık (180 ve 210 °C) ve 2,5 ve 8 saat sürelerde basma testiyle bulunmuştur.

Sıcaklığa ve rutubete bağlı elastik ve direnç özelliklerinin bulunmasında yapılan çalışmalar günümüzde yeterli bulunmamaktadır. Çalışmanın amacı karaçam odununun bazı mekanik değerlerinin, sıcaklık ve rutubete göre değişimini belirlemektir.

## **2. KAYNAK ÖZETLERİ**

### **2.1. Ahşap Malzemenin Yapısı**

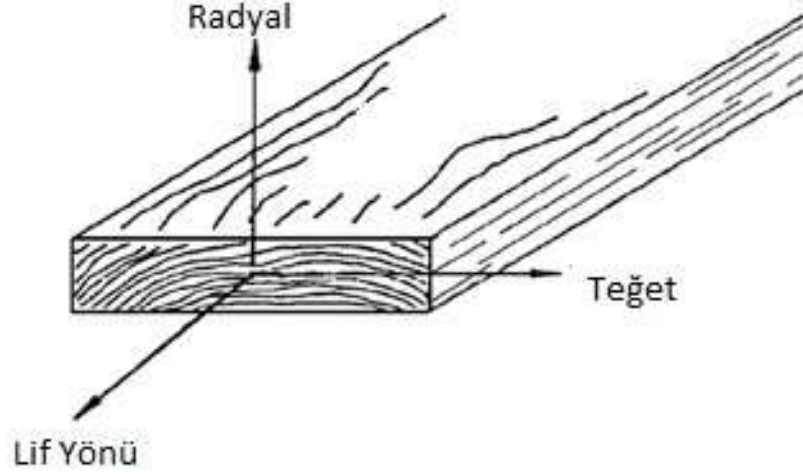
Ahşap; lifli, anizotropik ve heterojen bir yapı malzemesidir. Ağaç malzemenin yapısı diğer yapı malzemelerinden tamamen farklı bir özellik gösterir. Her yönde aynı mekanik özellikler gösteren yani izotropik bir malzeme olan çeliğe benzemeyen ağaç malzeme, birbirine dik üç yönde farklı özellikler gösterir (Kretschmann, 2000). Ahşabın yapısını inceleyebilmek için anatomik ve ortotropik yapı özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (Yılmaz Aydın, 2017).

#### **2.1.1. Anatomik yapı**

Anatomik yapıs, iklim, toprağın durumu, ormanın sıklığı, güneşlenme, ahşabın kusurları (budaklar, gelişme kusurları, yarıklar, öz kayması, çift öz) ahşap malzemenin doğal kusurları (bakteriler, mantarlar, böcekler, kurtlar) gibi etkenler ahşabın teknik özelliklerini etkilemektedir (Anonim, 2017).

#### **2.1.2. Ortotropik yapı**

Birbirine dik üç düzleme göre malzeme simetrisi olan malzemelere ortogonalli anizotropik yani (kelimelerinin kısaltılmışı olan) ortotropik malzeme denir (Kimençe, 2012). Ahşapta bir ortotropik malzemedir; Yani birbirine dik olan üç eksen doğrultusunda benzersiz ve bağımsız mekanik özelliklere sahiptir: lif yönüne paralel (L), radyal (R) ve teğet (T). Bu eksenler Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Kretschmann, 2010).



Şekil 2.1. Üç ana eksen yönleri (Kretschmann, 2010)

## 2.2. Ahşap Malzemenin Mekanik Davranışı

Ahşabın karmaşık bir yapıya sahip olması, mekanik davranışlarının da yönlere göre (L, R, T) farklılık göstermesine sebep olmaktadır (Ozyhar, 2013).

## 2.3. Elastik Özellikler

Ahşabın elastik özelliklerini tanımlamak için dokuzu bağımsız olmak üzere on iki sabit değer bilinmesi gereklidir. Bunlardan üçü rijitik (kesme) modülü ( $G$ ), üç tanesi elastikiyet modülü ( $E$ ), ve altı tanesi ise Poisson ( $\nu$ ) oranıdır. (Bodig ve Goodman, 1973, Kretschmann, 2010).

### 2.3.1. Elastikiyet modülü

Düşük bir dış yükün etkisi ile şekil değiştiren, yük kalkınca ilk şeklini alabilmesi özelliğine Elastik denir. Elastik sınır, katı cisimlerin belli bir noktaya kadar dış yükün kaldırılması ile ilk şeklini alabildiği sınırdır. Elastik sınırdan sonra yükün artması ya da uzun süre kaldırılmaması sonucunda kırılma meydana gelir. Ağaç malzemenin liflere teğet yönde ( $E_T$ ), radyal yönde ( $E_R$ ) ve liflere paralel yönde ( $E_L$ ) olmak üzere üç elastikiyet modülü, ağaç malzemenin T, R ve L yönlerindeki elastikiyet modülünü göstermektedir (Kretschmann, 2010).



### 2.3.2. Poisson oranı

Malzeme aksenal olarak yüklendiğinde, yük yönüne dik olan deformasyon, yük yönüne paralel deformasyonla orantılıdır. Aksenal olarak şekil değiştirmenin enine oranına Poisson Oranı denir (Kretschmann, 2010).

Sistemde altı tane poisson oranı vardır ve  $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{LT}$  ve  $\nu_{LR}$  şeklinde gösterilir. Bu gösterimdeki alt simgenin ilk harfi uygulanan gerilme yönünü ikinci harfi ise yanal deformasyon yönünü gösterir. Örneğin  $\nu_{TR}$  teğet (T) yönde yükleme sonucu oluşan gerilmenin radyal (R) yönde oluşan deformasyonu göstermektedir (Kretschmann, 2010). Elastik modül tür içinde ve türler arasında; özgül ağırlık ve rutubet içeriği ile değişme gösterir (Bodig ve Goodman, 1973).

### 2.3.3. Rijitlik modül

Kesilme modülü olarak adlandırılan rijitlik modülü, kesilme gerilmelerinden dolayı parçanın bülükmesine karşı gösterdiği direnci belirtir.  $G_{LR}$ ,  $G_{LT}$  ve  $G_{RT}$  ile gösterilen sertlik modülü sırasıyla LR, LT ve RT düzlemindeki elastik sabitlerini göstermektedir. Örneğin, LR düzleminde kesme gerilmesinin, LT ve RT düzlemlerde kesme streslerine göre rijitlik modülüdür. Elastik modülde olduğu gibi rijitlik modülde tür içinde ve türler arasında; özgül ağırlık ve rutubet içeriği ile değişme gösterir (Kretschmann, 2010).

### 2.4. Direnç Özellikler

Katı cisme etki eden dış kuvvet, elastik sınır noktası üstüne çıktıkça deformasyon gerilmeye oranla daha fazla artış gösterir. Malzeme kırılma noktasına ulaştığında karşı koyma biterek kırılma meydana gelir. Kırılma sırasındaki yüke kırılma yükü, birim alana uygulanan miktarına ise kırılma gerilmesi veya direnç denir (Örs ve Keskin, 2008).

Odun örneğinin rutubeti ve yoğunluğu, yaz odunu ve yıllık halka genişliliği, liflerin yaptığı açı ile yükleme yönü, budaklılık, sıcaklık ve ekstraktif maddeler basınç direnci üzerine etki etmektedir. Odunun yoğunluk değeri arttıkça basınç direnci de artmaktadır. Odunda rutubetin etkisi, rutubet değişimlerinde lif doyma noktasına

kadar ulaşmaktadır. Özellikle rutubetin %1-25 değerler arasında, %1'lik değişim ile Basınç direncinde yaklaşık %6 değerinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca basınç direncinin odun sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1998).

Direnç özellikleri elastik özelliklerde olduğu gibi ağaç malzemedeki en düşük direnç değerini T yönünde, en yüksek direnç değeri L yönünde göstermektedir (Boding ve Jayne 1993).

## **2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Davranışını Etkileyen Faktörler**

Ağabın mekanik özelliklerini kusurlu, heterojen ve anizotropik yapısı nedeniyle incelemek kolay değildir. Ağabın farklı mekanik etkilere karşı göstermiş olduğu dayanım ağaç malzemenin türüne göre ve aynı türlerin değişik örneklerine göre farklılık gösterir (Felekoğlu, 2012).

### **2.5.1. Doğal faktörler**

Ağap malzemenin gerçek özelliklerini değerlendirirken yapılacak deney örneğinin düzgün lifli ve kusursuz olmasına dikkat edilir. Ağaçların doğal büyüme özelliklerinden dolayı özgül ağırlıkları, lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu oluşumu, budak oluşumu gibi özellikler değişiklik göstermektedir (Kretschmann, 2010).

#### **2.5.1.1. Özgül ağırlık**

Ortalama özgül ağırlık, genel olarak iğne yapraklı ağaçlarda özden kabuğa doğru bir artış göstermektedir. Özgül ağırlık, bir tane yıllık halka içerisinde yaz odununun oranına göre artmasına ya da azalmasına bağlıdır. Buna göre özgül ağırlık, ilkbahar odununda en düşük değeri, yaz odununda ise en yüksek değerleri almaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Özgül ağırlık değerlerini reçine, ekstraktif maddeler gibi doğal faktörlerde etkilemektedir (Boding ve Jayne, 1982).

Bozkurt ve Erdin (2000), yıl içerisindeki aldığı yağışa göre yıllık halkaların geniş ya da dar olmasından kaynaklanan farklılık, özgül ağırlığında değişmesine sebep olur.

Örneğin vejetasyon mevsiminde, fazla yağış alan bölgelerde kuzeyden güneye gidildikçe, yapraklı ağaçlarda özgül ağırlığın arttığı tespit edilmiştir.

#### **2.5.1.2. Budaklar**

Ağaç gövdesine gömülmüş bir dalın dip kısmına budak denir. Budaklar ahşap malzeme özelliğine doğrudan etki yapmaktadır. Budakların çevresinde lif yönü düzensizdir. Bundan dolayı budaklardan uzak kısımlarda lif açısı küçük, yakın kısımlarda ise büyük lif açıları görülür. Budaklar gövde odununda daha yoğun, daha sert ve daha reçineli olup çevresindeki odundan daha farklı daralma özelliğine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı kaynamış budak, basınç direncini, sertliği ve makaslama direncini artırır. Budakların çevresinde lif yönü düzensiz olduğu için direnç azalır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

#### **2.5.1.3. Lif kıvrıklığı**

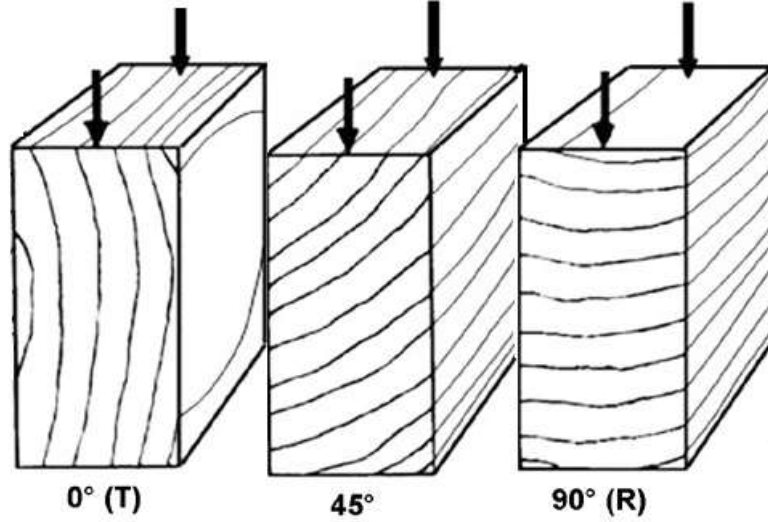
Ağaçta boyuna yönde uzanan hücrelerin, ağaç eksenine paralel ilerlemesi yerine, sola veya sağa eğimli ilerlemesi ya da gövdede yukarıya doğru spiral bir şekilde ilerlemesine lif kıvrıklığı denir. Lif kıvrıklılığı aynı zamanda spiral liflilik olarak bilinmektedir. Lif kıvrıklılığı malzemenin direncinde azalmaya sebep olduğundan, lif yönündeki sapmalar kusur sayılır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Örs ve Keskin (2008), Ağaç malzemenin düzgün lifli olması, direnç özellikleri, malzemenin işlenmesinde kolaylık ve zaiyatların azalması açısından önemlidir. Liflerin düzensiz olması sonucu, malzemenin direnci azalır, malzemeyi işlemek zorlaşır ve çalışması düzensizleşir. Ancak düzensiz lifler ağaç malzemedeki güzel şekiller oluşturulmasında yardımcı olur.

#### **2.5.1.4. Yıllık halka yönü**

Bozkurt ve Erdin (2000), ılıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda gövdenin enine kesiti incelendiğinde özün etrafında az ya da çok belirgin olarak iç içe geçmiş halkalar şeklinde görülen oluşumlara, yıllık halka, artım halkası ya da büyüme halkası denir.

Lif doğrultusunda olan dik gerilmeler yaş halkalarına  $0^\circ$  (T yönü) ile  $90^\circ$  (R yönü) arasında herhangi bir açıda bulunabilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yıllık halka yönüne bağlı olarak yükleme yönleri (Kretschmann, 2010)

Bazı ağaç türlerinde  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  olan yaş halkaların özelliklerinde farklılık görülmemektedir. Ancak bazı ağaç türlerinde de  $0^\circ$ 'de yaş halkalarının  $90^\circ$ 'de yaş halkalarına yönelimi daha yüksek olup, liflere dik çekme ve liflere paralel kesme özelliklerini gösterir. Elastikiyet modülü,  $45^\circ$  ve  $0^\circ$ 'de oransal sınırlarda liflere dik çekme direnci ve liflere dik basma gerilmesi aynıdır ancak bazı türler için  $45^\circ$ 'de %40 ile %60 oranında daha düşüktür (Kretschmann, 2010).

### 2.5.1.5. Reaksiyon odunu

Reaksiyon odun; yumuşak ağaçlarda basınç odunu, sert ağaçlarda ise çekme odunu oluşumu, gövdesi eğri ağaçlarda ağacın devrilmemesi için, dallarda ise dal eğiminin düzgün durmaya çalışması sonucu meydana gelmektedir. Reaksiyon odunu, ağaç malzemenin kalitesini değiştirdiği için, ahşapta önemli kusurlardan biri olarak kabul edilir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Reaksiyon odunun anatomik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri, düzgün oduna göre daha farklıdır. Bu farklılıklardan en önemlisi reaksiyon odununun normal oduna kıyasla yoğunluk artışının fazla olmasıdır. Basınç odunun özgül ağırlı normal

odunun özgül ağırlığına göre %30 ila %40 oranında daha fazladır. Çekme odunun özgül ağırlığı genel olarak normal odununun özgül ağırlığına göre %5 ila %10 oranında değişme gösterir fakat bazı durumlarda %30'a kadar arttığı görülebilir (Kretschmann, 2010).

#### **2.5.1.6. Genç odun ve ergin odun**

Ağaçların yaşam periyotları gençlik, erginlik ve yaşlılık safhası olmak üzere 3 önemli safhadan oluşur. Genç odun, genç bir kambiyum tarafından üretilir. Öze yakın ve tacın başlangıç noktasına kadar silindir oluşturan kısımdır. Ergin odun, genç odunun tabakasının sınırından kabuğa kadar olan kısımdır. Ergin odun ağacın normal yapısal özelliklerini ifade ederken, genç odun gerek fiziksel özellikler gerekse anatomik özellikler bakımından tek bir gövde içerisinde olmalarına rağmen daha düşük kalite özellikleri gösterir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

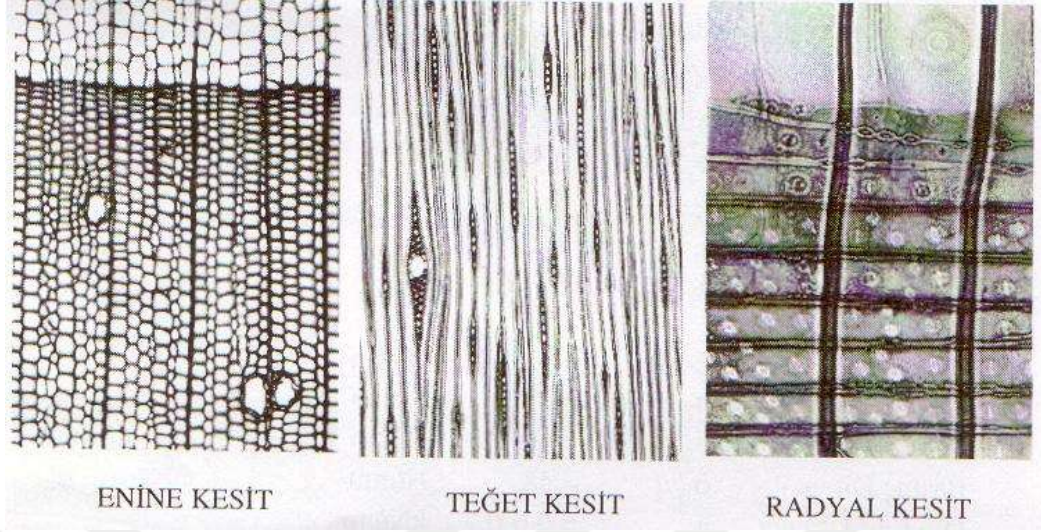
#### **2.5.1.7. Ekstraktif maddeler**

Hücre çeperinde ve lümeninde bulunan ve organik çözücülerde çözünen bileşiklere ekstraktif maddeler denir. Ağacın fizyolojik işlemlerinde asıl rolü üstlenmediklerinden, odundaki ikinci eleman olarak düşünülmektedir. Yani, hücre çeper yapısını oluşturan ana kimyasal maddelerle (lignin, selüloz, hemiselüloz) ilgisi yoktur (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Ekstraktif maddeler, soğuk su, sıcak su, banzen, alkol ve eter gibi çözücülerle odundan çıkartılabilir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Ekstraktiflerin çıkartılması liflere paralel basma direncinde ufak bir azalmaya sebep olmaktadır (Kretschmann, 2010).

#### **2.5.1.8. Reçine kanalları**

Reçine kanalları enine kesitti açık ya da koyu renkli noktacıklar halinde, boyuna kesitlerde iğne çizikleri şeklinde görülür. Reçine kanalları ağaçta boyuna ve enine yönde yerleşmiştir. Bunlar birbirleri ile bağlı bir sistem oluştururlar. Boyuna reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde yer alırken, enine reçine kanalları daima öz ışın içinde bulunur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Doğu ladini odunun enine, teğet ve radyal kesit görüntüsü (Bozkurt, Erdin 2000)

## 2.5.2. Çevresel faktörler

### 2.5.2.1. Rutubet

Higroskopik bir malzeme olan ahşap çevresi ile rutubet alışverişinde bulunarak denge rutubet seviyesine ulaşmaya çalışır. Bundan dolayı ahşabın rutubeti bulunduğu ortamdaki havanın nem oranına göre değişiklik gösterir (Ozyhar, 2013).

Yaş ağaç açık havada bırakılırsa havadaki rutubet oranına kadar ağaç suyu kaybeder, açık havada bırakılırsa havadaki rutubeti bünyesine alır. Bu işlem rutubet dengesi sağlanıncaya kadar devam eder. Ağacın bu haline hava kurusu denir (Örs ve Keskin, 2001).

Ahşap malzemenin su moleküllerini bünyesinde tutması ve nem alması hücrelerin genişlemesine neden olur. Bu olay ahşabın şişmesi olarak adlandırılır. Ahşap malzemenin su alması hücre duvarlarının maksimum kapasiteye ulaştığı noktaya yani LDN (lif doygunluğu noktasına)'ye kadar sürer. Serbest suyun ise hücre boşluğunda artması ahşabın daha fazla şişmesine ya da nem almasına sebep olmaz (Winandy ve Rowell, 2005).

Ahşap malzemeye sıcaklık ve rutubet içeriği (MC) mekanik özelliklerini önemli derecede etkiler. Genel olarak mekanik özellikler, rutubet içeriğinin LDN seviyesi altına düşmesi ve sıcaklığın azalması sonucu artış gösterir. Bu ilişki genel olarak doğrusaldır. Ayrıca sıcaklık ve rutubet içeriği ahşap malzemenin boyutsal kararlılığını da etkilemektedir (Gerhards, 1982).

Ahşap malzemede liflere dik yöndeki özellikler ve basma özellikleri lif yönündeki özelliklerden ve çekme özelliklerinden daha fazla etkilenir (Ozyhar, 2013).

Rutubet miktarı ahşap malzemenin mekanik özelliklerini önemli derece etkilemektedir. LDN üzerinde mekanik özellikler ve rutubet içeriğindeki değişimler sabittir, değişmez. Ancak düşük rutubet seviyelerinde (%0-10) bazı direnç özellikleri maksimum değere ulaştıktan sonra azalma gösterebilir (Ross, 2010).

LDN altında ahşap malzeme kurumaya başlarken bazı direnç ve elastik özelliklerinde artış olur. Bu artışın sebebi, suyun hücre duvarlarında daha sıkı tutunmalarından dolayı olduğu düşünülmektedir. Yaklaşık olarak %25 rutubet içeriğinde LDN altında dirençte artış görülür (Haygreen ve Bowyer, 1982).

Rutubet miktarı, liflere paralel basma direnci üzerinde en fazla etkili olurken, çekme direnci ve liflere paralel elastikiyet modülü üzerinde en az etkili olur (Gerhards, 1982).

Greenhill (1936), Youngs (1957) ve Katida vd. (1961)'nin çalışmalarının veri sonuçlarına göre yaklaşık olarak oda sıcaklığında liflere dik elastikiyet modülüne rutubetin etkisi araştırılmış ve rutubet miktarı %12' nin üzerinde artış olurken elastik modülünde azalma olduğu; rutubet miktarı %12'nin altında azalma olurken elastikiyet modülünde artış olduğu görülmüştür.

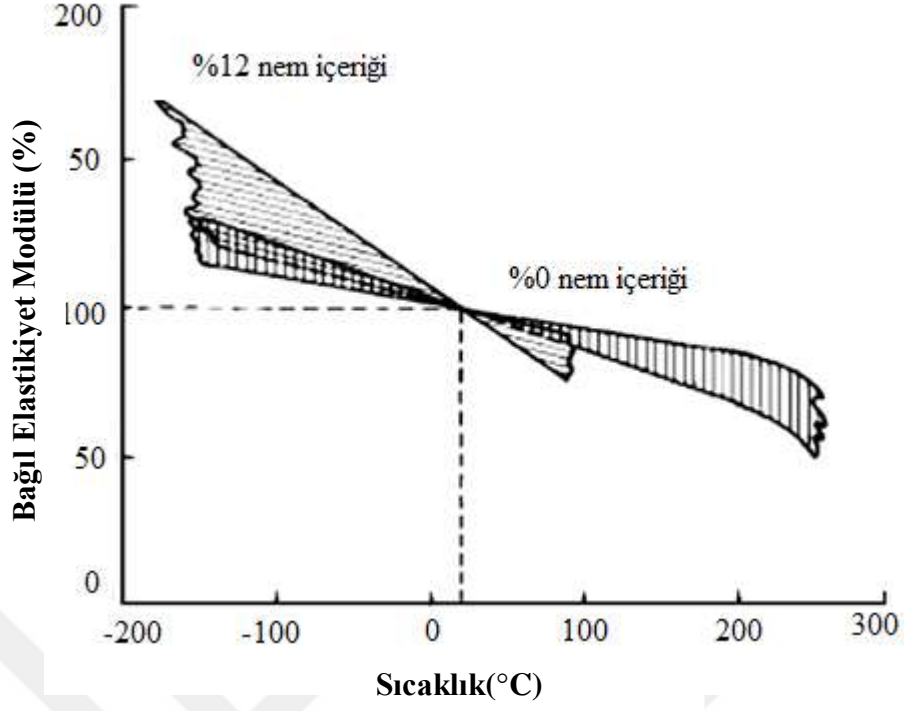
Wilson (1932), Kollmann (1940) ve Matajek ve Starecka (1971), rutubetin basma direncine etkisi araştırılmış ve yaklaşık olarak 20<sup>0</sup>C'de rutubet miktarı %12'nin üzerinde artış olurken liflere paralel basma direnci değerinde azalma olmuş; rutubet miktarı %12'nin altında azalma olurken liflere paralel basma direnci değerinde artış olduğu görülmüştür.

### 2.6.2.2. Sıcaklık

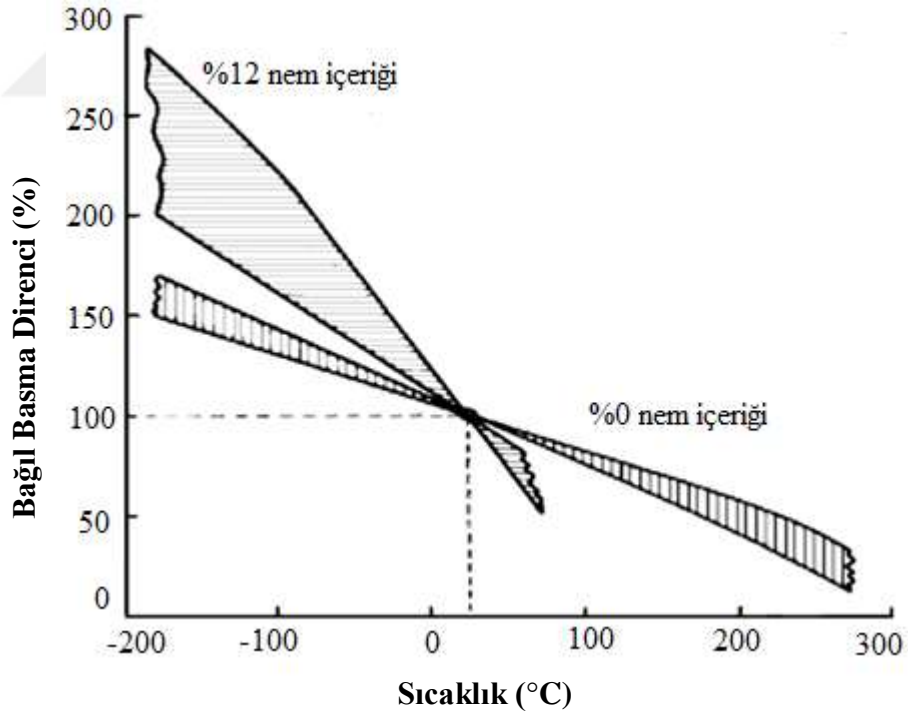
Ahşap malzemenin mekanik değerleri, genel olarak malzeme ısıtıldığında düşerken soğutulduğunda yükselir. Sabit rutubet derecesinde ve yaklaşık olarak 150°C'nin altındaki sıcaklıklarda mekanik özellikler sıcaklık ile doğrusala yakın bir ilişki gösterir. Ahşap malzemeye hızlı bir şekilde ısıtma veya soğutma işlemi yapıldığında ve daha sonra bu koşullar içerisinde test edildiğinde oluşan özelliklerdeki değişim, hemen bir etki olarak adlandırılır. 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda hemen etki tersine çevrilebilir. Yani sıcaklık değişimi hızlıysa ahşap malzeme orijinal sıcaklıktaki değere dönecektir %12 rutubette bulunan kuru kerestenin direnci sıcaklığın -29°C'den 38°C'ye kadar çıkartılması halinde çok az değişiklik göstermesine rağmen yaş kerestede direnç değeri sıcak değerinin yükselmesi ile orantılı olarak azalma gösterir. Fakat 7°C ile 38°C sıcaklıkları arasındaki değişim oda sıcaklığı içerisindeki değişime göre çok fazla farklılık göstermez (Kretschmann, 2010).

Şekil 2.4 ve 2.5'te kusursuz ahşap malzemenin, sıcaklığın ani etkisinin liflere paralel elastikiyet modülü ve basma direncinin sonuçlarına dayanılarak gösterilmiştir (Kretschmann, 2010).





Şekil 2.4. Mekanik özelliklere sıcaklığın ani etkisinin iki farklı rutubet miktarının Elastikiyet modülüne etkisi (Kretschmann, 2010)



Şekil 2.5. Mekanik özelliklere sıcaklığın ani etkisinin iki farklı rutubet miktarının basma direncine etkisi (Kretschmann, 2010)

Klasik kimyasal odun koruma yöntemlerinin hem çevre ve insan sağlığını tehdit eden toksik maddeleri içermeleri hem de 'kimyasal işlem' ifadesinin insanlarda

oluşturduğu psikolojik olumsuz etkisi nedeniyle farklı odun modifikasyon yöntemlerine yönelimler artmıştır. Diğer yandan, kullanılan kimyasal maddelerin çevre kirliliğine sebep olmaması, insan sağlığına zarar vermemesi, ekonomik olması ve uygulama kolaylığı, odun modifikasyonu yönteminde aranan unsurlar olmuştur. Odunun ısı ile işleme tabi tutulması onun kimyasal yapısını değiştirmekte ve dolayısıyla odun modifikasyonu yöntemleri arasında yer almasını sağlamıştır (Yıldız, 2002; Esteves and Pereira, 2009).

Ahşap malzeme üzerinde sıcaklığın geri döndürülebilir etkileri olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda bu geri döndürülebilirlik mümkün değildir. Oluşan bu kalıcı yıkıcı etkiler, ahşap malzemenin direnç ve ağırlık kayıplarına neden olur. Ayrıca bu kayıplara, tür, sıcaklık, rutubet içeriği, maruziyet süresi, ısıtma maddesi ve işlem gören parçanın ölçüleri gibi sebeplerde neden olur (Kretschmann, 2010).

Ahşap malzemenin ısı ile işleme tabi tutulması iki amaca yönelik yapılmaktadır. Bunlardan ilki odundaki denge rutubet miktarının (DRM) azaltılması ve bunun sonucunda odunun çalışmasını en az seviyeye indirerek boyutsal stabilizasyon kazandırmaktır. İkincisi ise ahşap malzemeye zarar veren organizmalara karşı odunun biyolojik direncini arttırmaktır (Karakas, 2008; Aydemir ve Gündüz, 2009).

Isıl işlemin uygulamasının bugüne kadar Avrupa’da kullanılan dört metodu vardır. Bunlar; “PlatoWood”, “Yağla Isıl Muamele”, “Retification” - “Le Bois Perdure” ve “ThermoWood” metotlarıdır. Avrupa’da kullanılan bu metotların amacı, insan sağlığına zararlı olabilecek çeşitli kimyasal maddeler kullanılmadan yapılması ve bu yöntemler ahşap malzemeye uygulanırken çevreye zarar vermemesidir. Bu metotlarda kimyasal madde kullanılmamaktadır ve bu metotlar ahşap malzemenin dayanıklılığını, kararlılığını artırıcı özellikler kazanmasını sağlamaktadır. (Esteves ve Pereira, 2009).

Thermowood uygulaması; kullanılan ağacın türüne göre yani yapraklı (YA) ve iğne yapraklı ağaç (İYA) odunlarının anatomik yapılarındaki farklılıktan dolayı bu türlere uygulanan programlarda farklılık göstermektedir. Bu uygulamalarda genelde iğne yapraklı ağaçlarda 185°-212°C, yapraklı ağaçlarda 165°-200°C’de ısı ile işlem uygulanmaktadır. Thermowood uygulamasında sıcaklık artışına bağlı olarak ağaç özelliklerinde hem fiziksel hem de kimyasal olarak farklılıklar meydana gelmektedir.

Bu yöntemde iki sınıf uygulama vardır. Bunlardan ilki Thermo S ve ikincisi Thermo D olarak bilinmektedir.

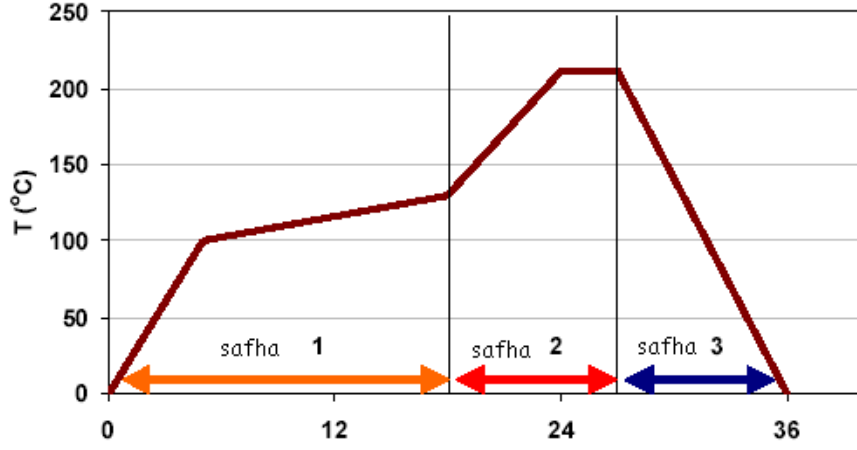
Thermo-S'deki S, stabilizasyon (kararlılık) anlamına gelmektedir. Bu sınıfın anahtar özelliği odunun dış görünüşle birlikte boyutsal kararlılığa ulaşmasıdır. Ahşaba uygulanan neme bağlı yüzeysel daralma ve genişleme ortalaması yaklaşık olarak % 6-8 olmaktadır.

Thermo-D'deki D ise, dayanıklılık anlamına gelmektedir. Bu sınıfın anahtar özelliği ise, dış görünüşle birlikte dayanıklılığın artırılmasıdır. Ahşaba uygulanan neme bağlı yüzeysel daralma ve genişleme ortalaması yaklaşık olarak % 5-6 olmaktadır (Anonim, 2006; İşleyen, 2012).

Isıl işlem görmüş keresteler arasında doğal farklılıktan dolayı özelliklerindeki değişimlerde farklı olabilmektedir. Isıl işlem görmüş odunun kimyasal ve fiziksel özellikleri kalıcı bir şekilde değişme göstermektedir. Geri dönüşümü olmayan bu değişmelerin temelinde odun hücre çeperi bileşenlerinin ve özellikle bu bileşenlerden hemiselülozların ısı ile termal bozunmasından kaynaklandığı bildirilmektedir.(Korkut, 2009).

Odunun termal bozunması 100°C sınırından itibaren başlamaktadır. 200°C' nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270°C'nin üzerinde odunun piroliz ve yanma olayı başlamaktadır (Fengel and Wegener, 1989; Aydemir ve Gündüz, 2009).

Thermowood yöntemi üç ana safhaya ayrılmakta ve bu safhalar Şekil 2.6'da grafik üzerinde gösterilmektedir



Şekil 2.6. Isıl işlem safhaları (Anonim, 2006)

**Kurutma Safhası:** Isıl işlem uygulama yönteminde en uzun süren safha kurutma safhasıdır. Kurutma safhasına yüksek ısı ile kurutmada denilebilmektedir. Kurutma safhasında ağacın nemi başlangıca göre neredeyse % 0'a ulaşır. Kurutma safhasındaki bu süre ağacın başlangıç nemine, ağaç türüne ve kerestenin kalınlığına bağlı olarak değişme gösterebilmektedir. Odun taze kesilmiş veya kurutulmuş olabilir. Başarılı kurutma fırını içerisindeki ısı, nem ve hava sirkülasyonu hızının kontrolü ile mümkün olmaktadır (Anonim, 2006; İşleyen, 2012).

**Isıl İşlem Safhası:** Isıl işlem safhası kerestelerin kapalı bir ortamda iç ısısının 185°C-212°C ortalama sıcaklıklara ulaştırılması ile yapılır. Isıl işlem safhası kurutma safhasından sonra gelir. Bu işlem süresince ağacın yanmaması için buhar kullanılır. Kullanılan koruyucu gaz ahşabın yanmasını aynı zamanda ağaçta meydana gelen kimyasal değişikliklere etki eder. Isıl işlem safhası yaklaşık 2-3 saat sürer (Anonim, 2006; İşleyen, 2012).

**Kondisyonlama Safhası:** Thermowood yöntemindeki son safha kondisyonlama safhasıdır. Bu safhada ağaç malzeme kontrollü bir şekilde soğutulur. Bu safhada ağaç malzemenin iç sıcaklığı ile fırından çıkarıldıktan sonraki hava sıcaklığı arasındaki yüksek ısı farkı çatlamalara sebep olacağından dolayı bu safhada kontrollü olmak çok önemlidir. Eğer istenilirse malzemenin son kullanım yerine uygun olması için tekrardan bir nemlendirme işlemi uygulanabilmektedir. İstenilen duruma getirme işleminden sonra ağaç malzemenin nemi % 5-7'ye ulaştırılmaktadır. Bu safha ağaç

türüne, kalınlığına ve sıcaklığına bağlı olarak 5-15 saat arasında farklılık gösterebilmektedir (Anonim, 2006; İşleyen, 2012).

Isıl işlem ile muamele edilmiş ağaç malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri kalıcı bir şekilde değişmektedir. Korkut (2009), Odunun bu özellikleri üzerinde meydana gelen, geri dönüşümü olmayan bu değişmelerin temelinde odun hücre çeperi bileşenlerinin ve özellikle bu bileşenlerden hemiselülozların ısı ile termal bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Rutubete bağlı olarak sıcaklığın artmasıyla meydana gelen daralma ve genişleme miktarları ısı işlem sonucu düştüğü görülürken, rengin koyulaştığı, biyolojik dayanım arttığı ve düşük molekül ağırlığına sahip ekstraktif maddeler odundan uzaklaştığını tespit etmişlerdir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Makalelerinde huş odununu ısı işlemine tabi tutarak, eğilme direnci ile elastikiyet modülünde meydana gelen değişimleri tespit etmişlerdir. Sıcaklık dereceleri 130, 160, 190°C, süreler ise 3, 6 ve 9 saattir. Isıl işlem sonrası eğilmede elastikiyet modülünde; 130°C'de 3 saatte % 9.78, 6 saatte % 14.89, 9 saatte % 19.19, 160°C'de 3 saatte % 22.22, 6 saatte % 27.42, 9 saatte % 33.90, 190°C'de 3 saatte % 38.06, 6 saatte % 42.55, 9 saatte % 50.10'luk, eğilme direncinde; 130°C'de 3 saatte % 2.12, 6 saatte % 3.70, 9 saatte % 5.55, 160°C'de 3 saatte % 7.73, 6 saatte % 10.54, 9 saatte % 13.03, 190°C'de 3 saatte % 16.23, 6 saatte % 19.54, 9 saatte % 22.25'lik, bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Ghalehno ve Nazerian, 2011),.

Çalışmalarında fındık odununu 2, 6, 10 saat süreler ve 120, 150, 180°C sıcaklıklar ile ısı işlem uygulamışlardır ve eğilme direncinde; 120°C'de 2 saatte % 0.55, 180°C'de 10 saatte % 31.86'lık, eğilmede elastikiyet modülünde ise; 120°C'de 2 saatte % 10.28, 180°C'de 10 saatte % 27.67'lik bir azalma bümüşlardır (Korkut ve Hızıroğlu, 2009).

Okaliptüs odununu üç farklı sıcaklık (120°C,150°C, 180°C) ve süre (2,6,10 saat) ile ısı işlem uygulayarak basınç direncindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışma sonununda basınç direncinde; 120°C'de 2 saatte % 1.7, 6 saatte % 6.6, 10 saatte % 9.7, 150°C'de 2 saatte % 4.2, 6 saatte % 8.3, 10 saatte % 16.5, 180°C'de 2 saatte %

6.6 saatte % 9.4, 10 saatte % 19'luk bir azalma meydana geldiğini bulunmuştur (Ünsal ve Ayrılmış, 2005).

Armut odununu 170, 190, 210°C sıcaklık ve 4, 8, 12 saat süre ile ısıtım işlem uygulamışlar ve basınç direncinde; 170°C'de 4 saatte % 6.5, 8 saatte % 12.44, 12 saatte % 16.85 190°C'de 4 saatte % 12.1, 8 saatte % 14.84, 12 saatte % 19.32, 210°C'de 4 saatte % 8.3, 8 saatte % 15.5, 12 saatte % 25.81'lik bir azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir (Gündüz ve ark., 2009).

Isıtım işlem uygulanmış odunda renk değişimi meydana gelmektedir ve renkteki bu koyulaşma ısıtım işlem süresi ve zamanına göre değişmektedir (Kawamura ve ark., 1996). Sürenin uzaması ve sıcaklığın artması ile doğru orantılı olarak odun renginin koyulaştığı görülmektedir (Bourgeois ve ark., 1991; Bekhta ve Niemz, 2003) (Şekil 2.7). Renk değişiminin sebebi ekstraktif maddelerin ve kimyasal bileşiklerin bozunması sonucu olduğu tespit edilmiştir (Sehlstedt-Perrson, 2003).



Şekil 2.7. Isıl işlem görmüş çam odununun renginde meydana değişme (Anonim, 2006)

Yüksek rutubet ortamında çürümeye yatkın olan ahşap malzeme ısıtılma yöntemi ile biyolojik direncinin artmasına neden olur (Esteves ve Pereira, 2009). Bunun nedeni ısıtılma ile odun içerisindeki su miktarının azalması ve odunun hücre çeperi bileşenlerinin bozunmasıyla mantar ve böcekler için uygun beslenme ve yaşam ortamının ortadan kalkması gösterilebilir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Meşe odununu iki farklı süre (2, 8 saat) ve üç farklı sıcaklıkta (130, 180, 230°C) ısıtılma tabi tutmuşlar ve ağaç malzemenin denge rutubet miktarındaki değişimi incelemişlerdir. Meşe odununun kontrol örneğinin DRM'si % 14.3 iken ısıtılma sonrası 130°C ve 2 saatte % 12.8, 180°C ve 2 saatte % 11.4, 230°C ve 2 saatte % 7, 130°C ve 8 saatte % 13.2, 180°C ve 8 saatte % 10.3, 230°C ve 8 saat sonunda ise % 7.4'e düştüğü tespit etmişlerdir (Akyıldız ve Ateş, 2008).

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine, ısıtılmanın etkilerini incelemişlerdir. 120, 150 ve 180°C sıcaklıkta, 2, 6 ve 10 saat süre ile ısıtılma uygulanmıştır. Sonuç olarak; en az direnç kaybının (eğilme direncinde % 0.83) 120°C'de 2 saat ısıtılma uygulaması ile en fazla direnç kaybının ise (liflere dik yönde çekme direncinde % 46.22) 180°C'de 10 saat ısıtılma sonucu gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uygulanan sıcaklık ve sürenin artışı ile direnç değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Korkut ve ark., 2008).

Yapmış oldukları çalışmada ahlât odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılma işleminin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, 160°C sıcaklık ve 2 saatlik süre sonunda elastikiyet modülü % 5 artarken, eğilme ve basınç dirençleri sırasıyla % 7.42 ve % 7.55 oranında azalmıştır. Ayrıca ısıtılma işlemi sonunda ahlât odununun fiziksel özelliklerinin % 2'den % 17'ye arttığını tespit etmişlerdir (Gündüz ve ark., 2009).

### **2.6.2.3. Yorma**

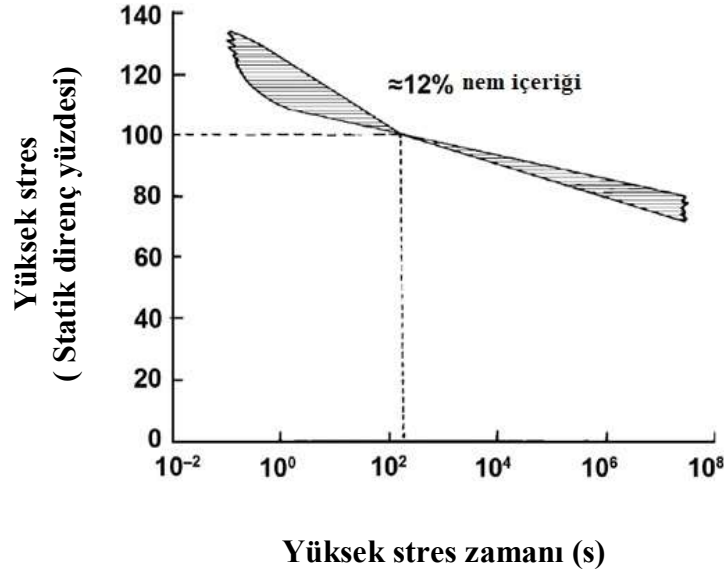
Yorma deneyleri ahşap malzemenin mekanik etkilere karşı gelme gücüne süre faktörünün etkisini belirlemek için yapılır.

Ahşap malzemenin sürekli ve uzun yüklemelere, kırılmadan karşı koyabileceği en yüksek gerilme miktarıdır. Ahşap malzemede devamlı ve uzun süreli yüklemelerde etki etme şekli ve yükün miktarı değişmeden ve ahşap malzemenin kırılmadan karşı koyma gücüne sabit yüklemeli sürekli direnç denir. Örnek olarak basınç, çekme, eğilme, burulma, makaslama gibi dirençler verilebilir. Ahşap malzeme üzerindeki sabit yüklemeli sürekli direnç, statik direncin %50-65'i kadar olduğu noktaya yorulma sınırı denir (Örs ve Keskin, 2008).

### **2.6.2.4. Yük süresi**

Ahşap malzemede yükleme süresine sıcaklık ve bağıl nem etki edebilmektedir. Şekil 2.8'de direncin maksimum yüke kadar zamanla azalışı gösterilmektedir. Grafikte, sıkıştırma, eğilme ve kesilme gibi birçok çalışmadan elde edilen sonuçlar ile oluşturulmuştur (Kretschmann, 2010).





Şekil 2.8. Ahşap malzeme için statik direnç - yükleme zaman ilişkisi (Kretschmann, 2010)

#### 2.6.2.5. Sünme

Ahşap malzeme üzerine yük yüklendiği zaman başlangıçta elastik deforme olur. Yük devam ederse ahşap malzeme deforme olmaya devam eder. Bu olaya sünme denir. Sünme çok düşük yüklerde bile oluşur ve bir süre boyunca devam eder. Sıcaklık ve rutubette olağan iklim değişiklikleri sünme miktarını artırır. Örneğin sıcaklığın 28°C artması sünme miktarında iki ila üç kat arasında artışa sebep olabilir (Kretschmann, 2010).

#### 2.6.2.6. Kimyasal maddelerin oduna etkisi

Ahşap malzeme düşük sıcaklık ve düşük derişimdeki kimyasal maddelere karşı dayanımı yüksek olduğundan, kimyasal madde tankları ve depo yapımında kullanılabilir. Ahşabın düşük derişimdeki asitlere karşı dayanma süresi bazlara oranla daha yüksektir. Bunun sebebi ise lignin ve selülozun asitlere karşı daha dayanıklı, lignin ve hemiselülozun ise bazlara karşı daha dayanıksız olmasından kaynaklanmaktadır (Örs ve Keskin, 2008).

Kimyasal madde çeşidi ve derişimi, ağaç türüne, sıcaklık ve etki süresine göre odunun direncin azaltır. Bazlar asitlere oranla daha fazla tahrip edici özelliğe

sahiptir. İğne yapraklı ağaçlarda yapraklı ağaçlara göre daha az hemiselüloz ihtiva ettiklerinden kimyasal maddelere dayanımı daha fazladır (Örs ve Keskin, 2008).

#### **2.6.2.7. Mantar zararları**

Yaşayan ağaçların dokularına zarar veren canlılara parazit, kesilmiş veya ölmüş dokulara zarar vererek çürüklük yapan canlılara ise saprofit mantar dedir. Zararlı mantarlar, renk değişimine sebep olan mantarlar ve odunu tahrip eden mantarlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Renk değişimine sebep olan mantarlar hücre boşluğundaki protoplazmayı tüketir, odunu tahrip eden mantarlar ise hücre çeperini oluşturan bileşikleri yok ederler (Örs ve Keskin, 2008).

Düşük seviyede oluşum gösteren biyolojik leke, dayanıklılıkta az bir direnç kaybı olmasına rağmen yoğun lekelenmeler yüzey sertliğini %2-10, özgül ağırlığı %1-2, tokluk veya şok direncini %15-30, eğilme ve parçalanma direncini %1-5 değerleri arasında değişme göstereceğini tespit etmiştir (Kretschmann, 2010).

#### **2.6.2.8. Böcek zararları**

Ahşap malzemeye zarar veren böcekler dört farklı grupta (izopter, koleopter, lepidopter, himenopter) toplanıp yaşam tarzları bir türden diğerine büyük farklılık gösterir. Bu sebepten dolayı böceklere karşı korunma yolları mantarlara karşı korunma yollarından daha zordur (Örs ve Keskin, 2008).

Böceklerden hasar görmüş ahşap malzemenin mukavemet gücünü hesaplamak için herhangi bir yöntem bilinmemektedir. Ağır yüklü yerlerde kullanılan ahşabın, böceklerin zarar vermiş olduğu parçalarının çıkarılması gerekmektedir (Kretschmann, 2010).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında Türkiye’de yetişen endüstriyel olarak önemli olan Karaçam (*Pinus nigra* A.) kullanılmıştır. Karaçam tomruğu Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tomruğun görünür kusur deney örneklerinin hazırlanması için temin edilen tomruk zeminden 1 metre yukarıdan olmak üzere 3 metreye kadar, T ve R lataları kesilmiştir.

##### 3.1.1. Karaçam (*Pinus nigra* A.)

Ülkemiz orman ürünleri endüstrisinde karaçam geniş kullanım alanları ile önemli bir yer tutmaktadır.

Oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olan karaçam, pek çok farklı ülkede bir çok araştırmaya konu olmuştur. Karaçamın gerçek anlamda ilk tanınması Avusturyalı batonikçi Arnold tarafından 1785 yılında yapılmıştır. Arnold bu çalışmasında karaçamı sarıçamdan ayırt ederek *Pinus nigra* ismini vermiştir. Karaçamın pek çok farklı isimle bilinmesinin ve sistematığının sürekli değişmesinin nedeni varyabilitesinin çok fazla olmasıyla açıklanabilmektedir (Wright ve Santamour, 1959).

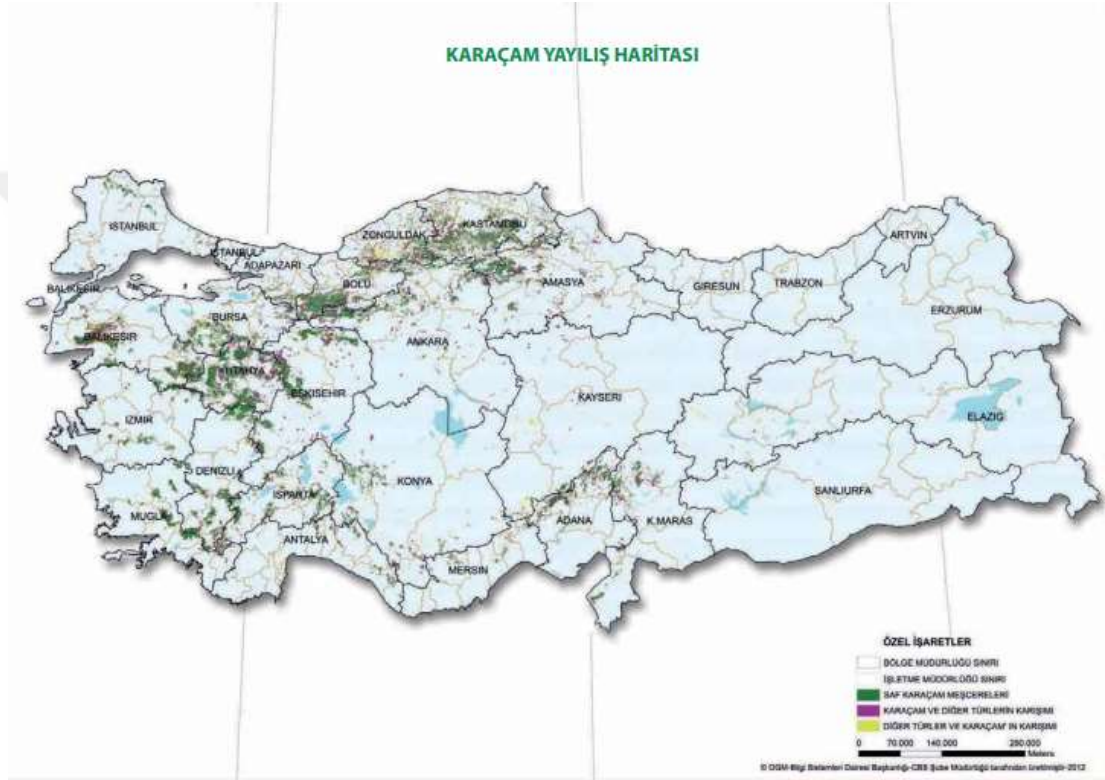
##### 3.1.1.1. Botanik özellikler

40 metreye kadar boy ve 2 metreye kadar çap alabilen karaçam genel olarak düzgün gövdeli ağaç halinde bulunur. Görünüşü genç ağaçlarda pramit biçiminde iken yaşlı ağaçlarda geniş şemsiye tepeli halinde olur. Kabuk genç iken pürüzlü ve kahverengi renğinde olup, yaşlandıkça kalın ve derin yarıkları bulunan koyu esmer kahverengi renğinde olur. İğne yapraklar 8-15 cm uzunlukta, sert, batıcı, parlak koyu yeşil renkte görülür (Acatay, 1956. Baltacı, 2011).

Karaçamın yayılış alanları Afrika’da Cezayir ve Fas’ta görülmektedir. Avrupada ise İspanya’nın güney ve doğusundan başlayarak Pireneler, Güney Fransa, Korsika,

Güney ve Kuzeydoğu İtalya, Avusturya, Eski Yugoslavya, Balkanlar, Kıırım, Kıbrıs ve Anadolu’ da yayılışını sürdürmektedir (Döndü, 2006).

Karaçam daha çok kıyı bölgelerden yukarı kesimlerde saf ya da karışık ormanlar olarak bulunur. Geniş yayılış alanına sahip olan karaçam ana taşı kalker, kireç bakımından zengin olan topraklarda gelişmesi daha çok görülmektedir. Türkiye’de 2.527.685 hektar saf karaçam ormanı bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).



Şekil 3. 1. Karaçamın Türkiye’deki yayılış alanı (OGM, 2013)

Karaçamın diri odunu sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının hemen hemen yarısını kaplamaktadır. Öz odunu kırmızımsı kahverengidir. Odunu sarçama göre ağırdır ve daha mat renktedir. Çok fazla reçine kanalı bulunur. Yıllık halka sınırları oldukça belirgindir (Bozkurt, 1971).

### 3.1.1.2. Fiziksel ve mekanik özellikler

Karaçam odununun tam kuru özgül ağırlığı ( $r_0$ )  $0.52 \text{ gr/cm}^3$ , hava kurusu özgül ağırlığı ( $r_{12}$ )  $0.56 \text{ gr/cm}^3$  tür. Liflere paralel basma direnci  $479 \text{ kg/cm}^2$ , çekme direnci  $1133 \text{ kg/cm}^2$ , liflere dik çekme direnci  $23.4 \text{ gr/cm}^2$  dir (Örs ve Keskin, 2001).

Çalışmasında tam kuru özkütle değeri  $0.543 \text{ g/cm}^3$ , hava kurusu özgül kütle değeri  $0.586 \text{ g/cm}^3$ , hacim yoğunluk değeri  $0.506 \text{ g/cm}^3$ , hacimsel genişleme miktarı %10.43, liflere paralel basınç direnci  $47.612 \text{ N/mm}^2$ , if doygunluk noktası rutubeti %20.12, eğilme direnci  $71.541 \text{ N/mm}^2$  olarak bulmuştur (Döğdü, 2006).

Çizelge 3.1. Karaçam odununun özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Tam kuru yoğunluk	0.49 g/cm <sup>3</sup>
Hava kurusu yoğunluk	0.52 g/cm <sup>3</sup>
Yaş haldeki hacim ağırlığı	750-850 kg/cm <sup>3</sup>
Radyal çalışma oranı	%4
Teğet çalışma oranı	%7.7
Hacimsel çalışma oranı	%12.4
<b>Mekanik Özellikler</b>	
Basınç direnci	45 N/mm <sup>2</sup>
Eğilme direnci	80 N/mm <sup>2</sup>
Elastikiyet modülü	11000 N/mm <sup>2</sup>
Paralel çekme direnci	100 N/mm <sup>2</sup>
Makaslama direnci	10 N/mm <sup>2</sup>
Şok direnci	0.4-0.7 N/mm <sup>2</sup>
Yorulma	0.2 N/mm <sup>2</sup>
Paralel sertlik	40 N/mm <sup>2</sup>
Dik sertlik	19 N/mm <sup>2</sup>
<b>Kimyasal özellikler</b>	
Selüloz	%40-57
Lignin	% 25-29
Pentozan	% 8-11
Çözücü ekstraktif madde	% 3.4
pH	5.1

### 3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında Türkiyede yetişen önemli ağaç türlerinden biri olan Karaçam (*Pinus nigra* A.)’da rutubet ve sıcaklığın bazı ortotropik mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

İki ana bölümden oluşan çalışmada ilk bölümde dört farklı bağıl nem seviyesindeki (%45, %65, %85, ve %95) örnekler rutubetin bazı ortotropik mekanik özelliklere etkisini araştırmak için belirlenmiş olan ağaç türünde üç farklı yönde ( T: Teğet yön, R: Radyal yön, L: Lif yönü) basma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda basma direnci, elastikiyet modülü ( Young modülü) ve altı Poisson oranları ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) hesaplanmıştır.

İkinci bölümde ise sıcaklığın bazı ortotropik mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Bu bölümde deney örnekleri 2-5 ve 8 saat olmak üzere 180 ve 210 °C sıcaklık uygulanmıştır. Belirlenmiş olan ağaç türünde üç farklı yönde ( T: Teğet yön, R: Radyal yön, L: Lif yönü) basma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda basma direnci, elastikiyet modülü ( Young modülü) ve altı Poisson oranları ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) hesaplanmıştır.

Deneysel Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Mekanik Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deney örnekleri atmosfer ortamında etüv sıcaklığı istenilen derecelere ayarlanarak iki farklı sıcaklık (180°C, 210°C) ve üç farklı sürede (2,5 ve 8 saat) gerçekleştirilmiştir. Sonrasında örnekler etüvden çıkarılarak %65± 1 bağıl nem ve 21±0.5 °C olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlıklar elde edilinceye kadar bekletilmiş ve oda içerisinde bulunan 5 ton kapasiteli 'Üniversal Test Cihazı ile test edilmiştir (Şekil 3.3).



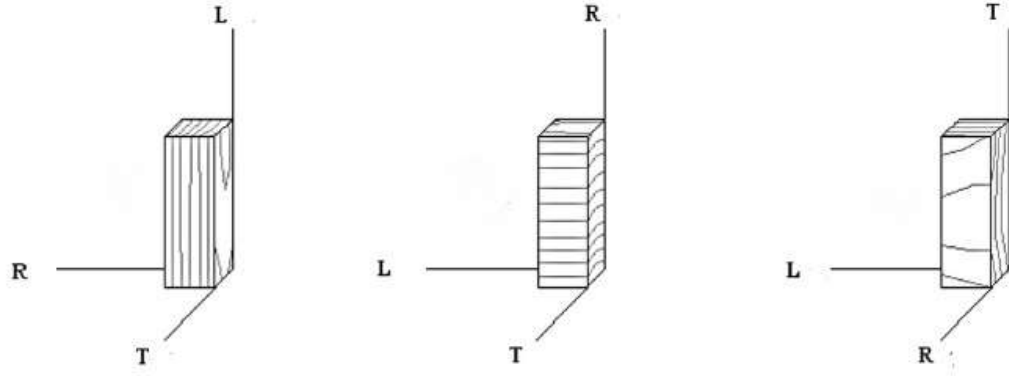
Şekil 3. 2. Universal test cihazı

### 3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

Araştırma materyali karaçam tomrukları, Sütçüler Orman Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir.. Minimum 35 cm çapa sahip ağaçların, boylarından 2-4. metreleri arasından 1.2 metre uzunluğunda kesilerek 5'er adet tomruk örnek hazırlamada kullanılmıştır. Seçilen ağaçların silindirik, düzgün gövdeli ve az budaklı olmasına özen gösterilmiştir.

Tomruklar şerit testere makinası ile 2.5 cm kalınlığında keresteler haline getirilerek doğal kurumaya bırakılmıştır. 3 farklı yönde (T, R, ve L) kesitleri yaklaşık olarak 20×70 mm olacak şekilde latalar kesilmiştir. Bu latalardan 20×20×60 mm ebatlarında örnekler hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Deney örnekleri hazırlanırken her hangi bir kusuru olmamasına (lif bozukluğu, budak, böcek ya da mantarlardan zarar görme, çatlak vb.) dikkat edilmiştir.





Şekil 3.3. Örneklerin denet standartlara uygun şekilde kesilmiş gösterimi (radyal, teğet, lif yönü) (Aira vd., 2014)

### 3.2.2. Özgül ağırlık

Özgül kütle tayininde TS 2471, TS 2472 kullanılarak, numuneler 20×20×30 mm ebatlarında kesilerek numaralandırmaları yapılmıştır.

#### 3.2.2.1. Hava kuru özgül ağırlık

Özgül kütle örnekleri, iklimlendirme dolabında (21±0.5 sıcaklık ve %65±1 bağıl nem) kondisyonlanarak rutubetin %12 (hava kuru) rutubette olması sağlanmıştır. Örnekler her 3 yönde 0.01 mm duyarlılıktaki mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Örneklerin ağırlıkları ise 0.01 (g) duyarlı analitik terazide tartılmıştır. Hava kuru özgül kütle ( $\delta_{12}$ ) Denklem 3.1’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\delta_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.1)$$

m<sub>12</sub>= Hava kuru kütle (gr)

V<sub>12</sub>= Hava kuru hacim (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.2.2. Tam kuru özgül ağırlık

Tam kuru özgül kütle TS 2472 standartlarına göre yapılmıştır. Buna göre, 20×20×30 mm boyutlarındaki örnekler hassas terazi ile ilk ağırlıkları tartılmıştır. Tartılan örnekler 103±2°C sıcaklıktaki etüve konularak ağırlıkları sabit kalıncaya kadar kurutulmuştur. Böylece tam kuru hale gelen örnekler analitik terazide tartılarak tam kuru ağırlıkları ( $m_0$ ) belirlenmiştir. Tam kuru özgül ağırlık ( $\delta_0$ ) Denklem 3.2’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\delta_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.2)$$

$m_0$ = Tam kuru ağırlık (g)

$V_0$ = Tam kuru hacim (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.2.3. Rutubet tayini

Rutubet tayini TS 2471 standartlarına göre yapılmıştır. Buna göre, iklimlendirme dolabında 20±2 sıcaklık ve %65±5 bağıl nem kondisyonlanarak ağırlıkları 0.01 (g) duyarlı analitik terazide tartılıp 103±2°C sıcaklıktaki etüve konularak kurutulmuştur. Örnekler etüvde ağırlıkları sabit kalıncaya kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler analitik terazide tartılmıştır. Rutubet miktarı Denklem 3.3’te gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\text{DRM (\%)} = \left( \frac{M_r - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

DRM= Denge rutubet miktarı (%)

$M_r$ = Denge rutubetindeki ağırlığı (gr)

$M_0$ = Tam kuru ağırlık (gr)

### 3.2.3. Rutubetin örnekler üzerine etkisi

Örnekler %45, 65, 85 ve 95 bağıl nem seviyelerinde ve 21°C’ de ağırlıkları değişmez oluncaya kadar bekletilmiştir.

Deney parçalarının rutubet miktarı ise **TS 2471'** e uygun olarak tamamlanmıştır. Örneklerin rutubet miktarı yaklaşık %12'ye ulaşması sağlanmıştır. Örneklerin rutubet alış verişi yapmaması için, iklimlendirme odasında bütün örnekler hava almayacak şekilde streç film ile paketlenmiştir. Deneylerden sonra rutubet miktarı %12 olmayan örnek parçaları formül yardımıyla rutubeti %12 olacak şekilde rutubet farklılığı giderilmiştir.

### 3.2.2.1. Basma direnci

Basma direnci deneyi için üç farklı yönde (T,R,L), dört farklı rutubet seviyesinde (%45, %65, %85 ve %95) hesaplamalar yapılmıştır. Deney örnekleri 20×20×600 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Basma direnci %0.2 akma değeri (yield) kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 3.4)

$$f_c = \frac{P_{\max}}{A} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde;

$f_c$ = basınç direncini (N/mm<sup>2</sup>)

P max: Kırılma anındaki kuvvet (N)

A: Örnek enine kesit alanı (mm<sup>2</sup>), değerlerini ifade etmektedir.

### 3.2.2.2. Young modülü

Young modülü deneyi için dört farklı rutubet seviyesindeki (%45, %65, %85 ve %95) test örneklerinin üç farklı yönde (  $E_T$ ,  $E_R$ ,  $E_L$ ) hesaplamalarının yapılmasında basınç direnci için yapılan deney örnekleri kullanılmıştır. Şekil değiştirme bi-aksiyal ekstensometre ile ölçülmüştür. Young modülü: örneğin elastik davranış gösterdiği bölgedeki gerilmenin ( $\sigma$ ) şekil değiştirmeye ( $\epsilon$ ) oranı ile hesaplanmıştır (Denklem 3.5). Gerilme-şekil değiştirmeye ait diyagram Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

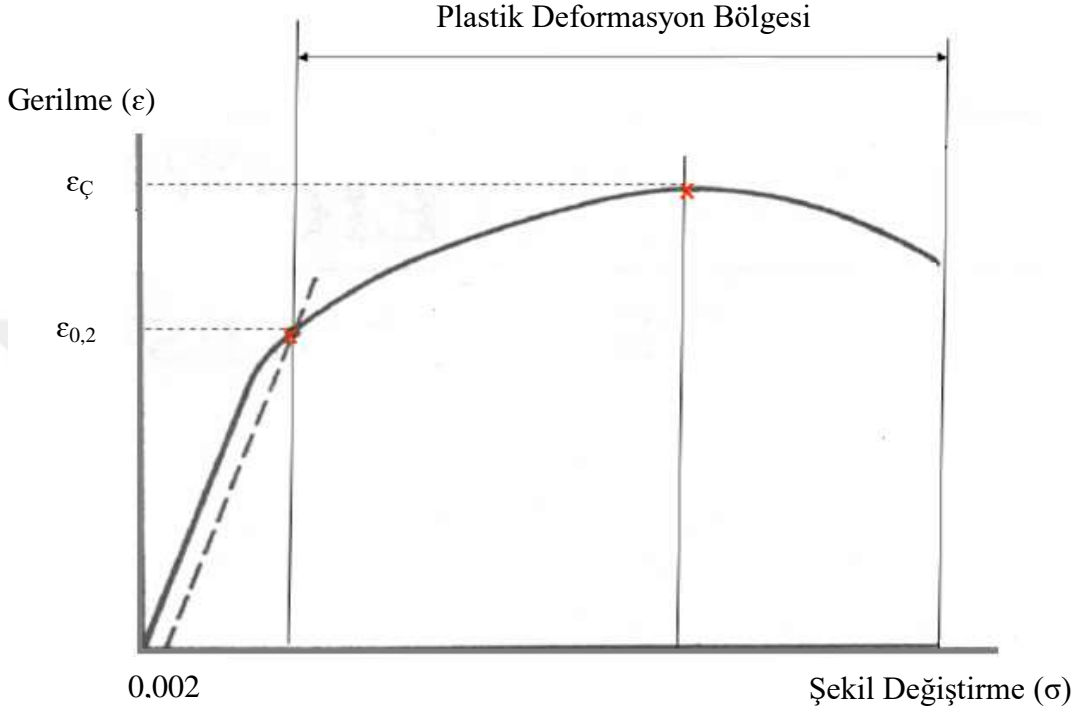
$$E = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\epsilon_i} = \frac{\sigma_{i,2}-\sigma_{i,1}}{\epsilon_{i,2}-\epsilon_{i,1}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad i \in T,R,L \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemde;

E: Young modülü

$\sigma_i$ : Şekil Değişirme

$\varepsilon_i$ : Gerilme değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.4. Gerilme- Şekil değişirme diyagramı (Bozkurt ve Göker, 1987)

### 3.2.2.3. Poisson oranı

Poisson oranı: pasif şekil değiştirmenin ( genişleme) aktif şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanmıştır. Dört farklı rutubet seviyesi (%45, %65, %85, %95), üç farklı yöndeki Poisson oranları ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) basma testlerinden deney örneğinin enine yöndeki genişlemesinin boyuna yöndeki kısılmaya oranı ile hesaplanmıştır. ( Denklem 3.6).

$$\nu_{ij} = -\frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde;

$\epsilon_j$ : Basma örneğinde genişleme

$\epsilon_i$ : Yükleme yönündeki kısalma değerlerini ifade etmektedir.

Yapılan bu uygulamada elde edilen sonuçlar SPSS V20 paket programı kullanılarak ve %95 güven düzeyi alınarak analizler yapılmıştır. İstatistiksel olarak çalışmada, testlerden elde edilen sonuçların kontrol örneklerinin yüzde değişim miktarı ile karşılaştırma yapılarak hesaplanmıştır. Kontrol örnekleri ile test örneklerinin karşılaştırılmasında istatistiksel anlamda fark oluşup oluşmadığı basit varyans analizi ile hesaplanmıştır. Yapılan bu uygulamada sonuçların, sıcaklığın ve rutubetin ortotorpik mekanik özelliklere etkisi anlamlı çıkması sonucunda(<0.05) DUNCAN testi uygulanmış ve gruplar arası oluşan farklılıklar belirlenmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Rutubetin Etkisi

Karaçam odununun L yönündeki örneklerin basma örnekleri kullanılarak hesaplanan elastik katsayılar ve direnç değerlerine ait ortalama değerler ve varyasyon katsayıları çizelge 1-3'de gösterilmiştir. Lif yönü yönündeki basma direnci değerleri %8.1 rutubette 46 N/mm<sup>2</sup>, %11.75 rutubette 36.95 N/mm<sup>2</sup>, %17.8 rutubette 25.82 N/mm<sup>2</sup>, %23.5 rutubette 20.6 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Basma direnci değerlerinin varyasyon katsayıları %8.1 rutubette %9.1, %11.75 rutubette %5.7, %17.8 rutubette %8.87, %23.5 rutubette %6.65 olarak bulunmuştur. Lif yönü yönündeki Young modülü değerleri %8.1 rutubette 9151 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %21, %11.75 rutubette 8534 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %19.12, %17.8 rutubette 5116 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %18.08, %23.5 rutubette 4608 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %20.21 olarak bulunmuştur. Poisson oranı değerleri ( $\nu$ ), %8.1 rutubette; LR düzleminde 0.65, LT düzleminde 0.70 olarak, %11.75 rutubette; LR düzleminde 0.68, LT düzleminde 0.74 olarak, %17.8 rutubette LR düzleminde 0.62, RL düzleminde 0.66 olarak, %23.5 rutubette ise LT düzleminde 0.73, RL düzleminde 0.74 olarak yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Karaçam'da basma testlerinden elde edilen özellikler (L yönü ortalama değerleri)

<b>d</b> <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Rutubet</b> <b>(%)</b>	<b>E<sub>L</sub></b> <b>(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Basma direnci</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\nu_{LR}</math></b>	<b><math>\nu_{LT}</math></b>
0.54	8.1	9151 (21)*	46 (9.1)*	0.65 (26.8)*	0.70 (22.8)*
0.55	11.75	8534 (19.12)*	36.95 (5.7)*	0.68 (16.9)*	0.74 (15.45)*
0.58	17.8	5116 (18.08)*	25.82 (8.87)*	0.62 (24.4)*	0.66 (33.85)*
0.61	23.5	4608 (20.21)*	20.6 (6.65)*	0.73 (11.6)*	0.74 (24.69)*

\*varyasyon katsayıları

Karaçam odununun R yönündeki örneklerin basma örnekleri kullanılarak hesaplanan elastik katsayılar ve direnç değerlerine ait ortalama değerler ve varyasyon katsayıları çizelge 1-3’de gösterilmiştir. Radyal yöndeki basma direnci değerleri %8.1 rutubette 8.55 N/mm<sup>2</sup>, %11.75 rutubette 7.88 N/mm<sup>2</sup>, %17.8 rutubette 7.13 N/mm<sup>2</sup>, %23.5 rutubette 4.43 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Basma direnci değerlerinin varyasyon katsayıları %8.1 rutubette %4.49, %11.75 rutubette %4.54, %17.8 rutubette %8.9, %23.5 rutubette %3.78 olarak bulunmuştur. Radyal yöndeki Young modülü değerleri %8.1 rutubette 1734 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %27.7, %11.75 rutubette 1386 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %31.45, %17.8 rutubette 892 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %39.72, %23.5 rutubette 652 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %23.4 olarak bulunmuştur. Poisson oranı değerleri ( $\nu$ ), %8.1 rutubette; RT düzleminde 0.74, RL düzleminde 0.123 olarak, %11.75 rutubette; RT düzleminde 0.64, RL düzleminde 0.06 olarak, %17.8 rutubette RT düzleminde 0.59, RL düzleminde 0.123 olarak, %23.5 rutubette ise RT düzleminde 0.76, RL düzleminde 0.083 olarak yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Karaçam’da basma testlerinden elde edilen özellikler (R yönü ortalama değerleri)

<b>d</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Rutubet</b> (%)	<b>E<sub>R</sub></b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>Basma direnci</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b><math>\nu_{RT}</math></b>	<b><math>\nu_{RL}</math></b>
0.48	8.1	1734 (27.7)*	8.55 (4.49)*	0.74 (13.2)*	0.123 (39)*
0.50	11.75	1386 (31.45)*	7.88 (4.54)*	0.64 (28.1)*	0.06 (42.2)*
0.53	17.8	892 (39.72)*	7.13 (8.9)*	0.59 (33.08)*	0.123 (27)*
0.54	23.5	652 (23.4)*	4.43 (3.78)*	0.76 (17.2)*	0.083 (43.6)*

\*varyasyon katsayıları

Karaçam odununun T yönündeki örneklerin basma örnekleri kullanılarak hesaplanan elastik katsayılar ve direnç değerlerine ait ortalama değerler ve varyasyon katsayıları çizelge 1-3’de gösterilmiştir. Teğet yöndeki basma direnci değerleri %8.1 rutubette 6.98 N/mm<sup>2</sup>, %11.75 rutubette 7.11 N/mm<sup>2</sup>, %17.8 rutubette 4.43 N/mm<sup>2</sup>, %23.5 rutubette 3.31 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Basma direnci değerlerinin varyasyon katsayıları %8.1 rutubette %5.01, %11.75 rutubette %8.16, %17.8 rutubette %2.4, %23.5 rutubette %4.5 olarak bulunmuştur. Radyal yöndeki Young modülü değerleri %8.1 rutubette 426 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %24.2, %11.75 rutubette 444 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %22.9, %17.8 rutubette 241 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %21.38, %23.5 rutubette 188 N/mm<sup>2</sup>; varyasyon katsayısı %20.23 olarak bulunmuştur. Poisson oranı değerleri ( $\nu$ ), %8.1 rutubette; TR düzleminde 0.71, TL düzleminde 0.066 olarak, %11.75 rutubette; TR düzleminde 0.65, TL düzleminde 0.061 olarak, %17.8 rutubette TR düzleminde 0.81, TL düzleminde 0.045 olarak, %23.5 rutubette ise TR düzleminde 0.88, TL düzleminde 0.061 olarak yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Karaçam’da basma testlerinden elde edilen özellikler (T yönü ortalama değerleri).

<b>d</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Rutubet</b> (%)	<b>E<sub>T</sub></b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>Basma direnci</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b><math>\nu_{TR}</math></b>	<b><math>\nu_{TL}</math></b>
0.49	8.1	426 (24.2)*	6.98 (5.01)*	0.71 (12)*	0.066 (40)*
0.51	11.75	444 (22.9)*	7.11 (8.16)*	0.65 (26.36)*	0.061 (45.62)*
0.53	17.8	241 (21.38)*	4.43 (2.4)*	0.81 (34.08)*	0.045 (39.75)*
0.54	23.5	188 (20.23)*	3.31 (4.5)*	0.88 (13.46)*	0.061 (47.1)*

\*varyasyon katsayıları



#### 4.1.1. Young modülü

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak rutubet ve lif yönünün elastikiyet modülü üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge:4) rutubet ve lif yönünün elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p < 0.000$ ,  $R^2 = 0.928$ ). Lif yönlerine ait ortalamalar çizelge 5'te, rutubete ait ortalamalar çizelge 6' da gösterilmiştir. Rutubet grupları arasında da belirgin farklar bulunmaktadır. %45 ile %65 rutubet ve %85 ile %95 rutubet şartlarındaki örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark görülmemektedir.

Çizelge 4.4. Karaçam örneklerinde Young modülü için ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	$P \leq 0.05$
Model	2312204571.000	11	210200415.600	268.973	.000
Intercept	1786666981.000	1	1786666981.000	2286.221	.000
Direction	1972132817.000	2	986066408.700	1261.772	.000
Rutubet	165816426.200	3	55272142.080	70.726	.000
Direction Humidity	163552291.400	6	27258715.240	34.880	.000
Hata	171147100.300	219	781493.609		
Toplam	4376175503.000	231			
Düzeltilmiş Toplam	2483351672.000	230			
$R^2$	0.931				

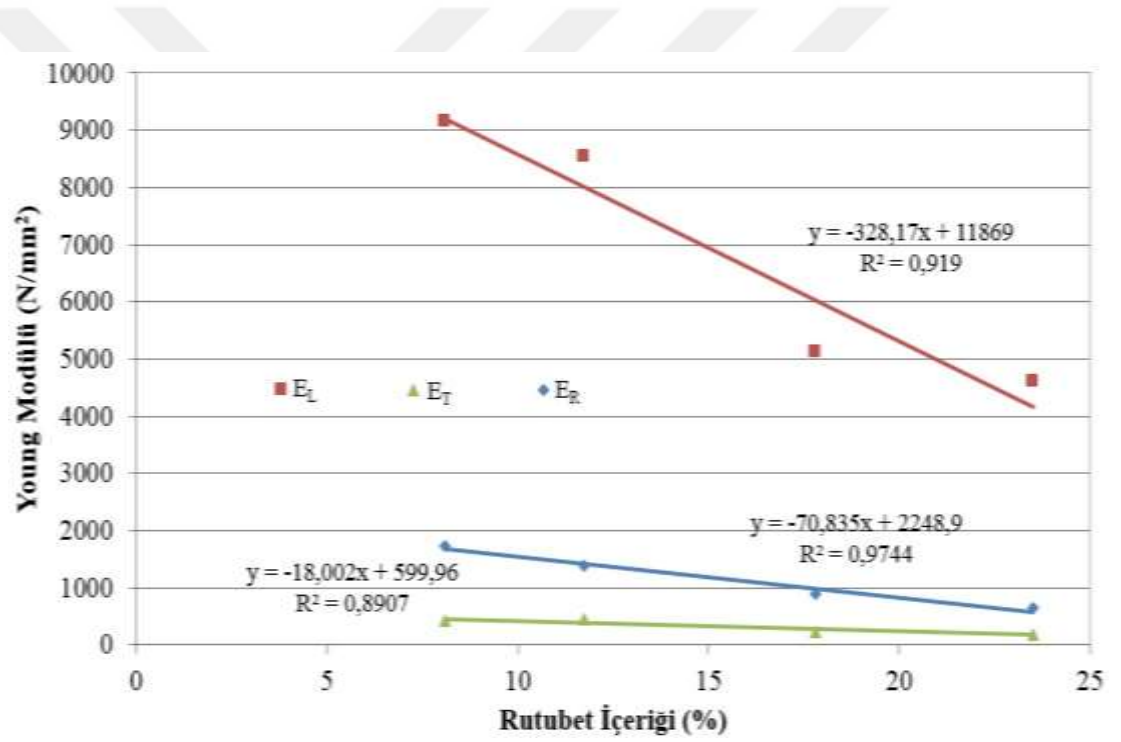
Çizelge 4.5. Karaçam örneklerinde lif yönü ortalamalarının Young modülü için DUNCAN tablosu

Lif yönü	N	Gruplar		
		1	2	3
T	75	329.2133		
R	76		1162.9211	
L	80			6852.1250
Sig.		1.000	1.000	1.000

Çizelge 4.6. Karaçam örneklerinde rutubet ortalamalarının Young modülü için DUNCAN tablosu

Rutubet	N	Gruplar	
		1	2
95.00	59	1843.7288	
85.00	57	2157.0000	
65.00	57		364.5439
45.00	58		3863.0172
Sig.		.058	.118

Karaçam odunun lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki Young modülü değerleri ile rutubet miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Young modülü ve rutubet miktarları arasında doğrusala yakın bir ilişki görülmektedir.



Şekil 4.1. Karaçam odunun T, R ve L yönlerindeki Elastikiyet modülü ve rutubet miktarı arasındaki ilişki

Yılmaz Aydın (2017), yapmış olduğu çalışmasında liflere dik yöndeki (R,T) YOUNG modülü değerlerinin rutubet içeriğine bağlı olarak lif yönü değerlerine göre daha yüksek oranlarda değişme gösterdiğini bulmuştur. Ross (2010), Hering vd., (2012), ve Ozyhar vd., (2013) tarafından da rutubet içeriğine bağlı olarak mekanik özelliklerdeki benzer eğilim taraflarla bulunmuştur.

Yılmaz Aydın (2017), yapmış olduğu çalışmasında kızılçam odunu için young modülü değerleri lif yönü yönünde %19.17, radyal yönde %39.26 ve teğet yönde %38.08 oranında azalma olduğunu bulmuştur. Bu tez çalışmasında ve yapılmış olan çalışmalarda görüldüğü üzere radyal ve teğet yönlerdeki Young modülü değerleri lif yönü Young modülü değerleri ile karşılaştırıldığında rutubetten daha fazla etkilendiği görülmektedir.

#### **4.1.2. Basma direnci**

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak rutubet ve lif yönünün basma direnci üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.7) rutubet ve lif yönünün basma direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p < 0.000$ ,  $R^2 = 0.98$ ). Lif yönlerine ait ortalamalar Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. %45, 65, 85 ve 95 rutubet şartlarındaki örneklerin direnci değerleri arasında istatistiksel olarak farklar görülmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.7. Karaçam örneklerinde basma direnci için ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	43914.721	11	3992.247	1529.506	.000
Intercept	52046.439	1	52046.439	19939.976	.000
Direction	35845.212	2	17922.606	6866.489	
Rutubet	4214.187	3	1404.729	538.178	.000
Direction Humidity	3672.727	6	612.121	234.515	
Hata	579.455	222	2.61		
Toplam	98137.921	234			
Düzeltilmiş Toplam	44494.176	233			
R <sup>2</sup>	0.987				

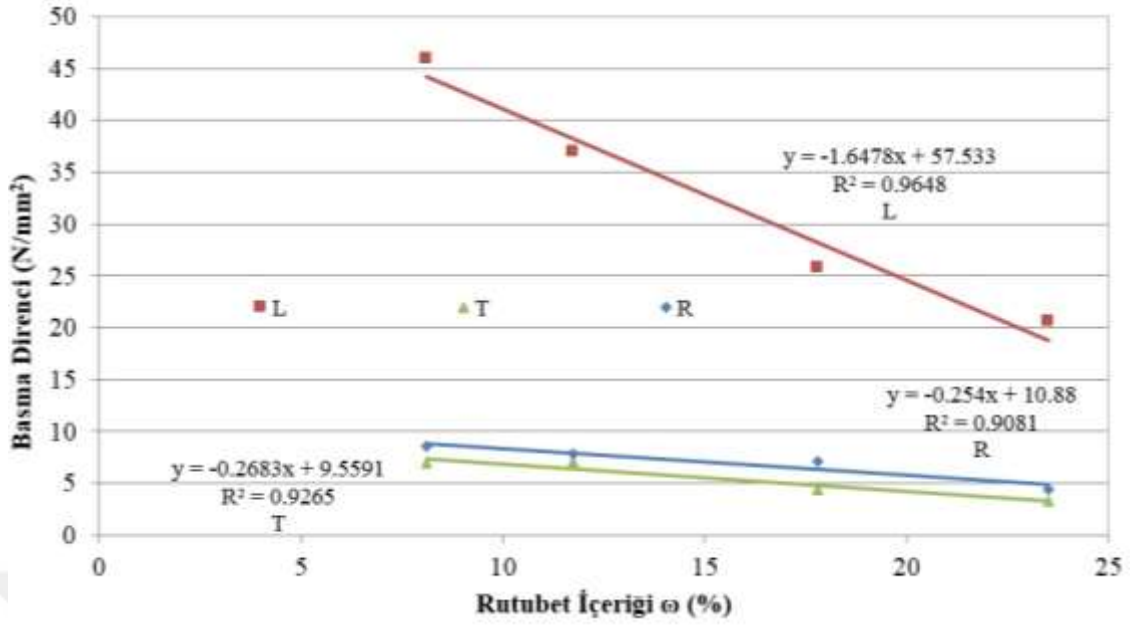
Çizelge 4.8. Karaçam örneklerinde direnç değerlerinin lif yönü ortalamaları için DUNCAN tablosu

Yön	N	Gruplar		
		1	2	3
L	76	5.4588		
R	78		6.9765	
T	80			32.2991
Sig.		1.000	1.000	1.000

Çizelge 4.9. Karaçam örneklerinde direnç değerlerinin rutubet ortalamaları için DUNCAN tablosu

Rutubet	N	Gruplar			
		1	2	3	4
95.00	59	9.5631			
85.00	58		12.6914		
65.00	59			17.4854	
45.00	58				20.8795
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Karaçam odununun lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki basma direnci değerlerinin rutubet miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Basma direnci ve rutubet miktarları arasında doğrusala yakın bir ilişki görülmektedir.



Şekil 4.2. Karaçam Odununun T, R ve L yönlerindeki rutubet miktarı ve basma direnci arasındaki ilişki

Yılmaz Aydın (2017), yapmış olduğu çalışmasında sedir odunu için Lif yönünde %43.10, radyal yönde %27.26 ve teğet yönde %35.41 oranında azalma bulmuştur. Bu tez çalışmasında ve Yılmaz Aydın (2017) çalışmasında bulunduğu gibi lif yönü ve teğet yönlerdeki oransal azalma radyal yöndeki oransal azalmaya göre daha fazla olmaktadır. Bu tez çalışmasındaki sonuçların Skarvelis ve Mantanis (2013) tarafından yapılmış olan çalışmada bulunan değerlerden biraz daha düşük olduğu görülmüştür.

#### 4.1.3. Poisson oranı

Poisson oranları yapılan basma testlerinde iki eksenli ekstensometre kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Poisson oranları altı farklı düzlemde hesaplanmıştır ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ). Poisson oranları ülkemizde ortalama 0.3 olarak kullanılmaktadır. Poisson oranları ülkemizde yetişen ağaç türleri için henüz belirlenmemiştir.

Poisson değerleri üzerindeki rutubetin etkisi her bir yön için ayrı incelenmiştir. Poisson değerlerindeki yüksek varyasyon katsayıları lif yönünün etkisini anlamsız

göstermektedir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 10.-16) rutubetin etkisi genel olarak yok görülmektedir. Sadece  $v_{TR}$  üzerinde zayıf bir etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{LT}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P $\leq$ 0.05
Model	0.051	3	0.017	0.481	.698
Intercept	19.488	1	19.488	549.915	.000
Rutubet	0.051	3	0.017	0.481	.698
Hata	1.240	35	0.035		
Toplam	20.936	39			
Düzeltilmiş Toplam	1.291	38			
R <sup>2</sup>	0.040				

Çizelge 4.11. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{LR}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P $\leq$ 0.05
Model	0.089	3	0.030	1.358	.271
Intercept	17.865	1	17.865	818.690	.000
Rutubet	0.089	3	0.030	1.358	.271
Hata	0.786	36	0.022		
Toplam	18.896	40			
Düzeltilmiş Toplam	0.874	39			
R <sup>2</sup>	0.102				

Çizelge 4.12. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{RT}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P $\leq$ 0.05
Model	0.108	3	0.036	2.102	.118
Intercept	17.025	1	17.025	994.675	.000
Rutubet	0.108	3	0.036	2.102	.118
Hata	0.582	34	0.017		
Toplam	17.951	38			
Düzeltilmiş Toplam	0.690	37			
R <sup>2</sup>	0.156				

Çizelge 4.13. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{RL}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	0.070	3	0.023	0.805	.499
Intercept	0.652	1	0.652	22.620	.000
Rutubet	0.070	3	0.023	0.805	.499
Hata	1.067	37	0.029		
Toplam	1.805	41			
Düzeltilmiş Toplam	1.137	40			
R <sup>2</sup>	0.061				

Çizelge 4.14. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $v_{TR}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	0.294	3	0.098	7.603	.001
Intercept	21.608	1	21.608	1678.100	.000
Rutubet	0.294	3	0.098	7.603	.001
Hata	0.425	33	0.013		
Toplam	22.198	37			
Düzeltilmiş Toplam	0.719	36			
R <sup>2</sup>	0.409				

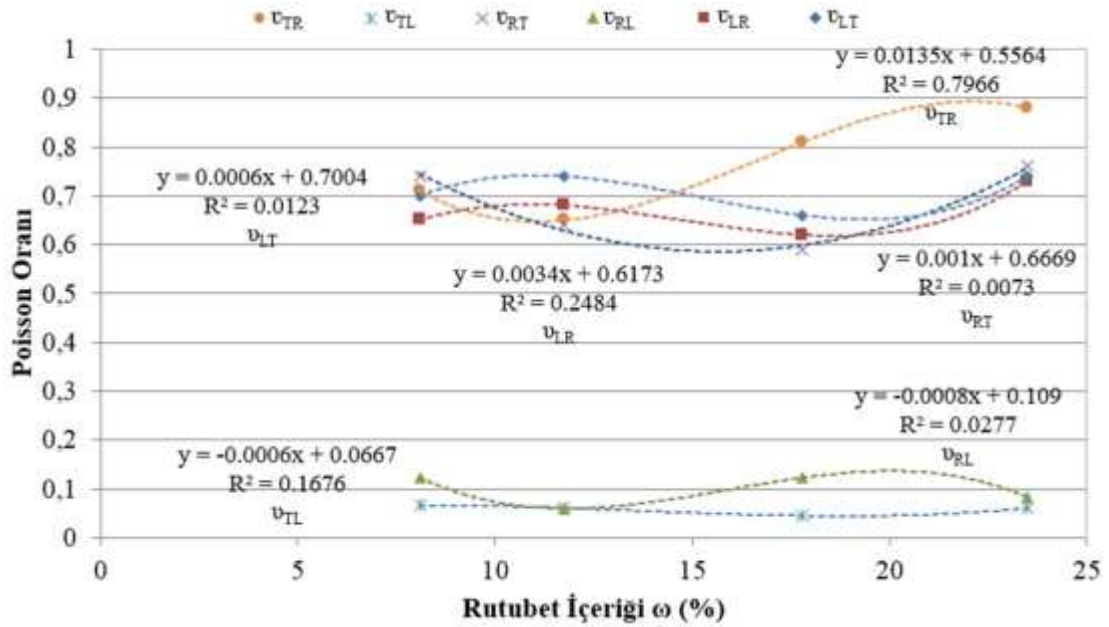
Çizelge 4.15. Rutubetin  $v_{TR}$  üzerine etkisi (Duncan tablosu).

Rutubet	N	Gruplar		
		1	2	3
65	10	0.6540		
45	10	0.7190	0.7190	
85	8		0.8100	0.8100
95	9			0.8868
Sig.		.229	.095	.157

Çizelge 4.16. Karaçam odununda rutubetin poisson oranı ( $\nu_{TL}$ ) değerine etkisinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	0.114	3	0.038	7.603	.096
Intercept	0.306	1	0.306	1678.100	.000
Rutubet	0.114	3	0.038	7.603	.096
Hata	0.584	35	0.017		
Toplam	1.008	39			
Düzeltilmiş Toplam	0.698	38			
$R^2$	0.164				

Karaçam odunun poisson oranı değerleri ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) ile rutubet miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Karaçam odununun Poisson oranları ve rutubet miktarları arasındaki ilişki

Hering vd. (2012), LT ve LR düzlemlerinde poisson oranı değerlerinin varyasyon katsayı değerlerinin yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yılmaz Aydın (2017)’ da RL ve TL düzleminde varyasyon katsayılarının diğer düzlemlere göre daha yüksek olduğunu, Poisson oranı değerlerinin ise RL ve TL düzleminde daha düşük olduğunu bulmuştur.



## 4.2. Yapılmış Olan Deneylerde Sıcaklığın Etkisi

Karaçam odunu için iki farklı sıcaklık (180-210 °C) ile üç farklı sürede (2-5- ve 8 saat) sıcaklık uygulanmış örneklerin T,R ve L yönü yönlerinde; basma direnci, Young modülü ve poisson oranları ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) istatistiksel olarak hesaplanarak, kontrol grupları ile karşılaştırılmaları hesaplanmıştır.

### 4.2.1. Young Modülü

Basma teslerinden elde edilen Young modülü testleri liflere dik (T,R) ve liflere paralel (L) olmak üzere yapılmıştır. Örneklere 180 ve 210 °C sıcaklıklarda 2-5 ve 8 saat olmak üzere sıcaklık uygulanmıştır. Her iki sıcaklık için üç farklı yönde (T,R ve L) alınan örneklere karşılık gelen kontrol örnekleri sıcaklığa tabi tutulmamıştır.

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin young modülü üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.17) sıcaklık ve rutubetin elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 1.000$ ).

Çizelge 4.17. Karaçam örneklerinde yön, sıcaklık ve sürenin Young modülüne etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	5569122444.723	20	278456122.236	74132.658	.000
Intercept	4861036632.613	1	4861036632.613	1294141.291	.000
Yön	5555018203.777	2	2777509101.889	739449.110	.000
Sıcaklık	2830550.718	1	2830550.718	753.570	.000
Süre	349666.862	2	174833.431	46.545	.000
Yön*Sıcaklık	2153811.515	2	1076905.758	286.702	.000
Yön*Süre	130999.854	4	32749.963	8.719	.000
Sıcaklık*Süre	929649.343	2	464824.671	123.749	.000
Yön*Sıcaklık*Süre	642437.036	4	160609.259	42.759	.000
Hata	1592623.269	424	3756.187		
Toplam	10827500021.000	445			
Düzeltilmiş Toplam	5570715067.991	444			
R <sup>2</sup>	1.000				

Young modülünün sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19).

Çizelge 4.18. Karaçam odununda Young modülünün sıcaklık değerlerine ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar		
		1	2	3
210	164	3348.5793		
180	168		3471.5000	
0	113			3514.0531
Sig.		1.000	1.000	1.000

Çizelge 4.19. Karaçam odununda Young modülünün süre değerlerine ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar		
		1	2	3
8	112	3286.0357		
2	110		3428.9182	
0	113			3514.0531
5	110			3519.6545
Sig.		1.000	1.000	0.496

Karaçam odununun lif yönü yönündeki Young modülü testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.20’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakılarak 180 °C sıcaklık grubunda en düşük lif yönü yönündeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (7669.72 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek lif yönü yönündeki basma direnci kontrol grubu (8470.01 N/mm<sup>2</sup>), 210 °C sıcaklık grubunda en düşük lif yönü yönündeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (7022.30 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek lif yönü yönündeki basma direnci ise kontrol grubunda (8387.55 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %13.96 ile %8.93 arasında değerler almaktadır. 180 °C ve 210 °C sıcaklıklarında basma direnci sonuçları %9.44 ve %16.27 değişiminde azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.20. Karaçam odununun lif yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	d <sub>12</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.47	8470.01	8.93
	2	0.45	8375.20	9.98
	5	0.47	7908.03	9.43
	8	0.49	7669.72	12.02
210	0	0.45	8387.55	9.92
	2	0.44	7768.40	10.78
	5	0.43	7256.55	13.96
	8	0.46	7022.30	11.07

Karaçam odununun radyal yöndeki Young modülü testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.21’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye

bakılarak 180°C sıcaklık grubunda en düşük radyal yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (1161.70 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek radyal yöndeki basma direnci kontrol grubu (1343.99 N/mm<sup>2</sup>), 210°C sıcaklık grubunda en düşük radyal yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (1077.13 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek radyal yöndeki basma direnci ise kontrol grubunda (1362.27 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %10.75 ile %7.51 arasında değerler almaktadır.

Çizelge 4.21. Karaçam odununun radyal yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular

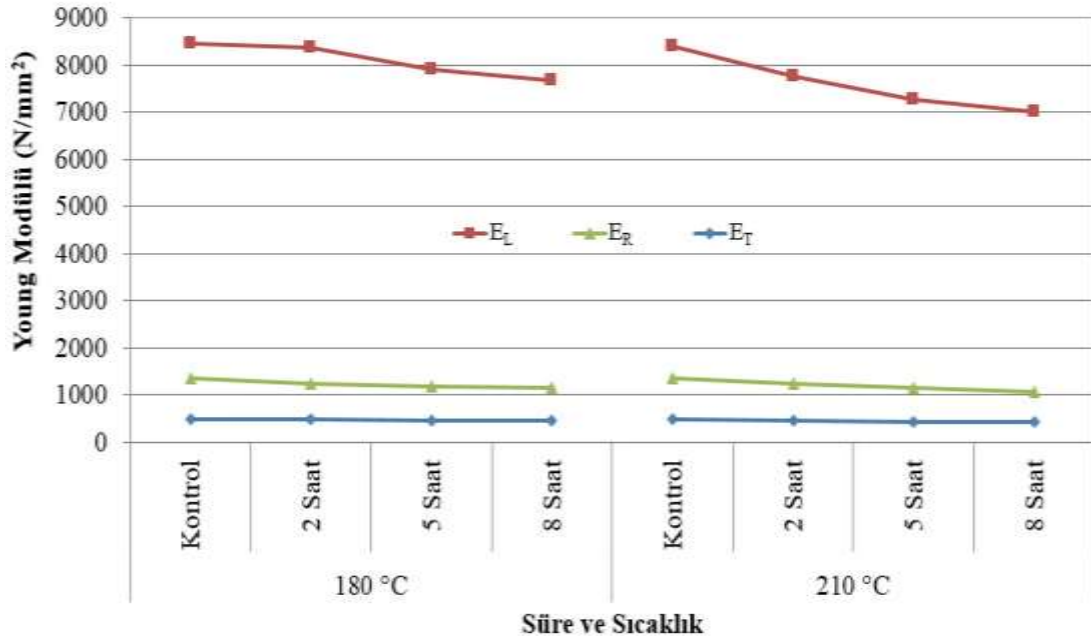
Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	d <sub>12</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.51	1343.99	7.51
	2	0.42	1239.50	7.83
	5	0.46	1191.78	10.75
	8	0.40	1161.70	12.38
210	0	0.55	1362.27	7.93
	2	0.52	1233.00	10.51
	5	0.49	1157.94	12.67
	8	0.47	1077.13	10.60

Karaçam odununun teğet yöndeki Young modülü testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.22' de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakılarak 180 °C sıcaklık grubunda en düşük teğet yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (442.15 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek teğet yöndeki basma direnci kontrol grubu (480.45 N/mm<sup>2</sup>), 210 °C sıcaklık grubunda en düşük teğet yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (414.11 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek teğet yöndeki basma direnci ise kontrol grubunda (471.30 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %10.63 ile %6.46 arasında değerler almaktadır.

Çizelge 4.22. Karaçam odununun teğet yönündeki Young modülü değerlerine ilişkin bulgular

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	$d_{12}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.49	480.45	10.63
	2	0.50	472.95	9.09
	5	0.53	461.40	9.13
	8	0.49	442.15	8.92
210	0	0.49	471.30	6.46
	2	0.52	447.33	7.33
	5	0.50	437.94	8.91
	8	0.44	414.11	7.65

Karaçam odununda kontrol örneklerinin sıcaklık uygulanmış örneklere göre lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki değerlerinin Young modülü değerlerindeki değişim Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Karaçam odununun lif yönü, radyal ve teğet yöndeki Young modülünü sonuçlarının kontrol ve sıcaklık uygulanmış örneklerin değerlerinin değişimi

Yılmaz Aydın (2017) yapmış olduğu çalışmasında lif yönündeki Young modülü değerlerinde kızılçam odununda 120 ve 150°C sıcaklıklarda artış görülürken 180 ve 210°C sıcaklıklarda azalma olduğu görülmüştür. En fazla artış 150°C sıcaklık ve 5

saat işlem süresinde (%14.13), en fazla azalma 210°C sıcaklıkta 8 saat işlem süresinde (%14.98) görülmüştür.

#### 4.2.2. Basma direnci

Basma teslerinden elde edilen basma direnci testleri liflere dik (T,R) ve liflere paralel (L) olmak üzere yapılmıştır. Örneklere 180 ve 210°C sıcaklıklarda 2, 5 ve 8 saat olmak üzere işlem süresi uygulanmıştır. Her iki sıcaklık için üç farklı yönde (T,R ve L) alınan örneklere karşılık gelen kontrol örnekleri sıcaklığa tabi tutulmamıştır.

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin basma direnci üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.23) sıcaklık ve rutubetin elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.984$ ).

Çizelge 4.23. Karaçam örneklerinde yön, sıcaklık ve sürenin basma direncine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	$P \leq 0.05$
Model	89038.416	20	4451.921	1430.654	.000
Intercept	109710.367	1	109710.367	35256.138	.000
Yön	88518.834	2	44259.417	14223.051	.000
Sıcaklık	105.285	1	105.285	33.834	.000
Süre	127.998	2	63.999	20.566	.000
Yön*Sıcaklık	51.197	2	25.599	8.226	.000
Yön*Süre	83.109	4	20.777	6.667	.000
Sıcaklık*Süre	7.732	2	3.866	1.242	.290
Yön*Sıcaklık*Süre	8.874	4	2.218	0.713	.583
Hata	1422.097	457	3.112		
Toplam	200779.712	478			
Düzeltilmiş Toplam	90460.512	477			
$R^2$	0.984				

Basma direnci sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Karaçam odununda basma direncinin sıcaklık değerlerine ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar		
		1	2	3
210	179	14,4005		
180	180		15.4323	
0	119			16.0187
Sig.		1.000	1.000	1.000

Çizelge 4.25. Karaçam odununda basma direncinin sürelerle ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar		
		1	2	3
8	120	14.1371		
5	120		14.9365	
2	119			15.6563
0	119			16.0187
Sig.		1.000	1.000	0.496

Karaçam odununun lif yönü yönündeki basma direnci testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakılarak 180°C sıcaklık grubunda en düşük lif yönü yönündeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (33.56 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek lif yönü yönündeki basma direnci 2 saatlik analiz aşamasında (35.94 N/mm<sup>2</sup>), 210°C sıcaklık grubunda en düşük lif yönü yönündeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (31.02 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek lif yönü yönündeki basma direnci ise kontrol grubunda (36.32 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %4.91 ile %12.54 arasında değerler almaktadır. 180°C ve 210°C sıcaklıklarında basma direnci sonuçları %4.26 ve %14.59 değişiminde azaldığı görülürken 180°C sıcaklıkta 2 saatlik analiz aşamasında %2.52, 5 saatlik analiz aşamasında %1.14 oranında artış görülmüştür.

Çizelge 4.26. Karaçam odununun lif yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	$d_{12}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.47	35.06	6.79
	2	0.45	35.94	6.72
	5	0.47	35.46	6.14
	8	0.49	33.56	4.91
210	0	0.45	36.32	8.48
	2	0.44	34.84	9.66
	5	0.43	32.77	10.54
	8	0.44	31.01	12.54

V(%):Varyasyon katsayısı, N:Örnek sayısı,  $\bar{x}$ :Ortalama, d:Yoğunluk

Karaçam odununun radyal yöndeki basma direnci testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.27’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakılarak 180°C sıcaklık grubunda en düşük radyal yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (5.83 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek radyal yöndeki basma direnci kontrol grubunda (6.75 N/mm<sup>2</sup>), 210°C sıcaklık grubunda en düşük radyal yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (4.79 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek radyal yöndeki basma direnci ise kontrol grubunda (6.22 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %11.86 ile %5.74 arasında değerler almaktadır.

Çizelge 4.27. Karaçam odununun radyal yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	$d_{12}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.51	6.75	8.82
	2	0.42	6.38	7.24
	5	0.46	6.01	5.74
	8	0.40	5.83	6.01
210	0	0.55	6.22	11.62
	2	0.52	5.79	6.42
	5	0.49	5.19	11.86
	8	0.47	4.79	11.18

V(%):Varyasyon katsayısı, N:Örnek sayısı,  $\bar{x}$ :Ortalama, d:Yoğunluk



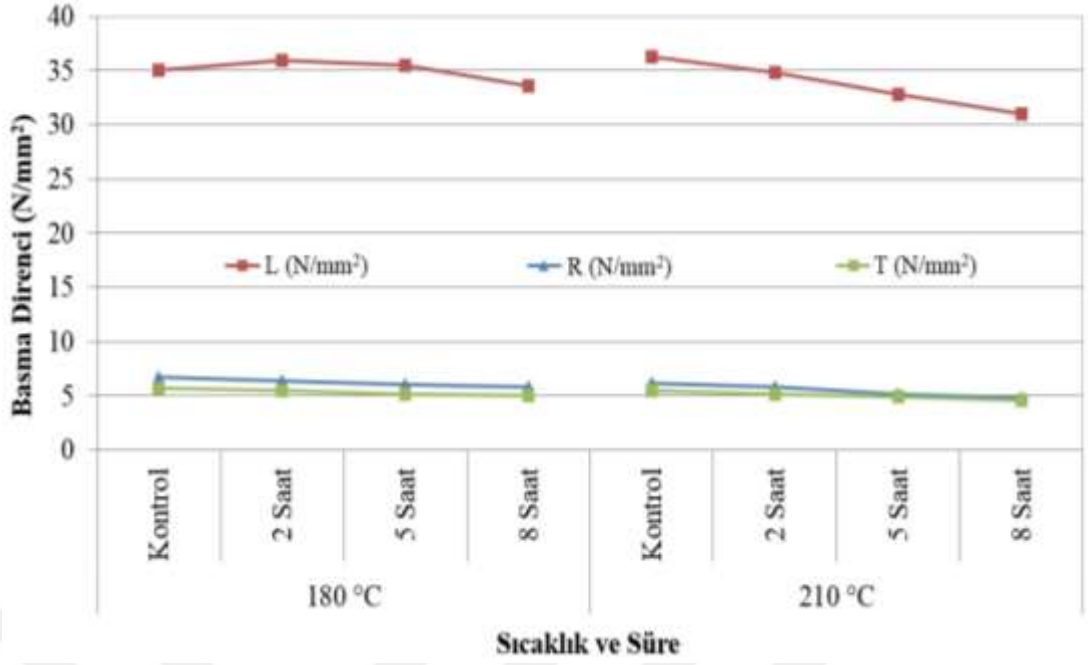
Karaçam odununun teğet yöndeki basma direnci testi örneklerinin yoğunluk, rutubet seviyesi, basma direnci değerlerinin ortalaması, varyans katsayısı ve kontrol gruplarına göre yüzde değişim oranı Çizelge 4.28’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakılarak 180°C sıcaklık grubunda en düşük teğet yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (5.01 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek teğet yöndeki basma direnci kontrol grubunda (5.67 N/mm<sup>2</sup>), 210°C sıcaklık grubunda en düşük teğet yöndeki basma direnci 8 saatlik analiz aşamasında (4.59 N/mm<sup>2</sup>), en yüksek teğet yöndeki basma direnci ise kontrol grubunda (5.53 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Basma direnci analizlerinin varyasyon katsayıları %9.81 ile %5.39 arasında değerler almaktadır. 180°C ve 210°C sıcaklıklarında basma direnci sonuçları arasında %11.56 ve %16.92 değişiminde azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.28. Karaçam odununun teğet yönündeki basma direnci değerlerine ilişkin bulgular

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	d <sub>12</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	V[%]
180	0	0.49	5.67	6.14
	2	0.50	5.47	5.59
	5	0.53	5.19	7.46
	8	0.49	5.01	9.81
210	0	0.49	5.53	5.39
	2	0.52	5.13	8.93
	5	0.50	4.98	5.79
	8	0.44	4.59	7.91

V(%):Varyasyon katsayısı, N:Örnek sayısı,  $\bar{x}$ :Ortalama, d:Yoğunluk

Karaçam odununda kontrol örneklerinin sıcaklık uygulanmış örneklere göre lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki değerlerinin basma direnci değerlerindeki değişim Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Karaçam odununun lif yönü, radyal ve teğet yöndeki basma direnci sonuçlarının kontrol ve sıcaklık uygulanmış örneklerin değerlerinin değişimi

Yılmaz Aydın (2017) yapmış olduğu çalışmasında lif yönündeki basma direnci değerlerinde kızılçam odununda 120, 150 ve 180°C sıcaklıklarda artış görülürken 210°C sıcaklıklarda azalma olduğu görülmüştür. En fazla artış 150°C sıcaklık ve 8 saat işlem süresinde (%12.43), en fazla azalma 210°C sıcaklıkta 8 saat işlem süresinde (%12.46) görülmüştür. Radyal yöndeki basma direnci değerlerinde kızılçam odununda sıcaklık ve sürenin artması ile değerlerin hepsinin azaldığı görülmüştür. Kızılçam odununda %23.56 oranında azalma görülmüştür. Teğet yöndeki basma direnci değerlerinde kızılçam odununda sıcaklık ve sürenin artması ile kızılçam odununda 120 ve 150°C sıcaklıklarda artış görülürken 180 ve 210°C sıcaklıklarda azalma olduğu görülmüştür. En fazla artış 120°C sıcaklıkta 8 saat işlem süresinde (%11.13) görülürken en fazla azalış 210°C sıcaklıkta 8 saat işlem süresinde (%11.13) görülmüştür.

#### 4.2.3. Poisson oranı

Basma testlerinden elde edilen Poisson oranı testleri altı farklı düzlemde ( $\nu_{TR}$ ,  $\nu_{TL}$ ,  $\nu_{RL}$ ,  $\nu_{RT}$ ,  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ) hesaplanmıştır. Örneklere 180 ve 210°C sıcaklıklarda 2, 5 ve 8 saat olmak üzere işlem süresi uygulanmıştır.

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin poisson oranı üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.29) sıcaklık ve rutubetin Poisson değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.208$ ).

Çizelge 4.29. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $\nu_{LR}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	$P \leq 0.05$
Model	0.043	6	0.007	3.114	.009
Intercept	31.976	1	31.976	13749.675	.000
Sıcaklık	0.023	1	0.023	10.055	.002
Süre	0.013	2	0.006	2.706	.074
Sıcaklık*Süre	0.009	2	0.004	1.839	.167
Hata	0.165	71	0.002		
Toplam	32.300	78			
Düzeltilmiş Toplam	0.209	77			
$R^2$	0.208				

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin Poisson oranı üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.30) sıcaklık ve rutubetin elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.430$ ).

Çizelge 4.30. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $v_{LT}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	0.054	6	0.009	8.922	.000
Intercept	38.408	1	98.408	37733.593	.000
Sıcaklık	0.028	1	0.028	27.470	.000
Süre	0.019	2	0.009	9.148	.000
Sıcaklık*Süre	0.010	2	0.005	5.031	.009
Hata	0.072	71	0.001		
Toplam	38.657	78			
Düzeltilmiş Toplam	0.127	77			
R <sup>2</sup>	0.430				

Poisson oranının sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 2 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.31 ve 4.32.).

Çizelge 4.31. Karaçam odununda  $v_{LT}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar	
		1	2
210	29	0.6834	
0	20	0.6980	
180	29		0.7256
Sig.		1.000	1.000

Çizelge 4.32. Karaçam odununda  $v_{LT}$ ' nin süreler için DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar		
		1	2	3
2	19	0.6810		
0	20	0.6980	0.6980	
5	20		0.7122	0.7122
8	19			0.7199
Sig.		0.101	0.171	0.448

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin basma direnci üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.33) sıcaklık ve rutubetin elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.584$ ).

Çizelge 4.33. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $v_{RL}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	$P \leq 0.05$
Model	0.001	6	0.000	14.724	.000
Intercept	0.252	1	0.252	19775.339	.000
Sıcaklık	0.000	1	0.000	38.501	.000
Süre	0.000	2	0.000	14.401	.000
Sıcaklık*Süre	6.052E <sup>-6</sup>	2	3.026E <sup>-6</sup>	0.237	.789
Hata	0.001	63	1.274E <sup>-5</sup>		
Toplam	0.255	70			
Düzeltilmiş Toplam	0.002	69			
$R^2$	0.584				

Poisson oranının sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.34. ve 4.35).

Çizelge 4.34. Karaçam odununda  $v_{RL}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar	
		1	2
210	26	0.56	
180	26		0.62
0	18		0.64
Sig.		1.000	0.138

Çizelge 4.35. Karaçam odununda  $v_{RL}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar		
		1	2	3
2	17	0.556		
0	17		0.591	
5	18			0.619
8	18			0.636
Sig.		1.000	1.000	0.187

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin basma direnci üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.36) sıcaklık ve rutubetin elastikiyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.517$ ).

Çizelge 4.36. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $v_{RT}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	P≤0.05
Model	0.016	6	0.003	11.945	.000
Intercept	35.101	1	35.101	156277.553	.000
Sıcaklık	0.000	1	0.000	1.362	.247
Süre	0.002	2	0.001	3.996	.023
Sıcaklık*Süre	0.003	2	0.001	5.733	.005
Hata	0.015	67	0.000		
Toplam	35.361	74			
Düzeltilmiş Toplam	0.031	73			
$R^2$	0.517				

Poisson oranının sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 2 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.37. ve 4.38).

Çizelge 4.37. Karaçam odununda  $v_{RT}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar	
		1	2
210	27	0.6807	
180	28	0.6865	
0	19		0.7121
Sig.		0.183	1.000

Çizelge 4.38. Karaçam odununda  $v_{RT}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar		
		1	2	3
5	17	0.6755		
8	19		0.6856	
2	19		0.6891	
0	19			0.7121
Sig.		1.000	0.490	1.000

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin Poisson oranı üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.39) sıcaklık

ve rutubetin Poisson oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.620$ ).

Çizelge 4.39. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $v_{TL}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	$P \leq 0.05$
Model	0.001	6	$8.954E^{-5}$	17.668	.000
Intercept	0.236	1	0.236	46668.482	.000
Sıcaklık	0.000	1	0.000	45.048	.000
Süre	0.000	2	$5.105E^{-5}$	10.074	.000
Sıcaklık*Süre	$6.011E^{-5}$	2	$3.006E^{-5}$	5.931	.004
Hata	0.000	65	$5.068E^{-6}$		
Toplam	0.238	72			
Düzeltilmiş Toplam	0.001	71			
$R^2$	0.620				

Poisson oranının sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 3 farklı sıcaklık ve 2 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.40. ve 4.41.).

Çizelge 4.40. Karaçam odununda  $v_{TL}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar		
		1	2	3
210	27	0.0545		
180	28		0.0586	
0	27			0.0599
Sig.		1.000	1.000	1.000

Çizelge 4.41. Karaçam odununda  $v_{TL}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar	
		1	2
8	19	0.0556	
5	18	0.0557	
2	18		0.0584
0	17		0.0599
Sig.		0.849	0.050

Veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak sıcaklık ve sürenin Poisson oranı üzerine etkisi incelenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.42) sıcaklık ve rutubetin Poisson oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $p \leq 0.005$ ,  $R^2 = 0.323$ ).

Çizelge 4.42. Karaçam örneklerinde sıcaklık ve sürenin  $v_{TR}$  değerine etkisinin ANOVA çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Değeri	$P \leq 0.05$
Model	0.002	6	0.000	5.241	.000
Intercept	39.455	1	39.455	533692.010	.000
Sıcaklık	0.001	1	0.01	10.234	.002
Süre	0.001	2	0.01	6.867	.002
Sıcaklık*Süre	1.660E <sup>-6</sup>	2	8.301E <sup>-7</sup>	0.11	.989
Hata	0.005	66	7.393E <sup>-5</sup>		
Toplam	39.613	73			
Düzeltilmiş Toplam	0.007	72			
$R^2$	0.323				

Poisson oranının sıcaklık ve süreye ait DUNCAN testine göre 2 farklı sıcaklık ve 2 farklı süre grubu oluşmuştur (Çizelge 4.43 ve 4.44.).

Çizelge 4.43. Karaçam odununda  $v_{TR}$ ' nin sıcaklıklara ait DUNCAN değerleri

Sıcaklık	N	Gruplar	
		1	2
210	26	0.7311	
180	28		0.7385
0	19		0.7413
Sig.		1.000	0.273



Çizelge 4.44. Karaçam odununda  $v_{TR}$ ' nin sürelerle ait DUNCAN değerleri

Süre	N	Gruplar	
		1	2
8	19	0.7291	
5	18		0.7377
2	18		0.7385
0	19		0.7413
Sig.		1.000	0.247

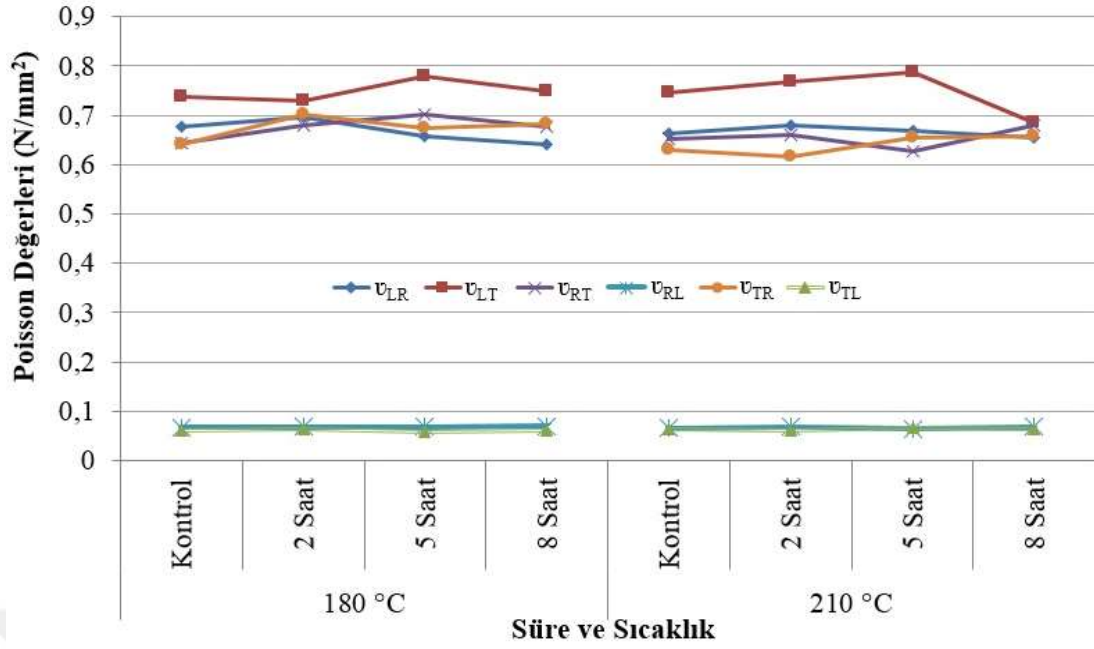
Karaçam odununun ortalama ve varyasyon katsayıları Çizelge 4.45'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.45. Karaçam odununun poisson oranına ait veriler ( $v_{TR}$ ,  $v_{TL}$ ,  $v_{RL}$ ,  $v_{RT}$ ,  $v_{LR}$ ,  $v_{LT}$ )

Sıc. (°C)	Süre (Sa)		$v_{TR}$	$v_{TL}$	$v_{RL}$	$v_{RT}$	$v_{LR}$	$v_{LT}$
180	0	$\bar{x}$	0.642	0.062	0.067	0.645	0.678	0.738
		V[%]	(22.05)	(17.83)	(17.13)	(21.10)	(19.53)	(18.33)
	2	$\bar{x}$	0.701	0.063	0.069	0.679	0.695	0.729
		V[%]	(22.18)	(18.05)	(22.47)	(21.13)	(21.40)	(21.03)
	5	$\bar{x}$	0.674	0.059	0.068	0.703	0.659	0.779
		V[%]	(17.90)	(19.20)	(15.33)	(19.05)	(19.03)	(16.99)
	8	$\bar{x}$	0.682	0.062	0.070	0.676	0.642	0.748
		V[%]	(16.10)	(19.13)	(23.89)	(21.97)	(20.61)	(21.70)
210	0	$\bar{x}$	0.631	0.063	0.066	0.652	0.663	0.747
		V[%]	(20.66)	(17.65)	(20.29)	(16.74)	(22.03)	(22.73)
	2	$\bar{x}$	0.615	0.060	0.068	0.661	0.681	0.768
		V[%]	(20.96)	(20.45)	(18.19)	(19.33)	(19.61)	(17.40)
	5	$\bar{x}$	0.656	0.067	0.065	0.627	0.668	0.787
		V[%]	(22.05)	(20.88)	(22.42)	(25.99)	(18.97)	(19.38)
	8	$\bar{x}$	0.657	0.064	0.069	0.681	0.656	0.685
		V[%]	(17.51)	(17.43)	(17.73)	(16.59)	(17.36)	(20.13)

$\bar{x}$ : Ortalama, V(%):Varyasyon katsayısı, v: Poisson oranı

Karaçam odununda kontrol örneklerinin sıcaklık uygulanmış örneklere göre lif yönü, radyal ve teğet yönlerdeki değerlerinin poisson oranı değerlerinin ( $v_{TR}$ ,  $v_{TL}$ ,  $v_{RL}$ ,  $v_{RT}$ ,  $v_{LR}$ ,  $v_{LT}$ ) değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Karaçam odununda sıcaklık uygulanmış örneklerin, Kontrol örneklerine göre Poisson oranı değerindeki değişimi

Yılmaz Aydın (2017) çalışmasında Poisson oranı değerlerinin RL ve TL düzleminde en düşük olduğunu bulmuştur. Kızılcam odununda sadece LT ve TR düzlemindeki Poisson oranı değerlerine sıcaklığın etkisi olurken diğer düzlemdeki değerlere etkisi görülmemiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılmış olan bu çalışmada, ahşap malzemenin mekanik davranış özelliklerini etkileyen çevresel faktörlerden; rutubet ve sıcaklığın Karaçam odununda bazı ortotropik mekanik davranışlara etkisi araştırılmıştır. Rutubetin etkisinde dört farklı bağıl nem seviyesinde (%45, 65, 85, 95) deney örnekleri iklimlendirilmiş ve yapılan basma testleriyle Young modülü, basma direnci ve Poisson oranları hesaplanmıştır. Sıcaklığın etkisinde iki farklı sıcaklık (180 ve 210°C) ve üç farklı sürede (2,5 ve 8 saat) sıcaklık uygulanan örnekler  $20\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\%65\pm 5$  bağıl nemde iklimlendirildikten sonra basma testleri yapılarak Young modülü, basma direnci ve Poisson oranı değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre rutubet miktarında Young modülü sonuçlarına bakılarak lif yönünde ( $E_L$ ) %49.64, radyal yönde ( $E_R$ ) %62.39 ve teğet yönde ( $E_T$ ) %55.86 oranında azalma olmuştur. Rutubet miktarının artmasıyla Young modülü değerlerinde ciddi bir azalma olmuştur. En yüksek young modülü değeri %8.1 rutubet seviyesinde görülmüştür. Radyal ve teğet yönlerdeki yüzdesel azalma lif yönündeki yüzdesel azalmadan daha fazladır bu da radyal ve teğet yönlerin rutubetten daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Basma direnci sonuçlarına bakılarak lif yönünde %55.22, radyal yönde %48.19 ve teğet yönde %52.58 oranında azalma olmuştur. Azalma yüzdelere bakarak lif yönünde ve teğet yönde basma direnci değerleri rutubetten radyal yöne göre daha fazla etkilenmiştir. Yapılmış olan varyans analizi sonuçlarına göre rutubet miktarı ile basma direnci arasında doğrusala yakın ilişki bir ilişki tespit edilmiştir.

Poisson oranı değerleri tüm düzlemlerde rutubetten etkilenirken bu etkilenme Young modülü ve basma direnci kadar yüksek değildir. Poisson oranı sonuçlarına bakılarak %8.1'den %23.5 rutubet seviyesine giderken  $\nu_{LR}$  düzleminde %10.96,  $\nu_{LT}$  düzleminde %5.40,  $\nu_{RT}$  düzleminde %2.63,  $\nu_{TR}$  düzleminde %19.32 oranında artış hesaplanmıştır.  $\nu_{RL}$  düzleminde %8.19 ve  $\nu_{TL}$  düzleminde %4.8 oranında azalma ile en düşük poisson oranı değerleri hesaplanmıştır.

Karaçam odununun, bazı ortotropik mekanik davranışlar üzerine rutubetin miktarı yüksek oranda etki göstermektedir. Çalışma sonucunda rutubet miktarının artmasıyla yapılmış olan mekanik özelliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca rutubet miktarının etkisinin anatomik yönlerde bağlı olduğu görülmüştür.

Çalışma sonuçlarına göre sıcaklıkta Young modülü sonuçlarına bakılarak lif yönü yönünde 180°C sıcaklıkta ve 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde Young modülü değeri azalırken en fazla azalma 210°C sıcaklık'ta 8 saat uygulama süresinde (%16.27) görülmüştür. Radyal yönde 180°C sıcaklıkta ve 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde Young modülü değeri azalırken en fazla azalma 210°C sıcaklık'ta 8 saat uygulama süresinde (%19.68) görülmüştür. Teğet yönde 180°C sıcaklıkta ve 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde Young modülü değeri azalırken en fazla azalma 210°C sıcaklık'ta 8 saat uygulama süresinde (%12.13) görülmüştür.

Çalışma sonuçlarına göre sıcaklıkta basma direnci sonuçlarına bakılarak lif yönü yönünde 180°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde basma direnci değerlerinin azaldığı görülürken en fazla azalma 8 saat uygulama süresinde (%7.42) görülmüştür. 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde basma direnci değeri azalırken en fazla azalma 8 saat uygulama süresinde (%11.54) görülmüştür. Radyal yönde 180°C sıcaklıkta ve 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde basma direnci değeri azalırken en fazla azalma 210°C sıcaklık'ta 8 saat uygulama süresinde (%22.92) görülmüştür. Teğet yönde 180°C sıcaklıkta ve 210°C sıcaklıkta tüm uygulama sürelerinde basma direnci değeri azalırken en fazla azalma 210°C sıcaklık'ta 8 saat uygulama süresinde (%16.92) görülmüştür. Sıcaklığın ve sürenin Poisson değerlerine etkisi çok anlamlı bulunmamıştır. En düşük Poisson oranı değerleri  $\nu_{RL}$  ve  $\nu_{TL}$  düzlemlerinde hesaplanmıştır.  $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$ ,  $\nu_{TR}$  ve  $\nu_{RT}$  düzlemlerinde Poisson oranı değerlerinde sıcaklığın etkisinin çok az olduğu görülmüştür.

Sıcaklık, ahşap malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir (Yılmaz Aydın, 2017). Yapılan çalışmada lif yönü yönünde 180°C sıcaklıkta iyileşme görülmüştür. Sıcaklık ile beraber basma direnci değerlerinin artmasının sebebi selüloz kristallerinin yükselmesi ve çapraz bağlanma reaksiyonları sonucu bağlantılıdır (Yılmaz Aydın, 2017). Yapılmış olan sıcaklık ve sürelerde Young

modülü ve basma direnci değerlerinin azaldığı görülmüştür. Poisson oranı değerlerinin ise sıcaklığa daha az duyarlı olduğu bulunmuştur.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen veriler ile yapısal yüklere rutubetin ve sıcaklığın karaçam odunu davranışlarının sonlu elemanlar gibi nümerik modellemelerde kullanılabilir ve ANSYS gibi bilgisayar programlarında kullanılacak malzeme dosyaları oluşturabilir.



## KAYNAKLAR

- Acatay, A., 1956. Ehrami karaçamı (*Pinus nigra var. pyramidata*) İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 6, Sayı:2, İstanbul.
- Aira, J.R., Arriaga, F., Íniguez-Gonzalez, G., 2014. Determination of the Elastic Constants of Scots Pine ( *Pinus slyvestris* L.) Wood by Means of Compression Test. Biosystems Engineering 126(2014) 12-22. Madrid, Spain.
- Akyıldız, M.H. Ateş, S., 2008. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 4 (6), 660-665.
- Anonim 2017. Ahşabın Teknik Özellikleri Ulaşım Tarihi 8.8.2017. <http://gardenstar.com.tr/ahsapin-teknik-ozellikleri.html>
- Anonim, 2006. Nova Orman Ürünleri San. A.Ş El kitabı. Erişim Tarihi: 10.04.2010, [www.novawood.com.tr](http://www.novawood.com.tr)
- Aydemir, D., Gündüz, G., 2009. Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 11 (15), 71-81.
- Baltacı, B., 2011. Karaçam Odununun Laminasyon Özelliklerinin Belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Kütahya.
- Bekhta, P., Niemz, P., 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. Holzforschung, 57 (5), 539-546.
- Bozkur, A.Y., Erdin, N., 2000. Odun Anatomisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, ISBN 975-404-592-5, 339 sayfa, İstanbul.
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3445, O.F. Yayın No: 388.
- Döndü, Y.C., 2006. Camiya Karaçamının (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *Pallasiana* var. *paşşasiana*) Bazı Teknolojik Özellikleri ve Kurutma Cetvellerinin Oluşturulması. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Bartın
- Esteves, B., Pereira, H., (2009). Wood Modification By Heat Treatment A Review, Bioresources, 4 (1), 370-404.)
- Felekoğlu Tosun K., 2012. Dokuz Eylül Üniversitesi, Ders notu [http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/17.\\_ahsap.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/17._ahsap.pdf)

- Ghalehno, D. M., Nazerian, M., 2011. Changes in the physical and mechanical properties of Iranian Hornbeam wood (*Carpinus betulus*) with heat treatment. *European Journal of Scientific Research*, 51 (4), 490-498.
- Güller, B., Korkut, S., 2006. Isıl işlem görmüş ahşap (ThermoWood). *Woodwork Mobilya, Mobilya Yan Sanayi, Mimarlık, Dekorasyon ve Araştırma Dergisi*, 38-48.
- Gündüz, G., Aydemir, D., Karakaş, G., 2009. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials & Design*, 30 (10), 4391-4395.
- Gündüz, G., Korkut, S., Aydemir, D., Bekar, İ., 2009. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Carpinus betulus*) wood. *Maderas. Ciencia y tecnología* 11(1), 61-70.
- Hering, S., Keunecke, D., Niemz, P., 2012. Moisture-Dependent Orthotropic Elasticity of Beech Wood. *Wood Sci. Technol.*,46:927-938.
- İşleyen, O., 2012. Isıl İşlem Görmüş Ağaç Malzemenin Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, SDÜ Yüksek Lisans Tezi.
- Karakaş, G., 2008. Ahlat (*Pyrus Elaeagnifolia* Pall.) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerinde Isıl İşlemin Etkisi. Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Bartın.
- Korkut, S., 2009. Gürgeç Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıtma sıcaklık ve süresinin etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (1), 121-130.
- Korkut, S., Akgül, M., Dünder, T., (2008). The Effects of Heat Treatment on some Technological Properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood, *Bioresource Technology*, 99(6), 1861-1868.
- Korkut, S., Hızıroğlu, S., 2009. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). *Materials and Design*, 30, 1853-1858.
- Kretschmann, D.E., 2010. Wood Handbook, Wood as ENgineering Material. General Technical Report FLP-GTR-190. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM), 2014. Türkiye Orman Varlığı, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayın No: 115, Envanter Serisi No:17, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM), Orman Su İşleri Bakanlığı 2013, Orman Atlası, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Orman%20Atlasi.pdf>

- 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., Niemz, P., 2013. Moisture-Dependent Orthotropic Tension Compression Asymmetry of Wood. *Holzforschung* 67(4), 395-404.
- Örs, Y., Keskin, H., 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi, Kosgeb Yayınları, 183s, Ankara.
- TS 2470, 1976. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için numune alma metodları ve genel özellikler, T.S.E, Ankara.
- TS 2471, 1976. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini, T.S.E, Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, T.S.E, Ankara.
- TS 2595, 1977. Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, T.S.E, Ankara.
- Ünsal, O., Ayrılmış, N., 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish River Red Gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. *Journal of Wood Science*, 51, 405-409.
- Yıldız, S., 2002. Isıl işlem uygulanan Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. K.T.Ü., Doktora Tezi, 245s, Trabzon.
- Yıldız, S., Can, A., 2012. Isıl işlem uygulanmış Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak odunlarının korozyon özellikleri, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş, KSÜ Mühendislik Bil. Der. Özel Sayı 2012.
- Yıldız, S., Gezer, E.D., Yıldız, U.C., 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41 (12), 1762-1766.
- Yılmaz Aydın, T., 2017. Türkiye’de Yetişen Önemli Ağaç Türlerinin Ortotropik Mekanik Davranış Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 275 sayfa, Isparta



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seda DEMİRATLI

Doğum Yeri ve Yılı : Altındağ, 1989

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sedademiratli@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Ankara İncirli Lisesi, 2006

Lisans : SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği

### Mesleki Deneyim

SİNPAŞ Altınoran Şantiyesi, Ankara. İş Güvenliği Uzmanı (C Sınıfı), 2014 Haziran-2015 Ekim