

T.C.  
BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU ÇINARI (*Platanus orientalis* L.) AĞACININ ANİZOTROPİK YÖNLERDE  
TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN  
GÖKSU ŞİRİN

2008

DANIŞMAN

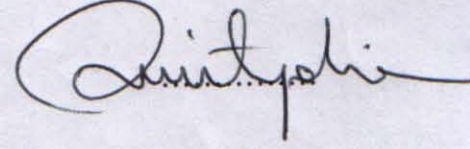
Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

BARTIN-2015

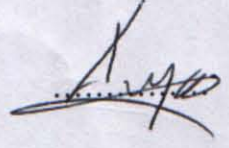
## KABUL VE ONAY

Göksu ŞİRİN tarafından hazırlanan “DOĞU ÇINARI (*Platanus orientalis* L.) AĞACININ ANİZOTROPİK YÖNLERDE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı bu çalışma, 27.11.2015 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

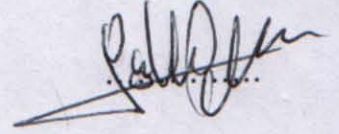
Başkan : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR (Danışman)



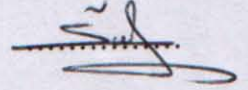
Üye : Doç. Dr. Bülent KAYGIN



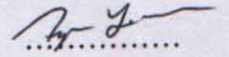
Üye : Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ



Üye : Doç. Dr. Süleyman KORKUT



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR



Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Deniz AYDEMİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “DOĞU ÇINARI (*Platanus orientalis* L.) AĞACININ ANİZOTROPİK YÖNLERDE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

Göksu ŞİRİN

## ÖNSÖZ

“Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Ağacının Anizotropik Yönlerde Teknolojik Özellikleri” isimli bu çalışma, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ ve Doç. Dr. Deniz AYDEMİR’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimin daha iyi bir şekle ulaşmasına katkı sağlayan ve tavsiyelerinden faydalandığım Sayın Doç. Dr. Süleyman KORKUT’a, Sayın Doç. Dr. Bülent KAYGIN’a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR’e teşekkür ederim. Karabük Üniversitesi’nde laboratuvar çalışmalarım boyunca yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Nuri YILDIRIM’a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmanın örnek hazırlama kısmında alt yapısından faydalandığım Sancaklı Mobilya A.Ş ve Mesut SANCAKLI, Kemal YEŞİLYAPRAK ve diğer firma operatörlerine yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Çalışmalar esnasındaki yardımlarından dolayı Yüksek Lisans Öğrencisi Nejla AŞIK’a ve diğer Yüksek Lisans Öğrencileri’ne teşekkür ederim. Her zaman maddi ve manevi desteklerini gördüğüm aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı ülkemizin bölünmez bütünlüğünü koruyan gazi ve şehitlerimize ithaf ediyorum.

Bu tez, Bartın Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından BAP-2013.1.91 proje numarası ile desteklenmiştir.

Göksu ŞİRİN

## ÖZET

### Doktora Tezi

## DOĞU ÇINARI (*Platanus orientalis* L.) AĞACININ ANİZOTROPİK YÖNLERDE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Göksu ŞİRİN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

Bartın-2015, sayfa: XIII + 81

Ahşap, anizotropik ve karmaşık yapılu bir materyaldir. Karmaşık yapılu malzemelerin özelliklerinin incelenmesi oldukça zordur. Bu tip incelemelerde kullanılmak amaçlı çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir. Deneylerin mümkün olan en doğru sonuçları vermesi için materyal hakkında parametrelerin ve temel bilgilerinin en doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmalıdır. Bu çalışmada *Platanus orientalis* L. ağacından elde edilen numuneler laboratuvar ortamında test edilmiştir. Numuneler, ağacın anizotropik yönlerdeki davranışlarını belirleme amaçlı olarak radyal, teğet ve boyuna olmak üzere üç yönde hazırlanmıştır. Aynı koşullar altında ve aynı ölçülerde sonlu elemanlar analiziyle (ANSYS) ile bilgisayar ortamında boyuna yönlü çekme direnci ve basınç direnci numuneleri modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hem laboratuvar sonuçları hemde simülasyon sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

### Anahtar Kelimeler

Doğu çınarı, *Platanus orientalis* L., Sonlu elemanlar analizi, Mekanik özellikler, Teknolojik özellikler.

### Bilim Kodu

502.15.01

## **ABSTRACT**

**Ph.D Thesis**

### **TECHNOLOGICAL PROPERTIES IN THE ANISOTROPIC DIRECTIONS OF ORIENTAL PLANE (*Platanus orientalis* L.) TREE**

**Göksu ŞİRİN**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Forest Industrial Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Deniz AYDEMİR**

**Bartın-2015, pp: XIII + 81**

Wood is an anisotropic and complex material. Analysis of the properties of complex materials is quite difficult. Various computer programs were developed for use in such investigations. The parameters and basic information about material should be correctly transferred to the computer to obtain the possible accurate results. In this study, samples obtained from Oriental Plane tree were tested in laboratory conditions. Samples were prepared as radial, tangential and longitudinal direction to determine the behaviors in the anisotropic direction of wood. Tensile strength and compressive strength specimens at the longitudinal direction were simulated with the finite element analysis program (ANSYS) with computer in same conditions and dimensions. According to the results obtained, it was determined that both laboratory results and simulation results are determined to be similar with each one.

#### **Key Words**

Oriental Plane, *Platanus orientalis* L., Finite Element Analysis, Mechanical Properties, Technological Properties.

#### **Science Code**

502.15.01

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY .....	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER .....	1
1.1 Giriş .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	4
1.3 Odun Materyalinin Yapısı .....	5
1.3.1 Ağacın Fiziksel Özellikleri .....	7
1.3.2 Ağacın Kimyasal Yapısı .....	9
1.3.2.1 Hücre Çeperinin Kimyasal Yapısı.....	9
1.3.2.2 Hücre Çeper Tabakaları.....	10
1.3.3 Sert Odunlu Ağaçların Anatomisi.....	12
1.3.3.1 Eksenel ve Radyal Sistem .....	13
1.3.3.2 Öz ışınları .....	15
1.3.3.3 Paranşimler .....	15
1.3.3.4 Trahe Hücreleri.....	16
1.3.3.5 Traheid Hücreleri .....	17
1.3.3.6 Lif Hücresi.....	18
1.3.4 Mekanik Özellikler .....	18
1.3.4.1 Mekanik Özelliklere Etki Eden Faktörler .....	18
1.3.4.2 Gerilmeler.....	20
1.3.4.3 Deformasyon (Şekil değiştirme) .....	20
1.3.4.4 Elastikiyet Modülü .....	21
1.4 Çınar ( <i>Platanus</i> spp.) Ağacının Özellikleri .....	23

	<b><u>Sayfa</u></b>
1.4.1 Doğu Çınarı ( <i>Platanus orientalis</i> L.) Ağacının Özellikleri .....	27
1.4.1.1 Coğrafik Yayılışı .....	28
1.4.1.2 Botanik ve Dendrolojik Karakter .....	28
1.4.1.3 Ekoloji .....	32
1.4.1.4 Çoğalma.....	33
1.4.1.5 Kullanım Alanları.....	33
1.4.1.6 Ağaç Türünün Fiziksel Özellikleri .....	34
1.4.1.7 Ağacın Anatomik Özellikleri .....	34
1.4.1.8 Ağacın Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.....	35
1.5 Sonlu Elemanlar Analizi.....	36
1.5.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Modelleme ve Çözüm Basamakları.....	38
<b>BÖLÜM 2 MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>43</b>
2.1 Kullanılan Materyal ve Hazırlanması .....	43
2.2 Metot.....	48
2.2.1 Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü.....	48
2.2.2 Basınç Direnci.....	50
2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) .....	51
2.2.4 Sonlu Elemanlar Analizi .....	51
2.2.4.1 LS-DYNA .....	53
2.2.5 İstatistik Analiz .....	54
<b>BÖLÜM 3 BULGULAR.....</b>	<b>55</b>
3.1 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular .....	55
3.1.1 Dog-bone Şekilli Numunelere Ait Bulgular .....	56
3.1.2 Liflere Paralel Çekme Direnci Numunelerine Ait Bulgular .....	58
3.1.3 Basınç Direnci Numunelerine Ait Bulgular.....	60
3.1.4 Çekme ve Basınçta Elastikiyet Modülü Sonuçları.....	63
3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları .....	65
3.3 Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları.....	67



	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	81

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Bir ağaç gövdesinin enine kesiti .....	6
2. Ağaç hücrelerinde selüloz, hemiselüloz ve lignin maddeleri .....	9
3. Hücre duvarı şemasında orta lamel, ana hücre duvarı tabakaları ve mikrofibrillerin yönelişinin görünümü.....	11
4. Ağaç gövdesinde aksenel ve radyal sistem .....	13
5. Bir yıllık halka içerisinde ilkbahar odunu ve yaz odununun görünümü .....	14
6. Sert odunlu ağaçlarda hücrelerin görünümü .....	15
7. Ağaç malzemenin yapı eksenleri .....	19
8. Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon.....	21
9. Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi .....	22
10. Bir çınar ağacı formunun görünüşü .....	24
11. <i>Platanus wrightii</i> ağacının yaprak ve meyvelerinin görünüşü.....	25
12. <i>Platanus x acerifolia</i> yaprak, meyve ve kabuğunun görünüşü .....	26
13. <i>Platanus orientalis</i> L.'in yaprak, meyvesinin görünüşü, ağacının formu ve kabuğunun şekli.....	28
14. <i>Platanus orientalis</i> L.'in yaprak ve meyvesinin görünüşü, ağacın formu şekilleri	30
15. <i>Platanus orentalis</i> L. ağacının kabuğunun genç ve yaşlı halde görünüşü .....	30
16. <i>Platanus orientalis</i> L. 'nin meyve ve tohumlarının görünüşü .....	31
17. <i>Platanus orientalis</i> L. ağacında enine, radyal ve teğet kesit görünüşü.....	35
18. Bir dairenin sonlu elemanlar metodu ile analizi .....	37
19. Sonlu Elemanlar Analizindeki Elementler.....	40
20. Bir sonlu elemanlar analizi aşamaları .....	42
21. Çalışmada kullanılan Çınar ağacının temin edildiği bölgeye ait bilgiler.....	43
22. Çınar tomruklarının arabalı testerede kesilerek plakaların hazırlanması.....	44
23. Radyal, teğet ve boyuna yöndeki çekme (dog-bone) ve basınç numunelerinin hazırlanması .....	45
24. Numunelerin hazırlanması sırasında oluşan talaşların görünümü .....	46
25. Boyuna yönde çekme numunelerinin hazırlanması .....	46
26. Numunelerin aksenli CNC ile işlenerek hazırlanması .....	47

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
27. Numunelerin 5 eksenli CNC ile işlenerek oluşturulmuş son hali .....	48
28. Numune ölçüleri (a) Basınç direnci numuneleri b) DB şekilli numuneler c) Liflere paralel çekme direnci numunesi (Tüm ölçüler mm cinsindedir) .....	49
29. Çekme testinin DB şekilli örneklerde gerçekleştirilmesi.....	49
30. Basınç testinde çınardaki bozulmalar .....	50
31. Teğet ve radyal kesitlerde öz ışınlarının görünüşü .....	55
32. Boyuna yöndeki kesimlerde oluşan talaş görüntüsü ve teğet ve radyal yöndeki kesimlerde oluşan talaş içinde kopmuş öz ışınlarının görünüşü .....	56
33. Dog-bone şekilli numuneler için deneylerin yapılışı .....	56
34. Teğet ve radyal yönlü numunelerde kopma biçimi.....	57
35. Teğet ve radyal yönlü numunelerde kopma biçimi.....	57
36. Liflere paralel yönlü çekme numunesinin görünüşü ve kopma biçimi .....	59
37. Çekme Direnç değerleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiler.....	60
38. Basınç direnci numuneleri için deneylerin yapılışı.....	61
39. Boyuna yönlü numunelerin deney sonucunda görünüşü .....	61
40. Basınç direnç değerleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiler .....	63
41. Çekme direnci örneklerindeki kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.....	65
42. Çekme direnci örneklerindeki kopma noktalarındaki SEM görüntüleri .....	66
43. Basınç direncinde örneklerde meydana gelen kayma, çatlama ve kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.....	66
44. Basınç direncinde örneklerde meydana gelen kayma, çatlama ve kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.....	67
45. Liflere paralel çekme direnci numuneleri gerilme ve deformasyon sonuçları.....	68
46. Boyuna yönlü basınç direnci numuneleri gerilme ve deformasyon sonuçları.....	69

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Bazı yapraklı ağaçlarda hava kurusu yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ ) ve öz odunu rengi özellikleri .....	8
2. Bazı yapraklı ağaç türlerinde trahe özellikleri .....	17
3. Bazı bölgelerde ortalama yıllık yağış miktarı .....	32
4. Farklı kaynaklara göre <i>Platanus orientalis</i> L. ağacının fiziksel özellikleri .....	34
5. <i>Platanus orientalis</i> L. ağacının bazı mekanik özellikleri.....	35
6. <i>Platanus orientalis</i> L. ağacının kimyasal özellikleri.....	36
7. Dog-bone şekilli numuneler için ölçülen $F_{\text{max}}$ değerleri.....	58
8. Dog-bone şekilli numuneler için ölçülen $\text{ÇD}$ değerleri .....	58
9. Teğet, radyal yönlü dog-bone şekilli numuneler için LSD testi sonuçları.....	58
10. Liflere paralel yönlü çekme numuneleri $\text{ÇD}$ değerleri .....	58
11. Basınç numuneleri için ölçülen $F_{\text{max}}$ değerleri .....	62
12. Basınç numuneleri için ölçülen $\text{BD}$ değerleri .....	62
13. Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç numuneleri için LSD testi sonuçları.....	62
14. Teğet ve radyal yönlü dog-bone ve liflere paralel çekme testi numuneleri için elastikiyet modülü sonuçları .....	64
15. Teğet, radyal ve boyuna yönlü dog-bone ve liflere paralel çekme numuneleri için elastikiyet modülünün LSD sonuçları.....	64
16. Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç direnci numuneleri için elastikiyet modülü sonuçları.....	64
17. Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç direnci numuneleri için elastikiyet modülünün LSD sonuçları .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $\sigma$  : gerilme  
 $\epsilon$  : deformasyon  
A : alan  
P : kuvvet/yük  
E : elastikiyet modülü  
F : kuvvet  
N : numune sayısı  
 $\bar{X}$  : ortalama  
S ( $\pm$ ): standart sapma

### KISALTMALAR

- DB : dog-bone  
ÇD : çekme direnci  
BD : basınç direnci  
SEM : taramalı elektron mikroskobu  
MAX : maksimum  
MIN : minimum

# BÖLÜM 1

## GENEL BİLGİLER

### 1.1 Giriş

Ağaç malzeme insan hayatında eski çağlardan beri birçok farklı amaçlar için kullanılan, doğa tarafından üretilen benzersiz bir yenilenebilir kaynaktır. Eski dönemlerden beri gelişen teknolojiyle birlikte yakacak amaçlı kullanımının yanında çeşitli malzemelerin ve eşyaların yapımı, yapı sektörü, mobilya, dekorasyon, kâğıt, geri dönüşüm, enerji üretimi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Keunecke, 2008). Gün geçtikçe ilerleyen ve değişen hayat şartları içinde ahşabın kullanımı da farklılıklar göstermiştir. Dolayısıyla ahşap malzeme eski çağlardan beri önemini kaybetmemiştir (Özçelik, 1965; Uluata, 1987). İlerleyen teknoloji hem malzemelerin kullanım alanlarını etkilemekte hem de yeni kullanım alanları ile ilgili fikirler geliştirilmesini sağlamaktadır. Odunun olumsuz özelliklerinin en aza indirgenmesi ve olumlu özelliklerinin daha ileri derecelere yükseltilmesi amacıyla yönelik olarak birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda “Odunun Modifikasyonu Yöntemleri” denilmektedir (Korkut vd., 2008). Ahşap malzeme artık yalnızca yakacak ve çeşitli eşyaların yapımında tek başına kullanılmamakta başka materyallerle birleştirilerek değişik formlarda değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Son derece değerli ve yenilenebilir bu doğal hammadde farklı kullanım yerleri için denenmektedir. Ağırlığına oranla son derece yüksek dayanıklılık ve sertliğe sahip oluşu, özellikle inşaat ve mühendislik amaçlı kullanımlarda ahşabı son derece etkili ve değerli bir malzeme yapmaktadır. Ahşap malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesi için öncelikle malzemenin mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, bu malzemenin dış etkenlere karşı koyma uygunluğunun bir ölçüsüdür. Dış etkenlerden, ağaç malzemenin şeklini değiştirmeye zorlayan kuvvetler anlaşılmalıdır. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, kullanıldığı yerlerde yapılan deneylerle saptanabildiği gibi, genellikle laboratuvar deneyleriyle de saptanmaktadır. Ağaç malzemenin en önemli mekanik özellikleri basınç gerilmesi, çekme gerilmesi, eğilme gerilmesi, makaslama gerilmesi, dinamik eğilme (şok) gerilmesi ve yarıma gerilmeleri ile elastikiyet modülü ve sertliktir (Bozkurt, 1966).

Ahşap ve onun dış etkilere karşı gösterdiği mekanik tepkiler arasındaki ilişkileri araştırmak birçok açıdan yararlıdır. Örneğin güvenlik nedeniyle (kusurlu odun kullanımının zorunlu olduğu durumlar vb.) ya da biyomimetik-biyomekanik adı verilen doğal yapıları taklit eden yeni teknik malzemeler geliştirilmesi çalışmaları, ahşap malzemeyle ilgili yeterli bilgiye sahip olma avantajını sağlayacaktır. Aynı zamanda bu bir gereklilik arz etmektedir. Bununla birlikte odun-mekanik araştırmaları uzunca bir geçmişe sahip olmasına rağmen hala birçok temel ilişki bilinmemektedir (Keunecke, 2008).

Günümüzde materyallerle ilgili çalışmalarda hem malzeme zayıflığını engellemek ya da azaltmak hem de zaman tasarrufu sağlayarak uzun sürelerde gerçekleştirilecek deneylerin bilgisayar ortamında yani sayısal yöntemlerle, sanal ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmalar aynı zamanda malzemelerin oldukları formlardan çok farklı formlarda denenmeleri ya da biyomekanik çalışmalara da imkân vermektedir. Bunun yanında ekstrem, gerçekte var olması çok zor ya da nadir koşullar altında da malzemeler üzerinde deneyler yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçların sebepleri de yine bu deneyler ile belirlenebilmektedir. Deneylerin mümkün olan en doğru sonuçları vermesi için deneyi yapılacak materyal hakkında parametrelerin ve malzeme bilgisinin en doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmalıdır. Son yıllarda gelişmekte olan doğayı taklit yani biyomekanik alanında ahşapla ilgili çalışmalar olmakla birlikte ahşabın kompozit yapılar içinde kullanımı dışında doğrudan kendisiyle ilgili çalışmalar çok fazla değildir. Bu son derece kıymetli, yenilenebilir ve kullanım alanı son derece geniş insan dostu malzeme, var olan kullanım alanları ya da yeni alanlarda çok daha az zayıfla ya da zayıfsız olarak incelenmeyi hak etmektedir. Sayısal yöntemler, matematik problemlerinin, aritmetik işlemlerle çözülebilmelerini sağlayacak şekilde formüle edildiği tekniklerdir. Çeşitli sayısal yöntemler olmasına karşın, hepsinin ortak bir özelliği değişmez bir şekilde çok sayıda zahmetli aritmetik işlem içermeleridir. Hızlı ve verimli sayısal bilgisayarların gelişmesiyle son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde sayısal yöntemlerin önemli bir rol aldığı görülmektedir. Sayısal yöntemler, mühendislik uygulamalarında hiç de nadir olmayan ve analitik yollardan çözülmesi çoğu zaman olanaksız olan büyük sayıda denklem sistemlerini, doğrusallıktan sapmaları ve karmaşık geometrileri çözmeyi başarabilen yöntemlerdir (Arslantürk ve Kara, 2012). Şu anda var olan bu tarz simülasyonla deneme programları ile ahşabın daha çok mobilya halindeki kullanımına dair çalışmalar yapılmıştır. Doğada var olan maddeler izotropik, ortotropik ve anizotropik özellik göstermektedir.

- İzotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi düşünüldüğünde her bir yönde eşit özellik göstermesidir (Yörür, 2012). Yani cismin içinde hangi yöne gidilirse gidilsin elastik özellik aynıdır. Doğada böyle bir cisim bulmak olanaksızdır. Çelik gibi maddeler de dâhil olmak üzere bu tarz bir homojenlik görülmemektedir (Curun, 1981).
- Ortotropik Malzeme: Malzemenin herhangi bir noktasında, karşılıklı üç farklı yönde farklı özellikler göstermesidir (Yörür, 2012).
- Anizotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi düşünüldüğünde her bir yönde farklı özellik göstermesidir (Yörür, 2012).

Ahşap, anizotropik yapılu bir materyaldir ve özellikleri yönlerine bağlı olarak değişmektedir. Ahşap, en yaygın kabulde ortotropik özelliğe sahip bir materyaldir (Ozyhar, 2013). Ortotropik özellik gösteren ahşap materyalde üç anatomik yön tanımlanır. Yönler; boyuna (lif yönüne paralel), radyal (özden kabuğa doğru uzanan) ve teğet (yıllık halkalara paralel uzanan) yön olarak ayrılır. Ortotropik karakter ahşabın mekanik özellikler dahil neredeyse tüm özelliklerini etkiler. Bu da ahşabın elastik ve mukavemet özelliklerinin yönlerine bağlı olduğunu göstermektedir (Ozyhar, 2013). Elastiklik modülü değeri, liflere paralel yönde en yüksek, radyal yönde daha küçük, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür (Yörür, 2012). Örneğin, ahşabın lif doğrultusundaki basılma dayanımı, buna dik doğrultudakinin yedi katıdır. Çekme halinde bu kat daha fazla olup 20-30 değerlerine ulaşabilir (Curun, 1981).

Yönlerine göre farklılık gösteren ahşap materyalin ancak her üç boyutta da incelemesi yapılarak bütünsel ve doğru bir şekilde anlaşılması sağlanabilir. Bu nedenle deneyler her üç yön için yapılmaktadır. Bu tezde *Platanus orientalis* L. ağacı için laboratuvar ortamında yapılan mekanik deneylerden sonra ağaç sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizi adı verilen yöntemle bilgisayar ortamında çeşitli materyaller simüle edilerek çeşitli ortamlarda ve çeşitli koşullar altında sanal deneylerle test edilebilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde malzeme çok küçük boyutlara ayrılarak bu boyut düzeylerinde dahi ne tür değişiklikler olabileceği izlenebilmektedir. Yani sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir (Gürer vd., 2008). Bu amaçla bilgisayar ortamında hazırlanan ya da bu ortama aktarılan üç boyutlu modeller kullanılmaktadır. Var olan herhangi bir nesne sonsuz noktalardan meydana



gelmektedir ancak bu metotta analizlerin yapılabilmesi için model sonlu sayıda noktaya ayrılır. Bu şekilde materyalin ya da tasarımın sonlu elemanlar modeli hazırlanarak bu model üzerinde çalışmalar yapılır. Elde edilecek olan sonuçların doğruluğu, bilgilerin ne kadar doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarıldığı ile orantılıdır. Sonlu elemanlar metodu, bilgisayar, makine ya da yapı elemanlarının dizayn ya da optimizasyonunun yanında çeşitli fiziksel olayların modellenmesi ve teknolojik olarak faydalı hale getirilmesinde kullanılan en etkin hesaplama tekniklerinden biridir (Gürer vd., 2008). Sonlu elemanlar analizi günümüzde mühendislik dallarının birçoğunda kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem, herhangi malzemenin üretilmesinden önce ne gibi durumlarla karşılaşılacağına dair bir ön bilgi sahibi olmak, kullanım yerinde karşılaşılacak malzeme davranışlarını izlemek, yeni malzemeler geliştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan *Platanus orientalis* L. ağacı, *Platanaceae* familyası, *Platanus* L. cinsi içerisinde yer alan, 5 m'ye kadar çap, 25-30 m boy yapabilen, oldukça uzun ömürlü bir ağaçtır. Kalın dallar ve geniş bir tepe kısmı oluşturabilir. Geniş bir kök sistemi oluşturmaktadır. Doğal yayılış alanları Güney Avrupa ve Güneybatı Asya'dır. Özellikle Türkiye ve İran'da bulunmaktadır. 1500 m rakıma kadar görülebilen bu ağaç nemli bölgeleri ve su kenarlarını sevmektedir. Ağacın odunu ağırdır, ancak işlenmesi zor olduğundan çok geniş bir kullanım alanı yoktur. Özellikle park ve bahçelerde ve yol kenarlarında havayı temizleme özelliği sebebiyle kullanılmaktadır. Odununda teğet ve radyal kesitlerde bol miktarda öz ışını içerdiği rahatlıkla görülmektedir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada *Platanus orientalis* L. ağacının gövde odunu çeşitli mekanik deneylerle incelenmiştir. Çalışmadaki amaç, ahşap parçaların, çekme ve basınç direnci deneyleri ile teğet, radyal ve boyuna yönlerde özelliklerinin incelenmesi, bilgisayar ortamında deneylerin aynı şekilde hesaplamalı modeller üzerinde tekrarlanmasıdır. Böylece gerçek koşullar ve modellemeler arasındaki bağlantı görülmek istenmiştir. Tezin amacına ulaşılması için sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmiştir:

1. *Platanus orientalis* L. ağacı gövdesinden üç farklı yönde (radyal, teğet, boyuna yönler) parçalar alınarak her yön için laboratuvar ortamında mekanik deneyler

yapılmıştır. Bu aşamada ağacın farklı yönlerdeki davranışlarının görülmesi ve kırılma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

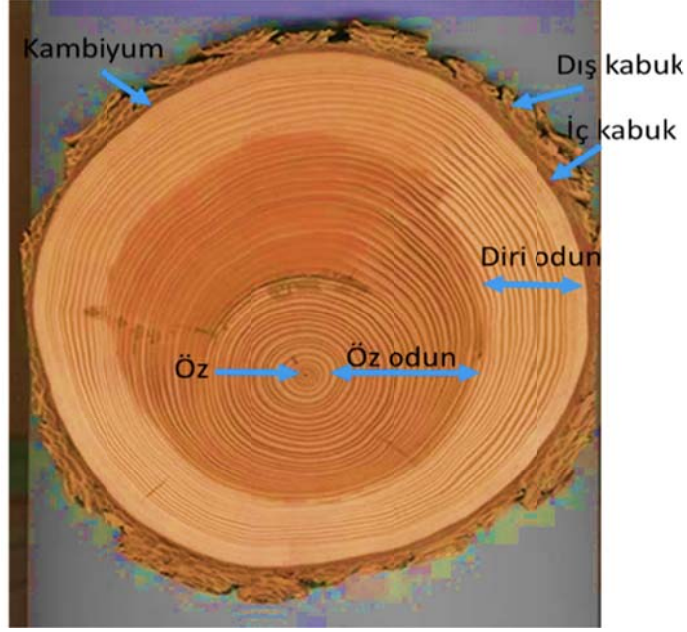
2. Deneylemlerden liflere paralel yönlü çekme direnci ve basınç direnci testleri sonlu elemanlar analizi yöntemiyle tekrarlanmış ve modeller üzerinde aynı yükleme koşullarında sonuçlar izlenmiştir. Bu aşamada doğal bir yapının bilgisayar ortamında taklit edilmesiyle gerçek koşullar altındaki durumuna ne derece yakın sonuçlar alınabileceğinin görülmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında elastikiyet modülü, çekme ve basınç dayanımları üç anatomik yönde (radyal, teğet, enine yön) incelenerek belirlenmiştir.

Ağacın yapısının ve deformatsyonda oluşan kopmalar ve ezilmeler sonucu lif hücreleri ve diğer yapılardaki durumunun ayrıntılı olarak görülmesi için elektron mikroskobu kullanılmıştır.

### **1.3 Odun Materyalinin Yapısı**

Yaşayan bir ağaç, sürgün ve köklere sahiptir. Kökler su ve mineral maddelerin alımından sorumludur (Raven vd., 1999). Sürgünler gövdeden çıkarak dalları oluşturur. Gövde çeşitli katmanlardan meydana gelmektedir. Gövdenin dışından içeri doğru sırayla dış kabuk, iç kabuk, kambiyum, diri odun, öz odun ve öz bulunmaktadır (Larson, 1994). Ağaç, 1m üzerindeki boyutlarda kereste olarak, 0,1-1 m arasında makro ölçekte, yıllık halkalar seviyesinde mezo ölçekte, hücre seviyesinde mikro ölçekte ve hücre duvarı ile moleküler yapı seviyesinde nano ölçekte ayrılabilir (Ozyhar, 2013). Ahşabın karmaşık yapısının mekanik davranışları üzerinde etkisi vardır.

Kabuk, kökleri, gövdeyi ve dalları dışarıdan sararak, odun tabakasını sıcaklık, kuraklık ve yaralanmalar gibi dış etkilere karşı korur. Kabuğun makroskopik görünüşü, ağaç türlerine ve yaşına göre farklılık göstermektedir. Zamanla ağacın çapı arttıkça hücre kompozisyonunda da değişiklikler olmakta ve yaşlı ağaçlarda kabuk iki bölüm halinde görülmektedir. 1. Koyu renkli, kuru ve mantarlaşmış dış kabuk 2. Daha açık renkli, yaşayan hücrelerden oluşan ve nadiren 1 cm'den kalın olan iç kabuk (Bozkurt ve Erdin, 2000).



Şekil 1: Bir ağaç gövdesinin enine kesiti (URL-1, 2015).

Dış kabuk yumuşak iç kabuğa mekanik koruma sağlar ve buharlaşmayla su kaybını sınırlamaya yardımcı olur (Larson, 1994). Kabuk ve odun arasında kambiyum dokusu bulunmaktadır. Kambiyum her yıl dışarı doğru kabuk (floem) ve içeri doğru odun (ksilem) dokularını oluşturur.

Hem yumuşak hem de sert odunlu ağaçlarda odun iki bölüme ayrılır. Bu bölümlerin her biri diğerinden farklı önemli görevleri yerine getirir. Aktif olarak iletimi sağlayan canlı bölüm diri odun olarak adlandırılır. Kabuğun altında açık renkli olarak görülmekte ve sarımsı beyaz ve pembe tonlarda olmaktadır. Diri odun köklerden yapraklara su ya da özsu geçişini sağlamaktadır. Canlı bir ağaçta diri odun sadece su iletiminden değil aynı zamanda depolama ve biyokimyasalların sentezinden de sorumludur. Birincil depolama formları nişasta ve lipidlerdir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Öz odun, diri odunun iç tarafında yer alır (Larson, 1994). Öz odunda hücreler ölü ve fizyolojik olarak inaktiftir. Genel olarak odunun bu bölümünde nem içeriği daha düşüktür. Öz odun, ağaçta destek görevi yapan kısımdır ve genç ağaçlarda görülmemekle birlikte ağaç türlerine göre farklı yaşlarda oluşmaya başlar (Bozkurt ve Erdin, 2000). Öz, öz odunun merkezinde yer almaktadır ve ağacın birincil büyüme zamanında oluşmaktadır (Keunecke, 2008). Öz, ağaç türlerine göre değişen şekil ve büyüklüğe sahip mantarimsi bir dokudur.

### 1.3.1 Ağacın Fiziksel Özellikleri

Renk, ağaç türlerini tanımlamada kullanılan önemli bir fiziksel özelliktir. Ağaçta çoğunlukla öz odun ve diri odun arasında bir renk farklılığı görülmektedir (Winandy ve Rowell, 2005). Öz odun ekstraktifler olarak bilinen çeşitli kimyasallar içermesi nedeniyle genellikle diri oduna göre daha koyu renkli olabilmektedir (Keunecke, 2008). Beyazdan siyaha kadar değişen çeşitli renklerde görülebilir. Diri odun yine ağaç türlerine göre farklı renklerde görülebilmektedir. Ayrıca eğer ağaç kesilmişse, kesimden kısa bir süre sonra, hava teması ile oksidasyon ve güneş ışınları (UV) etkisi sonucunda odunun rengi koyulaşmaktadır. Kimyasal maddeler dışında mantar atakları da odunda renk değişikliğine neden olabilmektedir. Odunda ışığı yansıtma özelliği parlaklık olarak ifade edilir ve ahşap malzemenin fiziksel özellikleri arasında yer alır. Parlaklık yüzeye gelen ışığın açısı ve yüzeydeki hücre tiplerine bağlı olarak değişir. Bir diğer fiziksel özellik olan koku, kokulu ekstrakt maddeler (eterik yağlar, reçine, tanenli maddeler ve kafuru) nedeniyle ağaç malzemedeki bulunmakta ve teşhiste yardımcı olmaktadır. Özellikle öz odun kısmı ekstraktifleri içerdiğinden kokulu olmakta ve tanımda bu kısmın incelenmesi gerekmektedir. Birçok ağaç odununun genellikle acımsı bir tadı vardır ve yeterli belirginliğe sahip olanları çok azdır. Odun dokusunda, hücre çeşitleri, hücre büyüklüklerinin değişikliği ya da yıllık halkalar içerisinde ilkbahar-yaz odununun belirgin olarak birbirinden ayrılıp ayrılmaması sonucu meydana gelen farklılıklara odunun tekstürü adı verilir. Yapraklı ağaçlarda trahelerin teğet yöndeki çapı, öz ışınlarının genişliği tekstür hakkında önemli ölçülerdir. Bunlarla birlikte lif yapısı denildiğinde ağaçta boyuna yönde uzanan hücrelerin eksene göre uzanış yönü anlaşılmaktadır. Liflerin uzun eksenleri birbirine ve gövde eksenine paralel seyrediyorsa böyle ağaçlara düzgün lifli ağaçlar denmektedir. Tektür önemli ayırt edici bir özellik olmakla birlikte ağaç malzemenin dekoratif amaçlı kullanımını da sağlamaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Yoğunluk ve özgül ağırlık, odunun en önemli fiziksel özelliklerinden biridir (Desch ve Dinwoodie, 1996). Yoğunluk, birim hacimdeki kütle veya ağırlıktır. Bu nedenle birimi  $g/cm^3$  veya  $kg/m^3$ 'dir. Bir odun örneğinin ağırlığının hacmine bölünmesi ile bulunmakta ve "d" ile ifade edilmektedir ( $d=w/v$   $g/cm^3$ ). Ağaç malzeme gibi higroskopik bir materyalin ağırlığı sabit bir değer olmayıp, içerisindeki su miktarına göre değişmektedir. Literatürde yoğunluk değeri verildiğinde ağaç malzemenin rutubet içeriği de verilmelidir. Su miktarının artması ile ağırlık artmaktadır. Bu nedenle ağaç malzeme ile yapılan

çalışmalarda sabit bir değer olması bakımından ağırlık ve hacmin tam kuru olduğu % 0 rutubette ya da hava kurusu kabul edildiği % 12 rutubette ölçümler yapılmaktadır. TS 2472 no'lu standarda göre 2x2x3 cm boyutundaki örneklerin belli bir rutubet derecesinde ağırlıkları ve hacimleri tespit edilerek tam kuru ( $d_0$ ) ya da hava kurusu ( $d_{12}$ ) yoğunlukları bulunabilir. Özgül ağırlık ise bir malzemenin yoğunluğunun, 4°C'deki suyun yoğunluğuna oranı olup, birimsiz kullanılmaktadır (Desch ve Dinwoodie, 1996). Odunun sertliği ve ağırlığı kullanım yerini belirleyen özelliklerdendir. Rutubetin etkisi olduğu gibi yoğunluk üzerinde etkili diğer faktörler, yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu oranı, ağaç yaşı, öz odun-diri odun miktarı, yabancı maddeler, gövde, dal veya kök odunu oluşu, gövdede bulunuş yeri, yetişme yeri şartları, toprak türü, genç odun ve reaksiyon odunu oluşumu olabilmektedir (Desch ve Dinwoodie, 1996). Sertlik, ağaç malzemenin hücre çeper maddesi miktarı ile ilgili bir özelliktir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Kalın duvarlı hücre miktarının artışıyla yoğunluk artışı doğru orantılıdır denilebilir (Desch ve Dinwoodie, 1996). Bir tür içerisindeyse yaz odunu miktarındaki artış sertliğin de artması anlamına gelmektedir. Sert odunlarda yoğunluk sadece lif duvarları kalınlığına değil aynı zamanda trahe ve paranzim hücrelerinin kapladığı boşluk miktarına da bağlıdır. Boşluk fazlaysa yani lümenler genişse yoğunluk düşüktür (Desch ve Dinwoodie, 1996). Ağaç malzemenin sertliği ve ağırlığı türler arasında oldukça farklı olabilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Bazı yapraklı ağaçlarda hava kurusu yoğunluk ( $g/cm^3$ ) ve öz odunu rengi özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

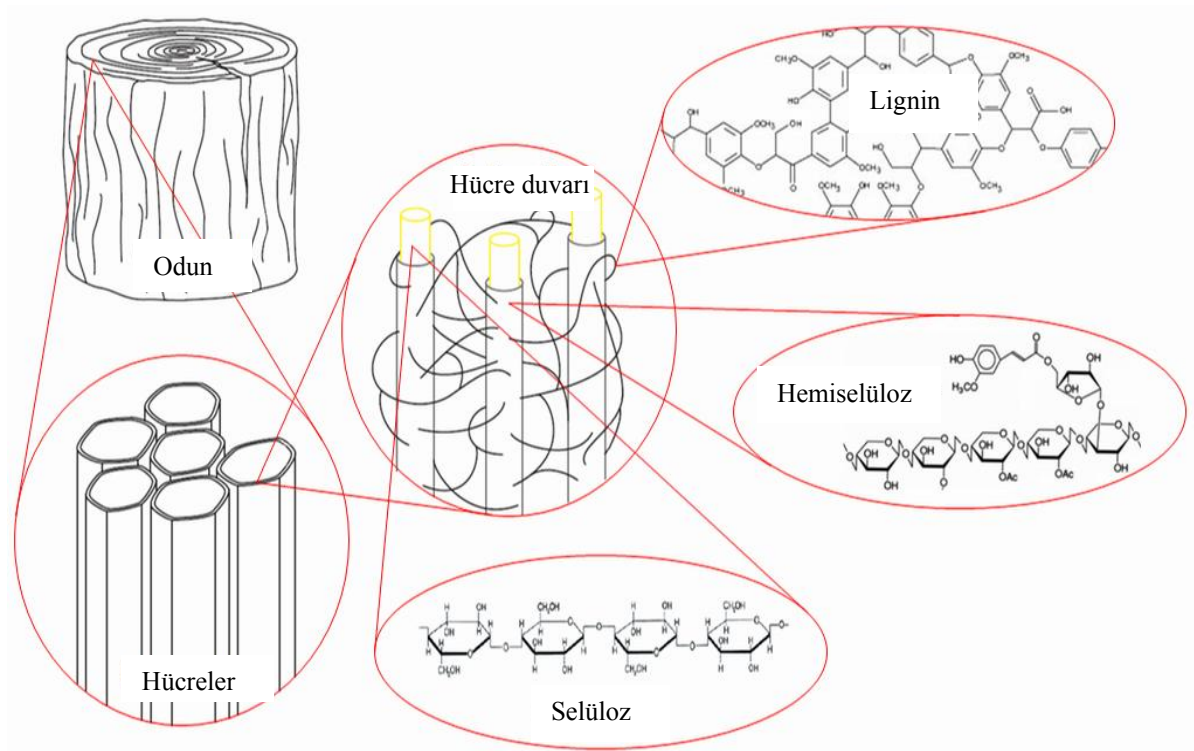
Ağaç Türü	Hava Kurusu Yoğunluk ( $g/cm^3$ )	Öz Odunu Koyu Renkli
<i>Acer platanoides</i>	0,66	
<i>Ailanthus altissima</i>	0,60	+
<i>Celtis australis</i>	0,80	+
<i>Gleditsia triacanthos</i>	0,72	+
<i>Juglans regia</i>	0,68	+
<i>Liquidambar orientalis</i>	0,56	+
<i>Morus alba</i>	0,65	+
<b><i>Platanus orientalis</i></b>	0,63	+
<i>Populus nigra</i>	0,45	+
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,70	+
<i>Salix alba</i>	0,56	+
<i>Tilia tomentosa</i>	0,51	

+: Özellik ağaçta var

## 1.3.2 Ağacın Kimyasal Yapısı

### 1.3.2.1 Hücre Çeperinin Kimyasal Yapısı

Temel hücre çeperi bileşikleri (Şekil 2) olan selüloz, hemiselüloz ve lignin, türlere ve hücre tipine göre farklı oranlarda bulunur (Keunecke, 2008). Selüloz, hücre çeper hacmi içinde en fazla miktarda bulunan ve odunun karakteristikleri üzerinde etkili olan en önemli bileşiktir. Hem iğne hem de yapraklı ağaçlarda odunun kuru ağırlığına göre  $42 \pm 2$  oranında selüloz bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bu oran hacmin yaklaşık %40-50'sine tekabül etmektedir. Selüloz, dallanmış bir polimer zinciridir (Keunecke, 2008).



Şekil 2: Ağaç hücrelerinde selüloz, hemiselüloz ve lignin maddeleri (URL-2, 2015).

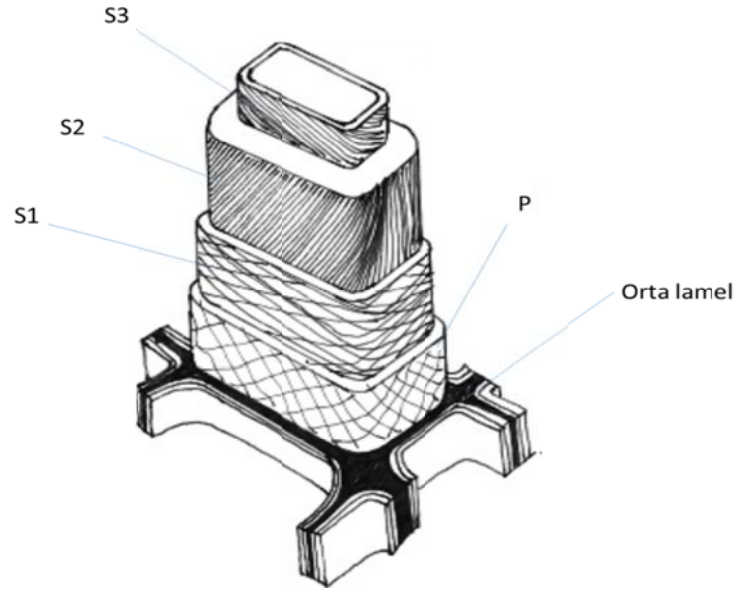
Hemiselüloz, selülozik olmayan bir polisakkarittir. Yapısı ve kapalı formülü bakımından selüloza benzemekle beraber (Bozkurt ve Erdin, 2000) kısmen dallanmış ve selülozdan daha düşük polimerizasyon derecesi olan zincirlerdir. Hacmin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır (Keunecke, 2008). Holoselülozlar çeperde %60-85 oranında bulunan polisakkaritlerdir. Uzun zincir yapısındaki bu polimerler, selüloz (%40-50) ve hemiselülozlerden (%20-35) meydana gelirler. Polisakkarit olmayan ligninin oranı %15-25 arasında değişmektedir. Ligninler üç boyutlu fenilpropan ünitelerinden oluşmuş yüksek

molekül ağırlıklı, kompleks organik polimerlerdir. Karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmalarına rağmen bir karbonhidrat ya da bu sınıfa giren bir bileşik değildir. Çeşitli formları bulunmakta ve tam yapısı kesin olarak bilinmemektedir. Hücreler arasında onları birbirine bağlayıcı etkisi vardır. Hücre çeperinde ise hücreye sertlik verme, basınç direncini artırma ve hidrofobik özellik kazandırmada etkindir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Hücre duvarının büyük ölçüde selüloz ve hemiselülozdan oluştuğu görülmektedir ve bu kimyasalların üzerindeki hidroksil grupları hücre duvarını higroskopik yaparlar. Ahşabın yapısı ısıyla değişiklik göstermektedir. 180°C ve daha yüksek sıcaklıklarda ahşapta lignin ve hemiselülozda kimyasal değişim meydana gelmekte ve ahşap daha az higroskopik özellik göstermektedir (Kaygın vd., 2009; Tjeerdsma vd. 1998b; Aydemir, 2007). Bu aynı zamanda ahşabı mantar zararları ve diğer biyolojik zararlardan daha az etkilenir hale getirir (Troya ve De Navarrete, 1994; Tjeerdsma vd., 1998a). Teorik olarak, hemiselülozlardaki hidroksil grupları ahşabın fiziksel özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Sıcaklığın artışıyla hücre duvarlarından su Emilimi azalır (Gündüz ve Aydemir, 2009). Hücreleri sağlam şekilde bir arada tutan lignin nispeten daha hidrofobik bir moleküldür. Bu demektir ki duvarların su alma kabiliyeti ligninin varlığı tarafından kısmen sınırlanmaktadır. Odundaki suyun odun özelliklerinde önemli bir etkisi vardır ve odun-su ilişkisi önemli oranda odun ürünlerinde ve odunun endüstride kullanımında etkilidir (Desch ve Dinwoodie, 1996). Pektin, karbonhidratlar ya da bunlarla yakından ilgisi olan bileşiklerden oluşan bir polisakarittir. Özellikle kambiyum tarafından üretilen hücrelerin çeperlerinde, odun dokusundaki hücrelerin orta lameli ve primer çeperleri ile kenarlı geçitlerin toruslarında bulunur. Tüm odun dokusu içindeki pektin miktarı %0,5'den daha az orandadır. Yapısı tam olarak bilinmemektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bunların dışında hücre duvarı değişken miktarda ekstraktifler olarak adlandırılan yabancı organik kimyasal maddeler ve az miktarda inorganik element içerir (Keunecke, 2008). Yerli ağaç türlerinde inorganik madde miktarı (kül miktarı) odunun kuru ağırlığına oranla %0,1- 0,5 arasındadır. Ekstraktif maddeler birçok ağaç türünde odun kuru ağırlığının %2-10'u kadardır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

### **1.3.2.2 Hücre Çeper Tabakaları**

Mikrofibrillerin sıralanışındaki farklılık nedeniyle bir hücrede çeper tabakaları dıştan içe doğru orta lamel, primer çeper ve sekonder çeper olarak tanımlanır. Her bir hücrede çeper

tabakası çok sayıda mikrofibrillerden oluşmaktadır. Şekil 3, hücre çeperinin yapısını göstermektedir.



Şekil 3: Hücre duvarı şemasında orta lamel, ana hücre duvarı tabakaları ve mikrofibrillerin yönelişinin görünümü (Hill, 2006).

1. Primer Çeper: Kambiyumda yeni oluşan bir hücrenin protoplazması, hücrenin yüzeysel büyümesine izin veren primer çeper tarafından çevrelenmiştir. İki bitişik hücrenin primer çeperleri arasında hücreleri birbirine bağlayan orta lamel bulunur (Bozkurt ve Erdin, 2000). Orta lamel hücreler arası bir maddedir. Selüloz fibrilleri içermez (Keunecke, 2008). Çoğunlukla lignin ve pektinden ibaret plastik bir maddeden oluşmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bitişik iki komşu hücre arasında bağlayıcı bir madde gibi hareket eder (Keunecke, 2008). İki hücrenin primer çeperi ve orta lameli ışık mikroskobunda birbirinden güç ayrıldığı için bileşik orta lamel adını almaktadır. Orta lamel hücrelerin köşelerinde 3-4  $\mu\text{m}$  genişliktedir (Bozkurt ve Erdin, 2000).
2. Sekonder çeper: Sekonder çeper primer çepere göre daha yoğun olup fazla miktarda selüloz içermektedir. Bir traheid veya lif hücresinde sekonder çeper üç tabakadan oluşur. S1 tabakası adı verilen en dış tabakada mikrofibriller yatık helezon şeklindedir. Bu tabaka rutubetle ilgili olan boyuna yöndeki değişimlerden sorumludur (Bozkurt ve Erdin, 2000). Kalınlığı 0,1-0,3  $\mu\text{m}$  arasındadır. Mikrofibril açısı  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$  arasındadır (Keunecke, 2008). S2 tabakası



mikrofibril bakımından daha yoğun ve hücre çeperinin en geniş kısmıdır. Kalınlık ilkbahar odununda 1-4 µm, yaz odununda 3-8 µm arasındadır. Mikrofibriller bu tabakada belirgin şekilde daha düşük açı yapmaktadırlar. Mikrofibril açısı 10<sup>0</sup>-30<sup>0</sup> arasındadır. S2 tabakası oldukça kalın hücre duvarı ile odunun kuvvetli mekanik özelliklerini belirlemektedir (Keunecke, 2008; Reiterer vd., 1999; Burgert vd., 2002). Sekonder çeperin S3 tabakası en içte olup S1 tabakasından daha incedir. Mikrofibriller hücre eksenine ile 60<sup>0</sup>-90<sup>0</sup> açı yapmaktadır (Keunecke, 2008) ve 0,1-0,2 µm genişliğindedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Kimyasal bileşiklerin yapıları ve oranları hücre çeperinin her bir tabakasında farklılık gösterir. Orta lamelde çoğunlukla lignin ve pektin, primer çeperde polisakkaritler ve ligninle sarılmış protein, sekonder çeperde çoğunlukla polisakkaritler ve lignin bulunur (Bozkurt ve Erdin, 2000).

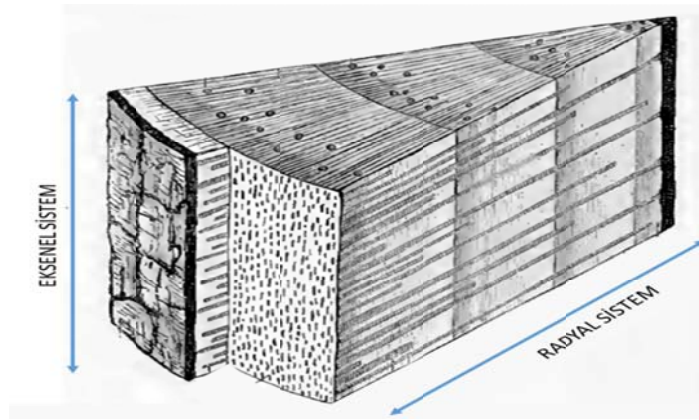
3. Siğilli Tabaka: Hücre oluşumunun son safhasında sitoplazma ölür ve hücrenin lümen tarafında bazı kalıntılar oluşur. Lignine benzeyen bu materyal ilave olarak proteinler de içermektedir. Hücre lümeninde çıkıntılar şeklinde görülen bu kalıntıların oluşturduğu tabaka siğilli tabaka adını alır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

### 1.3.3 Sert Odunlu Ağaçların Anatomisi

Botanikte ağaçlar açıktohumlular (*Gymnosperm*) ve kapalı tohumlular (*Angiosperm*) olarak ayrılmaktadırlar. Sert odunlu ağaçlar, kapalı tohumlu (*Angiosperm*) ağaçlardır. Yumuşak odunlu ve sert odunlu ağaçlar hücre tipleri bakımından farklılık göstermektedirler. Sert odunlu ağaçlar daha fazla hücre tipine ve hücre tipleri içerisinde çok daha fazla değişkenliğe sahip oldukları için daha karmaşık bir yapı göstermektedirler (Larson, 1994). Yumuşak ve sert odun terimleri taksonomik olarak türleri birbirinden ayırmak için kullanılır. Sert odunlu ağaçlar geniş yapraklara sahiptir ve yapraklarını büyüme mevsiminin sonunda dökerler. Yoğunluk, sertlik, eğilme dayanımı ve diğer özellikler odunu oluşturan hücreler ile belirlenmektedir. Odunun kimyasal ve anatomik yapısı bu özellikler için önemli derecede etkilidir (Panshin ve Zeeuw, 1980).

### 1.3.3.1 Eksenel ve Radyal Sistem

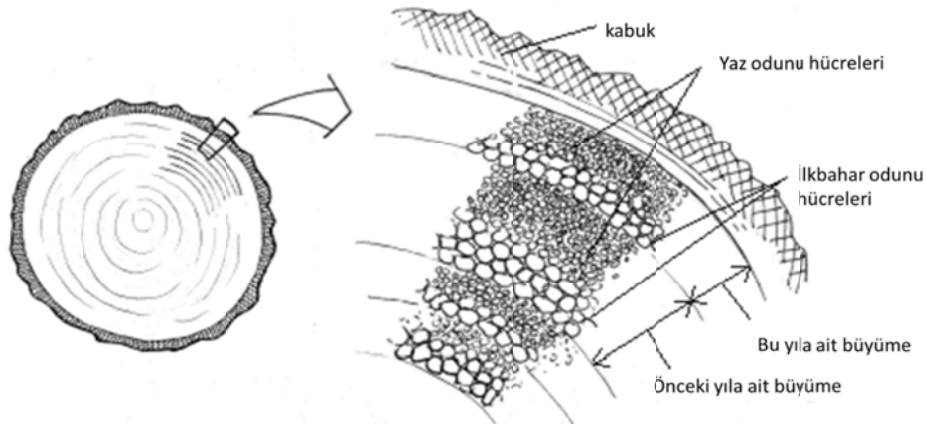
Eksenel sistem hücreleri (Şekil 4) gövdede aşağı ve yukarı yönde uzanan hücrelerdir. Radyal sistem hücreleri ise uzun eksene dikey olarak uzatılmış özden kabuğa doğru yönlendirilmişlerdir. Ağacın gövdesinde eksenel sistem aşağı ve yukarı doğru çalışır, uzun mesafede su taşır ve ağacın mekanik mukavemetinin büyük bir kısmını sağlar. Radyal sistem öz-kabuk yönünde çalışır, biyokimyasallar için yatay ulaşım sağlar ve depolama fonksiyonunun büyük bir kısmını gerçekleştirir. Bu iki sistem birbirine bağlı ve iç içedir. Bu sistemler ahşabın özelliklerini belirlemektedir (Larson, 1994).



Şekil 4: Ağaç gövdesinde eksenel ve radyal sistem (Payer, 2010).

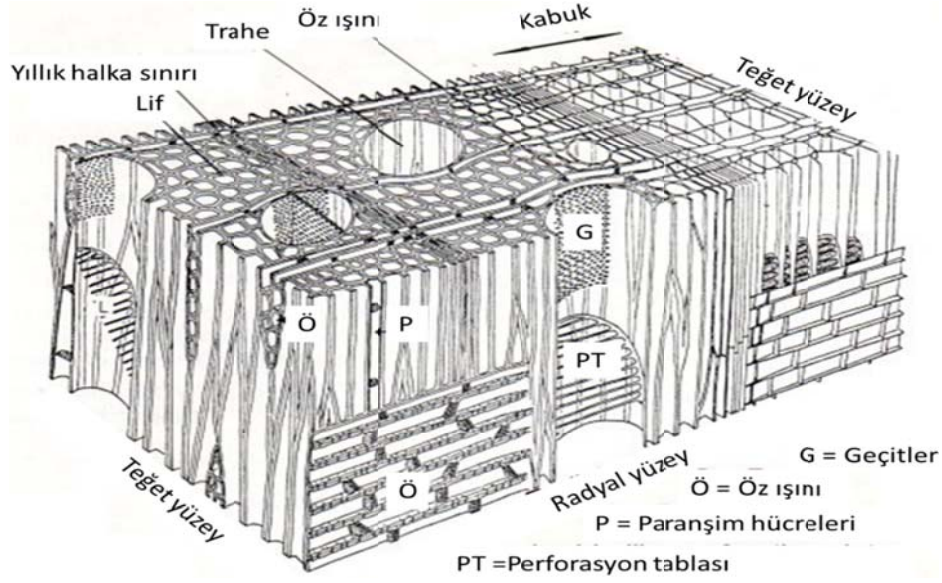
Ahşap, incelenebilmesi için herhangi bir yönde kesilebilir. Ahşap radyal, teğet ve boyuna (enine) olmak üzere üç yönde incelenmektedir. Ahşapta eksenel ve radyal sistemler arasındaki organizasyon ve ilişki, düzgün bir inceleme yapabilmek için önemlidir ve ancak her üç boyutta da inceleme yapılarak ahşap yapının bütünsel ve doğru bir şekilde anlaşılması sağlanabilir. Radyal ve teğet bölümler eksenel sisteme (lif yönü) paralel uzanması sebebiyle uzunlamasına bölümler olarak adlandırılabilirler. Ağaç kesildiği zaman yıllık halkaların yuvarlak şekilde görüldüğü kısım ise enine bölümüdür (Larson, 1994). Enine kesit makroskopik tanımda faydalanılan en önemli kesittir. Enine kesitte iç içe geçmiş daireler şeklinde yıllık halkalar, ortada küçük bir yapı olarak öz, özden çevreye doğru uzanan öz ışınları, küçük delikler ve noktacıklar halinde traheler görülür. Özün çevresinde, gövdenin orta kısmında yer alan öz odundan sonra diri odun tabakası, kambiyum ve dış tarafta kabuk bulunur. Radyal kesitte öz ışınları ya görülmez ya da kısa mozaikler ve uzun aynacıklar meydana getirirler. Halkalı traheli ya da traheleri büyük ağaçlarda traheler iğne çizikleri şeklinde görülebilir. Teğet kesitte kabuk hiçbir zaman

görülmez. Öz ışınları, özellikle geniş öz ışınlı ağaçlarda iğ şeklinde görülür. Öz, normal gelişme gösteren ağaçların gövde enine kesitinin ortasında bulunmakta ve ilk yıllarda ağacın kökleri ile aldığı suyu yapraklara iletme görevini üstlenmektedir. Paranşim hücrelerinden oluşan bu kısımdaki hücreler bir süre sonra ölürlür. Öz, geniş yapraklı ağaçlarda büyüklük, şekil, renk ve yapı bakımından çok farklılıklar göstermektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Yıllık halkalar, ağacın büyüme mekanizması sonucunda her yıl üretilen odun tabakalarının gövde şekline uygun olarak, üst üste geçmiş paraboller halinde gelişmesiyle oluşur. Vejetasyon periyodunun başında ve sonunda oluşan hücreler çeşit, boyut, sayı ve dağılım bakımından farklı olduklarından, bir yıllık halka içerisinde ilkbahar ve yaz odunu olmak üzere iki tabaka halinde görülürler. İlkbahar odunu tabakası vejetasyon periyodu başında oluşmakta ve su iletimini sağlamakta, yaz odunu tabakası ise vejetasyon periyodu sonunda oluşmakta ve desteklenme görevini üstlenmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Vejetasyon mevsiminin başında hücreler geniş lümenlere ve ince hücre çeperlerine sahiptir. Vejetasyon mevsiminin sonunda ise lümenler daralır ve hücre çeperleri kalınlaşır. Ağaç türlerine bağlı olarak ilkbahar odunu-yaz odunu geçişi kademeli ya da ani olabilir. Vejetasyon dönemindeki değişik koşullar yıllık halkalarda da değişikliklere neden olurlar (Keunecke, 2008). Şekil 5, ilkbahar ve yaz odununu göstermektedir



Şekil 5: Bir yıllık halka içerisinde ilkbahar odunu ve yaz odununun görünümü (URL-3, 2015).

Yıllık halkaların şekil ve boyutları sert odunlu ağaçları sınıflandırmada kullanılan önemli anatomik özelliklerdendir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçişteki bu hücre yerleşimi ve şekil değişiklikleri ağacın mekanik ve teknolojik özelliklerine etki etmektedir. Sert odunlu ağaçlar trahe, traheid, lif, öz ışını ve paranşim hücrelerini içermektedirler (Şekil 6).



Şekil 6: Sert odunlu ağaçlarda hücrelerin görünümü (URL-4, 2015).

### 1.3.3.2 Öz ışınları

Öz ışınları, yıllık halkalar arasında radyal yönde yani kabuktan öze doğru uzanan çizgi ya da şeritler olarak görülürler. Görevleri, ağaç çapı boyunca yatay yönde gıda ve su alışverişini sağlamak ve besin depolama görevini yapmaktır. Işınların şekli ve dağılımı birçok ağaç türü için benzersiz olabilmektedir (Bond ve Hamner, 2010). Ağaç türlerine göre dar ya da geniş olabilirler (Bozkurt ve Erdin, 2000). Işınların dağılımları bazı türlerin ayrılmasında kullanılan bir özellik olabilmektedir. Teget ya da radyal yüzeylerin birinde inceleme yapıldığında öz ışınları türün karakteristik özelliklerini göstermede bir anahtar olabilmektedir (Bond ve Hamner, 2010). Yapraklı ağaçlarda öz ışını oranı odunun bazı özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Örneğin ağaç malzeme ölçülerinde değişmeler, çatlak oluşumu, enine yöndeki permeabilite ve bir dereceye kadar da direnç özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki geniş yıllık halkalarda dar yıllık halkalara nazaran daha fazla öz ışını vardır. Bu nedenle bir teşhis özelliği olarak dikkate alındığında yıllık halkaların dar veya geniş olmasının önemli rol oynadığı görülmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

### 1.3.3.3 Paranşimler

Paranşimler, rezerv maddelerinin taşınması ve depolanmasında görev yaparlar. Enine kesitte açık ya da koyu renkte ve çeşitli dağılış şekillerinde görülürler. Çok küçük ve ince

duvarlı bu hücrelerin görülmesi zor olabilmektedir. Bununla birlikte oluşturdukları diziliş ve şekiller itibariyle tür tanımlamada net bir yapısal özellik sunmaktadırlar. Apotraheal ve paratraheal olmak üzere iki ana paranzim hücresi tipi bulunmaktadır (Bond ve Hamner, 2010). Apotraheal paranzimler trahelerle temasta olmayan paranzimlerdir. Paratraheal paranzimler, traheler veya vaskular traheidlerle birlikte bulunmaktadır.

#### **1.3.3.4 Trahe Hücreleri**

Traheler sert odunlu ağaçlarda bulunan hücrelerdir. İki ucu açık, genellikle büyük çaplı kısa hücreler olup (genellikle ilkbahar odununda), küçük çaplı, uzun hücreler de (genellikle yaz odununda) olabilirler. Trahelerin uzunlukları çeşitli ağaç türlerinde farklılık göstermekle beraber boylardaki farklılık çaplardaki kadar çok değildir. Uzunluklar 100-1200 µm arasında değişir. Trahe çapları ise çok küçük (<30 µm) ya da çok büyük (>300 µm) olabilmektedir. Ancak genellikle 50-200 µm arasında bulunur (Wiedenhoeft ve Miller, 2005). Bir ve ya iki ucunda uzayan kuyruk gibi kısımları vardır. Bu uzantılar aynı tarafta ya da aksi yönlerde bulunabilmekte ve genellikle masere edilmiş trahelerde görülebilmektedir. Bu hücreler üst üste yerleşerek ağaçta boyuna yönde dizilirler (Wiedenhoeft ve Miller, 2005). Bir kaç cm'den birkaç m'ye kadar borular oluştururlar. Trahelerin uçlarının birbirleriyle temas ettiği kısımlarda perforasyon tablası adı verilen boşluklar meydana gelmiştir. Perforasyon tablası eğer içi boş bir delik şeklindeyse basit perforasyon tabakası adını alır. Ağaçların hemen hemen %70'lik kısmı basit tipte perforasyon tablasına sahiptir. Perforasyon tablası boşluk yerine merdivenimsi çubuklar, ağ şekli ya da küçük delikçikler gibi farklı şekillerde de bulunabilir. Perforasyon tablalarındaki çeşitlilik ağaçların karakteristik yapısının teşhisinde kullanılabilir. Enine kesitte bir yıllık halka içerisindeki trahe düzeni bakımından yapraklı ağaçlar üç grupta toplanmaktadır. Bu özellik ağaç türlerinin tanımında kullanılan önemli bir özelliktir. İlkbahar odunlarındaki traheler yaz odunundakinden çok büyük olan ağaçlara halkalı traheliler adı verilmektedir. Eğer traheler yeknesak büyüklükte ve yıllık halka içerisinde düzenli bir dağılıfta iseler bu gruba giren ağaçlara dağınık traheliler adı verilmektedir. Bazı ağaç türlerinde de traheler yıllık halka içerisinde bu iki grup arasında bir düzende dağılmışlardır. Bu gruba yarı halkalı traheliler adı verilmektedir. Trahelerin şekilleri, dizilişleri, mm<sup>2</sup> içinde az veya çok sayıda oluşları ağaçların karakteristik özellikleridir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Tablo 2, bazı ağaç türlerinin trahe özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2: Bazı yapraklı ağaç türlerinde trahe özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

AĞAÇ TÜRÜ	TRAHELER (+, özellik var; -, özellik kısmen var)										
	Halkalı	Yarı halkalı	Dağınık	İlkbahar odunu traheleri tek sıralı	Tek tek dağınık	Çoklu radyal sıralı	Radyal eğik sıralı	Dalgalı şeritli	Kümelili	Perforasyon tablası	
										Basit	Merdiven
<i>Acer platanoides</i>			+		+	+				+	
<i>Ailanthus altissima</i>	+							+	+	+	
<i>Celtis australis</i>	+							+	+	+	
<i>Gleditsia triacanthos</i>	+					+			+	+	
<i>Juglans regia</i>		+				+				+	
<i>Liquidambar orientalis</i>			+			+	+				+
<i>Morus alba</i>	+							-	+	+	
<i>Platanus orientalis</i>			+		+	+				+	-
<i>Populus nigra</i>			+			+				+	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	+							-	+	+	
<i>Salix alba</i>			+			+				+	
<i>Tilia tomentosa</i>			+			+				+	

### 1.3.3.5 Traheid Hücreleri

Traheidler boyları çaplarına göre oldukça uzun olan hücrelerdir. Bir yıllık halka içinde ilkbahar odununda ince çeperli olarak, yaz odununda daha kalın çeperli olarak görülürler (Bozkurt ve Erdin, 2000). Traheler su iletimi görevini bazen yerine getiremezler. Hava kabarcıklarının oluşması basıncın düşmesine bu da su iletiminin kesilmesine neden olur (Merev, 2003). Bu durumda su iletim görevini traheid hücreleri gerçekleştirir. Traheidler, vaskular, vasisentrik olmak üzere ayrılmaktadır. Vaskular traheidler, uçları kapalı perforasyon tablaları bulundurmayan hücrelerdir. Boyuna yönde sıralanırlar. Çok sayıda kenarlı geçitleri vardır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Vasisentrik traheid hücreleri, kısa, düzensiz şekilli ve yine uçları kapalı hücreler olup, bu hücreler de kenarlı geçitlere sahiptir. Boyuna paranzimlerle birlikte büyük ilkbahar odunu traheleri civarında ya da yaz odunu tabakasında alev şeklinde sıralanmış yaz odunu traheleri alanı içinde az sayıda olmak üzere bulunurlar. Uçlarının sivri ya da yuvarlaklaşmış olması ve düzenli boyuna sıralar oluşturmamaları ile vaskular traheidlerden ayrılırlar (Bozkurt ve Erdin, 2000). Vasisentrik traheidler odunda radyal yönde uzanırlar (Örs ve Keskin, 2001).

### **1.3.3.6 Lif Hücresi**

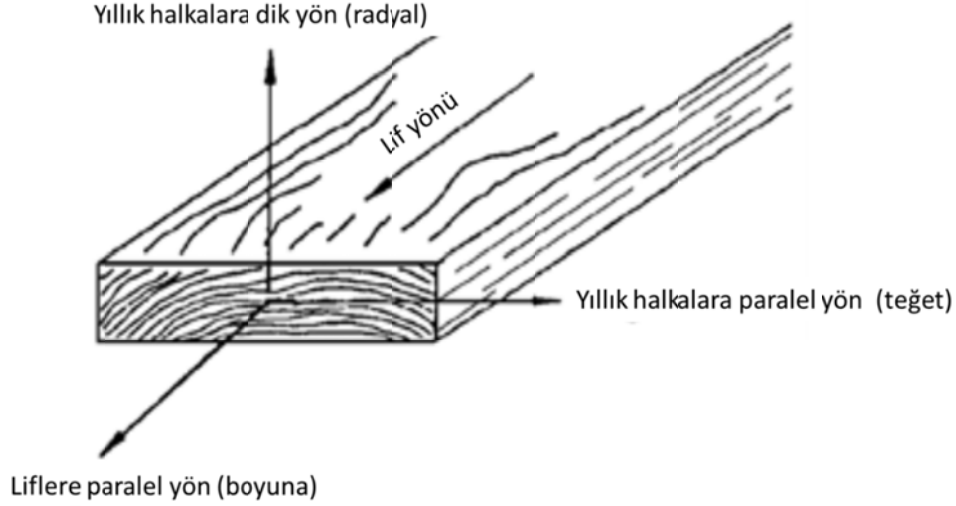
Lif, geniş yapraklı ağaçlarda bulunan özel bir hücre tipidir. Bunlar; uzun, dar, genellikle çeperleri kalın ve uçları kapalı hücrelerdir. Lif hücreleri, yapraklı ağaçlarda lif traheidleri ve libriform lifleri olmak üzere iki şekilde bulunur (Bozkurt ve Erdin, 2000). Lif traheidleri kalın çeperli iki ucu sivri hücrelerdir. Küçük kenarlı geçitlere sahiplerdir. Libriform lifleri ise daha kalın çeperlidir ve boyları uzundur. Basit kenarlı geçitlere sahiplerdir (Örs ve Keskin, 2001). Liflerin ağaçtaki görevi yalnızca destek sağlamaktır. Traheidlerden çok daha kısa, yaklaşık bir traheid hücresinin yarısı kadar kalınlıktadır. Lif hücresi çeperinin kalınlığı, ağacın yoğunluk ve dayanıklılık özelliklerine etki eden önemli bir faktördür (Bozkurt ve Erdin, 2000).

### **1.3.4 Mekanik Özellikler**

Ağaç malzeme yapısı değişkenlik gösteren bir malzemedir. Ahşap malzemenin karmaşık yapısı mekanik davranışlarına etki etmektedir (Ozyhar, 2013). İklim, toprak vb. faktörlerin etkisi ile aynı cins ağaçlardan elde edilen malzeme bile farklı özellikler gösterebilir. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, bu malzemenin dış etkenlere karşı koyma uygunluğu olarak tanımlanabilir. Dış etkenlerden, ağaç malzemenin şeklini değiştirmeye zorlayan kuvvetler anlaşılmaktadır (Bozkurt, 1966). Ağaç malzemenin en önemli mekanik özellikleri basınç, çekme, eğilme, makaslama, yarıma gerilmeleri, sertlik ve elastikiyet modülüdür. Malzemenin mekanik özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için mekanik özelliklere etki eden faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.

#### **1.3.4.1 Mekanik Özelliklere Etki Eden Faktörler**

Ağaç malzemenin mekanik ve elastiklik özellikleri her üç yönde farklılık gösterir (Şekil 7). Genellikle liflere paralel yöndeki mekanik özellikteki değişimler çok önemli değilken yıllık halkalara dik ve teğet yöndeki mekanik özellikteki değişimler önemli olmaktadır (Hunt, J.F. ve Gu, H. 2004).



Şekil 7: Ağaç malzemenin yapı eksenleri (Hunt ve Gu, 2004).

Odunun direnci, ani şoklara ve darbelere karşı yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu; kuvvet, sertlik, elastikiyet gibi çeşitli niteliklerin bir araya gelmesiyle belirlenmektedir (Hunt ve Gu, 2004).

Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler şunlardır:

- Ağaç malzeme: Ağacın türü, özgül ağırlığı, anatomik yapısı, kimyasal bileşimi, yetiştirme yeri şartları mekanik özelliklerini etkilemektedir.
- Kusurların etkisi: Budak, çatlak, çürük, yarık gibi kusurların varlığı ve miktarındaki fazlalık mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir.
- Lif doğrultusunun etkisi: Liflere dik yönde yapılacak bir basınç kuvvetinin etkisiyle boru şeklindeki liflerin çeperleri ezileceğinden malzemenin mukavemet değeri çok küçük olacaktır. Kuvvet, liflere paralel ve basınç şeklinde uygulandığında, lifler kolon görevi göreceğinden malzemenin mukavemeti yüksek olacaktır. Kuvvet liflere paralel ve çekme şeklinde olduğu takdirde lifler çekmeye karşı mukavemet göstereceği gibi lifleri birbirine bağlayan maddeler de çekmeye karşı bir mukavemet gösterecektir. Bu durumda malzemenin mukavemeti daha fazla olacaktır.
- Su miktarının etkisi: Ağaç malzeme içinde su oranı arttıkça basınç, çekme, eğilme ve makaslama direnci azalmakta ve lif doygunluk noktasına gelince sabit kalmaktadır. Darbe mukavemeti ise su oranıyla doğru orantılıdır.



- Yükleme süresinin etkisi: Ağaç malzemenin eğilme mukavemeti, yükleme süresiyle ters orantılıdır. Bir yükün yükleme süresi ne kadar az olursa eğilme mukavemeti o kadar fazla olur. Şekil değişmesi ise yükleme süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.
- Sıcaklığın etkisi: Ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin tümü, sıcaklık arttıkça azalmakta ve sıcaklık azaldıkça artmaktadır. Yapılan deneyler ağaç malzemenin 65°C'ı aşan yüksek sıcaklıklara uzun bir süre dayanamadığını ve mukavemetin kaybolduğunu göstermiştir.

Ağaç malzemenin etkiye maruz kalan yüzeyinin şekli, büyüklüğü ve malzemenin gerilme şekli de mekanik etkiye karşı koyma gücünü etkiler (Kocataşkın, 1966).

#### 1.3.4.2 Gerilmeler

Katı bir cisim üzerine herhangi bir kuvvet uygulandığında cismin şeklinde az ya da çok değişim meydana gelir. Bu kuvvete karşılık cismin şekil değiştirmeye karşı uyguladığı bir iç kuvvet bulunmaktadır. Eğer uygulanan kuvvet çok fazla değilse içerde oluşan kuvvetle dış kuvvet arasında bir denge oluşur. Bu duruma plastik deformasyon adı verilir. Buna göre gerilme birim alana düşen kuvvettir (Eşitlik 1) denilebilir (Uluata, 1987).

$$\sigma = P / A \quad (1)$$

Formülde ( $\sigma$ ) gerilme, (P) kuvvet yani yük, (A) kuvvetin uygulandığı alanı göstermektedir. (P), kg, (A), cm<sup>2</sup> birimindedir.

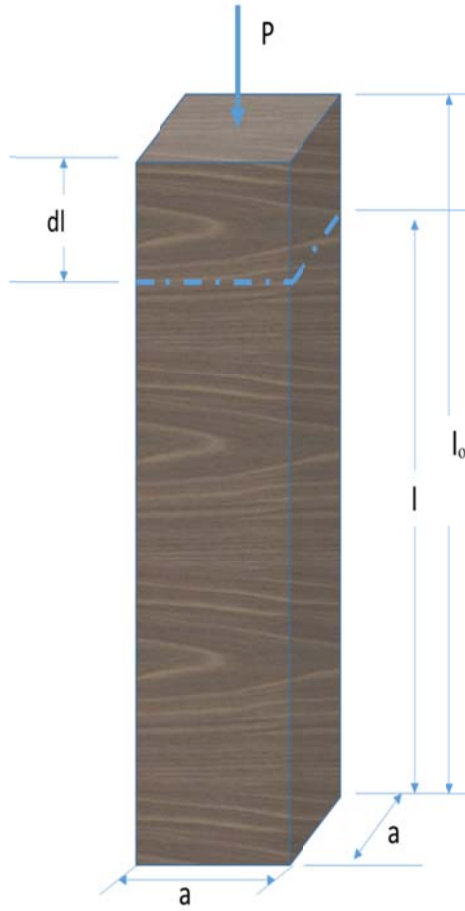
#### 1.3.4.3 Deformasyon (Şekil Değiştirme)

Bir cismin şekil değiştirmesi için cisme onun iç kuvvetlerinin üzerinde bir yük uygulanması gerekmektedir. Uygulanan yük ya da kuvvet basınç şeklinde ya da çekme şeklinde olabilir. Cisim basınç kuvvetine maruz kaldığında, kuvvetin uygulandığı yönde cisimde bir kısalma meydana gelecektir. Kuvvete dik yönde ise cisimde genişleme oluşabilir. Cisim çekme kuvvetine maruz kaldığında ise cisimde bir uzama meydana gelecektir. Bunların dışında bir cisme belirli bir noktadan eğmek için bir kuvvet uygulandığında cisim kuvvet uygulanan noktadan itibaren eğilmeye yani ekseninden

uzaklaşmaya başlayacaktır (Bozkurt, 1966; Uluata, 1987). Şekil değiştirme mm veya cm ile ölçülmektedir. Birim şekil değiştirme için kullanılan formül Eşitlik 2’de gösterilmiştir:

$$e = dl / l_0 \quad (2)$$

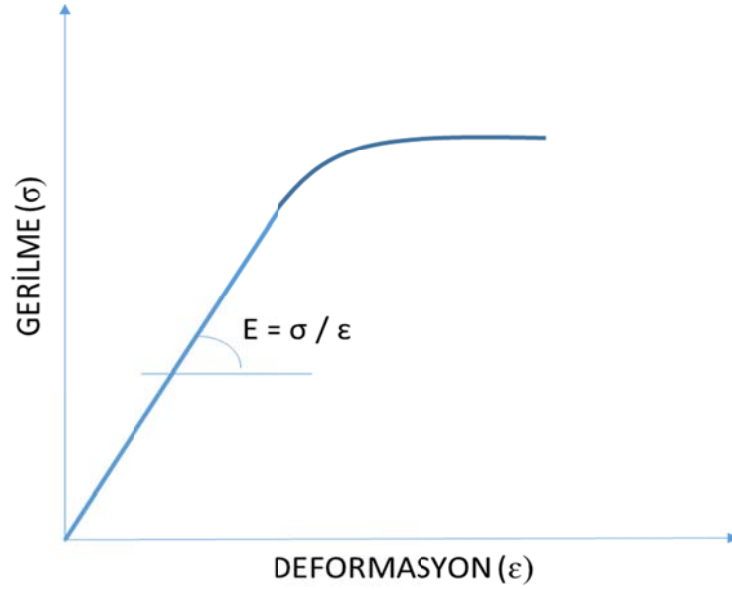
Formülde (e) birim şekil değiştirmeyi, (dl) deformasyonu (Şekil 8) ( $dl = l_0 - l$ ),  $l_0$  ise cismin kuvvet uygulanan yöndeki ilk uzunluğunu göstermektedir. Tüm birimler cm cinsindedir.



Şekil 8: Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon (Bozkurt, 1966).

#### 1.3.4.4 Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü ilk defa 1676 yılında Robert Hooke tarafından ifade edilmiştir. Buna göre elastik cisimler gerilme kuvveti etkisinde kaldıklarında meydana gelecek birim uzama (şekil değiştirme) malzeme çeşidine göre değişmektedir (Postacıoğlu, 1966 ve 1968; Alkan, 1971). Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi Şekil 9’daki gibidir:



Şekil 9: Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi (URL-5, 2015).

Gerilme-şekil değiştirme diyagramının doğrusal kısmı göz önüne alındığında, doğrunun eğimi gerilmenin şekil değiştirmeye oranından oluşmaktadır. Bir doğrunun eğimi; o doğrunun x eksenine ile “+” yönde yaptığı açının tanjantıdır. Bu orana Elastikiyet Modülü ya da Elastisite Modülü denir. Buna göre yük-uzama eğrisinin eğimi şöyledir (Eşitlik 3);

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (3)$$

Denklem, Hooke kanunu olarak tanımlanmaktadır. (E) elastikiyet modülü, ( $\sigma$ ) kg birimi ile uygulanan kuvvet yani gerilme ve ( $\varepsilon$ )  $\text{cm}^3$  birimi ile deformasyon yani şekil değiştirmeyi simgelemektedir (Curun, 1981). Hooke kanunu ilk zamanlarında yalnız gerilmenin şekil değiştirme ile orantılı olduğunu belirtmekte idi. Thomas Young, 1807 yılında, Young modülü denen bir orantı değişmezini ortaya koydu. Bu orantı elastiklik modülünden daha fazla kullanılmaya başlandı. Elastiklik modülü, gerçekte malzemenin sıklığını ölçtüğü halde, elastiklik özelliğinin bir ölçüsüymüş gibi bir etki bırakmaktadır (Curun, 1981). Buna göre;  $\sigma$  yerine  $P/A$  ve  $\varepsilon$  yerine  $\Delta/L$  kullanılmakla Hooke kanunu daha kullanışlı bir şekil almış olur. Bu durumda Hooke kanununun yeni şekli şöyle olmaktadır (Eşitlik 4);

$$\Delta = P.L / A.E \quad (4)$$

Formülde; (P) çubuğu uzatan kuvvet (kgf), (L) çubuğun uzunluğu (cm), (A) çubuğun dik kesitinin alanı (cm<sup>2</sup>), ( $\Delta$ ) çubuğun toplam uzaması (cm), (E) malzemenin elastiklik modülü-Young Modülü (kgf/cm<sup>2</sup>) şeklinde simgelenmektedir (Curun, 1981).

Birim alana gelen kuvvete gerilme adı verilmektedir. Hooke kanunu gerilme-deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünden elde edildiği için sadece o alanda geçerlidir (Curun, 1981). Bir cismin elastik davranışının anlamı, kalıcı şekil değişimi olmaması demektir (Curun, 1981). Elastiklik modülü, dış kuvvetler tarafından etki altında olan bir sistemde onu, normal büyüklük ve şeklini muhafaza etmesi için zorlayan ve kuvvet etkisi kalktığında orijinal şekline dönmesine neden olan bir özelliktir (Uluata, 1987). Uygulanan yükler ortadan kaldırıldığında, deney örneği orijinal durumunu alıyorsa elastik şekil değişimi olmuştur (Curun, 1981). Gerilme-deformasyon arasındaki bu orantı ancak yukarıda belirli bir noktaya kadar geçerlidir. Bu noktaya elastik sınır adı verilir (Uluata, 1987). Elastik sınır ötesinde yükleme yapıldığında odun, lineer olmayan bir davranış sergiler (Ozyhar, 2013) ve elastik olma özelliğini kaybeder (Curun, 1981). Elastik bölge aşıldığında plastik deformasyon oluşmaya başlar ve yükleme devam ederse malzemede oluşan bozulma düzelemez dereceye ulaşır (Ozyhar, 2013). Plastik deformasyondan sonra kuvvet uygulanmasına devam edildiğinde ağaç malzeme, bir noktada bu kuvvete dayanamayarak kırılır. Kırılma anında saptanan kuvvet maksimum yüküdür. Kırılmadan sonra, malzeme uygulanan kuvvete bir miktar daha karşı koyar ancak sonunda tamamen kırılır. Kırılma anındaki yüke kırılma yükü adı verilir. En büyük kuvvet daima kırılma kuvvetinden büyüktür. Fakat bu yükler her zaman söz konusu olmaz. Yaş bir ağaç malzemeye kuvvet uygulandığında, en büyük kuvvetten sonra kırılma olmaz ve malzeme bir süre daha dayandıktan sonra kırılır. Kuru ağaç malzemede ise en büyük yükle, kırılma yükü birbirine eşittir. Buna göre ağaç malzemenin uzunluğu ve eni sabit olmak koşuluyla, kuvvet ve oluşan şekil değiştirme doğru orantılıdır. Elastiklik modülü arttıkça malzemenin sertliği ve elastiklik derecesi azalmaktadır, elastiklik sınırına daha hızlı varılmaktadır. Elastiklik modülü ağaç malzemede lif yönüne göre değişmekte ve lif yönüne paralelse daha büyük, lif yönüne dikse daha küçük değerlerde olmaktadır (Uluata, 1987).

#### **1.4 Çınar (*Platanus spp.*) Ağacının Özellikleri**

İki çeneklilerdeki (*dicotyledonae*) *Platanaceae* familyasının *Platanus* adında tek bir cinsi vardır (Anşin ve Özkan, 1993). Kışın yaprağını döken, geniş ve yaygın tepeli, 30-35 m boy

yapabilen, 500-600 yıl, uygun ortamlarda daha uzun süre yaşayabilen çınarlar koyu gölgeli ve heybetlidir. Hem ekonomik hem de süs bitkisi olarak öneme sahip hızlı büyüyen bir türdür (Serengil vd., 2010). Kuzey Amerika ile Güney-Doğu Avrupa'dan Hindistan'a kadar olan bölgede bulunmaktadır. *Platanus* spp. (Şekil 10) iklim düzensizliklerine dayanabilir ve bu sayede tüm iklim tiplerinde yaşayabilmektedirler (Tello, vd., 2000). Ilıman ve soğuk iklimlere kolay adapte olabilen çınarlar Batı Anadolu ve güney sahil şeridinde kolay yetişir. Yüksek rakımlarda iyi gelişme gösteremez ancak özel koruma şartlarında varlığını sürdürür (Saatçioğlu, 1969). Her ortama adapte olabilmesine rağmen nötr ya da nötr civarı toprakları tercih eder (Güçlü, 1993). Kumlu, tınlı, rutubetli, fazla derin toprakları sever (Güçlü, 1993). Subasar ormanların en tipik ağacıdır, fakat suyun hareketli olması gerekir. Bu tür, yayılış mıntıkasında daima dere yakınlarında ve taban suyu bakımından zengin dere yataklarında bulunur (Saatçioğlu, 1969). Çınar, esas itibariyle küçük saf meşcereler yahut gruplar halinde veya daha ziyade rutubet seven diğer yapraklılarla (Fındık, Dişbudak, Kızılağaç, Ihlamur v.s.) birlikte bulunur. Orman kurmazlar. Anadolu'da yeteri rutubete kavuşması şartı ile iklim bakımından orman büyümesinin mümkün olduğu her yerde gelişir (Saatçioğlu, 1969).



Şekil 10: Bir çınar ağacı formunun görünüşü (URL-6, 2015).

Türkiye'nin en fazla yaşayan dev gövde ve tepeler yapan ağaç türlerinin başında gelir. Dere içlerinde ve rutubetli çukurluklarda, dağ ormanlarının alt kademelerinde özellikle rutubetli vadi tabanlarında ve alçak rutubetli ovalarda çok büyük çaplar elde eder (Saatçioğlu, 1969). Gövde silindir biçiminde, düzgün, kalın ve uzundur. Dalları kalın ve uzun, yaprakları 3-7 dilimli, uzun saplı, dal üzerinde almaçlı dizilidir. Yapraklar uzun

saplı, büyük, ışınal damarlı ve lopludur. Çiçekler başçık halinde küremsi kurullar oluşturur. Ayrıca bu küremsi kurullarda ortak bir eksen üzerinde bir ya da birkaçı bir arada bulunur. Erkek ve dişi çiçekler aynı görünümde kurullar oluşturur (Anşin ve Özkan, 1993). Meyveleri küçük, 1-3 tane halinde, uzun saplı, yuvarlak-küre biçimindedir. Tomurcuklar tek bir pulla külâh gibi örtülmüştür. Yaprak, sapının dip kısmında saklı haldedir. Ancak yaprak döküldükten sonra belirir ve görülür (Anşin ve Özkan, 1993).

*Platanus* türleri karakteristik olarak genellikle beyazımsı ya da soluk yeşil renkli, yumuşak, ince kabuğa sahiptir (Sudworth, 1967; Keator, 2002; Lang, 2010). Ağaç yaşlandıkça renk kireç beyazına döner, ince tabakalar halinde dökülür ve altından taze, yeşilimsi kabuk ortaya çıkar (Sudworth, 1967; Lang, 2010). Gövde kabukları kimi türlerde levhalar halinde, kimilerinde pul pul çatlar. Önemli bir özellik ise yaşlanan ve çatlayan kabuk hemen dökülür (Anşin ve Özkan, 1993). Türkiye’de doğal olarak yetişen altı türü mevcuttur. Türler yapraklardaki lop sayısı, yaprağın altındaki tüy miktarı, meyve sayısı ve şekline göre ayrılmaktadır (Sudworth, 1967; Lang, 2010). *Platanuslar*, *Platanus orientalis* L. (Doğu çınarı), *Platanus occidentalis* (Batı çınarı), *Platanus x acerifolia* (Londra çınarı) türlerini içerir. Bunlar dışında Chiapas çınarı (*Platanus chiapensis*), Gentry çınarı (*Platanus gentry*), Kerr çınarı (*Platanus kerri*), Meksika çınarı (*Platanus mexicana*), *Platanus nobilis*, Oaxaca çınarı (*Platanus oaxacana*), Rzedowski çınarı (*Platanus rzedowskii*), Arizona çınarı (*Platanus wrightii*) (Şekil 11), *Palatanus wyomingensis* türlerini de içermektedir (Sudworth, 1967; Lang, 2010). Şekil 12’de *Platanus x acerifolia* ağacının yaprak, meyve ve kabuğu görülmektedir.



Şekil 11: *Platanus wrightii* ağacının yaprak ve meyvelerinin görünüşü (URL-7, 2015).





Şekil 12: *Platanus x acerifolia* yaprak, meyve ve kabuğunun görünüşü (URL-8, 2015; URL-9, 2015).

Çınar ağaçlarının temel kullanımı yol kenarları ve parklarda süs bitkisi olmaktadır (Mozaffarian, 1994; Mozaffarian. 1996; Hajhashemi1 vd., 2011). Kirli hava şartlarına da uyabilmesi çınarın şehir ve yol ağacı olarak tercih edilmesini sağlamıştır. Mikroklimayı iyileştirmek için dikilmektedirler (Pourkhabbaz vd., 2010; Hajhashemi1 vd., 2011). Çınarın bilinen en yaygın kullanım alanları, kaplama levha, mobilya, parke, meyve sebze kutuları, kuru madde fiçileri, palet, tenis raketi, müzik aletleri, alet sapları, emprenye edildiği takdirde travers ve çit kazığı, mutfak aletleri ve tornacılık olarak sayılabilir. Ayrıca, oklava, merdane, havan, sarımsak döveceği, makara göbeği, toz toplayıcı, tahta tabure ayağı, mobilyacılıkta karyola başlıklar ve vitrin süslemeleri, bıçak sapları, oyacak, inşaat makası sapı, kürek ve kazma sapları olarak da kullanılabilen literatürde belirtilmektedir (Anşin ve Özkan, 1993; Bozkurt ve Göker, 1986; Bozkurt ve Erdin, 1987; Göker, 1992; Bektaş vd., 2002).

Çınarlar çok uzun olabilen ömürleri nedeniyle anıt ağaçlar olarak adlandırılmaktadırlar. Doğal anıtlar olarak koruma altına alınmış birçok ağaç mevcuttur. Çınarlara çeşitli arkeolojik çalışmalarda da rastlanılmakta ve fosilleri bulunmaktadır. *Platanaceous* nesli için, erken kretase dönemine kadar uzanan fosil kayıtları bulunmaktadır Birinci Kretase Dönemi, Mezozoik Zaman'ın üç alt bölümünden sonuncusudur. Günümüzden 142 milyon yıl önce başlayıp 65 milyon yıl önce sona erdiği kabul edilir (Friis and Crane, 1989; Floyd, 1999).

#### 1.4.1 Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Ağacının Özellikleri

*Platanus orientalis* L. (Doğu çınarı), *Platanaceae* familyası, *Platanus* L. cinsi içerisinde yer almaktadır. Uzun ömürlü bir ağaçtır. 500-2000 yıl arasında yaşayabilir (Fournier, 1961; Nahal ve Rahme, 1990). *Platanus orientalis* L. (Doğu çınarı) hızlı büyüyen bir ağaçtır. Doğal yayılış alanları dışında yapay plantasyonlarla yaşam alanları genişletilmiş ve parklarda, bahçelerde süs bitkisi olarak, yol ve şehir ağaçlandırmalarında, Akdeniz çevresinde bazı bölgelerde ticari amaçlı odun üretiminde kullanılmaktadır (Nahal ve Rahme, 1990). *Platanus orientalis* L. (Doğu çınarı)'nın varyeteleri şunlardır:

- *Platanus orientalis* L. var. *cuneata* Willd

Bu varyete küçük ağaç veya boylu bir çalı formundadır. Batı Anadolu'da rastlanmaktadır.

- *Platanus orientalis* L. var. *Digitata*

Yaprakları derin lopludur (Nahal ve Rahme, 1990).

- *Platanus orientalis* L. var. *flabellifolia*

Dar ve uzun mızrak şeklinde loplardır (Nahal ve Rahme, 1990).

- *Platanus orientalis* L. var. *Arcuata*

Yaprakları kısa saplıdır (Nahal ve Rahme, 1990).

- *Platanus orientalis* L. var. *cretica*

Yaprakları beş loplu meyveleri küçüktür (Güçlü, 1993).

- *Platanus orientalis* L. var. *Acerifolia*

Ağaççık formunda görülmektedir (Güçlü, 1993).



#### 1.4.1.1 Coğrafik Yayılışı

*Platanus orientalis* L. doğal yayılış alanları Güney Avrupa ve Güneybatı Asya özellikle Türkiye ve İran'dır (Davis 1982; Anşin ve Özkan, 2006; Zencirkıran, ve Erken, 2012). Kafkaslarda da rastlanmaktadır (Mossadegh, 1979; Panetsos, 1984). Batı Asya ülkelerinde Himalayalar'ın batısına kadar bulunduğu görülmektedir (Serengil vd., 2010). Avrupa'da sadece Akdeniz Bölgesi'nin doğu kısımlarında bulunmaktadır. Sicilya, Yugoslavya, Arnavutluk, Bulgaristan, Yunanistan, Girit ve Karpathos, Doğu Ege adaları, Kıbrıs, Suriye, Lübnan, Ürdün, Irak'ta bulunmaktadır (Greuter vd., 1989; Post, 1932; Nahal ve Rahme, 1990). Türkiye'de hemen hemen bütün ormanlarda görülmektedir. Tüm ormanlık yörelerdeki dere içlerinde, ırmak kenarlarında doğal olarak buldukları gibi, şehir-kasaba ve köylerde süs bitkisi, gölge ağacı olarak sık sık rastlanmaktadır (Doğu, 2002).

#### 1.4.1.2 Botanik ve Dendrolojik Karakter

##### Genel görünüm

Bazıları gövde çapı 5 m'yi geçen, boyu 25-35 m'den uzun olabilen, (Orojlool vd., 2014) 2000 yıl civarında yaşayabilen anıtsal ağaçlardır (Davis 1982; Anşin ve Özkan, 2006; Zencirkıran ve Erken, 2012). Serbest büyüdükleri zaman kısa bir gövde, kalın dallar ve geniş tepe oluştururlar. Kalın dallar gövdeyi kısa tutacak şekilde aşağıdan başlar. Gövdeye dik olarak yana doğru uzar. Gövde ve dallar açık gri veya yeşilimsi gri renktedirler. *Platanus orientalis* L., cinsin diğer türlerinde olduğu gibi güçlü ve geniş bir kök sistemi oluşturmaktadır (Naidenova ve Garelkov, 1986; Lang, 2010). Şekil 13, Doğu çınarı ağacına ait bazı görüntüleri göstermektedir.



Şekil 13: *Platanus orientalis* L.'in yaprak, meyvesinin görünüşü, ağacının formu şekilleri (URL-10, 2015; URL 11, 2015).

## Yapraklar

Yapraklar açık yeşil renkli, genellikle 5-7 derin parçalı, genç sürgünlerde nadiren 3 parçalıdır. Yapraklar 10-18 cm boyunda 12-24 cm genişliğindedir. Uzunlukları enlerinden daha fazla olduğu gibi, uçları da sivridir. Yaprak lopları arasındaki oyuntular derin ve

dardır. Orta damara kadar ulaşan oyuntuları vardır. Yapraklar tazeyken hafif tüylü, sonraları bütünüyle çıplaktır. Kenarları düzensiz kaba dişli ya da düzdür. Yaprığın dip tarafı huni gibi genişleyerek tomurcuğu içinde saklayan bir sap bulundurmaktadır. Yaprak sapı 3-8 cm uzunluğundadır. (Anşin ve Özkan, 1993; Uludağ, 2006). Şekil 14, ağacın yaprak ve meyvesini göstermektedir.



Şekil 14: *Platanus orientalis* L.'in yaprak ve meyvesinin görünüşü (URL- 12, 2015).

### **Kabuk**

Kabuk (Şekil 15), açık boz veya yeşilimsi boz renklidir. Çok ileri yaşlarda ise kahverengidir. Gençken çatlaksız, ileri yaşlarda hem dikine hem de yatay çatlaklıdır (Anşin ve Özkan, 1993).



Şekil 15: *Platanus orientalis* L. kabuğunun genç ve yaşlı halde görünüşü (URL- 13, 2015; URL-14, 2015).



Genç ağaçlarda kabuklarda plakalar halinde dökülmeler görülür. Yaşlı gövdelerde küçük küçük pullar halinde çatlaklar, kavlar ve dökülür. Yaşlı gövdelerin kabukları, diğer türlerinkine nazaran daha küçük levhalar halinde kalkar ve yavaş yavaş dökülür (Anşin ve Özkan, 1993).

### Çiçekler

Erkek ve dişi çiçekler aynı ağaç üzerinde bulunur. Dişi çiçekler 5-8 cm çapında, kırmızı renktedir ve küresel kurullar oluştururlar. Bu kürelerin birkaçı bir sapın üzerinde dizili olabilir. Erkek çiçek kurulların bir ya da birkaçı bir sapın ucunda tüylü, kahverengi küreler biçimindedir.

### Meyve

Döllenip olgunlaşan dişi çiçekler küresel bileşik meyveleri (Şekil 16) oluştururlar. 2-3 cm çapındaki meyveler önceleri yeşil, sonbaharda olgunlaştığında açık kahve renklidir. Kışın dağılır. Küremsi meyvelerin çapları küçük, sayıları çoktur (Anşin ve Özkan, 1993). Birleşik meyvelerden 2-6 tanesi uzun bir sap üzerinde yer alırlar. Tohumların bu özelliği Doğu çınarı için karakteristiktir, zira diğer türlerde az sayıda meyve bir arada bulunur.



Şekil 16: *Platanus orientalis* L. ağacının meyve ve tohumlarının görünüşü (URL-15, 2016, URL-16, 2015).

### 1.4.1.3 Ekoloji

#### Rakım

Doğu çınarı Orta doğuda denizden 1500 m yüksekliğe kadar bulunur. Kıbrıs'ta 1200 m rakıma kadar görülse de özellikle 700-1200 m arasında yoğundur (Nahal ve Rahme, 1990). Suriye'de farklı bölgelerde 700-900 m'ler arasında görülür (EI-Yafi vd., 1976; Nahal ve Rahme, 1990). Türkiye'de 1100 m civarlarına kadar rastlanmaktadır. Irak'ta 1000-1500 m'ler arasında bulunmaktadır (Nahal ve Rahme, 1990).

#### Yağış miktarı

Ağaç yıllık yağış miktarı (Tablo 3) 200-1200 mm arasında değişen bölgelerde bulunabilmektedir. Bununla birlikte ağaçlar çoğunlukla nemli bölgelerde, su kenarlarında bulunmaktadır (Nahal ve Rahme, 1990).

Tablo 3: Bazı bölgelerde ortalama yıllık yağış miktarı (Nahal ve Rahme, 1990).

Bölge	Ortalama yıllık yağış (mm)
Bikfaya (Lübnan)	1250,00
Antalya (Türkiye)	1030,00
Fethiye (Türkiye)	993,00
Adana (Türkiye)	611,00
Azaz (Suriye)	431,00
Musul (Irak)	381,00

#### Sıcaklık ve ışık

Ağaç, düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı nispeten hoşgörülüdür. -18 dereceden 45 dereceye kadar olan aralıklarda varlığını sürdürebilmektedir (Nahal ve Rahme, 1990). Genç ağaçlar ışığa karşı toleranslıdır. Genç ağaçların ışık gereksinimi daha fazladır (Nahal ve Rahme, 1990).

## **Rüzgâr**

Rüzgâra karşı dayanıklı bir ağaçtır. Rüzgâr kesici olarak kullanılabilir (Nahal ve Rahme, 1990).

## **Toprak**

Doğu çınarı doğal yayılış alanında birçok farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip topraklarda yaşayabilmektedir. Bununla birlikte düşük geçirgenliği olan ağır ve tuzlu toprakları sevmez. Farklı topraklarda yaşayabilse de pH'ın 6-8,5 olduğu yani bazik özelliğin yüksek olduğu topraklarda yaşar. Bu ağaçlar derin, geçirgen, nemli topraklı bölgelere dikilmelidir (Nahal ve Rahme, 1990).

### **1.4.1.4 Çoğalma**

*Platanus* türleri çeşitli yöntemlerle çoğaltılıp yayılabilirler. Tohumla çoğaltma yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak tohumla çoğaltmada küçük ve narin tohumların dış faktörlerin olumsuz etkisi nedeniyle çimlenememesi olasılığı vardır. Tohumların çimlenme oranı türler arasında farklılık gösterir ve bu oran *Platanus orientalis* L. için %30-40 arasındadır (Anon., 2003; Dirr ve Heuser, 2006; Hartman vd., 2011; Zencirkıran ve Erken, 2012).

### **1.4.1.5 Kullanım Alanları**

Endüstriyel öneme sahip bir ağaç türü olmakla birlikte ticari olarak Oriental plane adı ile bilinmektedir (Doğu, 2002). Doğu çınarının odunu ağır, kolay yarıılır. İyi cila tutar (Bektaş vd., 2002). İşlenmesi ve emprenye edilmesi güç bir ağaç türüdür. Kurutulması orta derecede güç ve dayanıklılığı az olan bir ağaç türüdür (Doğu, 2002). Özellikle Kıbrıs, Irak, Suriye gibi Ortadoğu ülkelerinde önde gelen bir türdür (Bektaş vd., 2002). Odunu mantarlar tarafından kolayca enfekte edildiğinden çok fazla bir kullanım alanı yoktur. Ancak, kalın gövdeler yaptığından ve geniş öz ışınları dekoratif görüldüğünden kaplama sanayisinde çok kullanılmaktadır. Özellikle urlu kısımlarından elde edilen kesme kaplama levhaları çok değerlidir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Uludağ, 2006). Türkiye'de kullanım alanı çoğunlukla travers, kaplama, yapı malzemesi ve mobilya alanlarıdır (Doğu, 2002). Müzik

aleti yapımında kullanılır (Bektaş vd., 2002). Türkiye’de yaygın olarak peyzaj amaçlı (kentsel açık, yeşil alanlar, parklar, arboretumlar vb., su cephelerinde, endüstriyel alanlarda, gölge ağacı olarak, cadde ağaçları olarak) kullanılmaktadır ve anıtsal olarak koruma altında sayısız örneği mevcuttur (Zencirkıran, 2010; Zencirkıran ve Erken, 2012). Eski dönemlerde Pers bahçelerinde kullanılan önemli bir türdür (Orojool vd., 2014). Ancak süs bitkisi olarak tüm çınarlar için dağılan meyveleri istenmeyen bir özelliktir. Bunlar tüy demetleri ile uçarak evlere kadar girerler (Bektaş vd., 2002).

#### 1.4.1.6 Ağaç Türünün Fiziksel Özellikleri

Diri odunu dar ya da geniş, beyazımsı sarımsı ile hafif kırmızımsı, öz odunu kırmızımsı-sarımsı kahverengi, diri odundan kesin bir şekilde ayrılmaz, yıllık halkalar enine kesitte belirgin, öz ışınları geniş, sık, belirgin, çok dekoratif, orta sert, orta ağırlıktadır (Tablo 4).

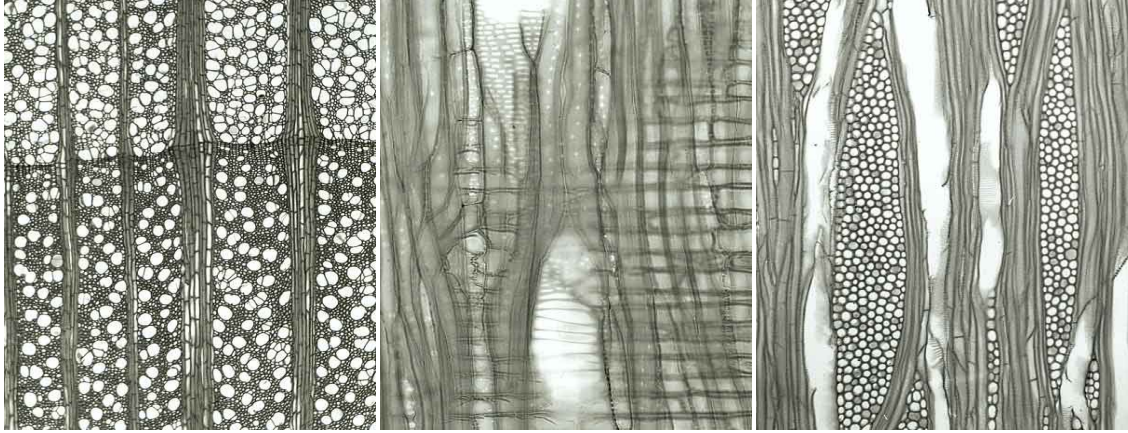
Tablo 4: Farklı kaynaklara göre *Platanus orientalis* L. ağacının fiziksel özellikleri.

Özellik	1	2
Hava kurusu yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0,625	0,63
Tam kuru yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0,595	0,58
Hacim yoğunluk değeri (kg/m <sup>3</sup> )	471	
Hacmen daralma miktarı (%)	13,20	13,7
Teğet daralma (%)		8,7
Radyal daralma (%)		4,5
Hacmen genişleme miktarı (%)	14,90	
Kaynak	Bozkurt ve Erdin, 1997	Merev, 2003

#### 1.4.1.7 Ağacın Anatomik Özellikleri

Doğu çınarının odunu dağınık traheli olup yıllık halkalar belirgindir. Yıllık halka sınırında lif dokusu hücreleri radyal yönde yassılaştırmış ve aynı zamanda çeperleri çok kalınlaşmıştır (Şekil 17). Boyutlarından ziyade yıllık halkaların belirgin olmasını sağlayan lif dokusunun bu özelliğidir. Çünkü ilkbahar ve yaz odunu trahe çapları arasında önemli bir fark yoktur (Merev, 2003). Lif dokusu çoğunlukla traheid liflerinden oluşur. Libriform liflerine nadiren rastlanır. Traheid liflerinin kenarlı geçitleri oldukça bol, şekilleri daireseldir. Trahe çapları sadece yaz odunu kısmında yıllık halka sonunda aniden küçülür. Oysa yıllık halka

içinde ilkbahar ve yaz odunu sınırını ayırt etmek çok güçtür (Merev, 2003). Trahelerin çapı 75 µm'den az, perforasyon tablası basit ve en çok 20 bölmeli merdivenimsi tipte, boyuna paranzimler apotraheal, dağınık, teğet sıralı, paratraheal kümeli, öz ışınları homojen bazen heterojen, çoğunlukla 1-12 hücre genişliğindedir.



Şekil 17: *Platanus orientalis* L., enine, radyal ve teğet kesit görünüşü (URL-17, 2015).

#### 1.4.1.8 Ağacın Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Orta derecede elastikiyet modülüne sahiptir. İyi bir şok direnci vardır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Fazla miktardaki öz ışını mekanik özelliklerini etkilemektedir. Tablo 5 ve 6, Çınar ağacının bazı özelliklerini göstermektedir.

Tablo 5: *Platanus orientalis* L. ağacının bazı mekanik özellikleri (Merev, 2003).

Özellikler	Değer
Basınç Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	46
Eğilme Direnci(N/mm <sup>2</sup> )	99
Elastikiyet Modülü(N/mm <sup>2</sup> )	10500
Çekme Direnci(N/mm <sup>2</sup> )	-
Makaslama Direnci(N/mm <sup>2</sup> )	10
Dinamik Eğilme (kN/cm)	0,7
Brinell Sertlik Liflere Paralel(N/mm <sup>2</sup> )	46
Brinell Sertlik Liflere Dik(N/mm <sup>2</sup> )	21



Tablo 6: *Platanus orientalis* L. ağacının kimyasal özellikleri (Merev, 2003).

Özellik	Değer
Holoselüloz (%)	77,4
Selüloz(%)	39,23
Pentozan(%):	22,1
Lignin(%)	22,77
Ekstraktif madde suda(%)	6,35
Kül(%)	0,97

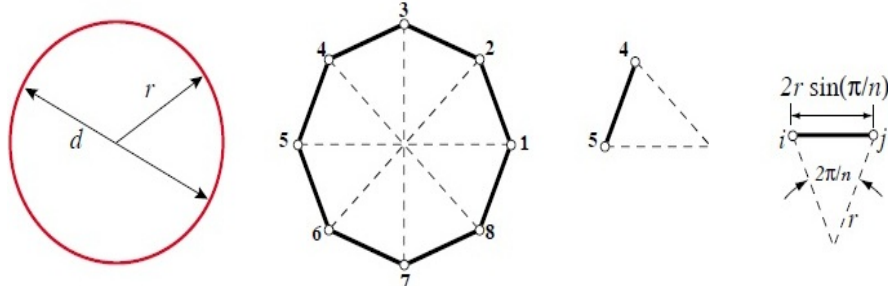
### 1.5 Sonlu Elemanlar Analizi

Tabiatta karşılaşılan biyolojik, jeolojik ya da mekanik her olay fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılmaya çalışılır. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla büyük oranda ifade edilebilir. Mühendislik problemleri genellikle, fiziksel durumların matematiksel modelleridir ve sonlu elemanlar yöntemi ise değişik mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal bir çözüm yöntemidir. Yöntem ilk defa 1950'li yıllarda inşaat mühendisliği alanında kullanılmaya başlamıştır. Ancak günümüzde hemen hemen her mühendislik alanında kullanılmaktadır. Yöntemlerin etkin ve sağlıklı kullanılmaları çok hızlı ve hafızalı bilgisayarların üretilmesi ile mümkün olmuştur. (Demirsöz vd., 2005; İmrak vd., 2006; İmrak vd., 2007).

Sonlu elemanlar yöntemi özellikle son yıllarda çok büyük bir gelişme kaydetmiştir. Esas itibarıyla basit olan bu maksatlı ve güçlü yöntem, bilim adamlarına ve mühendislere tamamen yeni bir alan açmıştır. Günümüzde gerilme analizi, akışkanlar mekaniği, statik ve dinamik elastisite, ısı iletimi gibi pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şekillerin ve karmaşık malzeme özelliklerinin incelenebilmesi, hassas hesaplamalarda kullanılabilmesi, hem izotropik hem de anizotropik materyallerin incelenebilmesi gibi avantajlar içermektedir. Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir. Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir. Tek bir model birçok problemin çözümünde kullanılabilir. Elde edilecek sonuçların doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır. Sonlu elemanlar metodu yapısal mekanik problemlerin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik

alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümünde de etkin şekilde kullanılmaktadır. Metodun bu kadar çok uygulama alanının bulunmasının nedenlerinden biri değişik mühendislik problemlerinin arasındaki benzerliklerdir. Metoda sonlu elemanlar isminin verilmesi yenidir. İlk olarak matematikçiler bir dairenin çevresini, daireyi bir çokgene indirgeyerek dolayısıyla problemi basitleştirerek hesaplamışlardır. Yani günümüzün deyimiyle bu çokgenin her bir köşesi bir sonlu elemandır (Yörür, 2012). Bu basit çözüm, genel sonlu eleman uygulamaları için de geçerli olan iki sonucu ortaya çıkarmaktadır:

1. Dairenin dışındaki ve içindeki çokgenlerin çevreleri, dairenin çevresinin üst ve alt sınırlarıdır.
2. Çokgenin kenar sayısının artırılması ile bu yöntemle bulunacak olan yaklaşık çözüm yukarıdan ve aşağıdan gerçek çözüme ulaşacaktır (Şekil 18).



Şekil 18: Bir dairenin sonlu elemanlar metodu ile analizi (İmrak, 2007).

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır bir hale getirilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir. Ancak bu çözümün iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması hatta kesin sonuca ulaşılması mümkündür. Elde bulunan matematiksel araçların kesin ya da yaklaşık sonucu bulmada yetersiz kalması durumlarında ise sonlu elemanlar metodu kullanılabilir tek yöntem olmaktadır. Yöntemde, sıcaklık, basınç, gerilme veya deplasman gibi herhangi bir sürekli büyüklük küçük ve sürekli parçaların birleşmesi ile oluşan bir modele dönüştürülür. Yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür ve "düğüm" adı verilen noktalarda tekrar

birleştirilerek denklem takımları elde edilir. Elemanlar uygun biçimde seçilmeli ve problemin yapısına uygun olarak yerleştirilmelidir. Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra, ifade edilmek istenen büyüklüğün bölge içerisinde değişimini gösteren bir enterpolasyon fonksiyonu belirlenir. Fonksiyonun gerçeğe yakınlık derecesi sonucun da doğruluğunu belirleyecektir (Clough, 1960; Hinton ve Owen., 1977; Hillier ve Lieberman, 1995; Zienkiewicz ve. Morgan, 1983; Segrlind, 1984; Muaveni, 2003; Yalçinkaya ve Satır, 2005).

### **1.5.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Modelleme ve Çözüm Basamakları**

Sonlu elemanlar metodunda elemanlar birbirlerine düğüm noktası adı verilen özel noktalardan bağlanmışlardır. Düğüm noktaları genellikle elemanların birbirine bağlandıkları yerler olan eleman sınırlarında bulunmaktadır. Deplasman, gerilme, sıcaklık, basınç, hız vs. gibi değişkenlerin gerçekte nasıl değiştiği bilinemediğinden, bunların basit fonksiyonlar ile yaklaşık olarak ifade edilebildikleri varsayılmaktadır. Bu yaklaşık fonksiyonlar, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmektedir. Sistem için denge denklemleri gibi yeni denklemler yazıldığı zaman, bilinmeyenleri değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri olan ve ortak çözümleri gereken yeni denklemler ortaya çıkmaktadır. Genellikle matris denklemleri şeklinde olan bu denklemlerin çözülmesi ile değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri elde edilir. Yaklaşık fonksiyonların, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmiş olmaları ile bu fonksiyonların eleman içerisindeki ve sonuç olarak bütün sistem içerisindeki değerleri bulunur. Bir sonlu eleman modelinin inşa edilmesi analizin diğer kısımlarına göre çok daha fazla zaman ister. Bu bölümde eleman tipleri programın eleman kütüphanesinde incelenen problemlerin yapısına uygun 100 den fazla iki üç boyutlu eleman mevcuttur. Malzeme özellikleri derken ise; malzemenin lineer veya nonlineer olması, izotropik, ortotropik veya anizotropik olması, sabit sıcaklıkla veya sıcaklığa bağımlı olup olmadığı anlaşılmaktadır (Alan vd., 2005). Sonlu elemanlar işlemlerinde çözüm basamakları şöyle gerçekleştirilir:

1. Çözüm bölgesinin elemanlara ayrılması: Yapı veya çözüm bölgesi alt bölümlere yani sonlu elemanlara ayrılır. Bu ayırımında uygun sonlu elemanlar kullanılmalı, elemanların cinsi, sayısı ve düzeni tespit edilmelidir. Çözüm bölgesini doğru temsil etme oranında, elde edilecek sonucun gerçek çözüme en

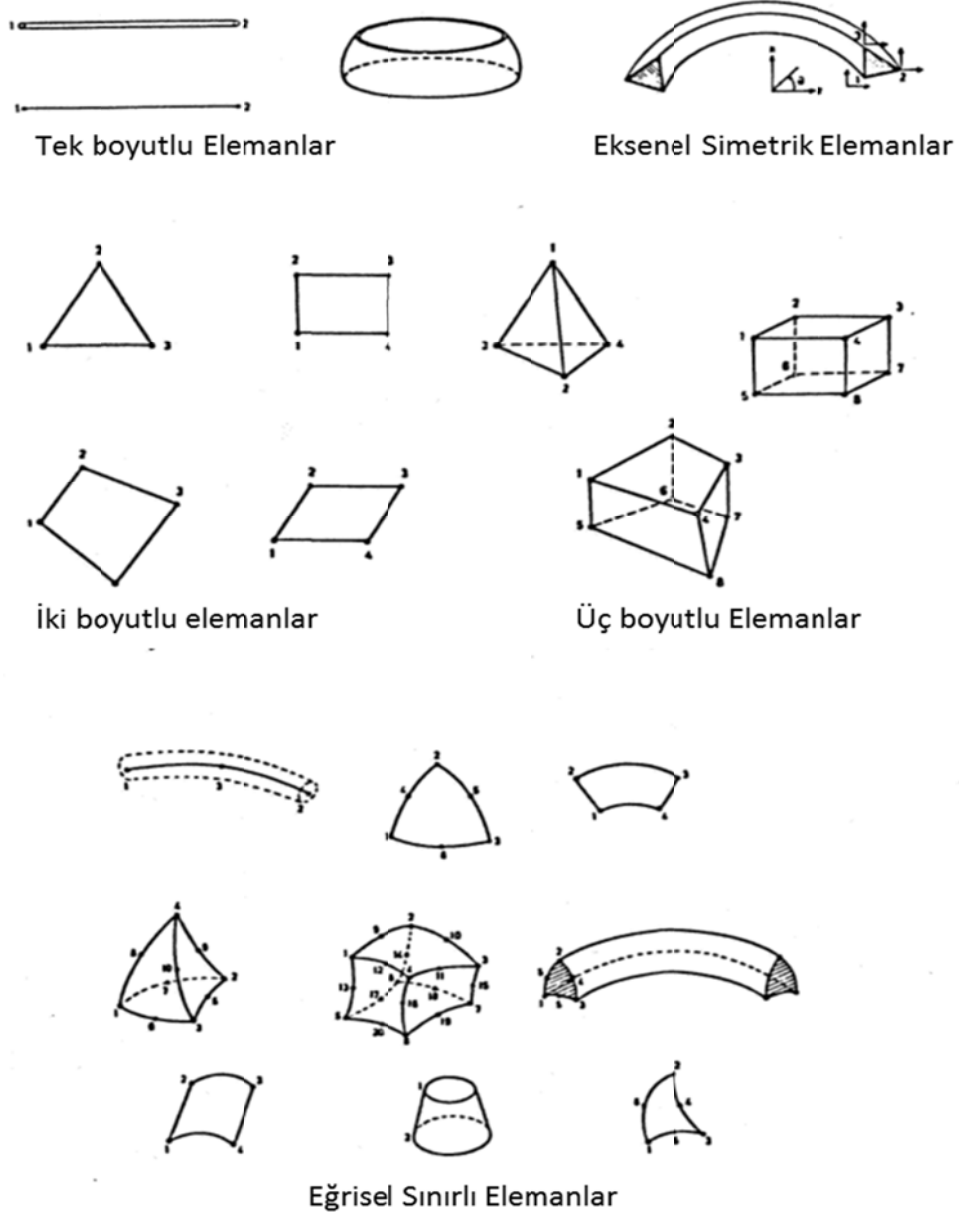
yakın olmasını sağlayacaktır. Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre dört kısma (Şekil 19) ayrılabilir:

**Tek boyutlu elemanlar:** Bu elemanlar tek boyutlu olarak ifade edilebilen problemlerin çözümünde kullanılır.

**İki boyutlu elemanlar:** İki boyutlu (düzlem) problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Bu grubun temel elemanı üç düğümlü üçgen elemandır. Üçgen elemanın altı, dokuz ve daha fazla düğüm içeren çeşitleri bulunmaktadır. Üçgen eleman, çözüm bölgesini aslına uygun olarak temsil etmesi bakımından kullanışlı bir eleman tipidir. İki üçgen elemanın birleşmesiyle meydana gelen dörtgen eleman, problemin geometrisine uyum sağladığı ölçüde kullanışlılığı olan bir elemandır. Dört veya daha fazla düğümlü olabilir. Dörtgen eleman çoğu zaman özel hal olan dikdörtgen eleman şeklinde kullanılır.

**Dönel elemanlar:** Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapmasıyla oluşturulurlar ve gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, eksenel simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözüme olanağı sağlarlar.

**Üç boyutlu elemanlar:** Bu grupta ana eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması ve altı yüzeyle elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir.



Şekil 19: Sonlu elemanlar analizindeki elementler (Arıkan, 2000).

2. Elemanın özelliklerinin formülüzasyonu: Karmaşık bir yapının herhangi bir yük altındaki deplasmanının kesin olarak tahmin edilmesi imkansız olduğundan, bir eleman için, bilinmeyen çözümü yaklaşık olarak ifade edilebilecek uygun bir deplasman modeli seçilir. Bu model hesaplamalar açısından basit olmalıdır ve bununla birlikte bazı yakınsama gereklerini de yerine getirmelidir. Çoğunlukla bu model bir polinom şeklinde olmaktadır. Denge denklemleri veya varyasyonel prensipler ve yaklaşık deplasman modeli kullanılarak eleman katılık matrisleri ve yük vektörleri bulunur.

3. Yapının veya çözüm bölgesinin sonlu elemanlar modelinin elde edilebilmesi için elemanların birleştirilmesi: Yapının çok sayıda elemandan oluşmuş olması nedeni ile her bir eleman için bulunmuş olan katılık matrisleri, yük vektörleri ve denge denklemleri uygun bir şekilde birleştirilmeli ve genel denge denklemleri elde edilmelidir.

4. Bilinen yüklerin (kuvvet ve/veya moment) uygulanması: Bir problemde sisteme etki edebilecek kuvvetler şunlar olabilir:

*Tekil kuvvetler:* Hangi elemanın hangi düğümüne ne yönde etki ediyorsa genel kuvvet vektöründe etki ettiği düğüme karşılık gelen satıra yerleştirilir. Problemin cinsine göre tekil yük kavramı değişebilir.

*Yayıllı Kuvvetler:* Bu kuvvetler bir kenar boyunca ya da bir alanda etkili olurlar.

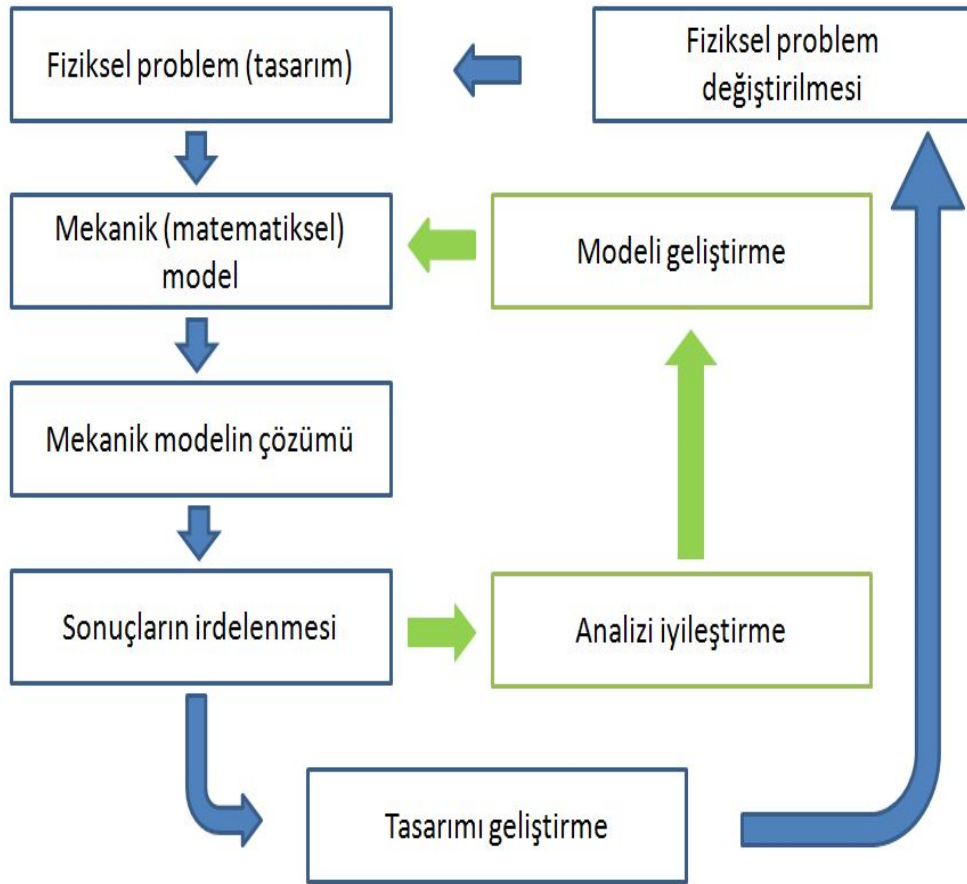
*Kütle kuvvetleri:* Eleman hacmi için geçerli olan merkezkaç kuvveti ve ağırlık kuvvetleri gibi kuvvetlerdir.

5. Yapının nasıl desteklendiğinin belirtilmesi: Düğüm noktaları için bilinen deplasman değerleri (genellikle sıfır) belirtilmelidir.

6. Bilinmeyen düğüm noktası deplasmanlarının bulunması: Genel denge denklemleri problemin sınır şartları uygulanarak düzeltilmeli ve daha sonra düğüm noktalarının deplasmanları çözümlenmelidir. Her problemin tabii olarak ya da yapay sınır şartları vardır. Sınır şartları, cismin çeşitli kısımlarındaki elastik yer değiştirmelerin ölçülebileceği bir referans sağlar. Sınır şartları; cismin belli parçasında veya parçalarındaki yer değiştirmelerde yapılan kısıtlamalardır denilebilir. Bu kısıtlamalar, cismin rijit yer değiştirmesine engel olur ve uygulanan dış yüklerin cisim tarafından taşınmasını sağlar.

7. Eleman gerilme ve birim uzamalarının hesaplanması: Düğüm noktalarının deplasmanları ile katı hal mekaniği ve yapısal mekaniğin gerekli denklemleri kullanılarak eleman birim uzamaları ve gerilmeleri hesaplanır. Bir sonlu elemanlar programının çıktısı, hesaplanan değişkenlerin düğüm noktalarındaki

veya elemanlardaki değerlerinden oluşmaktadır. Bu değerlerin anlaşılmasının ve değerlendirilmesinin basit geometriler veya az sayıda eleman için kolay olmasına karşılık, karmaşık geometriler veya çok sayıda eleman için bu iş zorlaşmakta ve sonuçlar kullanıcıya kolay anlaşılabilir bir şekilde, örneğin grafik yöntemler ile son işlemci (postprocessor) adı verilen bilgisayar programları kullanılarak verilmektedir (Arıkan, 2000). Fotoğraflar ve tablolar halinde de sonuçların görülmesi kolaylık sağlamaktadır. Sonlu elemanlar analizi için izlenen adımlar aşağıdaki şemada (Şekil 20) görülmektedir:



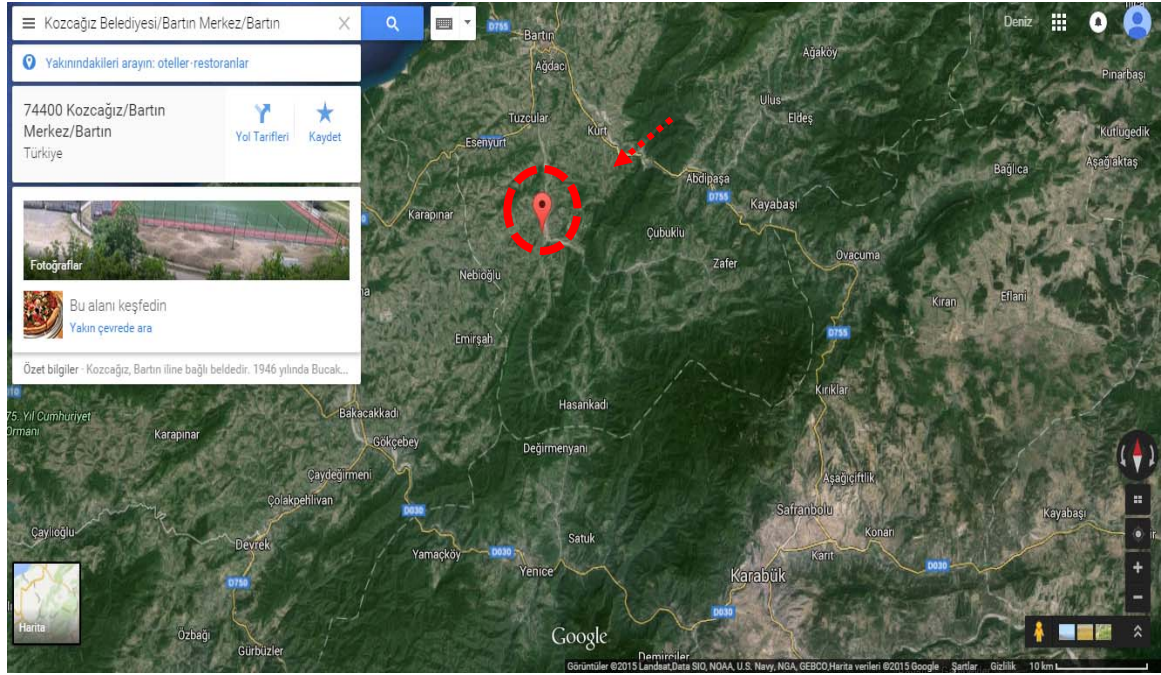
Şekil 20: Bir sonlu elemanlar analizi aşamaları (URL-18, 2015).

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE METOT

#### 2.1 Kullanılan Materyal ve Hazırlanması

Mekaniksel özelliklerin hesaplanması için hızlı büyüyen ve uzun bir hayat sürebilen bir tür olan Doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.) odunu kullanılmıştır. Çınar odunu; Türkiye'nin Kuzeyinde bulunan ve %70'e yakını ormanlarla kaplı olan Bartın ilinin Kozcağız ilçesinden temin edilmiştir. Elde edilen çınar odunu 310 m rakımda olup 41.34° enlem ve 32.34° boylamdan alınmıştır. Ağacın temin edildiği bölge Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 21: Çalışmada kullanılan Çınar ağacının temin edildiği bölgeye ait bilgiler.

Bölgede Çınar odunu toprak seviyesinden 1 m yukarıdan TSE'ye göre kesilmiş ve bu yüksekliğin üzerinden 1 m uzunluğunda 3 tomruk kesilmiştir. Bu tomruklar kesildikten sonra gövde üzerinde bulunan dallar temizlenmiştir. Toplamda 3 adet 1 m uzunluğunda ve 30 ile 60 cm çapındaki tomruklar elde edilmiştir. Bu bölgeden bir araç ile kereste fabrikasına taşınan örnekler burada arabalı şerit yardımıyla ve odun kesici bir motor ile plakalar haline getirilmiştir (Şekil 22). Plaka haline getirilmiş numuneler bir marangozhaneye götürülerek çalışmamızda daha doğru sonuçlar alabilmek için kalınlıktan



geçirilerek düzgün ve köşeli olacak şekilde yeni plakalar haline getirilmiştir. Ayrıca ince işçilik ve zımparalama işlemleri üniversitemizin mobilya atölyesinde şerit testere ve daire testere yardımıyla tamamlanmıştır.



Şekil 22: Çınar tomruklarının arabalı testerede kesilerek plakaların hazırlanması.

Hazırlanan plakalar ve tekerlekler planyayla istenen kalınlıktan 3 mm daha kalın numuneler halinde kesilmiştir. Daha sonra TSE'ye göre hazırlanan plakalar %12 denge rutubetine getirilmesi için %65 bağıl nem ve 20°C sıcaklıkta bir iklimlendirme cihazına yerleştirilmiştir. Bu şartlar altında 3 ay bekletilen plakalar gerekli boyutları elde etmek için marangozhanede işlenmiştir. Olabildiğince dikdörtgen ve düzgün yüzeylere sahip olan numuneler hazırlanmıştır. Pürüzlü yüzeylerin giderilmesi için örnekler zımparalanmıştır. Zımparalama sonrası elde edilen mükemmel örnekler radyal, enine ve teğet olarak 3 gruba ayrılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23: Radyal, teğet ve boyuna yöndeki çekme (dog-bone) ve basınç numunelerinin hazırlanması.

*Platanus orientalis* L., doğal yapısı itibariyle fazla miktarda ve geniş öz ışını ihtiva etmektedir. Özellikle teğet ve radyal yöndeki numunelerin hazırlanması sırasında oluşan talaş artıklarında çıkan öz ışınları rahatlıkla görülebilmektedir. Deneylerde kullanılan materyaller budak, reaksiyon odunu ve öz odunu içermemiştir. Üç farklı yönde elde edilen örneklerden oluşan talaşların farklılık gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 24). Teğet ve radyal yönlü örneklerde oluşan talaş çok miktarda öz ışını bantları içermektedir.



Şekil 24: Numunelerin hazırlanması sırasında oluşan talaşların görünümü.

Üç farklı yönde hazırlanan dog-bone (DB-çekme) ve basınç numunelerden sonra standart boyuna yönde çekme numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 25).



Şekil 25: Boyuna yönde çekme numunelerinin hazırlanması.

Mükemmel boyutlarda ve olabildiğince düzgün yüzeyli hazırlanan numuneler rutubet dengesinin tekrar sağlanması için 1 ay süreyle %65 bağıl nem ve 20°C sıcaklıkta %12 denge rutubetine gelmesi için bekletilmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu dikdörtgen



prizmaları, hem boyuna yöndeki çekme numunelerinin hem de dog-bone adı verilen numunelerin son şeklini alması için CNC makinesinde işlenmiştir. Bu işlem için Düzce ili, Sancak Mobilya A.Ş.'de bulunan, Paolino Bacci S4-20 marka beş eksenli CNC makinesi kullanılmıştır. Örnekler, CNC makinesinde 18000 rpm'de ve 4000 m/sn hızla işlenmiştir (Şekil 26 ve Şekil 27). Dog-bone isimli çekme numuneleri son şeklini aldıktan sonra numunelerin her iki ucu kayın plakalarla desteklenmiştir. Bu işlemle numunelerin deneyler esnasında zarar görmemesi amaçlanmıştır. Tüm bu işlemler sonrası elde edilen deney numuneleri hatasız sonuçlar alınabilmesi için tekrar iklimlendirme kabiniinde 1 ay süreyle bekletilerek (20°C sıcaklık ve %65 bağıl nemde) testlere hazır hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 26: Numunelerin eksenli CNC ile işlenerek hazırlanması.



Şekil 27: Numunelerin 5 eksenli CNC ile işlenerek oluşturulmuş son hali.

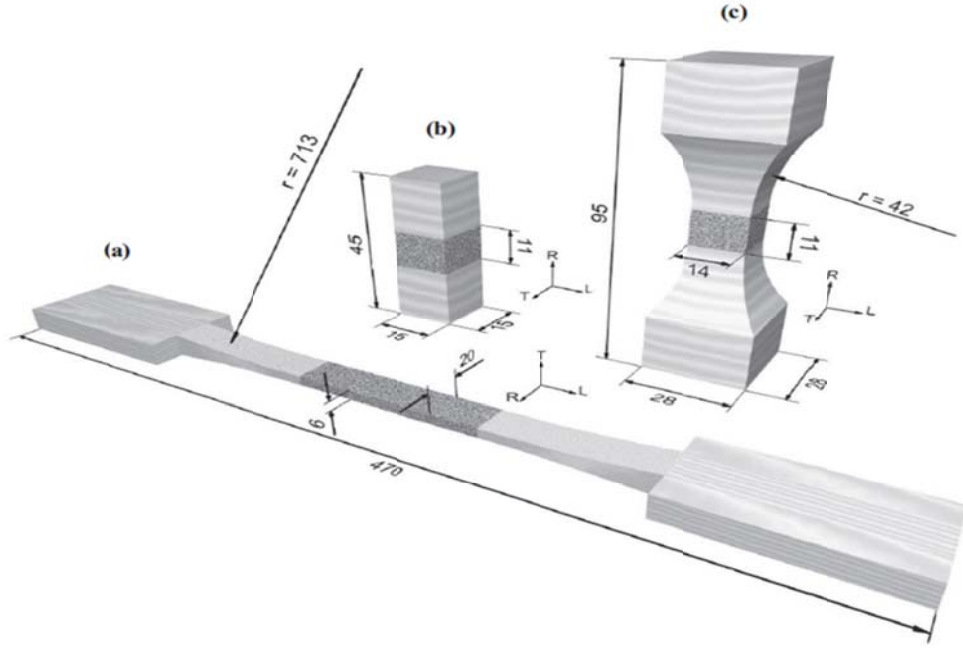
Örneklerimizin çekme testleri Karabük Üniversitesi, Odun Mekaniği Laboratuvarlarında bulunan Shumadzu marka çekme makinesiyle gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri için ise Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Odun Fiziği ve Mekaniği Laboratuvarındaki Utest marka test cihazı kullanılmıştır.

## 2.2 Metot

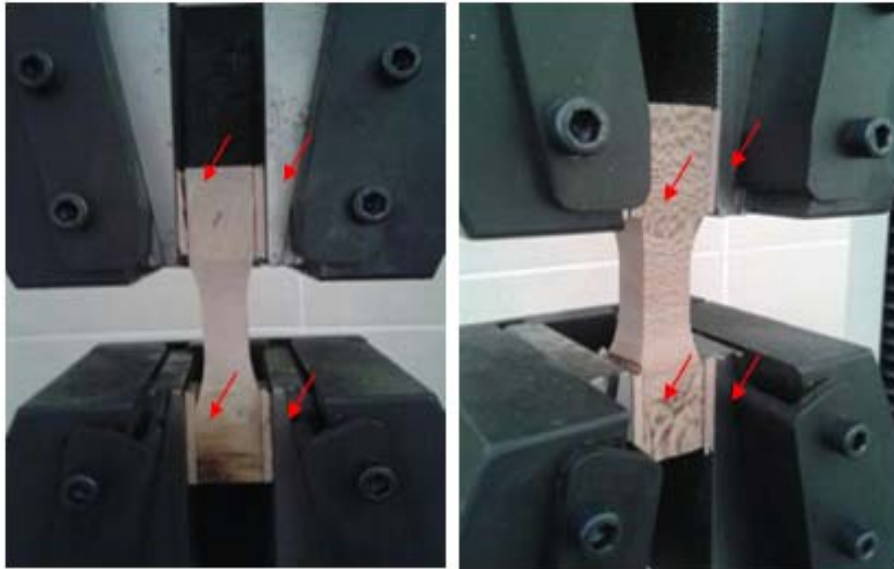
### 2.2.1 Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü

Çekme direnci testleri için numunelerin bir kısmı “dog-bone” olarak ifade edilen şekilde teğet, radyal ve boyuna olmak üzere üç yönde hazırlanmıştır (Şekil 28). DB-çekme numuneleri DIN 52188 (1979) standardına göre yapılmıştır. Numuneler 95 mm uzunlukta en uç kenarları 20x20 mm en orta bölümleri 14x14 mm olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 29). Numunenin iki uç tarafı da 2 mm kalınlık ve 26 mm uzunluğundaki kayın parçalarıyla desteklenmiştir. Deneylerde teğet, radyal ve boyuna yönde 60’şar adet numune kullanılmıştır. Aşağıda liflere paralel yönlü çekme direnci, basınç direnci ve DB şekilli

numunelerin örnek boyutları görülmektedir. Tüm deneyler TSE'ye göre  $90 \pm 30$  sn' de bitecek şekilde gerçekleştirilmiştir. DB şekilli numune deneyleri için AG-IS Shumadzu marka 50 KN kuvvetindeki Universal test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 28: Numune ölçüleri (a) Basınç direnci numuneleri (b) DB şekilli numuneler (c) Liflere paralel çekme direnci numunesi (Tüm ölçüler mm cinsindedir) (Ozyhar, 2013).



Şekil 29: Çekme testinin DB şekilli örneklerde gerçekleştirilmesi.

Standart liflere paralel çekme direnci testleri TS 2475 standardına göre yürütülmüştür. Deneyler için 60 adet numune kullanılmıştır. Liflere paralel çekme testleri için Instron

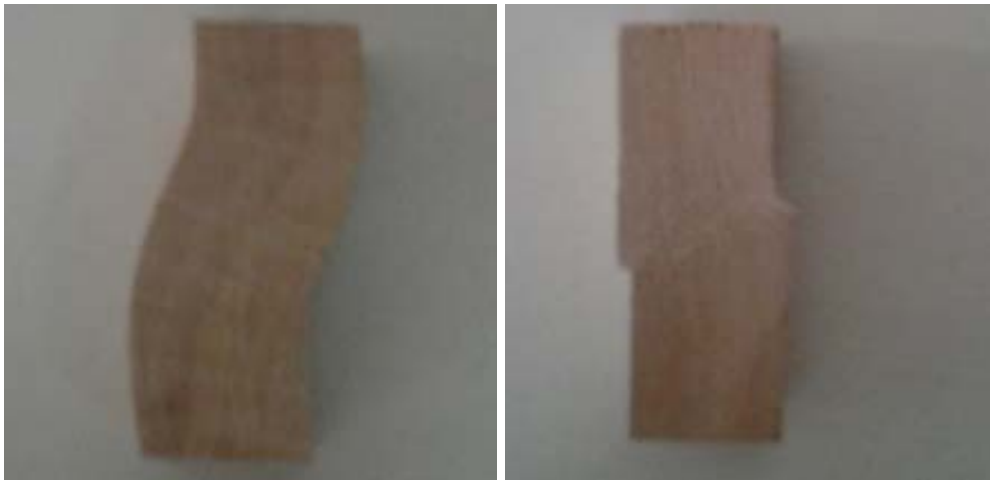
marka 60 ton kuvvetindeki Universal test cihazı kullanılmıştır. Hem DB-çekme hem de liflere paralel çekme testi için benzer test değişkenleri kullanılmıştır. Çekmede elastikiyet modülü ilgili standartlara göre Eşitlik 5'den faydalanarak hesaplanmıştır.

$$E_i = \Delta \sigma_i / \Delta \varepsilon_i = \sigma_{i2} - \sigma_{i1} / \varepsilon_{i2} - \varepsilon_{i1} \quad (5)$$

Bu eşitlikte; (E) değeri çekmede elastikiyet modülü, ( $\Delta\sigma_i$ ) iki gerilme değeri arasındaki fark, ( $\Delta\varepsilon_i$ ) iki deformasyon değeri arasındaki farktır. (İ) değeri teğet, radyal ve liflere paralel yönler içindir.

### 2.2.2 Basınç Direnci

Basınç direnci için numuneler yine teğet, radyal ve boyuna yönlerde hazırlanarak DIN 52185 (1976) ve DIN 52192 (1979) standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Her yön için 80'er adet numune ile deneyler yapılmıştır. Numuneler 15x15x45 boyutlarında hazırlanmıştır. Deneylerin TSE'ye göre 90±30 sn'de gerçekleşmesi sağlanmıştır. Çınar ağacı karakteristik yapısı itibariyle bazı numunelerde kırılma yerine eğilme davranışı (Şekil 30) gösterebilmektedir. Bu sebeple deney bu süre içinde gerçekleşemediğinde deney standartlarına göre örnek boyutunun %5'i kadar deformasyon gerçekleştiğinde deney tamamlanmıştır. Deneyler için Utest marka 10 ton kuvvetindeki Universal test cihazı kullanılmıştır. Basınç direnci elastikiyet modülü hesaplamalarında yine (5) numaralı formül kullanılmıştır.



Şekil 30: Basınç testinde çınardaki bozulmalar.

### **2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)**

Çekme ve basınç testleri sonrasında meydana gelen kırılmaların daha detaylı incelenmesi ve deforme olan yüzeyin daha net görülmesi için elektron mikroskobu analizleri kullanılmıştır. Bu amaçla Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Tescan marka (MAIA3 XMU) elektron mikroskobu kullanılmıştır.

### **2.2.4 Sonlu Elemanlar Analizi**

Sonlu Elemanlar Analizi için deney sonuçlarından elde edilen değerler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Analizler için ANSYS programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler grafikler halinde ve istatistiki olarak gösterilmiştir. 1970 yılında Dr. John A. Swanson tarafından ANSYS (Swanson Analysis Systems) sonlu elemanlar yazılımı geliştirilmiştir. ANSYS yazılımı 1970 yılında statik, dinamik ve ısısal sorunlara dayalı olarak yapısal, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), elektronik ve elektromanyetik, tasarım optimizasyonundan oluşan sonlu eleman programı olarak 2000'den fazla uzman mühendis tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar tabanlı mühendislik simülasyonlarında kullanılan sonlu eleman yazılım programıdır (Anonim, 2012; Kibar ve Öztürk, 2012). ANSYS yazılımı, mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimlerini gerçeğe uygun bir şekilde kullanılabilen genel amaçlı bir programdır (Yörür, 2012). ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD datalarını alabilmekte hem de içindeki işlem olanakları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Yine aynı işlemci içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh de oluşturulmaktadır. Yükler ve mesnet veya sınır koşulları (boundary conditions, restraints) tanımlandıktan sonra ve gerçekleştirilen analiz sonucunda, sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilmektedir (Li, 1994; Gallego vd., 2004; Kibar ve Öztürk, 2012). Bu program verilen şartlar altında ele alınan makine elemanının veya sistemin nasıl çalıştığını ya da başka bir deyişle sistemin davranışını görmek için kullanılır (Alan vd, 2005). Yapının tamamının, belli bir bölümünün ya da strüktürel elemanlarının çeşitli yükler veya fiziksel etkiler altında gerçek davranışının gözlenmesini sağlamaktadır (Toker ve Ünay, 2004). Aynı şartlarda dizayn optimizasyon özelliklerini kullanarak, verilen çalışma şartları için optimum dizaynı hesaplamak için bu program kullanılabilir (Alan vd., 2005). Yapının gerçek davranışı genellikle çok karmaşıktır. Bu nedenle, yapıyı modellemek için birçok



sadeleştirmenin yapılması zorunludur. Yalın ve basit bir model elde etmek için, yapı elemanlarını oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin de uygun bir şekilde tanımlanması gereklidir (Toker ve Ünay, 2004). Gerçekteki testlerin ya da çalışma şartlarının simüle edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu modellemeler neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır (Yörür, 2012). ANSYS programı havalandırma ve ısıtma uygulamalarında, endüstride, uzay araçlarında, otomobillerin dizaynında, makinecilikte, elektronikte, güç üretim sistemlerinde vb. kullanılabilen çok maksatlı bir bilgisayar programıdır (Alan vd., 2005). Yapıların çeşitli yük ve çevresel etkilerden dolayı göstereceği davranışı, deformasyonları ve yapı elemanlarında oluşan kuvvetleri doğru bir şekilde elde etmek için yapılacak olan matematiksel modelleme (Toker ve Ünay, 2004) genel olarak ANSYS’de 3 aşamadan oluşmaktadır:

1. Preprocessor: Modelin oluşturulması veya hazır modelin ANSYS’e aktarıldığı aşamadır (Kibar ve Öztürk, 2012). En iyi sonucu veren model her zaman en basit olanıdır. Analizin amacının ve kapsamının dışına çıkan daha ayrıntılı ve karmaşık modeller hata riskini artırmaktadır. Matematiksel modeli oluşturan elemanların boyutları seçilirken, analiz için gerekli olan bütün strüktürel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Malzeme davranışı ile ilgili olarak yapılan kabuller, diferansiyel eleman olarak da bilinen, malzemenin çok küçük bir parçasının davranışına göre belirlenmektedir. Diferansiyel eleman malzeme modelini oluşturur. Yapının sınırları belirlenmiş bir bölümünü tanımlayan ve sonlu eleman olarak adlandırılan elemanların davranışını sergilemesi için diferansiyel elemanlar bir araya getirilir. Sınır koşulları, mesnetlerin ve düğüm noktalarının hareket yetenekleri ve model üzerine etki edecek olan yükler belirlenir (Toker ve Ünay, 2004). Modelin oluşturulmasının ardından modele malzeme ataması (elastisite modülü, birim ağırlık, poisson oranı vb.) yapılır. Lineer analizlerde yalnızca malzemeye ait elastisite modülü ve poisson oranını girmek yeterli iken lineer olmayan analizlerde malzemeye ait diğer katsayı veya deformasyon-gerilme diyagramının da girilmesi gerekmektedir. Daha sonra model sonlu elemanlara bölünerek mesh adı verilen ağ örgüsü oluşturulur. Bu aşamada önemli olan analiz biçimine ve geometriye göre doğru

eleman tipinin belirlenmesidir. Bir elemanı tanımlanması için; eleman serbestlik derecesi, eleman şekli (düzgün dört yüzlü, kare, üçgen, silindir, koni vb.), boyutu (2-D veya 3-D) ve varsayılan deformasyon biçimi (linear, nonlinear, quadratik, vb.) belirlenmelidir. Eleman seçiminde, gerçekte modeli en iyi temsil edecek eleman tipi seçilmelidir (Kibar ve Öztürk, 2012).

2. Solution: ANSYS programı ile cisimlerin statik, dinamik, termal, harmonik, elektro manyetik gibi birçok alanda analiz ve dizayn optimizasyonu işlemlerini yapabilmektedir. Bu aşamada ANSYS programı içinde yapılmak istenen analiz tipi seçilir. Model üzerinde sınır koşulları ve yükleme tanımlanır. ANSYS programı genel olarak bütün sınır koşullarını ve yüklemelerini doğrudan noktalara dağıtarak hesaplamalarını yapar çünkü normalde sonsuz noktadan oluşan gerçek yapı sonlu noktalara bölünmektedir ve tüm dış hacim artık bu noktalar ile tanımlanmaktadır. ANSYS’de, noktasal yükleme (kuvvet) ve basınç şeklinde yükleme uygulanabilir (Kibar ve Öztürk, 2012).
3. Postprocessor: Bu adım sonuçların okunduğu ve yorumlandığı bölümdür. Sonuçlar çizelge şeklinde, istenilen özelliklerin dağılımını gösteren çizimler şeklinde veya deforme olmuş cisim biçiminde sunulabilir. Ayrıca animasyon yardımı ile modelin yük altındaki davranışı izlenebilir. Etkin gerilme ve birim şekil değiştirme sonuçları ile akma gerilmesi ve şekil değiştirme sonuçlarını da görmek mümkündür. Bunun dışında birim şekil değiştirme enerjisi, plastik şekil değiştirme miktarı görsel olarak elde edilebilir. Her noktada oluşan gerilme ve deformasyon miktarları görülebildiği gibi, gerilmenin bir yol boyunca izlediği değerler de gözlemlenebilmektedir (Kibar ve Öztürk, 2012). Sonlu elemanlar analizinde öncelikle modeli oluşturan elemanların bireysel davranışı, sonra da matematiksel modelin tamamının davranışı önemlidir. Kusursuz bir model oluşturmak için malzeme davranışı ve elemanların bireysel davranışının çok iyi incelenmesi gereklidir (Toker ve Ünay, 2004).

#### **2.2.4.1 LS-DYNA**

LS-DYNA, sonlu elemanlar metodu kullanılarak, bilgisayar simülasyonları ile karmaşık problemlerin çözümünün yapılmasını sağlayan bir programdır. Nonlineer dinamik analiz,

rijit kütlenin dinamik analizi, lineer statik analiz, termal analiz, akışkan analizi, kırılma analizi, çatlak yayılma analizi, dizayn optimizasyonu gibi çeşitli analizlerin yapılabilmesini sağlayan LS-DYNA programında, bir veri dosyası ile analizlere geçilir (Yörür, 2012). Veriler, sonlu elemanlar analizi kullanılarak hazırlanmaktadır. Üç boyutlu ortamda oluşturulan sonlu elemanlar modeli veri dosyaları LS-DYNA'ya aktarılarak analizler gerçekleştirilir.

### **2.2.5 İstatistiki Analiz**

İstatistiki çalışmalar Microsoft Office 2010 paket programı ve LSD analizi yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

## BÖLÜM 3

### BULGULAR

#### 3.1 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

Mekanik özellikleri belirlemek için ağacın gövde odunu kullanılmıştır. Alınan örnekler basınç direnci için teğet, radyal ve boyuna olmak üzere üç farklı yöndedir. Çekme numuneleri, liflere paralel çekme direnci ve radyal ve teğet yönlü DB şekilli numuneler olmak üzere iki farklı şekilde hazırlanmıştır. Numuneler uygun rutubet derecesine getirildikten sonra deneyler yapılmaya başlanmıştır. Deneyler tamamlandıktan sonra numunelerin her biri için ayrı ayrı elastikiyet modülleri hesaplanmış ve ortalama değerler bulunmuştur. Bulunan değerler sonlu elemanlar analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. *Platanus orientalis* L. ağacı oldukça fazla miktarda ve geniş öz ışınları içermektedir. Kesim yönüne göre öz ışınları rahatlıkla görülebilmektedir (Şekil 31).



Şekil 31: Teğet ve radyal kesitlerde öz ışınlarının görünüşü.

Ağaç bol miktarda öz ışını içerdiğinden numuneler hazırlanırken farklı yönlerde kesilmeleri sonucu ağaçtan oluşan talaş parçalarının farklı özellikler gösterdiği görülmüştür (Şekil 32).



Şekil 32: Boyuna yöndeki kesimlerde oluşan toz halindeki talaş görüntüsü ve teğet ve radyal yöndeki kesimlerde oluşan talaş içinde kopmuş öz ışınlarının görüntüsü.

### 3.1.1 Dog-bone Şekilli Numunelere Ait Bulgular

Numuneler dog-bone adı verilen şeklin elde edilebilmesi için beş eksenli CNC makinesinde hazırlanmıştır. Deneyler esnasında numunelerin zarar görmemesi için her iki uç tarafı kayın plakalarla desteklenmiştir. Her yöndeki deneyler için 60 adet numune kullanılmıştır. Testin yapılışı Şekil 33’de verilmiştir.

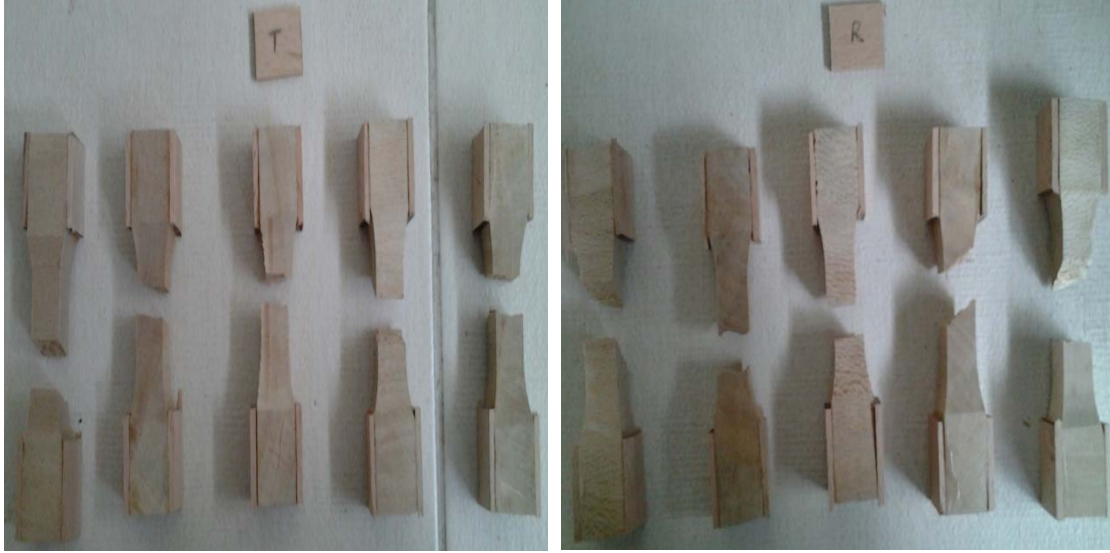


Şekil 33: Dog-bone şekilli numuneler için deneylerin yapılışı.

Fotoğraflarda numunelerin deneyler esnasında zarar görmemesini engellemek için kullanılmış olan kayın plakalar da görülmektedir. Teğet ve radyal yönlü numunelerde kopmanın keskin bir şekilde olduğu görülmüştür (Şekil 34 ve Şekil 35).



Şekil 34: Teğet ve radyal yönlü numunelerde kopma biçimi.



Şekil 35: Teğet ve radyal yönlü numunelerde kopma biçimi.

Kopma kısmı, örneklerin hemen hemen tamamında, beklenildiği şekilde numunenin orta bölümünde gerçekleşmiştir. Deneyler  $90\pm 30$  sn'de gerçekleştirilmiştir. Test cihazının hızı deneylerin gerçekleşeceği süreye göre değiştirilmiştir. Radyal yönlü numuneler için hız 5 mm/dk, teğet yönlü numuneler için 3 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre elde edilen maksimum kuvvetler ( $F_{max}$ ) ve çekme dirençleri ( $\text{ÇD}$ ) aşağıda Tablo 7 ve 8'de verilmiştir. Tablo 9 ise  $F_{max}$  ve  $\text{ÇD}$ 'ye ait LSD analizini göstermektedir.

Tablo 7: Dog-bone şekilli numuneler için ölçülen Fmax değerleri.

Numune yönü	N	$\bar{X}$ (N)	S ( $\pm$ )	Max. (MPa)	Min. (MPa)
Teğet	60	1548,7	363,8	3050,0	695,3
Radyal	60	2407,1	623,6	3696,9	1173,4

Tablo 8: Dog-bone şekilli numuneler için ölçülen ÇD değerleri.

Numune yönü	N	$\bar{X}$ (MPa)	S ( $\pm$ )	Max. (MPa)	Min. (MPa)
Teğet	60	7,9	1,3	10,9	5,5
Radyal	60	12,2	3,0	18,9	6,1

Teğet ve radyal yönde yapılan ölçümlerde, radyal yönlü numuneler teğet yöndeki numunelere göre çekme direnci testlerinde daha yüksek direnç göstermiştir. Tablo 9’ da teğet ve radyal yönlü numuneler için yapılan LSD testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 9: Teğet, radyal yönlü dog-bone şekilli numuneler için LSD testi sonuçları.

Numune yönü	N	Fmax (N)*	ÇD (MPa)*
Teğet	60	1548,7 A	7,9 A
Radyal	60	2407,1 B	12,2 B

\*p < 0,05

### 3.1.2 Liflere Paralel Çekme Direnci Numunelerine Ait Bulgular

Numuneler, gerekli şeklin verilebilmesi için beş eksenli CNC makinesinde hazırlanmıştır. Deneylerde 60 adet numune kullanılmıştır. Deneyler 90±30 sn sürede gerçekleştirilmiştir. Makine hızı 4 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre ölçümler Tablo 10’daki gibidir.

Tablo 10: Liflere paralel yönlü çekme numuneleri ÇD değerleri.

Numune yönü	N	$\bar{X}$ (MPa)	S ( $\pm$ )	Max. (MPa)	Min. (MPa)
Liflere paralel çekme	60	40,4	4,8	50,1	29,5

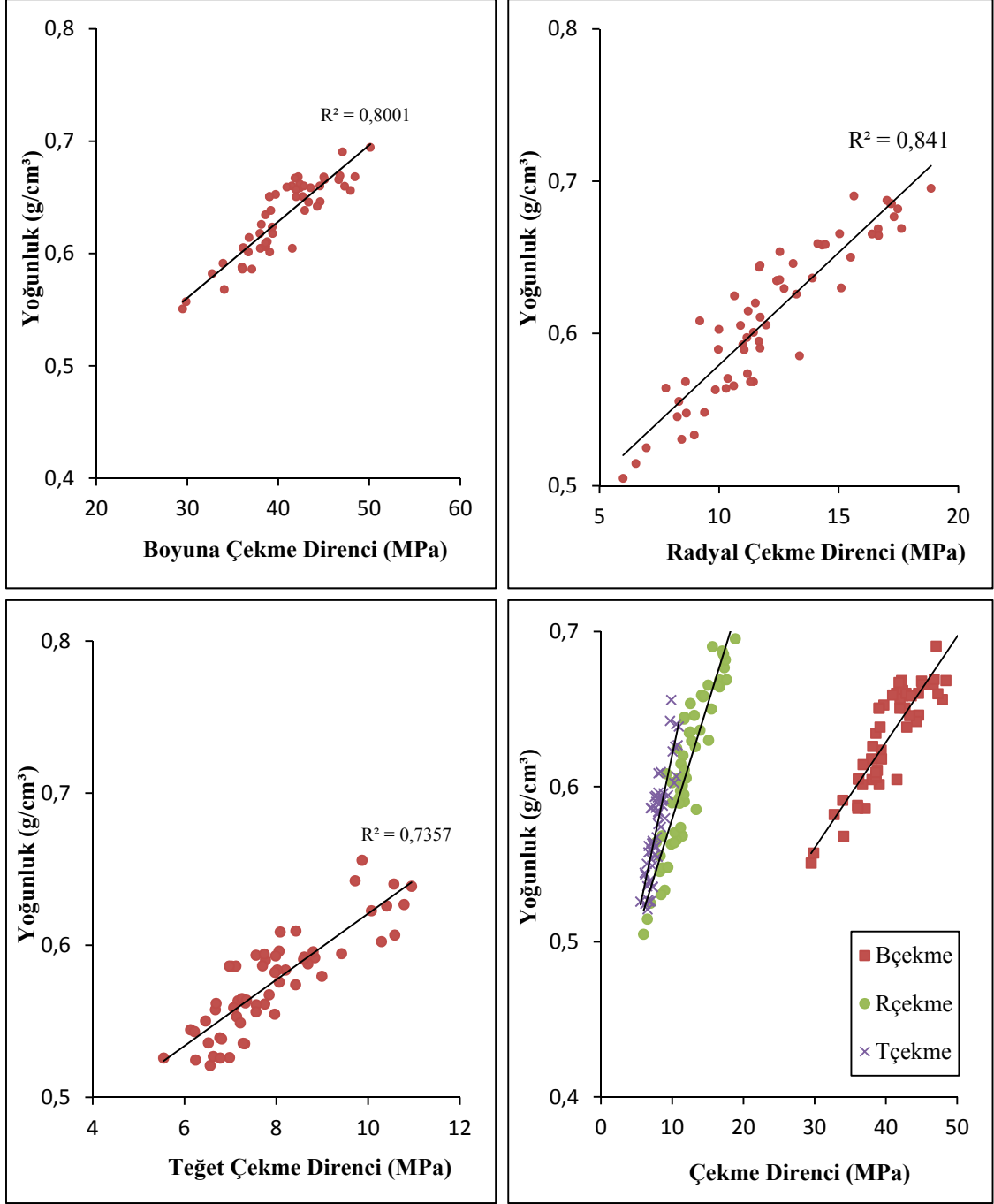
Numunelerde kopma, beklenildiği şekilde, numunelerin tamamında orta kısmında gerçekleşmiştir. Kopma bölümü teğet ve radyal yönü DB örneklerdeki gibi çok keskin olmayıp bazı örneklerde liflerin etkisiyle parçalı olabilmektedir (Şekil 36).



Şekil 36: Liflere paralel yönlü çekme numunesinin görünüşü ve kopma biçimi.

Şekil 37 çekme dirençleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu sonuçlara göre yoğunluk değişimi ile çekme direncinin üç yönünde yüksek bir korelasyon olduğu saptanmıştır. En yüksek korelasyon % 84 ile radyal yöndeki çekme dirençlerinde elde edilirken, en düşük korelasyon %73 ile teğet yönde elde edilmiştir.

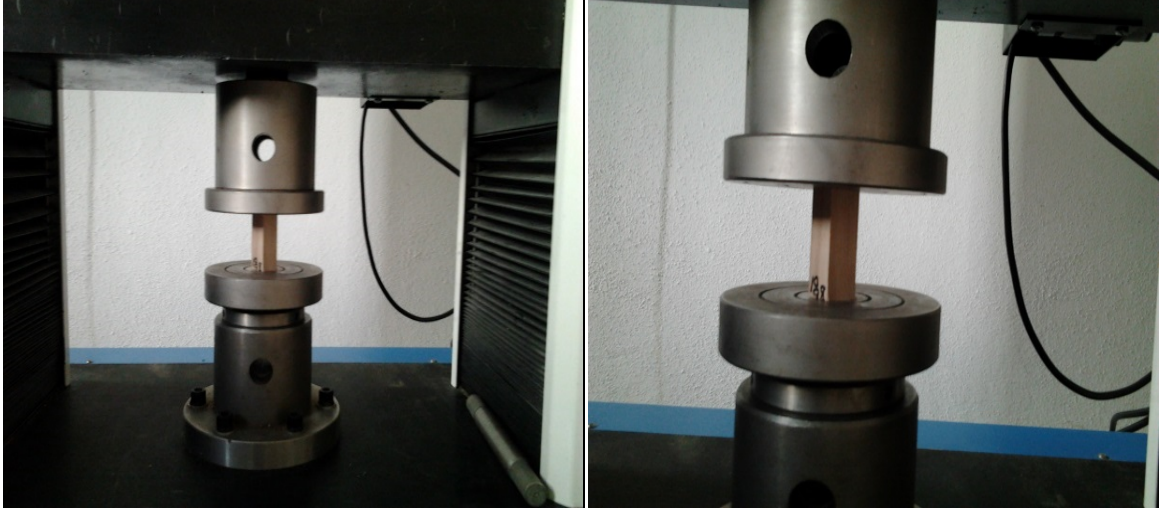




Şekil 37: Çekme direnç değerleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiler.

### 3.1.3 Basınç Direnci Numunelerine Ait Bulgular

Numuneler teğet, radyal ve boyuna yönlerde hazırlanmıştır. Deneylerde her bir yön için ayrı ayrı 80 adet numune kullanılmıştır. Yapılan basınç direnci testi Şekil 38'de görülmektedir.



Şekil 38: Basınç direnci numuneleri için deneylerin yapılışı.

Deneyler  $90 \pm 30$  sn sürede gerçekleştirilmiştir. Makine hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Boyuna yönlü numunelerde numunenin keskin bir kırılma yerine eğilme davranışı gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 39). Ağacın karakteristik bu yapısı nedeniyle deneylerin tamamlanabilmesi için kullanılan standarda göre numune boyunun %5'i oranında deformasyon gerçekleştiğinde deney tamamlanmış kabul edilmiştir. Ağacın bu özelliği içerdiği geniş ve çok miktardaki öz ışını ayrıca lif yapısı nedeniyledir. Teğet ve radyal yönlü numuneler birbirlerine benzer olarak boyuna yönlü numunelere göre daha kısa sürede sonuç vermişlerdir.



Şekil 39: Boyuna yönlü numunelerin deney sonucunda görünüşü.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre ölçümler Tablo 11 ve 12' de verilmiştir.

Tablo 11: Basınç numuneleri için ölçülen Fmax değerleri.

Numune yönü	N	$\bar{x}$ (N)	S ( $\pm$ )	Max. (MPa)	Min. (MPa)
Teğet	80	1303,06	231,85	2146	1008
Radyal	80	1953,28	692,18	4785	1040
Boyuna	80	8841,01	1153,37	11717	6966

Tablo 12: Basınç numuneleri için ölçülen BD değerleri.

Numune yönü	N	$\bar{x}$ (MPa)	S ( $\pm$ )	Max. (MPa)	Min. (MPa)
Teğet	80	5,8	1	9,5	4,5
Radyal	80	9	2,5	18,4	4,9
Boyuna	80	38,9	4,4	52	31

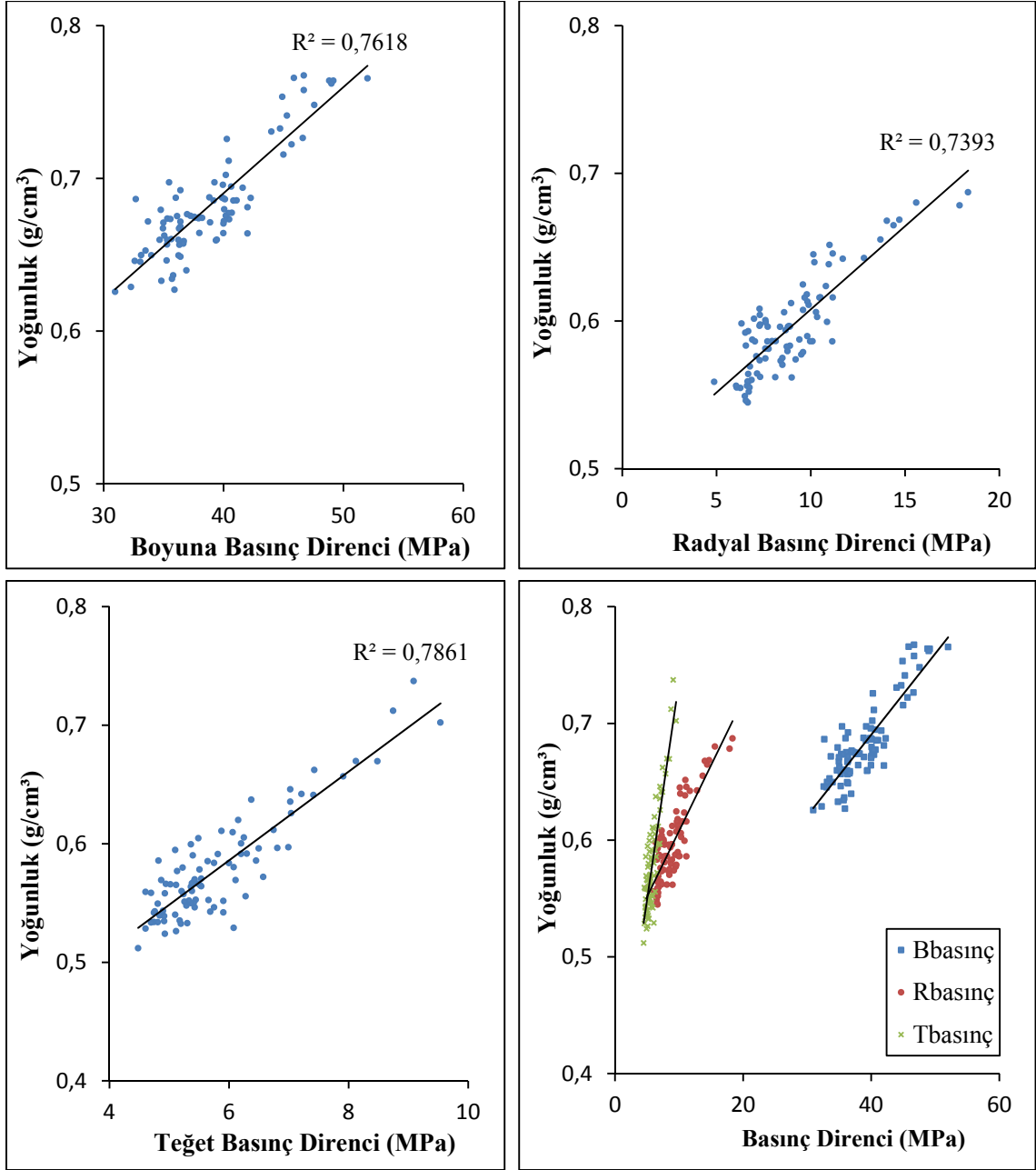
Teğet, radyal ve boyuna yönde yapılan ölçümlere göre en fazla direnci boyuna yöndeki numuneler göstermiştir. Teğet ve radyal yöndeki numuneler daha düşük direnç göstermektedir. Aşağıdaki tabloda teğet, radyal ve boyuna yönlü numuneler için LSD testi sonuçları görülmektedir (Tablo 13).

Tablo 13: Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç numuneleri için LSD testi sonuçları.

Numune yönü	N	Fmax(N)*	BD(MPa)*
Teğet	80	1303,06A	5,8A
Radyal	80	1953,28B	9B
Boyuna	80	8841,01C	38,9C

\*p < 0,05

Basınç direnci ile yoğunluk değişimi arasında yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Şekil 40 basınç dirençleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu sonuçlara göre yoğunluk değişimi ile basınç direncinin üç yönünde yüksek bir korelasyon olduğu saptanmıştır. En yüksek korelasyon % 78 ile teğet yöndeki çekme dirençlerinde elde edilirken, en düşük korelasyon %73 ile radyal yönde elde edilmiştir.



Şekil 40: Basınç direnç değerleri ve yoğunluk arasındaki ilişkiler.

### 3.1.4 Çekme ve Basınçta Elastikiyet Modülü Sonuçları

Radyal ve teğet yönlerde hazırlanmış Dog-bone şekilli numuneler ve paralel yönde çekme direnci için elastikiyet modülü sonuçları çizelgede gösterilmiştir. Verilere göre elastikiyet modülleri teğet ve radyal yönlerde yaklaşık değerler içermektedir. Liflere paralel yönlü numuneler ise daha yüksek değerler oluşturmaktadır.

Tablo 14: Teğet ve radyal yönlü dog-bone ve liflere paralel çekme testi numuneleri için elastikiyet modülü sonuçları.

<b>Numune yönü</b>	<b>N</b>	<b>Elastikiyet Modülü</b>
Liflere paralel (Boyuna)	60	4680,5
Teğet	60	388,9
Radyal	60	559,2

Teğet, radyal ve boyuna yönde yapılan ölçümlere göre en fazla direnci boyuna yöndeki numuneler göstermiştir. Teğet ve radyal yöndeki numuneler daha düşük direnç göstermektedir. Aşağıdaki tabloda teğet, radyal ve boyuna yönlü numuneler için LSD testi sonuçları görülmektedir (Tablo 15).

Tablo 15: Teğet, radyal ve boyuna yönlü dog-bone ve liflere paralel çekme numuneleri için elastikiyet modülünün LSD sonuçları.

<b>Numune yönü</b>	<b>N</b>	<b>Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)*</b>
Liflere paralel (Boyuna)	60	4680,5 A
Teğet	60	388,9 B
Radyal	60	559,2 B

\*p < 0,05

Basınç direnci numuneleri için elastikiyet modülü sonuçları Tablo 16' da gösterilmiştir. Teğet, radyal ve boyuna yönlü numunelerde basınç direnci boyuna yönde en fazla, teğet yönde ise en düşük değeri almaktadır. Teğet yönlü numunelerin değerleri radyal yönlü numunelere göre daha düşüktür.

Tablo 16: Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç direnci numuneleri için elastikiyet modülü sonuçları.

<b>Numune yönü</b>	<b>N</b>	<b>Elastikiyet Modülü</b>
Boyuna	80	7105,6
Teğet	80	354,3
Radyal	80	761,2

Tablo 17'de basınç direnci numuneleri için LSD testi sonuçları verilmiştir.

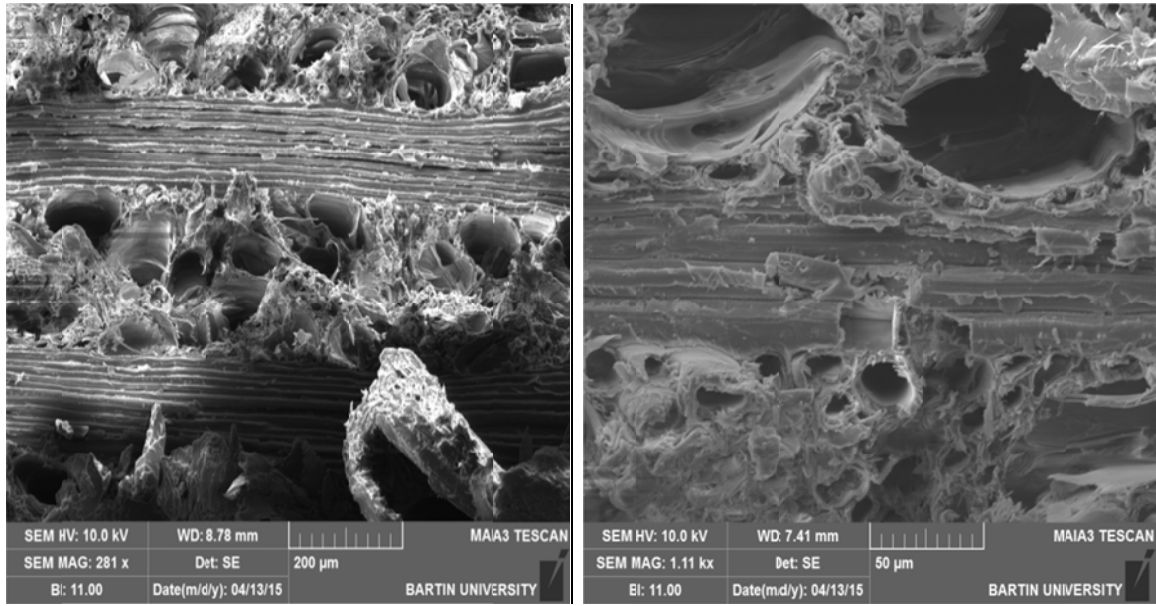
Tablo 17: Teğet, radyal ve boyuna yönlü basınç direnci numuneleri için elastikiyet modülünün LSD sonuçları.

Numune yönü	N	Basınçta Elastikiyet Modülü (MPa)*
Boyuna	80	7105,6 A
Teğet	80	354,3 B
Radyal	80	761,2 B

\*p < 0,05

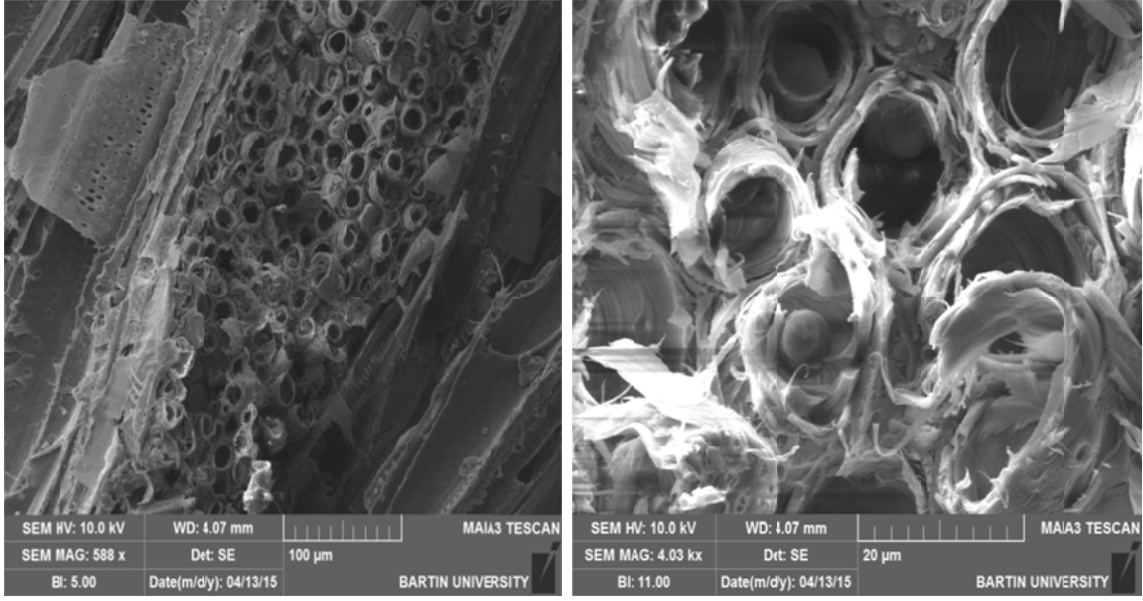
### 3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

SEM ve mikrofibril açılarının belirlenmesi için numunelerin hem deney öncesi hem de deney sonrası kopmuş oldukları bölgelerden parçalar alınmış ve incelenmiştir. İnceleme sonucu görüntüleri aşağıda görülmektedir.



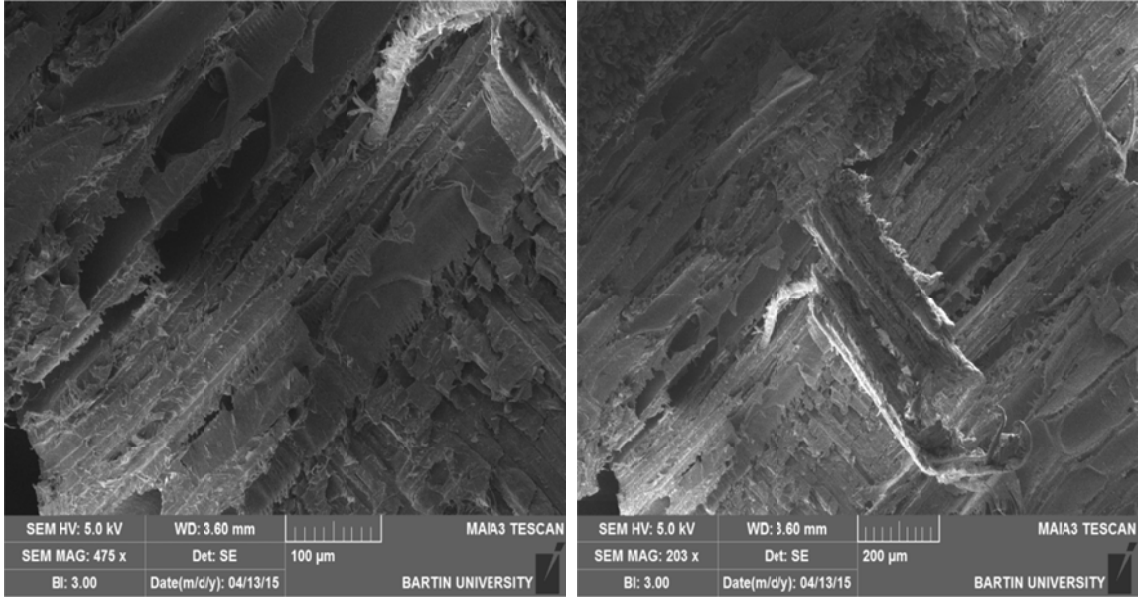
Şekil 41: Çekme direnci örneklerindeki kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.

Fotoğraflarda, kopma noktalarında öz ışınları ve trahe hücrelerinin durumları görülmektedir. *Platanus orientalis* L. ağacı fotoğraflarda görüldüğü gibi multiseri öz ışınları içermektedir.



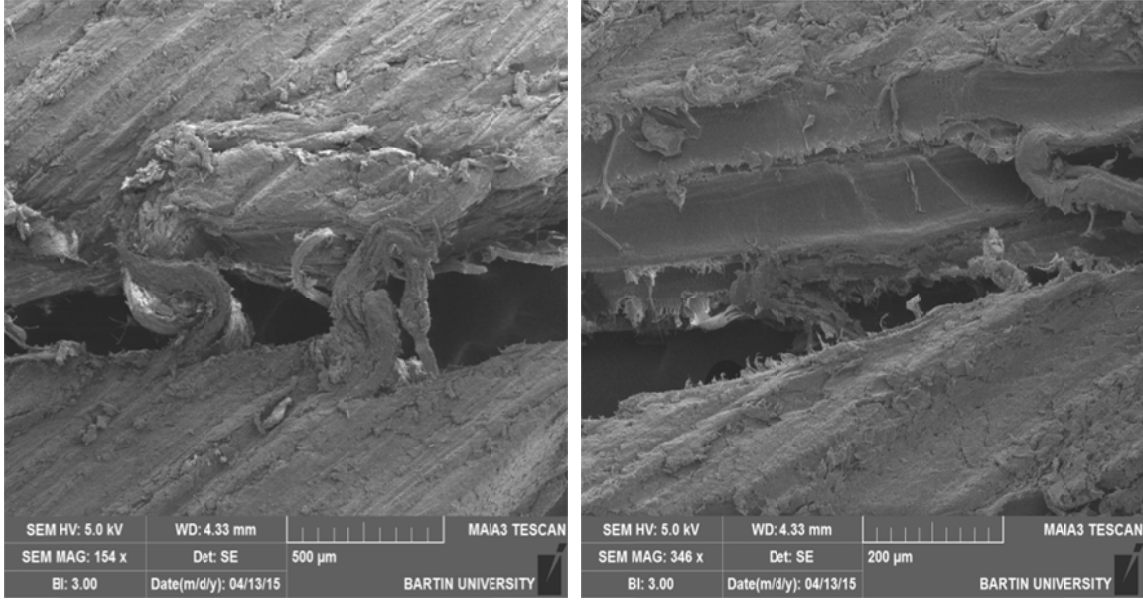
Şekil 42: Çekme direnci örneklerindeki kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.

Şekil 42'ye bakıldığında öz ışınlarındaki ve trahe hücrelerindeki kopmalar daha net görülebilmektedir. Liflere paralel yönlü çekme direnci numunelerinde gözlemlenmiş olan parçalanarak kopma ve hücrelerin parçalanma şekilleri ile açıkça görülmektedir.



Şekil 43: Basınç direncinde örneklerde meydana gelen kayma, çatlama ve kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.





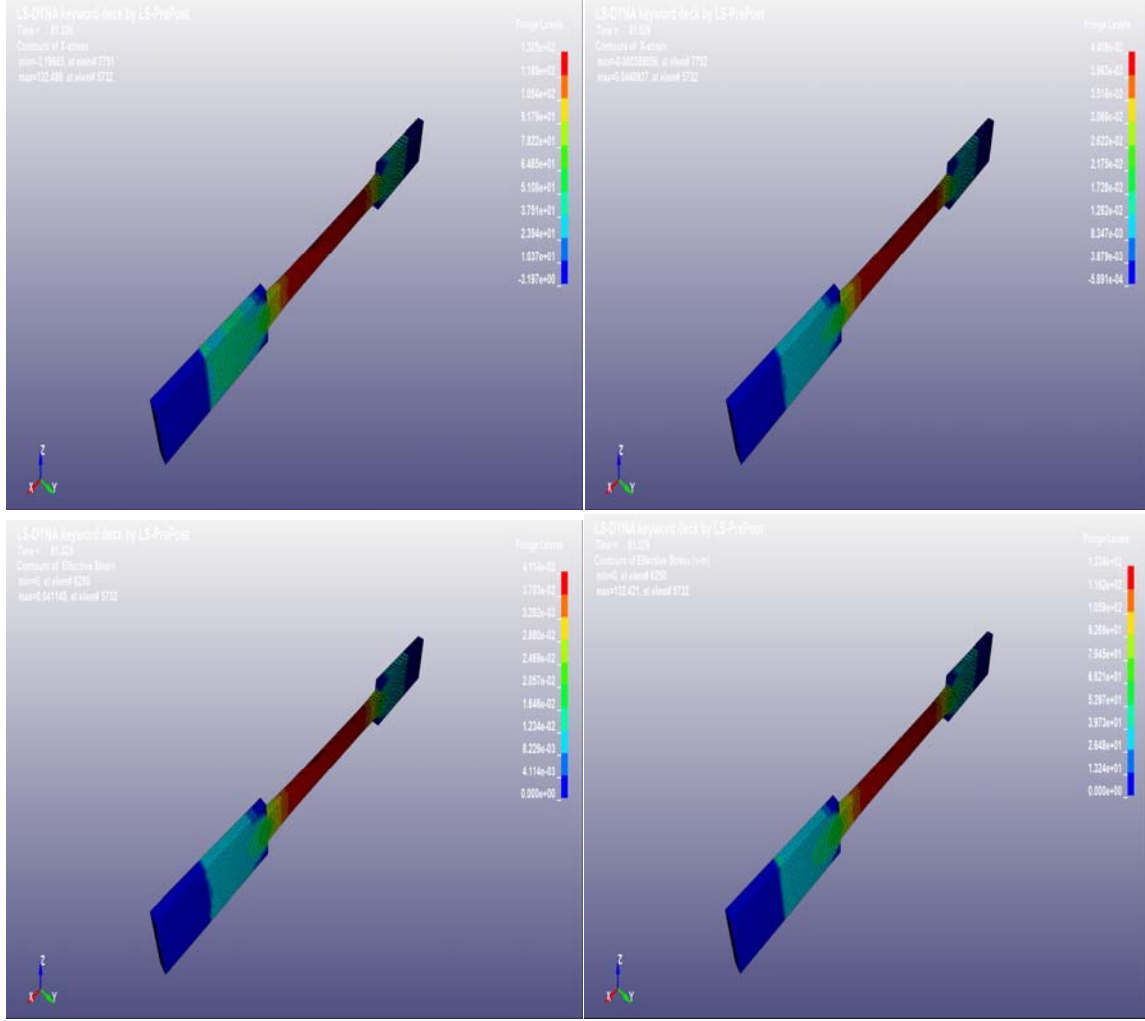
Şekil 44: Basınç direncinde örneklerde meydana gelen kayma, çatlama ve kopma noktalarındaki SEM görüntüleri.

Şekil 43 ve 44'e bakıldığında basmayla meydana gelen tabaka kaymasıyla beraber çatlak oluşumları ve yarıлма noktalarındaki ayrılımlar görülmektedir.

### 3.3 Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

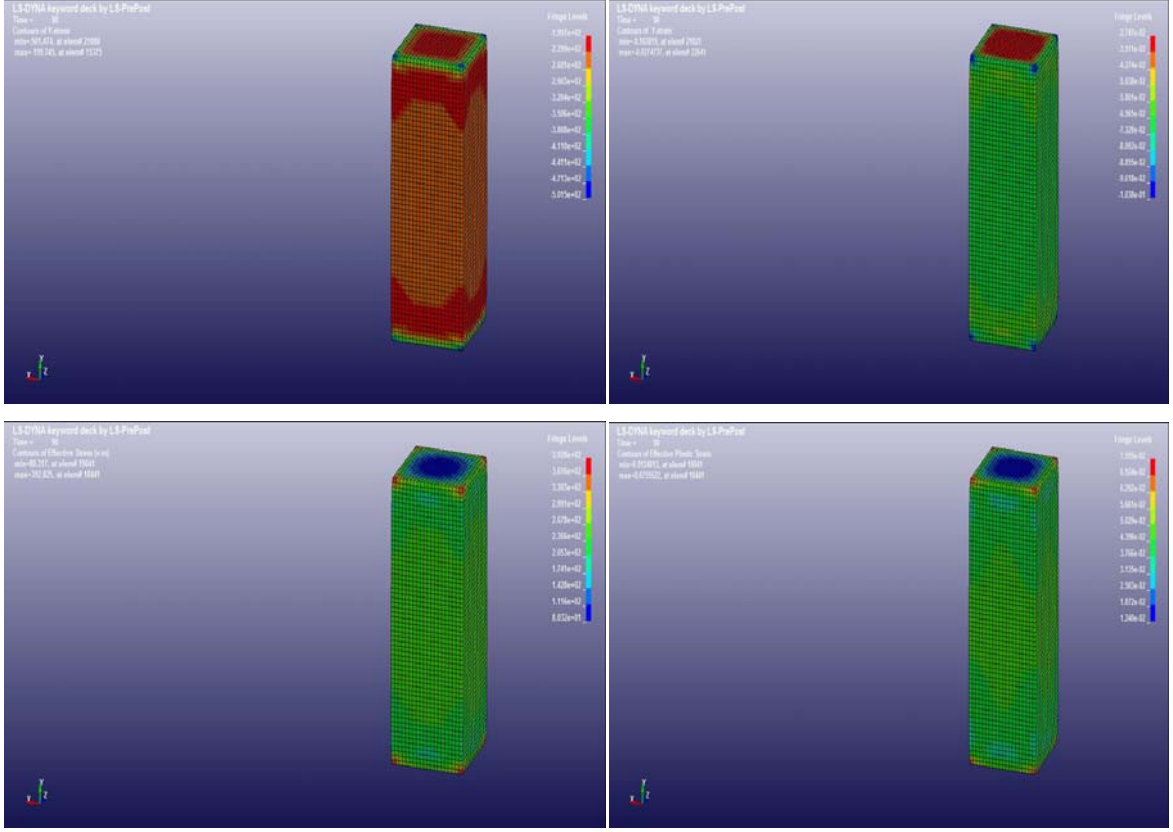
Çalışmada odunun mekanik özelliklerinden çekme direnci ve basınç direnci teğet, radyal ve boyuna yönlerde *Platanus orientalis* L. numuneleri ile laboratuvar testleri yapıldıktan sonra liflere paralel yöndeki çekme ve basınç numuneleri için sonlu elemanlar analizi Ansys/LS-DYNA programı yardımıyla yapılmıştır. Bir sonlu elemanlar programı olan ANSYS ile üç boyutlu olarak numuneler simüle edilmiştir. Numuneler için malzeme özellikleri belirlendikten sonra LS-DYNA ile analizler yapılmıştır. Bilgisayar ortamında laboratuvar koşulları ile aynı koşullar altında tekrarlanan liflere paralel çekme direnci ve boyuna yönlü basınç direnci testleri neticesinde elde edilen simülasyon görüntüleri şekil 45 ve şekil 46'da görülmektedir.





Şekil 45: Liflere paralel çekme direnci numuneleri gerilme ve deformasyon sonuçları.

Liflere paralel çekme direncinde, simülasyon ortamındaki analizlerde boy yönündeki çekme için x yönü koordinatı seçilmiştir. Deneyler 80 sn. içinde tamamlanmış ve Ansys/LS-DYNA programında numune için deformasyon ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Liflere paralel yönde çekme direnci numunelerinde en yüksek gerilimin kopmanın da gerçekleştiği orta bölümlerde olduğu görülmüştür ve boy yönündeki uzamada “x-strain ve x-gerilme” arasındaki ilişki LS-DYNA analizinde izlenmiştir. Analizlerde gerilmenin numunenin çekme yönünde uç kısımlara doğru azaldığı tespit edilmiştir. Gerilmenin en yüksek olduğu alanda Ls-prepost yardımıyla boy yönünde çekmede (x stress) gerilme gözlemlenmiştir. Gerilme sonrası numunede kopma gerçekleşmiştir. Yapılan analizlerde laboratuvar koşullarındaki deneyler ile bilgisayar ortamındaki analiz sonuçlarının liflere paralel yöndeki çekme direnci numuneleri için uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 46: Boyuna yönlü basınç direnci numuneleri gerilme ve deformasyon sonuçları.

Basınç direnci simülasyonları için boyuna yönlü numunelerde analiz için y yönü koordinatı seçilmiştir. Ansys/LS-DYNA programına aktarılan veriler ile numune için deformasyon ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Deneyler 90 sn içerisinde tamamlanmış ve kuvvet yer değiştirme olarak y eksenli verilmiştir. Ls-prepost yardımıyla basınç numunesindeki gerilme, destek ve kuvvetin uygulandığı temas noktalarında görülmüştür. Yapılan analizlerde laboratuvar koşullarındaki deneyler ile bilgisayar ortamındaki analiz sonuçlarının basınç direnci numuneleri için uyumlu olduğu görülmüştür.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ağaçların mekanik ve teknolojik özellikleri birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler ağacın kendi yapısı ile ilgili özellikler olabildiği gibi dış etkilere de bağlı olmaktadır. Ağacın kendi yapısındaki bir kusur mekanik özellikleri önemli derecede etkilemektedir. Dış şartlardaki değişimler ağacın göstereceği mekanik özellikleri farklılaştırabilir. Bu nedenle bir ağaç incelenirken hava kurusu rutubet değeri altında standart bir inceleme yapılmaktadır. Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) ağacı içerdiği bol miktarda ve geniş öz ışınları nedeniyle işlenme özellikleri çok iyi olmayan ve teknik alanlarda fazla kullanılmayan bir ağaçtır. Diğer yapraklı ağaç türleriyle karşılaştırıldığında Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) ağacı kolay yarılma ve düşük mekanik özellikleri nedeniyle dayanım isteyen alanlarda kullanılabilir özelliği çok fazla taşımamaktadır.

Ağaçtan alınan teğet, radyal ve boyuna yönlü numunelerde farklı özellikler görülmektedir. Boyuna yönlü numunelerin hem çekme hem de basınç dirençlerinin diğer yönlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Basınç direnci ölçümlerinde özellikle boyuna yöndeki numunelerde birden kırılmak yerine eğilme davranışı görülmektedir. Teğet ve radyal numunelerde bu davranış çok daha düşük oranlarda görülmüştür. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerin aynı şartla altında sonlu elemanlar analizi ile tekrarlanması bilgisayar ortamında simüle edilmiş materyal hakkında bilgi edinilmesini sağlamıştır. Ahşap, anizotropik yapısı nedeniyle özellikleri yönlerine göre değişen bir materyaldir ve hakkında tam ve doğru bilgi için her üç yönünde de inceleme yapılması gerekmektedir. Bu durum, bir ağaç malzeme ile çalışılırken her yönde örnek hazırlanması gerekliliği anlamındadır. Gerçek ortamda yapılan deneyler ile bilgisayar ortamındaki deneylerin sonuçlarının birbiri ile uyumu çalışmaların bilgisayar ortamında yapılarak zaman ve malzeme tasarrufu imkânını beraberinde getirmektedir.

Sonlu elemanlar analizi çalışmaları zaman yönünden kazanç sağlamasının yanında farklı koşullar altında denenen materyal hakkında ön bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Malzeme henüz kullanılmadan ya da bazı durumlarda henüz üretimi yapılmadan ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı hakkında bir bilgi oluşmaktadır. Çalışmalarda, heterojen yapısı

sebebiyle fazla örnek kullanımı gerektiren ahşap malzemede önemli bir maliyet ve malzeme kazancı mümkündür. Bu yönüyle tahribatsız muayene sistemi ile karşılaştırılması düşünülebilmektedir. Tahribatsız muayene sisteminde, muayene edilecek materyal gerçektir ve üzerinde herhangi bir sorun olup olmadığı radyografik, ultrasonik, manyetik parçacık, gözle muayene, replika testi gibi çeşitli metotlar ile belirlenerek hata tespiti yapılmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde ise materyal hakkında kullanılan ya da kullanılması düşünülen alanlar ile ilgili ya da doğrudan materyalin kendisi ile ilgili bilgiler edinilmektedir. Henüz üretimi yapılmamış bir malzeme ya da henüz kullanılmayan bir alan hakkında fikir edinilmesi mümkündür. Tahribatsız muayene sistemlerinde, muayene edilecek materyale göre en uygun metot seçilmelidir. Her metot kendi içinde farklı materyallerin kullanımını gerektirmektedir. Bu materyaller video kamera, film, elektrikli çeşitli aletler ve çeşitli kimyasallar olabilmektedir. Test edilecek materyale uygun test metodunun seçimi gereksiz maliyetleri ortadan kaldırmaktadır. Sonlu elemanlar analizi yöntemi ile analiz yapılmak istendiğinde uygun nitelikte bir bilgisayar ile materyal özelliklerinin doğru olması yeterlidir. Her hangi bir araç ve alet kullanımı gerekmemektedir. Bunun dışında herhangi bir malzeme ihtiyacı bulunmamaktadır. Materyal bilgileri girildikten sonra farklı koşullar altında farklı tür deneyler yapılabilmektedir. Gelişmeler ile tahribatsız muayene yöntemlerinden bazılarında sonuçların görüntüleri alınabilmektedir. Sonlu elemanlar analizi yöntemlerinde sonuçlar yine görüntülü olarak aynı zamanda grafikler halinde alınabilmektedir. Deneyler materyalin sağlam halinden bozulma durumuna kadar yapıldığından bu geçiş izlenebilmektedir. Tahribatsız muayene yöntemlerinin tamamı her tür materyal için kullanılamamaktadır. Örneğin manyetik parçacık testleri ferromanyetik olmayan materyallere uygulanamamaktadır. Bir muayene için tek bir yöntem kullanılabildiği gibi gerektiğinde sağlıklı bilgi edinilmesini sağlayacak birkaç yöntem bir arada kullanılabilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde kompozit ya da kompozit olmayan materyaller için deneme ortamı bilgisayardır ve koşullar ile yapılacak deneyler bu ortamda değiştirilebilir. Tahribatsız muayene yöntemleri ile materyaller kullanım yerlerinde kullanılırken muayene edilmekte ve hata tespiti yapılmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde, kullanım yerinde ne gibi durumlarla karşılaşılabileceği, malzemenin tepkileri ile ilgili tahmini sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sonlu elemanlar analizi ile ahşap materyal çalışmaları yeni sayılabilir. Yapılan çalışmalar, ahşap malzemelerin ya da ahşabın da kullanıldığı malzemelerin simülasyonlarla

denendiğinde geek koşullara uygun sonuçların alınıp alınmayacağını göstermektedir. Odun farklı yönlerde gösterdiği farklı davranışlar yani anizotropik yapısı nedeniyle analizlerde zorluklar oluşturabilmektedir. Bununla birlikte yapılan analizler ve kullanılan programların geliştirilmesi çalışmaların devam ettirilmesi gereğini göstermektedir. Bilgisayar destekli analiz programı ile yapılan modelleme ve analizler ile uygulamalı deneysel metotların sonuçlarının birbirine yakın değerler vermesi sonlu elemanlar analizi yöntemlerinin ilerde daha etkili olarak kullanılabileceği öngörüsünü oluşturmaktadır. Simülasyonlar ile analizlerde, hassas ölçümler yapılabilmekte ve daha ayrıntılı olarak malzemenin incelemesi yapılabilmektedir. Daha doğru analizler yapılabilmesi için ne tür çalışmalar yapılması gerektiğiyle ilgili bilgi oluşturmaktadır. Bunun yanında ahşap materyallerle ilgili simülasyon bilgileri arşivi oluşmaktadır.

Çalışmada dog-bone adı verilen numunelerin kullanımı ağacın yönlerine göre özelliklerinin değişmesi sebebiyle önemlidir. Numuneler çekme direnci denemeleri için kullanılmıştır. Liflere paralel çekme direnci numunelerine göre uzunlukları daha kısa olan bu numunelerden radyal ve teğet yönlü çekme direnci numuneleri yapılmıştır. Bu sayede anizotropik yapılu ahşap malzemenin daha küçük bölgelerinde ve farklı yönlerinde daha ayrıntılı bilgi edinilmesi sağlanmıştır. Bu numuneler boyutları nedeniyle ağaçta her üç yönde elde edilebilmektedir.

Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) ağacı süs ağacı olarak kullanımının dışında geniş kullanım alanı olan bir ağaç değildir. Çalışmalar sonucunda elde edilen bilgilere göre özellikle boyuna yöndeki direncin fazla oluşuyla bu yönde kesildiğinde dayanım isteyen alanlarda daha fazla kullanılabileceği görülmektedir. Bunun yanında bol öz ışınli karakteri nedeniyle kaplama sanayiinde değerlendirilmesi uygundur.

## KAYNAKLAR

- Akkaya, G. (2007). Yapay sinir ağırları ve tarım alanındaki uygulamaları, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(2): 195-202.
- Alan, A., Bayrakçı, H. C. ve Özgür, A. E. (2005). Akışkanlar mekaniği ve iklimlendirme sistemlerinde sonlu elemanlar metodunun uygulanması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1): 49 – 54.
- Alkan, Z., (1971). *Statik ve Mukavemet Ders Notları (teksir)*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü, Erzurum. 325 s.
- Anşin, R., ve Özkan Z. C. (2006). *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta). Odunsu Taksonlar*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No. 167, Fakülte Yayın No: 19. KTÜ Basımevi, (Trabzon). 450 p.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C. (1993). *Tohumlu Bitkiler. Odunsu Taksonlar*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, No: 167/19, Trabzon.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C. (1993). *Tohumlu Bitkiler*, K.T.Ü. Orman Fak. Yayını, Np:167/19, Trabzon, 512 s.
- Anon. (2003). *Seed propagation of Mediterranean Trees and Shrubs*. APAT. Printed in Italy by I.G.E.R. srl-(Roma).108 p.
- Anon. (2012). About ANSYS, Inc. [http://www.ansys.com/\\_About+ANSYS](http://www.ansys.com/_About+ANSYS), (Erişim tarihi: 20.02.2012).
- Arıkan, M. A. S. (2000). *Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları*. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf>. (03.03.2016).
- Arslantürk, C. ve Kara, Y. A. (2012). *Sayısal Yöntemler Ders Notları*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Aydemir, D. (2007). The Effect of Heat Treatment on Some Physical, Mechanic and Technological Properties of Uludag Fir (*Abies bornmülleriana* Mattf.) and Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) Wood, Master Thesis; Zonguldak Karaelmas University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Zonguldak, Turkey
- Barbero M., Quezel P. (1979). Contribution à l'étude des groupements forestiers de Chypre. *Documents phytosociologiques*, Vol.IV, 1 0 - 23.
- Bektaş, I., Göker,Y., Alma, M.H. ve Baştürk, A. ( 2002). Odunun tormalama özellikleri üzerine yoğunluk ve rutubet miktarının etkisi. *II<sup>th</sup> National Black Sea Forestry Congress*, Vol. III, 15- 18 May 2002,Artvin/Turkey, pp. 884-891.
- Bond, B. ve Hamner, P. (2010). *Wood Identification for Hardwood and Softwood Species Native to Tennessee*, The University of Tennessee Press, USA.

- Bozkurt, Y. (1966). Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 14(1): 42-60.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1987). *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*, İ.Ü. Orman Fak. Yayın No:3998/445, İstanbul, 372 s.
- Bozkurt, A. Y., Erdin, N. (2000). *Odun Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y. (1986). *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi (Ders Kitabı)*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İÜ Yay. No 3944, Or. Fak. Yay. No 436, 372, İstanbul.
- Burgert, I., Keckes, J., Frühmann, K., Fratzl, P., Tschegg, S.E. (2002). A comparison of two techniques for wood fiber isolation - evaluation by tensile tests of single fibres with different microfibril angle. *Plant Biology*, 4(1): 9-12.
- Cai, X., Yang, L.W. ve Shi, J.S. (2008). Study on characteristics differences between *Planatusoccidentalis* clones by tissue culture. *Journal of Jiangsu Agricultural Science* 4: 89-93.
- Clough, R. W. (1960). The finite element method in plane stress analysis. *Proceedings of American Society of Civil Engineers, 2nd Conference on Elelctronic Compitations*, 23, 345-378, USA.
- Curun, N. (1981). *Malzemelerin Mekanik Özellikleri*, Milli Eğitim Ders Kitabı, Ankara.
- Davis, P. H. (1982). *Flora of Turkey and the East Aeagean Islands*. Vol:VII. Edinburg at the University Press, 947 p.
- Demirsöz, R., Kesikçi M.K. ve İmrak C.E. (2005). Design and static stress analysis of hook crosshead by means of finite element method. *Proceeding of Advanced Manufacturing Technologies*, 44 (2): 502-507.
- Desch, H.E. ve Dinwoodie, J.M. (1996). *Timber: Structure, Properties, Conversion and Use*, 7th Edition. The Macmillan Press Ltd, London.
- Dirol, D. ve Guyonnet, R. (1993). The improvement of wood durability by retification process. International Research Group, IRG/WP 98-40015, Stocholm, Sweden.
- Dirr, A. M. ve Heuser C. W. (2006). *The Reference Manual of Woody Plant Propagation From Seed To Tissue Culture*. varsity press, Inc. North Carolina, (USA). 417 p.
- Doğu, A. D. (2002). Odun yapısı üzerinde etkili faktörler. Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, *DOA Dergisi*, 1: 81-102.
- El Yafi J., Nahal J. ve Rahme A. (1976). Preliminary Contribution to the Study of *Platanus orientalis* L.: *Botanical Features, Ecology and Wood Anatomy*. Faculty of Agriculture, Aleppo University.

- Floyd, S., Eudicot, A.B., Lerner, V. T. ve Friedman, W. E. (1999). A Developmental and Evolutionary analysis of embryology in *Platanus* (*Platanaceae*). *American Journal of Botany*, 86 (11): 1523-1537.
- Fournier, P. (1961). *Les quatre flores de France* – Paul Le Chevalier, Paris.
- Friis, E. M., ve Crane, P. R. (1989). Reproductive structures of Cretaceous Hamamelidae. Chapter 5. In *Evolution, systematics, and fossil history of the Hamamelidae*, vol. 1, P. R. Crane and S. Blackmore [eds.], Clarendon Press, Oxford, pp 155–174.
- Gallego, E., Goodey, R.J., Ayuga, F. ve Brown, C.J. (2004). Some practical features in modelling silos with finite elements. *An ASABE Conference*, Ottawa, Canada August 1 – 4.
- Göker, Y. (1992). *Türkiye Akdeniz Bölgesi Ormanları ve Ormancılığına İlişkin Yaklaşımlar: Akdeniz Bölgesi Doğal Ağaç Türlerinin Teknolojik Ve Endüstriyel Özellikleri*, İÜ Orman Fakültesi. Ormancılık Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürlüğü Yayınları, Müdürlük Yayın No 1, 169-180, İstanbul.
- Greuter, W., Urdet, H.M. ve Long, G. (1989). *Med - Checklist: Inventaire Critique Des Plantes Vasculaires Des Pays Circumméditerranéens. Dicotyledones*, 4. Ed. Conservatoire et Jardin Botanique De La Ville De Genève.
- Güçlü, K. (1993). *Geniş Yapraklı Süs Ağaç ve Ağaççıkları*, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Notları Sayfa 180.
- Gündüz, G. ve Aydemir, D. (2009). The influence of mass loss on the mechanical properties of heat-treated Black Pine Wood. *Wood Research*, 54 (4): 33-42.
- Gürer, C., Akbulut, H., Cetin, S. (2008). Tek Açıklıklı Kemer Sistemli Rize Köprülerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu. 26-28 Kasım 2008, ss. 435-445. Antalya.
- Hajhashemil, V., Ghannadi, A. ve Mousavi1, S. (2011). Antinociceptive study of extracts of *Platanus orientalis* leaves in mice. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 6(2): 123–128.
- Kibar, H. ve Öztürk, T. (2012). ANSYS Sonlu eleman yazılımının tarımdaki uygulamaları, derleme. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (2): 65-74.
- Hartman, H. T., Kester, D. E., Davies, F.T. ve Geneve R.L. (2011). *Hartmann and Kester's Plant Propagation: Principles and Practices*. (8 th Edition). Prentice Hall. NJ, (USA). 928 p.
- Hill, C.A.S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Wiley, Bangor, UK.
- Hillier, F.S. ve Lieberman, G.J. (1995). *Introduction to Operations Research*, 6th ed. New York.



- Hinton, E. ve Owen, D.R.J. (1977). *Finite Element Programming*, Academic Pres, London.
- Hunt, J.F.ve Gu, H. (2004). *Finite Element Analyses of Two Dimensional, Anisotropic Heat Transfer in Wood*. USDA, Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Drive, Madison, WI 53726.
- Huxley, A. (1992). *RHS Dictionary of Gardening*. MacMillan Press, USA.
- İmrak, C. E., Erdil, A. B. ve Fetvacı, M. C. (2007). Modeling and stress analysis of crane cross piece under distributed load on semi-circular pattern. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (3): 301-305.
- İmrak, C. E., Fetvacı, M. C.ve Erdil, A. B. (2006). Finite Element Modelling and Static Stress Analysis of Crosshead. *Proceedings of AED-5th International Conference on Advanced Engineering Design*, 11-14 June 2006, Prague, Czech Republic.
- Kaygın, B., Gunduz, G. ve Aydemir, D. (2009). The effect of mass loss on mechanic properties of heat –treated Paulownia. *Wood Research* 54 (2): 101-108.
- Keator, G. (2002). *Introduction to Trees of the San Francisco Bay Region*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Keunecke, D. (2008). Elasto-Mechanical Characterizations of Yew and Spruce Wood with Regard to Structure Property Relationships, Ph. D Thesis, univercity of Hamburg, Germany.
- Kocataşkın, F., (1966). *Yapı Malzemesi Olarak Ahşap*. İ.T.Ü Kütüphanesi, Sayı 655, İstanbul, 54 s.
- Korkut, S., Korkut, D. S. ve Bekar, İ., (2008). Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odununun bazı teknolojik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisi. *I. Ulusal Okalıptüs Sempozyumu*, 15-17 Nisan 2008, Tarsus, Türkiye.
- Kotilainen, R., (2000). Chemical Changes in Wood During Heating at 150–260°C. Ph.D. Thesis, Jyväskylä University, Finland
- Kylene, R. L. (2010). *Micro Satellite Development in Platanus for Documenting Gene Flow Among Species*. California State University.
- Larson, P. R. (1994). *The Vascular Cambium, Development and Structure*. Berlin: Springer-Verlag. 725 p.
- Lang, K. R. (2010). Microsatellite Development in Platanus for Documenting Gene Flow among Species. Master Thesis, California State University, Chico, USA.
- Li, H. Y. (1994). *Analysis of Steel Silo Structures on Discrete Supports*. Department of Civil Engineering & Building Science, The University of Edinburgh.

- Merev, N. (2003). *Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı*. KTÜ Basımevi, Genel yayın no: 209, Trabzon, 246s.
- Mozaffarian, V. (1994). *Plant systematics. Vol. 2: Dicotyledons. Tehran: Danesh-e Emrooz Publications*, p. 35-36.
- Mozaffarian, V. (1996). *A dictionary of Iranian plant names. Tehran: Farhang-e Moaser Publications*, p: 418-419.
- Muaveni, S. (2003). *Finite Element Analysis, Pearson Education*, New Jersey.
- Nahal, J. ve Rahme, A. (1990). *Le Platane d' Orient (Platanus orientalis L.) dans la région du Proche Orient.*, Technical Note, France.
- Naidenova, T., ve Garelkov, D. (1986). On the growth and productivity of the European Plane *Platanus orientalis* and possibilities for its utilization when establishing intensive forest plantations. *Gorskostopanska*, 23 (1): 29-36.
- Orojlool, M., Nematollah, E., Talebi, M. ve Rezai, S. (2014). Investigating the genetic diversity of plane (*Platanus orientalis* and *P. occidentalis*) in different regions of Iran using SRAP Markers. *Australian Journal of Crop Science*, 8(10): 1388-1394.
- Örs, Y. ve Keskin H. (2001). *Ağaç Malzeme Bilgisi*. Gazi Üniversitesi yayın no: 2000/352, Atlas Yayıncılık no: 2, İstanbul
- Ozyhar, T. (2013). *Moisture and Time Dependent Orthotropic Mechanical Characterization of Beech Wood*, Ph. D Thesis, Technical University of Munich, Germany.
- Özçelik, N. (1965). *İnşaat Bilgisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No. 102, İstanbul, 358.
- Panshin, A. J. ve Zeeuw, C. (1980). *Textbook of Wood Technology*. 4th ed. New York: McGraw-Hill. 722 p.
- Payer, A. (2010). *Architektur für die Tropen, Holz als Material, Botanisches und Forstwirtschaftliches*, Technical Note, Germany.
- Pedersen, K. R. ve Crane, P. R. (1988). Reproductive structures of Cretaceous Platanaceae. *Biologiske Skrifter*, 31: 5–25.
- Pedersen, K. R. ve Crane, P. R. (1994). Angiosperm floral structures from the early Cretaceous of Portugal. *Plant Systematics and Evolution*, 8: 31–49.
- Post, G. (1932). *Flora of Syria, Palestine and Sinai*. 2e Ed., 2 Vol., American University of Beirut.
- Postacioğlu, B. (1966). *Yapı Malzemesi Esasları*. İ.T.Ü. Yayınları No. 637, İstanbul, 461 s.

- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., Langenfeld-Heyser R. ve Polle, A. (2010). Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. *Bull Environ Contam Toxicology*, 85: 251-255.
- Nahal, I. ve Rahme N. (1990). Le Platane d'Orient (*Platanus orientalis* L.) dans la région du Proche Orient. *Forêt méditerranéenne*, 2: 115-124.
- Raven, P., Evert, R. ve Eichhorn, S. (1999). *Biology of Plants*. 6th ed. New York, NY: W.H. Freeman & Company. 944 p.
- Reiterer, A., Lichtenegger, H. C., Stanzl-Tschegg, S. ve Fratzl, P. (1999). Experimental evidence for a mechanical function of the cellulose microfibril angle in wood cell walls. *Philosophical Magazine A*, 79(9): 2173-2184.
- Sajid, M., Pervaiz, M., Rab, A., Jan, I., Haq, I., Wahid, F, Shah, S. T. ve Ali, I. (2012). Response of plane tree (*Platanus orientalis*) to cuttings and planting dates. *Journal of Animal Plant Science*, 22 (2): 420-424.
- Saatçioğlu, F. (1969). *Silvikültür I. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No: 1429/138, s 323.
- Segrind, L. (1984). *Applied Finite Element Analysis*, 2d. ed. John Wiley and Sons, New York.
- Serengil, Y., Augustaitis, A., Bytnerowicz, A., Grulke, N., Kozovitz, A.R., Matyssek, R., Müller-Starck, G., Schaub, M., Wieser, G., Aydin Coskun, A. ve Paoletti, E. (2010). Adaptation of forest ecosystems to air pollution and climate change: a global assessment on research priorities. *iForest*, 4: 44-48.
- Sudworth, G. B. (1967). *Forest Trees of the Pacific Slope*. Dover Publications Inc., New York, New York, USA.
- Tello, M. L., Redondo, C. ve Mateo-Sagasta, E. (2000). Health status of plane trees (*Platanus spp.*) in Spain. *Journal of Arboriculture*, 26(5): 240-251.
- Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M. ve Militz, H. (1998a). Thermal modification of non-durable wood species. *Wood Preservation Research Group, IRG/WP 98-40124*, 98-06-14/19 Maastricht, The Low Countries.
- Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P. ve Militz, H. (1998b). Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Roh- Werkstoffe*, 56(3): 149-153.
- Toker, S. ve Ünay, A. İ. (2004). Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2): 129-139.
- Topçu, M., Taşgetiren, S. (1998). *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu*. Pamukkale Üniversitesi, Ders Kitapları Yayını No: 7.

- Troya, M. T. ve De Navarrete, A. M. (1994). Study of the degradation of retified wood through ultrasonic and gravimetric techniques. *Wood Preservation Research Group, IRG/WP 94-40030*, 94-04-12/14 Maastricht, The Low Countries.
- Uluata, A. R. (1965). Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler. *Atatürk üniversitesi Dergisi*, 1: 113-124.
- Uludağ, M. (2006). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Çatalzeytin Orman İşletme Müdürlüğü Çınar (*Platanus orientalis* L.) Gövde Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD., Bartın, 68 s.
- URL-1 (2015) <http://www.garden.org/about/onlinecourse/Act9.htm> (7.4.2015)
- URL-2 (2015) [http://www.ipe.ethz.ch/laboratories/ltr/education/Studienarbeiten/index\\_EN](http://www.ipe.ethz.ch/laboratories/ltr/education/Studienarbeiten/index_EN) (7.4.2015)
- URL-3 (2015) <http://www.garden.org/about/onlinecourse/Act9.htm> (10.4.2015)
- URL-4 (2015) <http://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi> (7.4.2015)
- URL-5 (2015) <http://www.makewoodgood.com/wood-rot-happen-stop-it/> (7.4.2015)
- URL-6 (2015) <http://www.gardensonline.com.au/GardenShed/PlantFinder/> (7.4.2015)
- URL-7 (2015) <http://www.delange.org/SycamoreArizona/SycamoreArizona.htm> (10.4.2015)
- URL-8 (2015) [http://www.havlis.cz/karta\\_en.php?kytkaid=223](http://www.havlis.cz/karta_en.php?kytkaid=223) (10.4.2015)
- URL-9 (2015) [http://www.havlis.cz/karta\\_en.php?kytkaid=22](http://www.havlis.cz/karta_en.php?kytkaid=22) (7.4.2015)
- URL-10 (2015) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Platanus\\_orientalis\\_flower](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Platanus_orientalis_flower) (10.4.2015)
- URL-11 (2015) <http://www.tree-guide.com/oriental-plane-tree> (7.6.2015)
- URL-12 (2015) <https://davisla.files.wordpress.com/> (9.9.2015)
- URL-13 (2015) <https://www.flickr.com/photos/rianetna/5919571581> (8.6.2015)
- URL-14 (2015) [https://en.wikipedia.org/wiki/Platanaceae#/media/File:Platanus\\_orientalis](https://en.wikipedia.org/wiki/Platanaceae#/media/File:Platanus_orientalis) (1.8.2015)
- URL-15 (2015) [http://staff.aub.edu.lb/~weblhort/Plants/Deciduous\\_Trees/Plant/Platanus](http://staff.aub.edu.lb/~weblhort/Plants/Deciduous_Trees/Plant/Platanus) (30.8.2015)
- URL-16 (2015) <https://fablesandflora.wordpress.com/tag/fruit/> (8.4.2015)

- URL-17 (2015) <http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=PLOR> (8.4.2015)
- URL-18 (2015) <http://artunbotke.com/2012/05/09/sonlu-elemanlar-analizi-fea-nedir-teori/> (8.4.2015)
- Ünay, A. İ. (2001). *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Wiedenhoeft, A. C, Miller, R. B. (2005). The structure and function of wood, Chapter 2. In. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, (Ed. RM Rowell). CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 9–33.
- Winandy, J. E. ve Rowell, M. (2005). *Handbook Wood and Chemistry Composites*, CRC Press, USA.
- Yalçınkaya, M. ve Satır, B. (2005). Tünellerde oluşan hareketlerin farklı ölçü yöntemleri ve sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi. 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.
- Yörür, H. (2012). Ahşap Malzemelerden Üretilen Köşe Birleştirmelerin Simülasyon (ANSYS) Ortamında Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ABD., Bartın, 184 s.
- Zencirkiran, M. ve Erken, K. (2012). The effect of different times collecting cutting and auxin treatments of the rooting in *Platanus orientalis* L. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 22(3): 764-767.
- Zencirkiran, M. (2010). Determination of native woody landscape plants in Bursa and Uludağ. *African Journal of Biotechnology*, 8 (21): 5737-5746.
- Zienkiewicz, O. C. ve Morgan, K., (1983). *Finite Elements And Approximation*, A Wiley-Interscience Publication, New York.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Göksu ŞİRİN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 26.04.1980

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bülent Ecevit Üniversitesi (Zonguldak Karaelmas Üniversitesi) Orman Endüstri Mühendisliği  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bülent Ecevit Üniversitesi (Zonguldak Karaelmas Üniversitesi) Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Gaziosmanpaşa Üniversitesi

### İletişim

E-Posta Adresi : goku.sirin@gop.edu.tr

Tarih : 27/11/2015(Tez sınav tarihi)