

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP MALZEMEDEKİ KUSURLARIN ULTRASONİK TOMOGRAFİ VE
ULTRASES DENEY YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Can TÜCCAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP MALZEMEDEKİ KUSURLARIN ULTRASONİK TOMOGRAFİ VE
ULTRASES DENEY YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Can TÜCCAR
(501141024)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501141024 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Can TÜCCAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AHŞAP MALZEMEDEKİ KUSURLARIN ULTRASONİK TOMOGRAFİ VE ULTRASES DENEY YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 14 Aralık 2017





Sevgili annem, babam ve kardeşlerime,



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesindeki lisans ve yüksek lisans eğitim ve öğretimi boyunca bana yardımcı olup desteklerini esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ'ye,

Deneysel çalışmaları uygulamam konusunda bana yardımcı olan TİCEM İleri Yapı Teknoloji ekibine ve İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,

Hayatım boyunca yanımda olup desteklerini esirgemeyen annem Ayşe TÜCCAR, babam Mehmet TÜCCAR, ablalarım Nilüfer TÜCCAR BALLI ve Nilay TÜCCAR KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2017

Mehmet Can TÜCCAR
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Ahşap malzeme	3
1.2.2 Ağaç türleri.....	4
1.2.2.1 İğne yapraklı ağaçların karakteristik özellikleri	4
1.2.2.2 Yapraklı ağaçların karakteristik özellikleri.....	4
1.2.3 Ahşabın yapısı.....	4
1.2.3.1 Ahşap malzemenin fiziksel yapısı	5
1.2.3.1.1 Ahşabın makroskobik yapısı.....	6
1.2.3.1.2 Ahşabın mikroskobik yapısı.....	7
1.2.3.2 Ahşap malzemenin kimyasal yapısı.....	9
1.2.4 Ahşap malzemenin özellikleri.....	10
1.2.4.1 Ahşap malzemenin fiziksel özellikleri.....	10
1.2.4.2 Ahşap malzemenin mekanik özellikleri.....	13
1.2.4.2.1 Elastisite modülü.....	15
1.2.4.2.2 Çekme mukavemeti.....	15
1.2.4.2.3 Eğilme mukavemeti	16
1.2.4.2.4 Basınç mukavemeti	16
1.2.4.3 Ahşap malzemenin yangın özelliği.....	17
1.2.5 Ahşap malzemenin avantajları ve dezavantajları.....	18
1.2.5.1 Ahşap malzemenin avantajları.....	18
1.2.5.2 Ahşap malzemenin dezavantajları	19
1.2.6 Ahşap malzeme kusurları	19
1.2.6.1 Budaklar	19
1.2.6.2 Öz.....	20
1.2.6.3 Lif kıvrıklığı (spiral liflilik)	20
1.2.7 Ahşapta tahribatsız deney yöntemleri	21
1.2.7.1 Gözle muayene	21
1.2.7.2 Delme direnci.....	21
1.2.7.3 Vibrasyon.....	22
1.2.7.4 Radyografi	22
1.2.7.5 Ultrasonik muayene	23
1.2.7.6 Stres dalgası (Ultras)	24

1.3 Deneysel Çalışmalar	25
1.3.1 Kullanılan malzeme ve özellikleri	26
1.3.1.1 Kayın ağacı	26
1.3.2 Numunelerin üretimi	26
1.3.2.1 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma numunenin üretimi	26
1.3.2.2 20*20*20 cm boyutlu küp numunenin üretimi	27
1.3.2.3 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp numunenin üretimi	28
1.3.3 Deneylerin yapılışı	31
1.3.3.1 Ultrases hızı deney aleti	31
1.3.3.2 20*20*20 cm boyutlu küp üzerinde ultrases deneyinin uygulanması	32
1.3.3.3 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp üzerinde ultrases deneyinin uygulanması	36
1.3.3.4 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma üzerinde ultrases deneyinin uygulanması	37
1.3.3.5 Ultrasonik tomografi deney aleti	40
1.3.3.6 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma üzerinde tomografi deneyinin uygulanması	41
1.3.3.7 20*20*20 cm boyutlu küp üzerinde tomografi deneyinin uygulanması	43
1.3.3.8 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp üzerinde tomografi deneyinin uygulanması	44
2. DENEY SONUÇLARI	45
2.1 İçi Boş 36*36*72 cm Boyutlu Kare Prizma Üzerinde Uygulanan Ultrases Deneyinin Sonuçları	45
2.2 20*20*20 cm Boyutlu Küp (Tahribatlı ve Tahribatsız) Üzerinde Uygulanan Ultrases Deneyinin Sonuçları	46
2.3 Ultrasonik Tomografi Deneyinin Sonuçları	50
3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	53
3.1 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
3.2 20*20*20 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi	54
3.3 20*20*20 Boyutlu Tahribatlı Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
3.4 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrases Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
3.5 20*20*20 Boyutlu Küp Numunenin Ultrases Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi	63
3.6 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Doğruluk Kontrolü	64
3.7 20*20*20 Boyutlu Tahribatlı Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Doğruluk Kontrolü	65
3.8 Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Ultrases Yöntemi Sonuçlarının Kıyaslanması	67
3.8.1 36*36*72 boyutlu numunenin sonuçlarının kıyaslanması	67
3.8.2 20*20*20 boyutlu tahribatlı numunenin sonuçlarının kıyaslanması	67
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

KISALTMALAR

MOE : Elastikiyet Modülü





SEMBOLLER

$\sigma_{\text{basınç}}$	: Basınç mukavemeti
Δ	: Özgöl ağırlık
R	: Nem oranı
G_k	: Kuru ağırlık
G_y	: Yaş ağırlık
$\sigma_{\text{çekme}}$	: Çekme mukavemeti
ξ	: Deformasyon
Δl	: Boy değişimi
l	: Boy
E	: Elastisite modülü
$\sigma_{\text{çem}}$	: Çekme gerilmesi
σ_{eem}	: Eğilme gerilmesi
σ_{bem}	: Basınç gerilmesi
$(C_6H_{10}O_5)_n$	: Ahşap
O	: Oksijen
CO_2	: Karbondioksit
H_2O	: Su
V	: Hız
L	: Uzunluk
t	: Süre



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : İğne yapraklı ağaçlarda bulunan hücreler ve görevleri	8
Çizelge 1.2 : Yapraklı ağaç odunlarında bulunan hücreler ve görevleri.....	8
Çizelge 1.3 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kimyasal birleşim oranları	9
Çizelge 1.4 : Bazı ağaç cinslerine göre elastisite modülü değerleri.	15
Çizelge 1.5 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre çekme mukavemeti değerleri. ..	16
Çizelge 1.6 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre eğilme mukavemeti değerleri. .	16
Çizelge 1.7 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre basınç mukavemeti değerleri. ..	17
Çizelge 2.1 : Bir probun sabit tutulduğu üst yüzey indirekt okuma.	45
Çizelge 2.2 : İki probun hareketli olduğu üst yüzey indirekt okuma.	46
Çizelge 2.3 : 1-2 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.	48
Çizelge 2.4 : 1-2 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.	48
Çizelge 2.5 : 1-2 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.....	48
Çizelge 2.6 : 1-2 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.	48
Çizelge 2.7 : 3-4 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.	48
Çizelge 2.8 : 3-4 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.	48
Çizelge 2.9 : 3-4 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.....	49
Çizelge 2.10 : 3-4 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.	49
Çizelge 2.11 : 5-6 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.	49
Çizelge 2.12 : 5-6 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.	49
Çizelge 2.13 : 5-6 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.....	49
Çizelge 2.14 : 5-6 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.	49
Çizelge 2.15 : 5 numaralı yüzey için tahribatsız okuma değerleri.....	50
Çizelge 2.16 : 5 numaralı yüzey için tahribatlı okuma değerleri.	50
Çizelge 3.1 : Numunedeki 20 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.....	65
Çizelge 3.2 : 3 numaralı yüzey ve 4.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri. ...	66
Çizelge 3.3 : 3 numaralı yüzey ve 11.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri. .	66
Çizelge 3.4 : 3 numaralı yüzey ve 18.0 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri. .	66
Çizelge 3.5 : 4 numaralı yüzey ve 6.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri. ...	66
Çizelge 3.6 : 4 numaralı yüzey ve 13.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri. .	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Ahşap malzemenin yapısı	5
Şekil 1.2 : Ahşabın anatomik yapısı	6
Şekil 1.3 : Ahşabın kesidi	6
Şekil 1.4 : Ahşabın enine ve boyuna kesidi	7
Şekil 1.5 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaç hücreleri.....	9
Şekil 1.6 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kimyasal birleşim oranları	11
Şekil 1.7 : Ahşabın nem ve mukavemet ilişkisi.....	12
Şekil 1.8 : Lif yönleri.....	12
Şekil 1.9 : Gerilme - şekil değiştirme grafiği.....	14
Şekil 1.10 : Ahşapta gerilme - deformasyon eğrisi.....	14
Şekil 1.11 : Kabuklu budak - özlü budak.....	19
Şekil 1.12 : Çivi budak	20
Şekil 1.13 : Lif kıvrıklığı	21
Şekil 1.14 : Radyografili X ışını örneği	22
Şekil 1.15 : Ultrasonik muayene tekniğinin uygulanışı	23
Şekil 1.16 : Ultrasonik muayene tekniğinden elde edilen görüntüler.....	23
Şekil 1.17 : Stress dalgasının iletim şekli	24
Şekil 1.18 : Stress dalgasının boşluktaki davranışı.....	25
Şekil 1.19 : Kayının mikroskopik yapısı	26
Şekil 1.20 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (yandan görünüş).....	27
Şekil 1.21 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (önden görünüş).....	27
Şekil 1.22 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (üstten görünüş).....	27
Şekil 1.23 : 20*20*20 cm boyutlara sahip küp numune.....	28
Şekil 1.24 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 3 numaralı yüzü.....	29
Şekil 1.25 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 4 numaralı yüzü.....	29
Şekil 1.26 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 5 numaralı yüzü.....	30
Şekil 1.27 : Ultrases hızı deney cihazı.....	31
Şekil 1.28 : Ultrases hızı deney cihazı. (transduserler ile birlikte).....	32
Şekil 1.29 : Direkt ölçüm metodu.....	32
Şekil 1.30 : İndirekt ölçüm metodu.....	32
Şekil 1.31 : Yarı direkt ölçüm metodu.....	32
Şekil 1.32 : Probların dokundurma işlemi.....	33
Şekil 1.33 : Deney aletinde 25,4 µs okuma.....	33
Şekil 1.34 : 1-2 yüzeyi okuması.....	34
Şekil 1.35 : 3-4 yüzeyi okuması.....	34
Şekil 1.36 : 5-6 yüzeyi okuması.....	34
Şekil 1.37 : Birinci deney okuması.....	35

Şekil 1.38 : İkinci deney okuması.....	35
Şekil 1.39 : Üçüncü deney okuması.....	36
Şekil 1.40 : Tahribatlı numunede karşılıklı yüzeyde okuma.	36
Şekil 1.41 : Tahribatlı numunede tek yüzeyde yapılan okuma.	37
Şekil 1.42 : Tahribatlı numunede tek yüzeyde yapılan diğer okuma.	37
Şekil 1.43 : Karşılıklı yüzey okuması.	38
Şekil 1.44 : Yarı direkt metodla ölçüm yapılması.	39
Şekil 1.45 : Yüzeyde indirekt okuması 1. aşama.....	39
Şekil 1.46 : Yüzeyde indirekt okuması 2. aşama.	40
Şekil 1.47 : Yüzeyde indirekt okuma.....	40
Şekil 1.48 : A1220 monolith aleti.....	41
Şekil 1.49 : Gridleme işlemi.	42
Şekil 1.50 : Okuma işlemi.....	42
Şekil 1.51 : A1220 monolith aletinin ölçüm değerleri.....	43
Şekil 1.52 : Okuma işlemi. (1. aşama).....	43
Şekil 1.53 : Okuma işlemi. (2. aşama).....	43
Şekil 1.54 : Deney sonrası A1220 Monolith ekranı görseli.....	44
Şekil 1.55 : Tahribatlı numunede okuma işlemi.	44
Şekil 2.1 : Numunenin koordinat ile gösterimi.....	46
Şekil 2.2 : 1-2 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.....	47
Şekil 2.3 : 3-4 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.....	47
Şekil 2.4 : 5-6 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.....	47
Şekil 2.5 : 5 numaralı yüzeyin koordinatsal gösterimi.	50
Şekil 2.6 : Ultrasonik tomografi görüntüleme eksenleri.....	51
Şekil 3.1 : 20 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	53
Şekil 3.2 : A, B ve C düzlemlerinin konumu.	54
Şekil 3.3 : 4.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	55
Şekil 3.4 : 11.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	55
Şekil 3.5 : 18 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	56
Şekil 3.6 : 6.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	57
Şekil 3.7 : 13.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	58
Şekil 3.8 : 4.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	59
Şekil 3.9 : 11.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	59
Şekil 3.10 : 18 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	60
Şekil 3.11 : 6.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	61
Şekil 3.12 : 13.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.	62
Şekil 3.13 : Kare prizma numunede hız ve bölge gösterimi.....	62
Şekil 3.14 : Küp numunede hız ve bölge gösterimi.....	63
Şekil 3.15 : Küp numunenin 5 numaralı yüzeyinde hız ve bölge gösterimi.....	64
Şekil 3.16 : Tahribatlı küp numunenin 5 numaralı yüzeyinde hız ve bölge gösterimi.....	64
Şekil 3.17 : 6 cm derinlikte ultrasonik tomografi- ultrases hız ve bölgesi.	67
Şekil 3.18 : 19 cm derinlikte ultrasonik tomografi- ultrases hız ve bölgesi.	67

AHŞAP MALZEMEDEKİ KUSURLARIN ULTRASONİK TOMOGRAFİ VE ULTRASES DENEY YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ

ÖZET

Ahşap, gerek canlı ve organik bir malzeme olması, gerekse diğer canlı ve cansız varlıkların etkisinden dolayı bozunma yaşayan bir malzemedir. Yaşadığı bozunmanın etkisiyle yapısında kusurlar meydana gelip bu kusurlar ahşap malzemenin kullanılabilirliği önünde engel oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ahşap malzemedeki kusurların, ahşapta bir kesit kaybı veya kütle azalması yaşatmadan (yani malzemeye tahribat vermeden) tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ahşaptaki kusurların tayini için tahribatsız deney yöntemleri olan Ultrasonik Tomografi ve Ultrases kullanılmıştır. Çalışma için öncelikle 36*36*72 cm boyutlarına sahip, 72 cm'lik uzun kenar boyunca 12*12*72 cm boyutlarında delik içeren kare prizma numune oluşturulmuştur. Daha sonra 20*20*20 cm boyutlarına sahip küp numune oluşturulmuştur. Bu iki numune üzerinde deneylerin uygulanması için gerekli işaretlemeler yapıp deneyler uygulanmıştır. Sonraki aşamada ise 20*20*20 cm boyutlarına sahip küp numunenin üç adet yüzeyine, 0.75 cm çaplı ve 8 cm uzunluktaki matkap ucuna sahip matkapla daha önceden belirlenmiş noktalar tahribat verilerek delikler açılmıştır. Delik açma işleminden sonar ise tahribatlı numune üzerinde gerekli işaretlemeler yapıp tekrardan Ultrasonik Tomografi ve Ultrases deneyleri uygulanmıştır.

Söz konusu iki deney uygulandıktan sonra, Ultrases deneyi için elde edilen süreler ilgili koordinat sistemi oluşturulup tablolar oluşturulduktan sonra tabloda ilgili yerlere yazılmıştır. Daha sonra noktalar arası uzunluklarda belli olduğundan ilgili formül ile hız büyüklüğü tabloların ilgili yerlerine yazılmıştır. Ultrasonik Tomografi deneyi için ise elde edilen B scan, C scan ve D scan görüntüleri numunenin ilgili kesitleriyle birlikte değerlendirme yapılmak üzere şekil olarak oluşturulmuştur.

Ultrasonik Tomografi ve Ultrases deney yönteminin ahşap malzemeye tahribat vermeden onun kusurları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlaması, ahşaptaki kesit kaybının oluşmasını engellediği için tahribatlı yöntemlere göre kullanılmasının tercih sebebi olmasına neden olabileceği söylenmektedir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde Ultrasonik Tomografi Yöntemi için 36*36*72 boyutlu kare prizma numunede X doğrultusu için düşük mertebede, Y doğrultusu için yüksek mertebede uzunluk değeri elde edilmiş olup 20*20*20 boyutlu küp numunede Y doğrultusu boyutu elde edilememiştir. Elde edilemeyen durumun alt ve üst yansımadan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 20*20*20 boyutlu küp numunenin yapılandırılması esnasında oluşan kusurların da sağlıklı veri elde edilmesini engellediği düşünülmektedir. Ultrases deneyi için ise kusur miktarı arttığında hız değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan her iki deney yönteminden elde edilen gerek görüntülerden gerek ise hız değerlerinden kusurların türü ile ilgili herhangi bir yorum yapılamamıştır.

Ahşap yapıların gerek inşasından kaynaklı gerekse çevresel faktörler ile geçen zamandan kaynaklı olarak yapısından oluşan kusurların Ultrasonik Tomografi ve Ultrases deney yöntemleriyle tespit edilmesi, tadilat ve güçlendirmelerin doğru şekilde yapılması açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden ki ahşap yapılarda bahsi geçen bu iki deney yönteminin uygulanması tavsiye edilmektedir.



EXAMINATION WITH ULTRASONIC TOMOGRAPHY AND ULTRASOUND EXPERIMENT METHOD OF WOODEN MATERIAL FAILURE

SUMMARY

Wooden is decomposition material. Because both it is lively, organic material and expose to live and dead factor. Decomposition causes the formation of failure in wooden material. So, this situation effects usage of wooden. Because it prevents usage of it.

Failures which form in wood materials cause damage wood. Because of this determination about shape, location, greatness, type of wood materials and depending of these examination of changes about mechanical properties of wood is so important for taking precaution.

There are some types of failures about wood. These are spiral fiberness, pith and knot. Although knots have good aesthetic view, they decrease strength of materials depending type, location, dimension, load. Because of this reason knots have negative effect about wood materials. It is same for piths too. In addition piths causes decrease durability of wood.

In this study, it is aimed that determination of wooden material failure without loss of area and mass (without destructive). Ultrasonic Tomography and Ultrasound which are nondestructive experiment methods are used for determination of failure there. Proceq Pundit device was used for Ultrasound Experiment Method. A-1220 Monolith device was used for Ultrasonic Tomography in this study.

In Ultrasonic Experiment Method, there is a specimen which is known dimensions. There are two points which is known distance between them. Normally sound wave passes in solid part the fastest and this method utilizes this situation about materials. This method is applied this two points and gets time and results are interpreted depending on getting time. (Sound waves are used there) Sound wave goes slower failure part of wood specimen than continued part of it. Because passing time of failure part is longer than continued part, it can be understood that stress velocity has inverse ratio with time. (wave does not pass inside of failure. It passes around of failure. Because of this it happens). Information about failures of wood specimen can be taken by utilizing this properties of Ultrasound wave. In this method Proceq Pundit is used. It has two transducer. One of them send sound wave to the wood and the other takes it from wood and time is seen digital display about device. In addition when the experiment is applied to specimen, ultrasonic gel or gres oil should coat to transducers to prevent space between specimen and transducer and to form continuity between specimen and transducer. If it does not coat, experiment can not apply. This device applies three way its experiment. These are direct, semi-direct and indirect methods. In this study, three of ways are applied to get results.

In Ultrasonic Tomography Method, Waves which have high frequency effect material and results are analyzed in Ultrasonic Tomography Method. In this method, first of all failures determine. Then studies are made about mechanical and physical properties of material. After that knowledge is got for getting better of material. Ultrasonic Tomography is used to estimate mostly about production quality of wood material during processing of it. There are some difficulties about forming of effective Ultrasonic Tomography. These are weakness of ultrasonic energy, having boundary dimension about material and nature of wood. Because high frequency waves decrease even if narrow length, this method more effective wide surface than narrow surface. It is estimated that solve this problem in future. Ultrasonic tomography is made generally about defect and failure on wood material now. But it is estimated that it will make about evaluation structural capacity depending on growing analyze technic in future. In this method A-1220 Monolith device are used. It aims to determine thickness and defect of material by using echo method. Device which has 24 ceramic point probe and half of probe send waves and other takes waves has 6*4 matrix. Images get with reflection of wave here. when data which get from device transmit to computer and get images get with Planevisor 4.0 software, interpretation are made about material there. Greatest advantage of this device is working with “dry contact” method. Because when the experiment makes, gel is not needed for probes but Proceq Pundit device probes need gel. In addition experiment surface should be clean for A 1220 Monolith device.

First of all tetragonal prism specimen which has 36*36*72 cm dimension and contains a blank 12*12*72 cm dimension was produced. After cutting beech, little wooden blocks are compounded which has dimension 36*36*72 cm. When it is produced, A blank is formed which has 12*12*72 cm inside of specimen. Joins are formed by nailing and using carborundum. In addition glue was used on some place.

After that cube specimen which has 20*20*20 cm dimension was produced. After cutting beech, little wooden blocks are compounded which has dimension 20*20*20 cm. Joins are formed by using glue and tree stamper. After that 1,2,3,4,5 and 6 numbers are given opposing surface (for example 1 surface is opposite 2 surface (3-4, 5-6 are same way)) for preventing confusion.

After producing 20*20*20 cm dimension specimen, 3 surface is drilled at 6.5 cm distance from one side with a 7.5 cm diameter and 8 cm depth. It is applied same way for opposite side. After that it is applied that same way 6.5 cm below of these two bores. In the last step, it is applied that same way for 4 and 5 surface and destructive cube specimen is formed.

Applying ultrasound experiment for 36*36*72 specimen, First of all grid system is formed above surface of specimen. First point is marked on distance which is 5 cm below from long side and 1 cm right from short side. Other points are marked distance at 5 cm right from before point and 15 points are marked in this way. First row is completed in this way too. After that second row which is below 10 cm of first row and third row which is below 20 cm of first row are completed in this way too. In the end indirect experiment method is applied the above surface. When the experiment is applied, first probe stays stable on first point and second probe moves to being put over from before point for first row. After that two probes moves in distance 10 cm. It is applied with same way for second and third row too. (Same thing is made for side surface and applied semi-direct and direct method but no data gets from this surface)

Applying ultrasound experiment for 20*20*20 specimen, First of all grid system is formed above surface of specimen. First point is marked on distance which is 3 cm distance from side. Other points are marked distance at 7 cm right from before point and all points are marked for all row and all surface. The next step direct method is applied to specimen. Then indirect method is applied to specimen like 36*36*72 specimen.

Applying ultrasound experiment for destructive 20*20*20 specimen, everything is same with 20*20*20 specimen. But the cube specimen was drilled in three faces at determinate points by drill which has drilling bit 0.75 cm diameter and 8 cm length.

Applying ultrasonic tomography experiment for 36*36*72 specimen, First of all griding are made on plexi plate which has a distance between horizontal axis is 3 cm and vertical axis is 5 cm. After that plexi plate is brought on surface which will apply experiment and grids are generated on surface by squeezing spray on plexi plate. The next step the first probe of device is brought on first grid of specimen and data are taken. In the end device is put over one grid on surface and second reading is realized at first horizontal axis. So all readings are completed in this way. The most important thing there is after 4 probe touch first 4 grid, first probe should touch second grid not fifth grid for horizontal axis. If first probe touch fifth grid, the display is not got. After finishing first horizontal axis, one grid is gone down and reading completed same way for all horizontal axis. After them datas are transimitted to computer to interpret the results.

Applying ultrasonic tomography experiment for 20*20*20 specimen, same methods with 36*36*72 specimen are applied to cube specimen but it is made only for 6 surface. In the last step, datas are transimitted to computer to interpret the results.

Applying ultrasonic tomography experiment for destructive 20*20*20 specimen, same methods with 20*20*20 specimen are applied to specimen. In the last step, datas are transimitted to computer to interpret the results.

After applying two experiments, obtained times with relevant coordinate system were written on the formed tables. After that speed vectors were got and written on tables for Ultrasound experiment. B scan, C scan, D scan and specimen views were formed and put on the relevant pages for evaluating in Ultrasonic Tomography experiment.

Ultrasonic tomography and Ultrasound experiments method get know about specimen without destructive and preventing loss of surface. Because of this they can be preffered as experiments method. According to Ultrasonic Tomography experiment results; If the results were compared with real length, the length of X axis has lower level and the length of Y axis has higher level for 36*36*72 cube specimen. The length of Y axis did not get for cube specimen. The reason of it is though because of reflection of waves. In addition formation of defects about duration gluing for cube specimen prevented to get datas. According to Ultrasound, when quantity of defects increased the value of speed decreased. Comments about type of defects did not get from both of experiments.

It is important to determine defects with ultrasonic and ultrasound caused by the construction of timber structures due to time lapse depending environment in terms of correcting the modifications and strengthening. It is advisable to apply these two methods which are based on wooden structures. There are lot of historical timber buildings in the world. Because of this utilizing these methods are important.



1. GİRİŞ

Ahşap, ağacın yapılarda kullanılabilecek şekle gelmiş yapı malzemesinin adı olup insanoğlunun barınma amaçlı olarak kullandığı, ilk yapı malzemelerinden biri olmuştur. Geçmiş dönemlerde ormanların bolluğu ve bunla beraber ahşap malzemeye erişmenin kolaylığıyla beraber yapı taşıyıcı sistemi, kapı, pencere, doğrama, döşeme, çatı ve merdiven gibi yapı elemanlarında sıkça kullanıldığı görülmekte olup günümüzde ormanların azalmasıyla beraber ahşap malzemenin yerini çimento ve beton bazlı malzemeler, alüminyum, plastik vb. malzemelerin aldığı ahşabın daha çok çatı malzemelerinin taşıyıcı sisteminde kaplama, doğrama malzemesi ve betonarme yapıların kalıp ve iskele sisteminde kullanıldığı görülmektedir.

Higroskopik ve yanabilen bir malzeme olan ahşap, diğer canlı varlıkların ve cansız etmenlerin etkisiyle bozunabilmektedir. Ahşabın daha uzun süre hizmet vermesini sağlayıp ahşaptan inşa edilmiş olan tarihi yapıların gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamak için onların korunması gerekmektedir. Fakat yangınlar, yapılan yanlış müdahaleler ve onarımlarla beraber zaman içinde meydana gelen çürümelerin sonucunda ortaya çıkan bakımsızlıktan dolayı eski ahşap yapıların günümüze ulaşamadığı görülmektedir. Burada uygulanacak çeşitli kimyasal yöntemler ve yapısal tedbirler ile hem ahşabın korunmasını gerçekleştirilmiş olup hem de yeni ahşap malzemenin kullanılması en aza indirilerek yeni malzeme tüketimi ve tedariki azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlanıp ormanların da korunmasıyla beraber doğal dengenin muhafazası desteklenmiş olur.[1]

Yapıda beton ve çeliğin malzeme olarak kullanılmaya başlamasıyla, Ahşap ile ilgili işçilikler, malzeme olarak kullanılması ve bunun yapısal detayları unutulmaya yüz tutmuştur. İşin ehli kişiler tarafından onarılıp yetkililer tarafından korunması gerekip yaşayan tarih niteliğinde olan bu ahşap yapıların ömürlerinin uzatılması ve geleceğe tanıklık etmesi sağlanmalıdır.[2]

Yapı malzemesinin üretiminin öneminin yanında çevreye verdiği etkilerde büyük önem taşımaktadır. Nasıl insan doğar, büyür, yaşayıp ölüyorsa; malzemede üretilir, kullanılır, bakım ve onarıma tabi tutulup ömrünü tamamlayınca da yok edilir. Yapı malzemesindeki bu döngü göz önüne alındığında ahşap malzemenin geri dönüşümlü olması ve buna bağlı olarak uzun ömürlü olması çevresel etki açısından önemini ortaya koymaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapıda malzeme olarak beton ve çeliğin kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte ahşap malzemenin kullanım oranı azalmıştır. Günümüzde ahşap yapıların azalmasına rağmen bu yapıların yapılmakta olduğu ve birçok tarihi ahşap yapının var olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yeni ve tarihi ahşap yapılar için yapılan çalışmalar ve kullanılan yeni tekniklerler ışığında Japonya, Avusturalya, çeşitli Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa ülkelerinde çeşitli uygulamaların gerçekleştiği görülmektedir.[2] Gerek bu tarihi yapılarda, gerek yeni ahşap yapılarda çeşitli nedenlerden oluşan ahşap malzemedeki kaynaklı kusurlar meydana gelmektedir.

Ahşap malzemede meydana gelen kusurlar, ahşap yapıların zarar görmesine neden olmasından dolayı kusurların yerinin, şeklinin, büyüklüğünün, türünün tespit edilmesi ve buna bağlı olarak ahşabın mekanik özelliğinde meydana gelen değişimin incelenip gerekli önlemlerin alınması açısından önem kazanmaktadır.

Malzemedeki kusurların tespitinde kullanılan yöntemlerden ikisi Ultrasonik Tomografi ve Ultrases yöntemidir. Bu iki yöntemde malzemedeki kusurları belirlerken malzemeye tahribat vermemektedir. Ultrasonik Tomografi yöntemi A1220-Monolith aleti ve bu aletin yazılımına sahip olan bilgisayarla birlikte gerçekleştirilmekte olup Ultrases yöntemi ise Proceq Pundit aletiyle gerçekleştirilmektedir.

Bu tez kapsamında, ahşap malzeme üzerindeki kusurların yerin, şeklinin, büyüklüğünün, türünün Ultrasonik Tomografi yönteminin kullanıldığı A1220-Monolith ve Ultrases yöntemini kullanan Proceq Pundit aleti ile tespit edilip elde edilen bulguların yorumlanarak ahşap malzemenin mekanik özelliklerine geçiş yapılması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Ahşap malzeme

Arapça adı ‘‘Haşep’’ olan ve odundan mamül anlamına gelen ahşap; homojen lifli ve anizotrop yapıya sahip olup ağaçtan meydana gelen, canlı ve organik bir malzemedir. Anizotrop bir malzeme olması nedeniyle liflerin yönü önem kazanmakta olup dayanım özellikleri açısından bunun önemini örneklendirecek olursak, lifleri aksi yönündeki çekme ve basınç mukavemeti liflerin yönündeki mukavemetten daha düşüktür. [3,4]

Ahşabın çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler nedeniyle bozunması onun biyolojik bir malzeme olmasından ileri gelmekte olup hizmet ömrünü uzatmak için bu bozunmalara karşı korunması gerekmektedir. [5]

Ahşabın biyolojik bir malzeme olmasından dolayı insanlar tarafından yapılarda daha çok kullanılmak istenen bir yapı malzemesine dönüşmesine neden olmuştur. Ayrıca esnek, hafif olması ve farklı alanlarda kullanım çeşitliliği ile estetik özelliklerinden dolayı kendisine olan yüksek kullanım talebinin diğer nedenleri olarak söylenebilir. [4,6]

Bir ahşap eve girildiğinde, evi oluşturan yapı elemanları olarak çatı kaplama malzemeleri, gergi, aşık, mertek, çatı kaplama malzemeleri, korkuluk, küpeşte, sedir, kapı pervazı, kapı, tavan kaplamaları, cumba altı süsleme detayları, çıkma, saçak altı silmesi, kat silmesi, konsol, yüklük, dolap, tavan çıtları, denizlik, bağdadi çıtalar, dikme, cephe kaplamaları, alın tahtası, payanda, kafes, eşik, düşey bitirme çıtaları, saçak altı furuşları, düşey bitirme çıtaları, merdiven basamakları ve pencere doğramaları sıralanabilir. [7]

Kronolojik olarak bakıldığında insanların kendi yapılarını oluşturup barınma ve o dönemki dış dünyaya karşı bir savunma sistemi oluşturmak amacıyla korunma ihtiyaçlarını giderme amacıyla öncelikli olarak ahşabın, sonraki dönemde taş yapıların, ilerleyen süreçte bilim ve teknolojinin gelişmesi ile beraber matematik, fizik ve kimya metodlarının yapısal hesaplarda kullanılmasıyla çelik ve betonun yapılarda kullanıldığı görülmektedir.

1.2.2 Ağaç türleri

Ağaçlar geniş yapraklı (yapraklı) ve iğne yapraklı ağaçlar olmak üzere iki tür olarak sınıflandırılmaktadır.[8,9]

İğne yapraklı ağaçlar daha çok kuzey yarım kürede yetişmekte olup iğne yaprağa ve kozalağa sahiptirler. Bunlar iskele direği, kağıt, tel yapımı ve bina inşaatında kullanılmakta olup ahşabı yapı itibari ile hafif, homojen ve düzgün liflidir. Yapraklı ağaçlar ise iklimin ılıman ve tropik olmasına göre yapraklarında farklı davranış gösteren ağaçlar olmakla birlikte, tropik iklimlerde mevsimler içinde az miktar değişim olduğunda, eski yaprağın yerine yenisini getirip ılıman iklimlerde ise yaprağını döken ağaçlardır. Bunlar lambri imalatı, dekoratif maksatlı üretimlerde ve mobilya yapımında kullanılmaktadır. [10,11,12]

İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların başlıca karakteristik özellikleri şunlardır.

1.2.2.1 İğne yapraklı ağaçların karakteristik özellikleri

- Kolay kesilmesi nedeniyle ucuz fiyata sahiptirler.
- Eğer bu ağaçlarda koruyucu kullanılmazsa mukavemetleri düşer.
- Büyüme hızları yüksektir.
- Mukavemetleri düşüktür.
- Yoğunlukları düşüktür.[13]

1.2.2.2 Yapraklı ağaçların karakteristik özellikleri

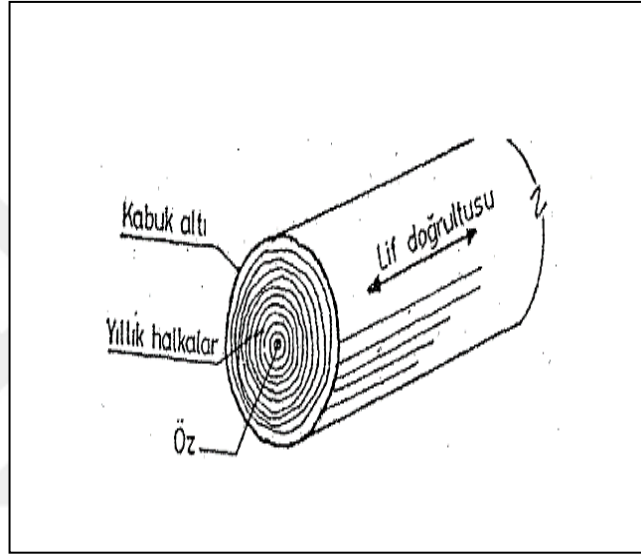
- Nakliye ve olgunlaşma maliyeti bakımından incelendiğinde daha pahalıdır.
- Büyüme hızları iğne yapraklı ağaçlara göre daha yavaştır.
- Yavaş büyüme hızından dolayı mukavemet ve yoğunluğu daha yüksek olur.
- Eğer bu ağaçlarda koruyucu kullanılmamışsa mukavemet davranışı iğne yapraklı ağaçlar kadar etkilenmez.[13]

1.2.3 Ahşabın yapısı

Ahşap ekonomik olması, korozyona dayanıklılığı, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek dayanım/ağırlık oranı ve sünme gerilmesine sahip olmasından dolayı rağbet gören bir malzemedir. Ağaç yapısal olarak incelendiğinde milyonlarca hücreden oluştuğu, hücrelerin lignin, selüloz, hemiselüloz ve her birinde 4 tane olan hücre duvarından meydana geldiği görülmektedir. Hücrede bu maddeler belirli oranlarda

bulunmaktadır. Bu oran aynı ağaç türünün farklı kısımlarında yada aynı ağaç türünün farklı yerlerde yetişmesine bağlı olarak farklı dağılım gösterebilmektedir. Ayrıca hücrelerin yapısında yer alan hücre duvarında hücre boşluğu (lümen) olduğu görülmektedir. [14,15,16]

Ahşabın enine kesidi incelendiğinde, öz kısım etrafında toplanan içiçe dairelerden oluşan borucuklardan oluştuğu, içiçe daireleri dik kesen doğrultuda liflerden meydana geldiği gözlemlenmektedir. Ahşap malzemesinin yapısı Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir. [17]



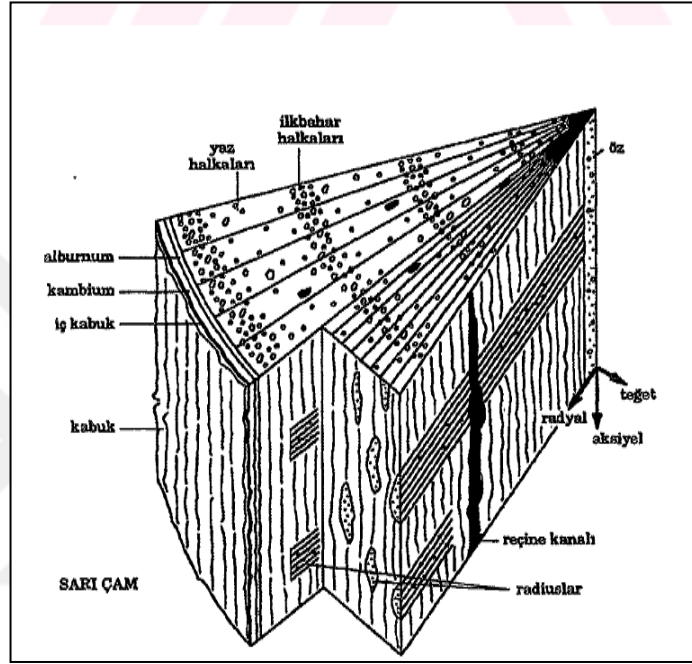
Şekil 1.1 : Ahşap malzemenin yapısı. [17]

1.2.3.1 Ahşap malzemenin fiziksel yapısı

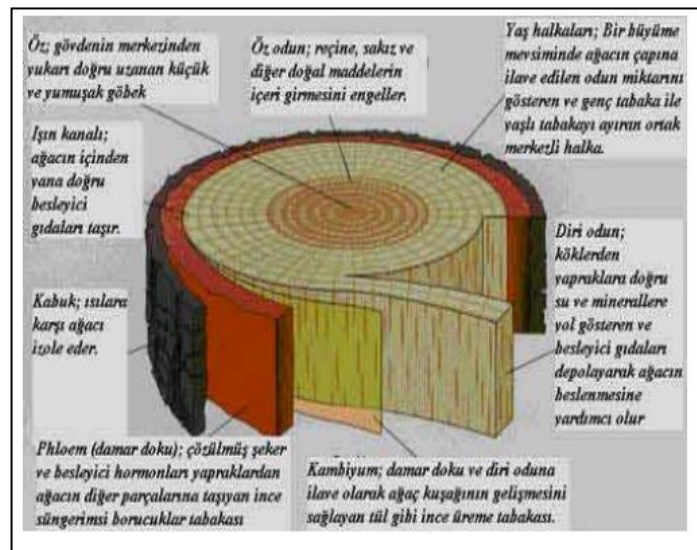
Bir insan vücudu fiziki yapı olarak nasıl baş, kollar, bacaklardan oluşuyorsa canlı olarak ağaçlarında belirli bir fiziki yapıları vardır. Ağaçlar fiziki yapı olarak dallar, gövde ve kökten meydana gelmektedirler. Gövdede yer alan kambiyum dokusu ağacın enine büyümesine olanak vermekte olup gövdede bulunan kanallar ağacın madde alışverişini sağlar. Köklerin görevi ise topraktaki suyun ve mineral tuzlarının alınmasını sağlamaktır.[18] Ahşabın fiziksel yapısı ahşabın makroskobik ve mikroskobik yapısı olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

1.2.3.1.1 Ahşabın makroskopik yapısı

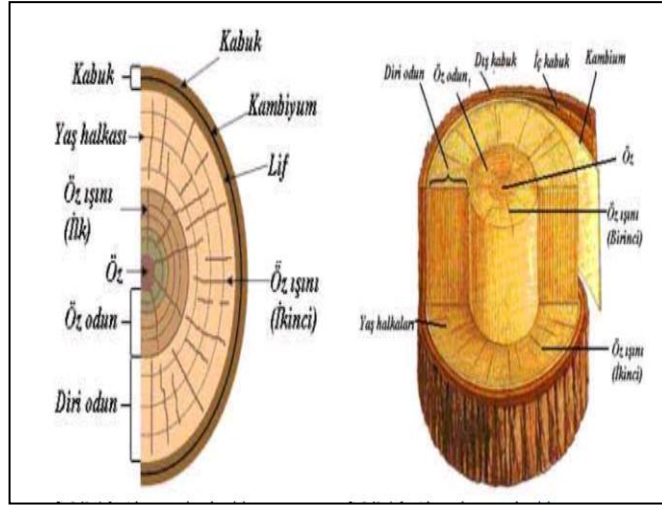
Ahşabın yapısına bakıp içten dışa doğru incelediğimizde merkezde öz kısım ve ilkbahar halkaları, yaz halkaları, alburnum, kambiyum, iç kabuk, dış kabuk şeklinde sıralandığını görülmektedir. Şekil 1.2’de ahşabın anatomik yapısı, Şekil 1.3’de ahşabın kesidi, Şekil 1.4’de ise ahşabın enine (sol şekil) ve boyuna (sağ şekil) kesidi gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Ahşabın anatomik yapısı [4]



Şekil 1.3 : Ahşabın kesidi [19]



Şekil 1.4 : Ahşabın enine ve boyuna kesidi [19]

Şekil 1.4 incelendiğinde ağacın diri odun ve öz odun isimlerinden meydana gelen iki yapısı görülmektedir. Buradaki öz odun, diri odun yapısının değişiminden meydana gelmektedir. Ayrıca ağacın yapısında parانشim hücrelerinin oluşturduğu yabancı maddeler bulunmaktadır. Bunlar böcek ve mantarlara karşı koruma, ağaca mukavemet ve renk değişimi gibi özellikler sağlama konusunda görevlidirler. Ağaçta büyüme enine ve boyuna olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Enine büyüme gövdede oluşan yeni halkalarla beraber ağacın enine genişlemesi, boyuna büyüme ise dalların oluşup gelişmesi ve yaprakların açması olarak nitelendirilebilir. [20].

1.2.3.1.2 Ahşabın mikroskobik yapısı

Ahşap mikroskobik olarak incelendiğinde, içi dolu olmayan ve birbirine yapışık halde bulunan etrafı kapalı hücrelerden meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca ahşap hücreleri uzun bir yapıya sahiptirler.[21]

Ahşap hücre yapısı olarak incelendiğinde geniş yapraklı ağaçlarda bazılarında traheid olmakla birlikte trahe, lifler ve parانشim hücreleri var olmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda ise epitel, traheid ve parانشim hücreleri bulunmaktadır.[22] İğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarında bulunan hücreler ve görevleri aşağıdaki çizelge 1.1 ve çizelge 1.2’de belirtilmiştir.

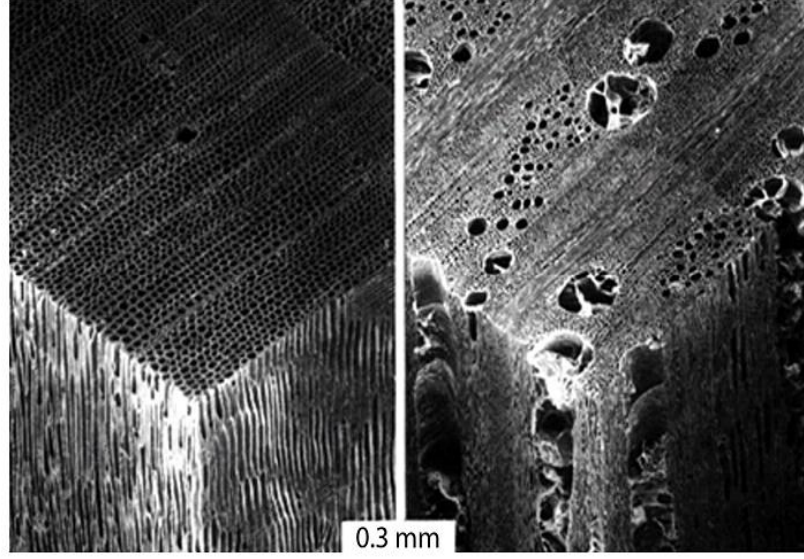
Çizelge 1.1 : İğne yapraklı ağaçlarda bulunan hücreler ve görevleri [12]

İLETİM	DESTEK	DEPOLAMA
Traheidler	Traheidler	Paranşim Hücreleri
İlkbahar odunu	Yaz odunu	- Boyuna paranşimler - Öz ışını paranşimler
		Epitel hücreleri
Öz ışını	Basınç odunu	- Boyuna kanallar çevresinde - Enine kanallar çevresinde

Çizelge 1.2 : Yapraklı ağaç odunlarında bulunan hücreler ve görevleri [12]

İLETİM	DESTEK	DEPOLAMA
- Trahe - Traheid	- Lifler - Lif traheidleri	- Paranşimler - Öz ışını paranşimleri
Vaskular Vasiyentrik	Libriyorm lifleri	Boyuna paranşimler
		Epitel Hücreleri

İğne yapraklı ve yapraklı ağaç hücrelerinin yapısı şekil 1.5’de gösterildiği gibidir. Soldaki şekil iğne yapraklı, sağdaki şekil yapraklı ağaç hücrelerine aittir



Şekil 1.5 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaç hücreleri [23]

1.2.3.2 Ahşap malzemenin kimyasal yapısı

Hemiselüloz, lignin, yabancı maddeler ve selüloz maddelerinden ahşabın kimyasal yapısı meydana gelmektedir. Bu maddeler ahşap malzeme içinde çeşitli görevlere sahiptirler. Hemiselüloz; ahşapta su emme, ahşaba esneklik kazandırma, hücre duvarını kuvvetlendirme ve geçit zarlarını düzenleme gibi işlevlere sahiptir. Lignin ahşaba basınç dayanımı sağlayıp gevrek bir yapıdadır. Ahşaba çekme dayanımı ise selülozla sağlatılıp eğilme dayanımı kazandırılması da selüloz ile olur.[24,21,25]

Yabancı maddeler ise hücre çeperi ve lümenlerde yer almakta olup organik ve inorganik yapıdadırlar. Bunlar ağaçtaki ekstratif maddeleri de içine almaktadır. Öz odunda ahşap reçineleri, diri odunda vitaminler, yağ ve nişasta ekstratif maddelere örnek olarak verilebilir. [26, 27, 21]

İğne yapraklı ağaçlar ve yapraklı ağaçların kimyasal birleşim oranları çizelge 1.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 1.3 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kimyasal birleşim oranları [28]

	Selüloz	Lignin	Hemiselüloz	Diğer
İğne yapraklı	50%	18%	26%	6%
Yapraklı	47%	27%	22%	4%

1.2.4 Ahşap malzemenin özellikleri

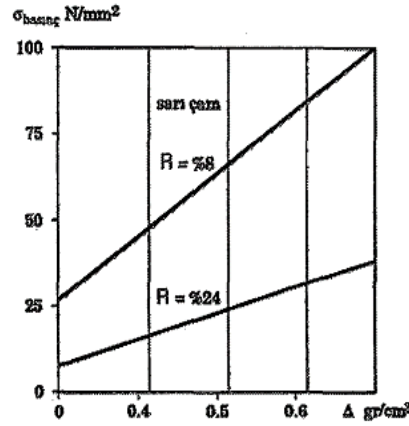
1.2.4.1 Ahşap malzemenin fiziksel özellikleri

Ahşabın çevreden gelen etkilere maruz kalmasından dolayı oluşan davranışı onun fiziksel özelliklerini tanımlar. Canlı olarak nasıl iki insan birçok özellik yönünden birbirinden farklılıklar içeriyorsa, bir ağaç baz alındığında renk, doku, sertlik, reçine oranı gibi birtakım fiziksel özellikler yönünden diğerlerinden farklılık göstermektedir. Aynı durum bir ağaç kendi yapısı içinde incelendiği zamanda geçerlidir. Bu durum örneklenecek olursa, yapılan incelemelerde ahşabın öz bölgesindeki kesitin mukavemetinin, kabuğa yakın kısımdaki kesidin mukavemetinden fazla olduğu görülmüştür. [29]

Ahşap bir yapı malzemesi olması nedeniyle kendisinden yüksek miktarda dayanım ve dayanıklılık beklentisi oluşmaktadır. Oluşan beklentiler doğrultusunda istenilen sonuca ulaşmak için ahşabın nem miktarı ve yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerine dikkat edilmelidir. Çünkü yoğunluk ve nem miktarı ahşabın dayanım ve dayanıklılığı üzerinde etkili iki bileşendir. [30,31]

Ahşap malzemenin bazı fiziksel özellikleri aşağıdaki maddelerde açıklanmaktadır.

- Yoğunluk: Ahşapta yoğunluk ağırlığın hacime bölünmesiyle elde edilir. Ahşabın birim hacim ağırlığı sadece ahşabın kendi ağırlığından oluşmayıp ahşabın içinde bulunan suyun, havanın ve ahşaba dahil olan başka maddeler de varsa, bunlarda birim hacim ağırlık içinde kendilerine yer bulurlar. Genel olarak ahşabın yoğunluğu ile mukavemet doğru orantılıdır. Fakat ahşapta toksik özellikte ekstratif madde varsa, malzeme düşük yoğunluğa sahip olsa bile yüksek mukavemet özelliği gösterebilmektedir. Ahşap malzemenin yoğunluğunun bilinmesi onun dayanımı üzerine yorum yapılabilmesi açısından önem kazanmaktadır. Şekil 1.6'da gösterilen ahşabın özgül ağırlık-nem ve mukavemet ilişkisi gösterilmektedir. Bu grafik ahşabın özgül ağırlık-mukavemet ilişkisi bakımından yorum yapılabilmesi açısından yardımcı olmaktadır. [30,32]



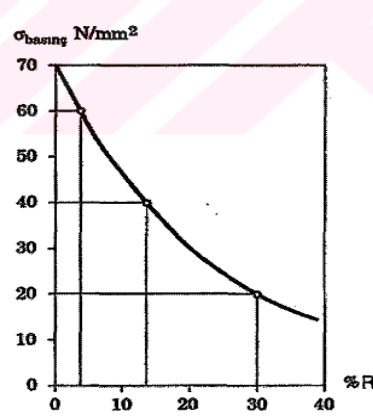
Şekil 1.6 : İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kimyasal birleşim oranları [4]

- Nem: Ahşabın yapısında bulunan su miktarı onun nemi olarak tanımlanır. Ahşapta bulunan nem ortam koşullarına ve zamana bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Eğer ahşap belirli bir nemli ortamda kalırsa, buradaki nem oranının azalmasına ve artmasına bağlı olarak nem oranı da azalıp artabilir. Örnek olarak; Ahşap normal ısıtılmamış bir odada ise nem oranı %16-18 civarlarında olabilirken, kaloriferli bir odaya alındığında bu oran %4-8'e kadar inebilir. Bu düşük nem oranı ahşabın çekip çatlamasına da neden olur. Aynı durum ahşabın dış ortamdaki koşullara bağlı olarak değişimlere göre de farklı davranış sergilemesine neden olabilir. Yağmur yağdığında ahşapta ıslanma olup rutubet artar. Sonrasında kuruyan havayla beraber nem azalır. Bütün bu durumlar ahşabın mekanik, biyolojik, fiziksel ve boyutsal durumuna etki eder. [12,33,21]

Ahşaptaki nem oranı 1.1 denklemi kullanılarak hesaplanır. Buradaki ifadelerden Gk kuru ağırlığı, Gy ise yaş ağırlığı ifade eder. Bu iki ifade de gram cinsinden alınır. [17]

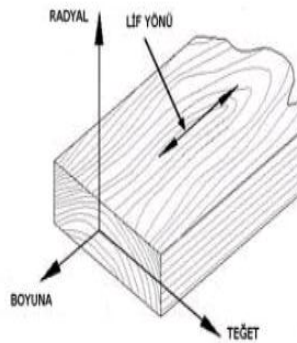
$$R = (Gy - Gk / Gk) * 100 \quad (1.1)$$

Ahşaptaki nem oranı ahşabın çürümesini, iletkenliğini, işleme kolaylığını ve mukavemetini etkilemektedir. Mukavemet etkisi incelenecek olursa ahşaptaki nem oranı arttıkça ahşabın mukavemetinin azaldığı aşağıda yer alan şekil 1.7' deki grafikte gösterilmektedir. [21]



Şekil 1.7 : Ahşabın nem ve mukavemet ilişkisi [4]

- İletkenlik: Ahşap normalde yalıtkan bir malzeme olmakla birlikte sıcaklık, lif yönü gibi özelliklerinin değişimine bağlı olarak du durumu değişebilir. Örnek olarak Ahşabın sıcaklığı 10°C arttığında iletkenliğin iki kat arttığı, boyuna yöndeki iletkenliğin diğer yöndeki iletkenliğinden iki kat fazla fazla olduğu görülmektedir. [15, 22]
- Sertlik: Ahşabın sertliği liflere göre olan doğrultuya ve yoğunluğa göre değişir. Ahşap liflere dik doğrultuda daha sert davranış göstermekte olup yoğunluk arttıkça da ahşabın sertliğinde artma meydana gelmektedir. Ayrıca iç odun dış odundan ve yaz odunu ilkbahar odunundan daha serttir. [21]
- Genleşme: Sıcaklığın artmasıyla ahşabın hacmi artar, azalmasıyla azalır.
- Anizotropik davranış: Ahşapta lifler boyuna, radyal ve teğet yönlerde bulunmaktadır. Liflerin bu yönlerde bulunması ahşabın farklı yerlerinde farklı özellikleri ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yani bir özelliği boyuna yönde nasıl görünüyorsa radyal yönde farklı şekilde görülür. Ahşap yapısında lif yönleri şekil 1.8 'de gösterilmiştir. [34]

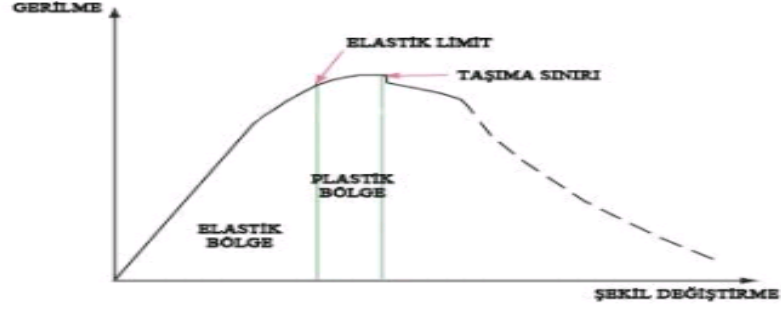


Şekil 1.8 : Lif yönleri [34]

- Renk, parlaklık: Ağacın yapısı parlaklık olarak incelendiğinde, iç odun dış odundan, öz kesit diğer keside göre daha parlak görünümündedir. Ağacın rengi ise her ağaçta farklılık göstermekle beraber, ağacın kendi yapısında da farklılık göstermektedir. Bununla beraber ağacın kuru olup olmaması durumuna göre renk olarak farklılık bulunmaktadır. [35]
- Dayanıklılık: Ahşabın üzerinde bir değişiklik yapılmadan dışarıdan gelen etkilere dayanmasına dayanıklılık denir. Ağaçlardan meşe, kestane, gürgen dayanıklı ağaçlar olmakla birlikte; kavak, söğüt, ıhlamur az dayanıklı ağaçlar olarak nitelendirilir. [35]
- Ahşabın Damar Yapısı: Ahşabın damar yapısıyla beraber sağlam olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabildiğinden bu özellik ahşabı inceleme açısından önemlidir. Ayrıca ahşabın dekoratif olarak kullanılması açısından da damar yapısı önem arz etmektedir. [18]

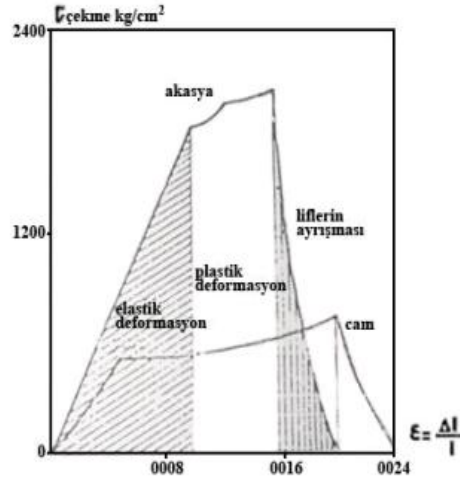
1.2.4.2 Ahşap malzemenin mekanik özellikleri

Malzemeler kendilerine etkiyen kuvvetlerden dolayı bir tepki davranışı gösterirler. Bu durum malzemenin mekanik davranışını ifade edip bu tepkiyle beraber sahip olunan özelliklere mekanik özellikler denir. Uygulanan kuvvetlerle beraber malzemelerde öncelikle şekil değiştirme, daha sonra kırılma meydana gelir. Malzemenin gerilme sonucu şekil değiştirmesi veya kırılması sahip olduğu deformasyon sınırlarına göre belirlenir. Eğer malzemeye düşük gerilme uygulanırsa elastik şekil değiştirme meydana gelir. Elastik şekil değiştirme geri dönüşümlüdür. Yani kuvvet kaldırıldığında malzeme eski şekline geri dönebilir. Elastik şekil değiştirme uygulanan gerilme ve elastisite modülüne bağlı olarak belirlenir. Eğer malzemeye elastik sınırın üstünde bir gerilme uygulanırsa plastik şekil değiştirme meydana gelir. Genel olarak bir malzemenin gerilme ve şekil değiştirme grafiği şekil 1.9'daki gibi ifade edilip bir malzemenin mekanik özellikleri hakkında yorum yapılabilir. [36,10]



Şekil 1.9 : Gerilme - şekil değiştirme grafiği. [10]

Diğer malzemeler gibi ahşabında belirli bir mekanik davranışı ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri vardır. Ahşabın kullanılacağı yere göre mekanik özelliklerinin bilinip tasarımının da buna göre yapılması gerektiğinden bu özellikler önem kazanmaktadır. Gerilme ve şekil değiştirme eğrisi açısından incelendiğinde ahşabın mekanik özelliğinin bilinmesinin ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır. **şekil 1.9**'da bir malzemenin genel olarak gerilme – şekil değiştirme grafiği verilmişti. Fakat bu durum ahşapta büyük fark içerir. Çünkü ahşapta lif yapısı var olup bu liflerin birbirinden ayrılması belirli bir zaman alacağından dolayı diğer malzemelerde gerçekleşen kırılma ve ani çökme gibi olaylar gerçekleşmeyeceğinden eğride farklılık olmaktadır. Ahşaba ait bu farklı eğri **şekil 1.10**'da gösterilmektedir. [4]



Şekil 1.10 : Ahşapta gerilme - deformasyon eğrisi. [4]

Ahşap genel mekanik özellikleri açısından incelendiğinde, yüksek dayanıma sahip olmakla birlikte hafif bir yapıya sahiptir. Bu özelliklere sahip olmasında yapısındaki lifler ve boşluklu yapısı neden olmaktadır. Sahip olunan dayanım bu durumun dışında iklime, ağacın cinsine ve yetiştiği yere de bağlı olarak değiştiği gibi, ahşapta

var olan su miktarı da dayanım üzerinde bir etkiye sahiptir. Çünkü ahşap; su aldığı anda şişen, su kaybettiğinde büzülen bir malzeme olduğundan, sahip olduğu su miktarına göre boyutunda bir değişim meydana geleceğinden bu durum mekanik özelliğini de etkileyecektir. Basit bir ifadeyle etkilenen mekanik özellikler açısından dayanım üzerinden değerlendirilecek olursa, yaş ahşabın dayanımı kuru ahşaba göre daha düşüktür. [37,35]

Ahşapta liflerin yönü de onun mekanik özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Öyle ki liflerde dik yöndeki bütün özellikler ile çekme ve basınç mukavemetleri, paralel yöndeki bütün özelliklerden düşüktür. Ahşaba ait esas mekanik özellikler; elastisite modülü, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti aşağıda açıklanacaktır. [35]

1.2.4.2.1 Elastisite modülü

Malzeme uygulanan kuvvetin etkisiyle oluşan gerilmeden dolayı şekil değiştirip kuvvet ortadan kalkınca eski haline dönüyorsa, elastik şekil değiştirme yapıyor demektir. Bu elastik şekil değiştirme sınırı içinde malzeme bir elastisite modülüne sahip olmaktadır. Elastisite modülü kuvvetin etkisiyle oluşan gerilmenin elastik şekil değiştirmeye oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu durum diğer malzemeler gibi ahşapta da geçerlidir. Ahşapta liflere paralel ve dik yönde elastisite modülü olup çizelge 1.4’de ahşabın lif yönüne ve cinsine göre elastisite modülleri gösterilmektedir. [38]

Çizelge 1.4 : Bazı ağaç cinslerine göre elastisite modülü değerleri. [38]

Ahşap Malzeme	Liflere	Liflere
Cinsi	Paralel E//	Dik E
	(MPa)	(MPa)
İğne Yapraklı	10000.0	300.0
Meşe ve Kayın	12500.0	600.0

1.2.4.2.2 Çekme mukavemeti

Ahşabı koparmak için uygulanan kuvvetlere karşı tepki koyarak sahip olduğu dayanıma denir. Ahşap yapısında bulunan boşluklar, çatlaklar ve ahşap yapısında bulunan diğer kusurlar ahşabın çekme mukavemetinin düşmesine sebep olabilir.

Çizelge 1.5 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre çekme mukavemeti değerleri. [38]

Çalışma Şekli	Ahşap Malzemesinin Sınıfına Göre Çekme Gerilmesi Değerleri (Mpa)		
	İğne Yapraklı Ağaç Sınıfları		
	I	II	III
σ _{çem}	10.5	8.5	0

1.2.4.2.3 Eğilme mukavemeti

İki ucundan mesnetlenmiş ahşaba etki ederek onu eğmeye çalışan, kuvvetlere karşı ahşabın gösterdiği dirence denmekte olup yoğunluk ve sıcaklık etmenleri ahşabın eğilme mukavemetini etkilemektedir. Öyleki %3-5 nem miktarında eğilme mukavemetinin en yüksek değerde olduğu ve malzemenin yoğunluğu azaldıkça eğilme mukavemetinin azaldığı görülmektedir. çizelge 1.6’da bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarının eğilme mukavemetine ait emniyet değerleri gösterilmektedir. [38,39]

Çizelge 1.6 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre eğilme mukavemeti değerleri. [38]

Çalışma Şekli	Ahşap Malzemesinin Sınıfına Göre Eğilme Gerilmesi Değerleri (Mpa)		
	İğne Yapraklı Ağaç Sınıfları		
	I	II	III
σ _{eem}	13.0	10.0	7.0

1.2.4.2.4 Basınç mukavemeti

Ahşabın lifleriyle aynı doğrultuda veya ahşap liflerine dik doğrultuda olan, ahşabı ezip sıkıştırmaya çalışan kuvvetlere karşı ahşabın gösterdiği tepkiye denir. Basınç mukavemeti ağaç hücrelerinin sıklığına ve ağacın yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yoğunluğu az olan ağacın basınç mukavemeti az olup, hücreleri sıkı olmayan ağacın da basınç mukavemeti düşüktür. Basınç mukavemeti liflere dik ve paralel yönde olup çizelge 1.7’de bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarının basınç mukavemetine ait emniyet değerleri liflere paralel ve liflere dik olacak şekilde gösterilmektedir. [18,38]

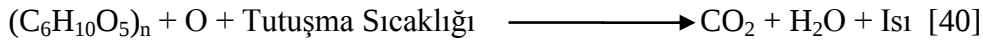
Çizelge 1.7 : Bazı iğne yapraklı ağaç sınıflarına göre basınç mukavemeti değerleri. [38]

Çalışma Şekli	Ahşap Malzemesinin Sınıfına Göre Basınç Gerilmesi Değerleri (Mpa)		
	İğne Yapraklı Ağaç Sınıfları		
	I	II	III
$\sigma_{bem}(\text{paralel})$	11.0	8.5	6.0
$\sigma_{bem}(\text{dik})$	2.0	2.0	2.0
$\sigma_{bem}(\text{dik})(*)$	2.5	2.5	2.5

*: Hafifçe eğilmelere izin verildiği takdirde kullanılabilen değerdir.

1.2.4.3 Ahşap malzemenin yangın özelliği

Yanma kimyasal bir olay olarak tanımlanmakta olup olayın gerçekleşmesi için yanıcı madde, oksijen ve belirli bir tutuşma sıcaklığının bir arada olması gerekir. Burada yer alan üçlüye “Yangın Üçgeni” denir. Bu üç maddeden biri yada birkaçı eksik olması durumunda yangın olayı gerçekleşmez. Ahşap yandığı zaman CO_2 (Karbondiyoksit), H_2O (Su) ve ısı açığa çıkarken ahşap yapısı kömür rengini almaktadır. Ahşapta yer alan selüloza ait yanma reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir. [40]



Ahşabın yangın özelliklerinin bilinmesi, ahşaptan meydana gelen yapıların daha güvenilir ve sağlıklı oluşturulması açısından önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda ahşabın yangına karşı dayanımını arttıran önlemleri içeren tasarımların yapılması ahşabı yangından korumak adına önemlidir. Bu konuda çeşitli önlemler alınabilir. Ahşaba çeşitli kimyasal maddeler nüfuz ettirilerek yanması gecikecek hale getirilebilir. Ayrıca ahşabın yüzey alanının yangın dayanımıyla ters orantılı olmasından dolayı, ahşap kesidi bu bilgi ışığında tasarlanabilir. [41, 42, 2]

1.2.5 Ahşap malzemenin avantajları ve dezavantajları

Ahşap malzemenin avantaj ve dezavantajları önceden bilinmesi, yapının tasarımı ve inşası yapılırken bu özelliklerin göz önünde bulundurulup inşai faaliyet sürecinde meydana gelecek problemlerin en aza indirilmesi açısından önemli yarar sağlar.

1.2.5.1 Ahşap malzemenin avantajları

a) Ahşap malzeme hafif olmakla beraber yeterli mukavemete sahiptir. Betonarmede birim hacim ağırlık 2400 kg/m^3 iken, çam ağacına ait kerestede 600 kg/m^3 tür. Yani betonarmenin dörtte biri kadar bir birim ağırlığa sahiptir. Hafif olmasından dolayı kullanıldığı zaman bir betonarme malzemeye göre temele aktarılan ölü yük miktarı az olacağından bir yapının statikğine olumlu yönde katkı sağlayacaktır.

b) Montajı beton ve çeliğe göre daha kolaydır. Ahşap hafif bir malzeme olmasından ötürü kaldırılmasında ağır iş makinalarına ihtiyaç duyulmadığından montajı daha kolay olur.

c) Hafif olmasında dolayı şantiyeye taşınması daha kolaydır.

d) İşçiliği kolaylık gösterir.

e) Yapım süresi daha kısadır. Örneğin bir yapı betonarme yapılırken betonun priz alması için belirli bir süre beklenmelidir. Fakat ahşap yapılarda böyle bir durum söz konusu değildir.

f) Ahşap malzeme kullanıldıktan sonra sökülüp başka bir yerde kullanılabilir. Bu durum çelik malzemede de aynı şekildedir. Fakat betonarmede bu durum gerçekleştirilemez.

g) Ahşap yapıda onarım, takviye veya mevcut parçaların yenileriyle değiştirilmesi gibi durumlar gerektiği zaman bu basit bir şekilde yapılabilir. Örneğin bir yapının bir kısmının fonksiyonunun değişmesine bağlı olarak hareketli yükü de değişeceğinden mevcut döşeme yeni fonksiyona ait döşemeyle kolayca değiştirilebilir.

h) Ahşap kimyasal maddelerin etkilerine karşı dayanıklılık gösterir. Bu özelliğinden dolayı kapalı tuz depolarının yapımında ahşap malzeme seçilmektedir. [17]

1.2.5.2 Ahşap malzemenin dezavantajları

- a) Ahşap su olunca şişip su kaybedince büzüldüğünden dolayı oluşan boyut değişiminden çatlaklar meydana gelir.
- b) Ahşap anizotrop bir yapı malzemesi olduğundan, mekanik özellikleri her doğrultuda aynı değildir. Örneğin liflere paralel doğrultudaki mukavemeti liflere dik doğrultudaki mukavemetinden daha fazladır.
- c) Ahşap canlı bir malzeme olduğundan hayvan ve bitkilerin etkisi altında kalarak oluşan etkilerle beraber bünyesinde çürüme ve boşluklar meydana gelir. Çürüme ve boşlukların oluşması ahşabın dayanımının düşmesine neden olur. Bu nedenle ahşap bu etkilere karşı korunmalıdır.
- d) Ahşap kolay yanan malzeme olduğundan, bina tasarımında ahşap malzeme kullanılacaksa bu durum göz ardı edilmemelidir. [17]

1.2.6 Ahşap malzeme kusurları

Bir ahşaba bakıldığında zaman içinde budak, öz ve lif kıvrıklığı gibi kusurların meydana geldiği görülmekte olup maddeler halinde bu kusurlar açıklanacaktır.

1.2.6.1 Budaklar

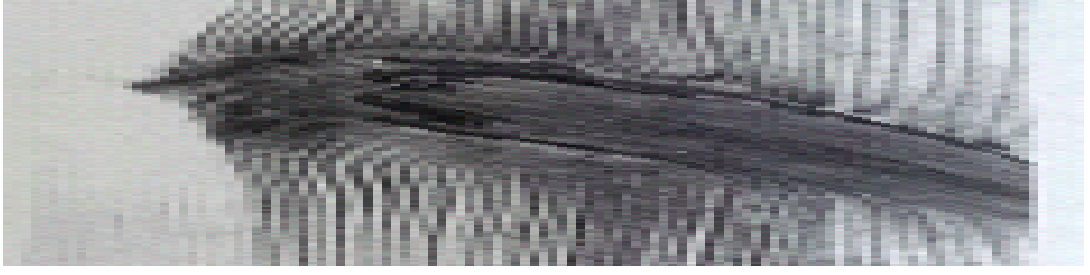
Budak ağaç içinde bulunan bir kusurdur. Ancak budama yoluyla küçük ve budaksız ağaç parçaları üretilebilir.

Ağaç kısmının canlı veya ölü olmasına göre iki çeşit budak vardır. Ölü ağaç kısım canlı kısım tarafından sarmalanmışsa buna kabuklu budak, budak etrafını halka şeklinde çevreleyen kısım büyüme halindeyse buna da özlü budak nedir. Şekil 1.11 de bu iki türün örnekleri gösterilmektedir. [43]



Şekil 1.11 : Kabuklu budak - özlü budak [43]

Budaklar farklı şekil ve boyutta olabilirler. Şekil olarak budaklar yuvarlak, oval, çivi şekilli; boyut olarak pim, küçük, orta, geniş şeklinde sınıflandırılabilir. Çivi budak örneği şekil 1.12’de gösterilmektedir. [43]



Şekil 1.12 : Çivi budak [43]

Budaklar ahşabın özelliklerine olumsuz etki yaratmaktadır. Her ne kadar budaklı keresteler estetik olarak insanı cezbederse, teknik olarak tercih edilmezler. Budağın yerine, boyutuna, türüne ve yüklerine göre ahşabın mukavemeti azalabilmektedir. Ayrıca budaklar ahşabın işleme, kuruma ve cilalama özelliklerini de etkilemektedir. [43]

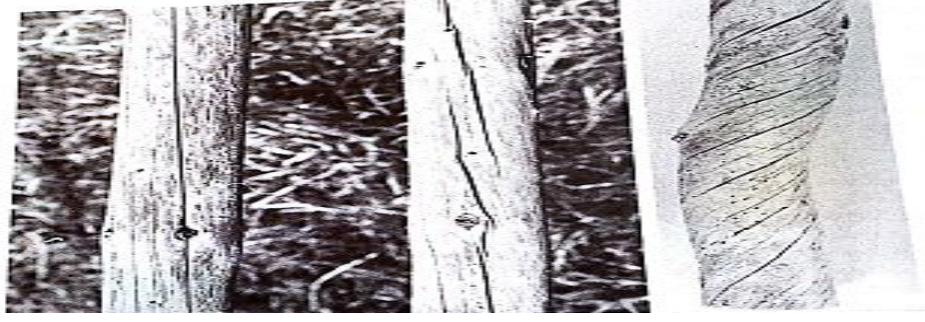
1.2.6.2 Öz

Canlı ağacın temel kusurlarından biri de sahip olduğu özdür. Öz varlığı ağacın mukavemetini ve durabilitesini azaltabilmektedir. Ayrıca çok sık budak içeren ve öze yakın ahşap parçası genç bir yapıya sahiptir. [43]

1.2.6.3 Lif kıvrıklığı (spiral liflilik)

Odunsu hücreler normalde ağacın boyuna doğru ekseninde gitmekteyken bu eksenle sapmasıyla spiral liflilik denilen olay oluşmaktadır. Lif kıvrıklığı bir ahşap kusuru olup iğne yapraklı ve yapraklı ağaçların her ikisinde de görülebilmektedir. İğne yapraklı çamda, yapraklı ağaçlarda at kestanesinde çokça görülmektedir. [44]

Ağacın genetik özelliklerinin ve çevre koşullarının lif kıvrıklığına neden olduğu düşünülmekte olup tam olarak hangi faktörlerin neden olduğu bilinmemekle birlikte ahşap düşmesine neden olan bir kusur olduğu bilinmektedir. Lif kıvrıklığı ile ilgili görsel şekil 1.13’ de mevcuttur. [44]



Şekil 1.13 : Lif kıvrıklığı [43]

1.2.7 Ahşapta tahribatsız deney yöntemleri

Ahşap canlı ve dış etkilere açık bir malzeme olması nedeniyle kendi yapısından ve çevreden kaynaklı sebeplerden dolayı bozulmaya eğilimli bir malzemedir. Ahşaptaki bozulmalar malzemede kusurlar oluşmasına sebebiyet verir. Oluşan bu durum ahşabın yapı malzemesi olarak kendisinden beklenen performansın düşmesine neden olur. Ahşaptaki bozulmadan dolayı oluşan hasarlar çeşitli tahribatsız deney yöntemleriyle tespit edilip ahşabın yapısal performansının korunması için önlemler alınabilmektedir. Aşağıda maddeler halinde ahşapta kullanılan tahribatsız deney yöntemleri açıklanacaktır. [45]

1.2.7.1 Gözle muayene

Tahribatsız deney yöntemlerinden en basidir. İlgili teknik personelin çalışmasıyla ahşap malzemedeki kusurlar belirlenir. Elde edilen veriler gerekli yerlerde kullanılır. [45]

Gözle muayene yararlı bir yöntem olmakla birlikte detaylı inceleme açısından belli sınırları aşmadığından sonuçlar incelendiği zaman hatalar içermektedir. Ayrıca işi yapan personelin tecrübesi ve eğitim düzeyi de tetkikin başarısı açısından önemlidir. [45]

1.2.7.2 Delme direnci

Delme direnci ahşap malzemedeki yoğunluğun ve çürümenin belirlenmesinde kullanılan bir deney yöntemidir. Bu yöntem asıl itibarıyla yarı tahribatlı bir yöntemdir. Çünkü deney uygulandığında 1.5mm-3mm çapında bir delik kalmaktadır. Fakat oluşan bu deliğin yapının performansına olumsuz etkisi gözardı edilecek büyüklüktedir. [45]

Delme direnci yönteminde malzemenin içine küçük çapa sahip bir uç sokularak malzemenin bu sokmaya karşı gösterdiği direnç üzerinden sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikler hakkında yorum yapılmaktadır. [46]

1.2.7.3 Vibrasyon

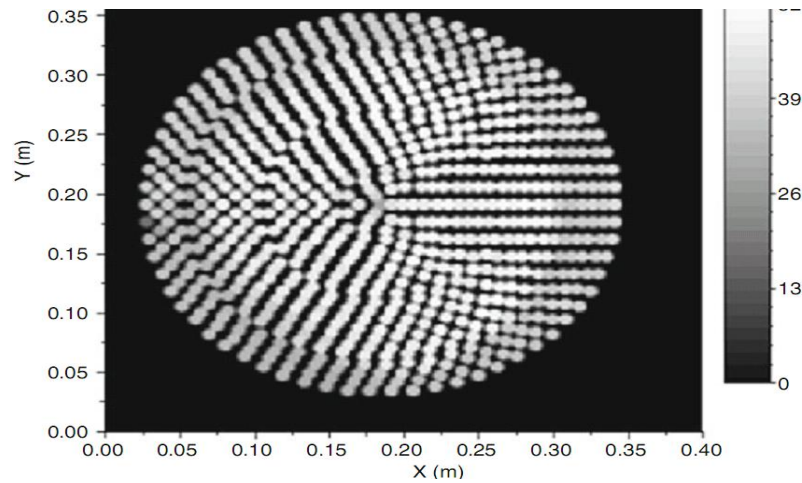
Her malzemenin titreşeceği bir doğal frekansa sahip olduğu teorisine göre uygulanır.

Burada malzeme sahip olduğu teorik frekanstan oluşan sapmaya göre sahip olduğu hasarın tespiti amaçlanır. Ayrıca ahşapta tahribatsız vibrasyon tekniği ile malzemenin sahip olduğu Elastikiyet Modülü (MOE) belirlenir. [45]

1.2.7.4 Radyografi

Radyografi genel manada ilgili nesnenin bir tarafından radyografik enerji kaynağıyla uygulanan görüntü alma işleminin bir film üzerinde konumlandırılması esasına dayanır. Bu işlem gerçekleşirken radyasyon nesne üzerinde dolaşarak oluşan görüntüyü filme aktarmaktadır. Çalışma sistemi olarak incelendiğinde malzemenin yoğunluk durumuna göre radyasyon geçme durumu oluşup buna bağlı olarak iki boyutlu görüntü oluşarak görüntüde yapılan çeşitli işlemlerle üç boyutlu görüntü oluşturulabilmektedir. [45]

Radyografi tekniği ile ahşap elemanların sahip olduğu ahşap yoğunluğu gama ve X ışınlarıyla tahmin edilmekte, ayrıca mantar etkisi altındaki yapısal bozulmada araştırılabilmektedir. Bu teknik ahşap elemanlarda hem labratuvar hem de arazi şartlarında uygulanabilmektedir. [45]. Radyografili X ışınlarıyla oluşturulmuş görüntüye ait bir örnek şekil 1.14’de gösterilmektedir.



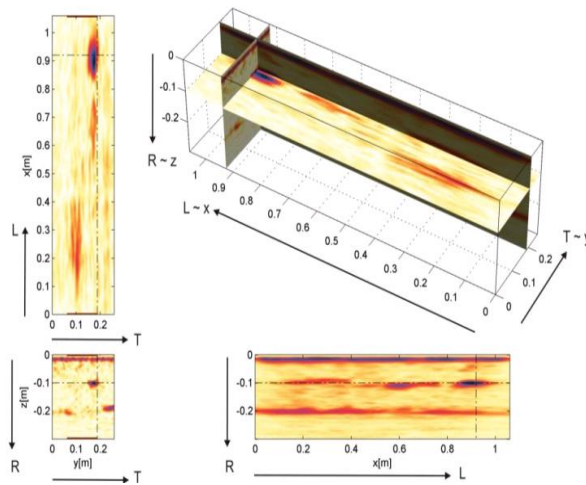
Şekil 1.14 : Radyografili X ışını örneği [47]

1.2.7.5 Ultrasonik muayene

Ultrasonik muayene yüksek frekanslı dalgaların malzeme içine nüfuz ettirilip elde edilen verilerden malzemeyle ilgili analiz yapılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde malzeme için mukavemetin azalmasına neden olan budak ve bozulma gibi kusurlar tespit edilip mekanik ve fiziksel özellikler üzerine çalışma yapılarak malzemeyi iyileştirme adına yapılacak uygulamalar için bilgi sahibi olunmuş olur. Ultrasonik muayene tekniği daha çok ahşap malzemenin işlenip belirli bir hale gelmesi aşamasında onun üretim niteliği hakkında tahminde bulunmada kullanılmaktadır. Şekil 1.15’ de ultrasonik muayene tekniğinin uygulanışı, Şekil 1.16’ da elde edilen görüntüler üzerine bir örnek sunulmaktadır. [45]



Şekil 1.15 : Ultrasonik muayene tekniğinin uygulanışı [48]



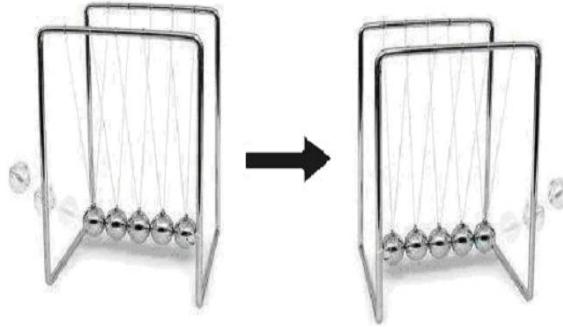
Şekil 1.16 : Ultrasonik muayene tekniğinden elde edilen görüntüler [48]

Ahşap malzemede ultrasonik muayenede malzeme boyutlarının sınırlanmasından, ahşap doğasından ve alınan ultrasonik enerjinin zayıflığından kaynaklı etkili muayene oluşturmada zorluklar bulunmaktadır. Bu durumlardan dolayı yüksek frekanslı dalgalar küçük uzunluklarda bile azaldığından ahşap malzemede muayene geniş kesitli malzemelere nazaran bozulma ve kusurların tespitinde dar kesitlerde daha etkilidir. Yakın gelecekte meydana gelecek teknolojik gelişmelerle bu problemlerin üstesinden gelinedeği tahmin edilmektedir. [45]

Ultrasonik muayenenin ahşap malzeme üzerindeki çalışmaları genel olarak ahşaptaki bozulma ve budaklanmalara dayalı kusurlar üzerine yapılmakta olup yakın gelecekte sinyal analiz tekniklerinin geliştirilmesiyle, komple bir ahşap yapı üzerinde yapısal kapasitenin değerlendirilmesi üzerine analizler yapılabileceği öngörülmektedir. [45]

1.2.7.6 Stres dalgası (Ultras)es)

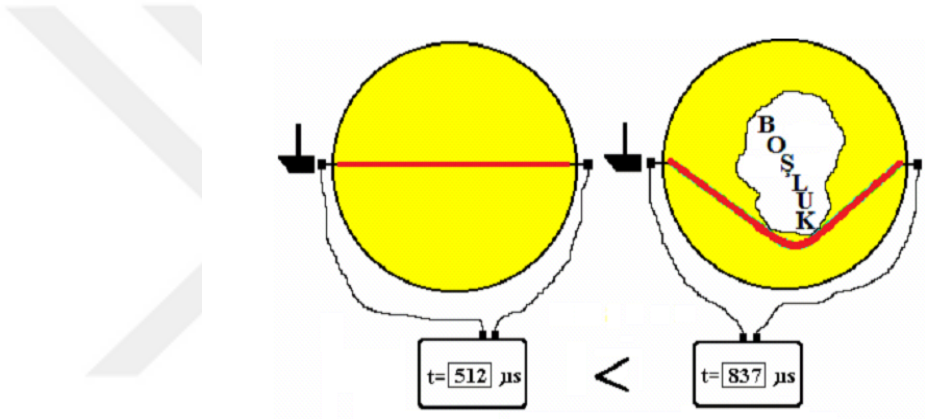
Stres dalgası akustik dalga yöntemlerinden biri olup davranış itibari ile en hızlı geçebileceği ortamdan geçme eğilimindedir. En hızlı katı sonra sıvı daha sonra ise gaz ortamında yayılmakta olup stres dalgasının iletim prensibi bir ahşap çubuk baz alınarak incelendiğinde, uygulanan şok dalgası ile çubuğun başından sonuna doğru sırayla partiküllerin birbirini tetiklemesine göre dalga iletimi sağlanmaktadır. Stres dalgasının iletilmesi prensibine ait örnek şekil 1.17’de gösterilmektedir. [49,50]



Şekil 1.17 : Stress dalgasının iletim şekli . [49]

Deneysel olarak incelendiğinde, stres dalgası yöntemi ilgili deney aletiyle malzeme yüzeyinde etki oluşturularak uygulanan bir muayene metodudur. Bu metotta stres dalgaları ses hızında dış yüzeyden etkililerek malzeme içinde bir akış ile daha önce belirlenmiş uzaklıkta oluşturulur. Başka bir deyişle stress dalga metodu belirli bir

uzunlukta ses dalgalarının bir noktadan diğer bir noktaya ulaşması için geçen sürenin belirlenip bu süre üzerinden yorumlar yapılması esasına dayanır. Ahşap malzemede bozunmanın yeri de stress dalga yöntemiyle elde edilen sürelerle göre yorumlanıp belirlenebilir. Burada ahşabın bozunmuş kısmında ses dalgası sağlam kısma göre daha yavaş geçtiğinden dolayı, bozulmuş kısımdan geçiş süresi sağlam kısma göre daha uzun olacak olup süre ile hız ters orantılı olduğundan dalga hızı daha az olacaktır (Çünkü dalga kusurun içinden değil etrafından dolanıp geçecektir). Ses dalgalarının bu özelliğinden yararlanılarak ahşap malzemedeki bozulmanın veya kusurun yeri hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Ses dalgasının boşluk ile karşılaşınca gösterdiği davranış şekil 1.18’de gösterilmektedir. [45]



Şekil 1.18 : Stress dalgasının boşluktaki davranışı. [49]

Stress dalga yöntemiyle ahşap malzemenin elastisite modülünü hesap etmekte mümkündür. Buradaki akışta ilk önce ölçüm yapılacak, uzunluğu belli olan ahşap numunede ilgili cihazla dalga'nın ulaşma süresi belirlenip oradan stres dalgasının hızı hesap edilerek elde edilen hız malzemenin dinamik elastisite modülünün hesabında kullanılıp malzemenin dayanımına ait özellikler hakkında çeşitli öngörüler elde edilebilir. [45]

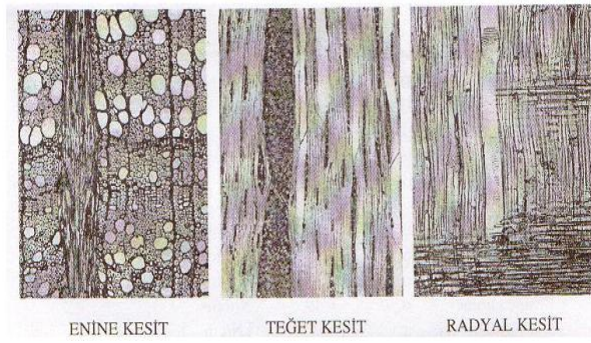
1.3 Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, deneylerin yapılacağı numunelerin malzeme özellikleri aktarılıp imalatı gerçekleştirilmiş numunelere yapılan deneyler ile deney sonucunda uygulanan hesaplar hakkında bilgi verilmiştir.

1.3.1 Kullanılan malzeme ve özellikleri

1.3.1.1 Kayın ağacı

Nicel özellikler açısından incelendiğinde, eğilme direnci 86 N/mm^2 , elastikiyet modülü 12500 N/mm^2 olup hava kurusu yoğunluğu $0,66 \text{ g/cm}^3$ ve tam kuru yoğunluğu $0,63 \text{ g/cm}^3$ tür. Nitelik özelliklerine bakıldığında, emprenye edilebilme özelliği güçtür (Emprenye: Ahşap malzemeye çeşitli kimyasalların emdirilmesine denir). Kayın ağacının ağır ve sert bir odun yapısına sahip olduğu, diri odunu ile öz odunu arasında fark olmadığı ve öz ışınlarının çıplak gözle görüldüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca 80 yaşından büyük kayın ağaçlarında kırmızı yürek adında bir öz odun oluşumu vardır. Şekil 1.19’da kayın ağacının mikroskopik yapısı gösterilmiştir. [12,51]



Şekil 1.19 : Kayının mikroskopik yapısı [51]

1.3.2 Numunelerin üretimi

1.3.2.1 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma numunenin üretimi

Kayın ağacının kesildikten sonra elde edilen tahta bloklar, testere yardımıyla küçük bloklar haline getirilir. Daha sonra tahta bloklar bir kenarı diğer iki kenarından daha uzun olan dikdörtgen prizmasına benzer biçim haline getirilir. Bu hale getirilirken tahta blokların bir kısmı bir kenarı diğerlerinden oldukça küçük olacak şekilde ince levha şeklinde kesilirken diğer kısmı daha kalın levha oluşturacak şekilde kesilir. Diğer aşamada elde edilen tahta bloklar bir kenarı 72 cm uzunluğunda diğer kenarları 36 cm olacak şekilde birleştirilmek amacıyla bir araya getirilir. Bu birleşim yapılırken numunenin içinde bir kenarı 72 cm ve diğer kenarları 12 cm olan bir boşluk bırakacak şekilde ayarlanır. Birleşimler, çivi ile çakılmak suretiyle ve

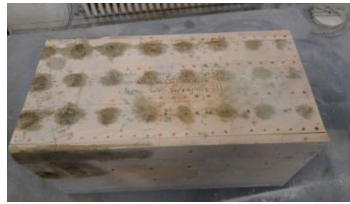
süreksizlik kısımlarında ahşap zımbası kullanılarak gerçekleştir. Ayrıca zaman zaman da tutkal kullanılmıştır. Elde edilen numune içinde sürekli boşluk olan 36*36*72 cm boyutlarına sahip bir kare prizmadır. Numuneye ait görseller şekil 1.20, şekil 1.21 ve şekil 1.22’de gösterilmektedir.



Şekil 1.20 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (yandan görünüş)



Şekil 1.21 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (önden görünüş)



Şekil 1.22 : İçi boş 36*36*72 cm boyutlara sahip numune. (üstten görünüş)

1.3.2.2 20*20*20 cm boyutlu küp numunenin üretimi

Kayın ağacından elde edilen büyük tahta bloklar öncelikle testere yardımıyla küçük bloklar haline getirilir. Sonraki aşamada küçük tahta blokların iki tanesi testere ile bir kenarı 7 cm diğer kenarları 20 cm olan tahta blok haline, diğerleri ise bir kenarı 6 cm diğerleri 20 cm olan kare prizma haline getirilir. Bundan sonra elde edilen üç ahşap

numune kısa kenarlar üst üste olacak şekilde tutkal ile yapıştırılıp yapıştırma işleminin tam gerçekleşmesini sağlamak amacıyla sabitleyici kullanıp tek parça haline gelen ahşap numune sıkıştırılır. Daha sonra üç numunenin süreksizlik eksenleri boyunca ağaç zımbası uygulaması yapıp birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Elde edilen numune 20*20*20 cm boyutlara sahip küp numunedir. Son aşama olarak küp numunenin altı yüzü karşılıklı yüzlerine ardışık rakamlar oluşturacak şekilde 1,2,3,4,5 ve 6 numaraları verilir. Numara verilmesindeki amaç, küp numunenin her kenarı aynı uzunluğu aynı olduğundan uygulanacak deneylerde herhangi bir karışıklık oluşmasını engellemek amacıyla numunede bir altlık oluşturmaktır. Oluşturulan numuneye ait görsel şekil 1.23'te gösterilmiştir.



Şekil 1.23 : 20*20*20 cm boyutlara sahip küp numune.

1.3.2.3 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp numunenin üretimi

Tahribatlı numune oluşturma işlemi daha önce oluşturulan 20*20*20 cm boyutlu küp numune üzerinden gerçekleşecektir. Bu işlem gerçekleştirilirken matkap kullanılarak numunede delikler açılmak suretiyle tahribat verilecektir. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir. İlk olarak matkaba ahşap delici 7.5 mm çapında 8 cm uzunluğunda uç takılarak 3 numaralı yüzeyde bir kenarından 6.5 cm uzaklıktaki noktadan 7.5 mm çapında ve 8 cm derinliğinde bir delik oluşturulur. Aynı işlem bu kenarın karşısında yer alan kenardan da 6.5 cm uzaklıktaki diğer bir nokta için de tekrarlanır. Daha sonra yine aynı kenarlardan 6.5 cm uzaklıkta noktalar oluşturulacak şekilde mevcut deliklerin altında da iki sıra daha aynı çap ve derinlikte dört tane daha delik oluşturularak bir yüzeyde birbirine eşit uzaklıkta toplam aynı çap ve derinlikte toplam altı tane delik oluşturulmuş olur. 3 numaralı yüzeyde yapılan bu işlemlerin

aynısı 4 ve 5 numaralı yüzeyde de gerçekleştirilerek numuneye istenilen tahribat verilmiş olup 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp numune oluşturulmuş olur. Yüzeylerde meydana gelen tahribatlar şekil 1.24, şekil 1.25 ve şekil 1.26'da gösterilmektedir.



Şekil 1.24 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 3 numaralı yüzü.



Şekil 1.25 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 4 numaralı yüzü.



Şekil 1.26 : 20*20*20 cm boyutlara sahip tahribata uğramış küp numunenin 5 numaralı yüzü.

1.3.3 Deneylerin yapılışı

1.3.3.1 Ultrases hızı deney aleti

Ultrases hızı deney tekniğinde Proceq Pundit (portatif ultrasonik tahribatsız dijital göstergeli test cihazı) Lab Ultrasonic Hız Titreşimi cihazı kullanılmıştır. Cihazda ses dalgaları deney uygulanacak malzemeye transduserler yardımıyla gönderilir. Bu transduserler cihazda iki adet olup bunlar deney malzemesine yerleştirildikten sonra verici transduserden gönderilen ses dalgasının alıcı transduser tarafından alınmasıyla ölçüm tamamlanarak ses dalgasının vericiden alıcıya ne kadar sürede iletildiği elde edilir. Elde edilen süre cihazın dijital ekranında yer almaktadır. Ayrıca deney yaparken transduserlere ultrasonik jel veya gres yağı sürülmesi gerekmektedir bunun nedeni ultrasonik jel veya gres yağı malzeme ile transduserler arasındaki boşluğu engelleyip malzeme ile transduserler arasındaki sürekliliği sağlayarak ölçüm yapılmasını sağlamaktadır. Eğer bunlar sürülmezse bahsedilen sebepten dolayı ölçüm yapılamamaktadır. Ultrases hızı ölçümünde kullanılan bu deney aleti şekil 1.27 ve şekil 1.28’de yer almaktadır [52]



Şekil 1.27 : Ultrases hızı deney cihazı.



Şekil 1.28 : Ultrases hızı deney cihazı. (transduserler ile birlikte)

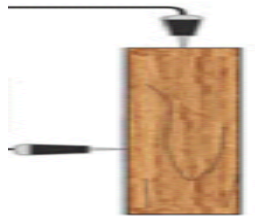
Bu test aletiyle ölçüm yapılırken transduserlerin deney numunesinde aldıkları pozisyona göre üç çeşit ölçüm yapılabilir. Bu ölçüm çeşitleri indirekt, direkt ve yarı direkt olarak adlandırılır. Bahsi geçen ölçüm çeşitleri şematik olarak şekil 1.29, şekil 1.30 ve şekil 1.31’de gösterilmektedir. [52,53]



Şekil 1.29 : Direkt ölçüm metodu. [53]



Şekil 1.30 : İndirekt ölçüm metodu. [53]



Şekil 1.31 : Yarı direkt ölçüm metodu. [53]

1.3.3.2 20*20*20 cm boyutlu küp üzerinde ultrases deneyinin uygulanması

1.3.2.2 maddesinde anlatıldığı şekilde numaralar verilerek hazırlanmış numunede deneyin yapılacağı noktaları belirlemek adına bir grid sistemi oluşturulur. Bu grid

sistemi oluşturulurken yüzeyin başlangıç noktasından üstten ve yandan 3 cm içerden başlanıp ilk nokta belirlenip aynı yatay eksen boyunca 7 cm ötesinde ikinci nokta belirlenerek tekrar 7 cm öteleyerek üçüncü nokta belirlenir ve ilk sıradaki yatay eksenler belirlenmiş olur. Aynı işlemler düşey de 7 cm kaydırma yapılarak ikinci ve üçüncü yatay eksen içinde yapılıp gridleme işlemi tamamlanmış olur. Bu işlemler 1,2,3,4,5 ve 6 numaralı yüzeylerin hepsinde yapılır. Sonraki aşamada deney aletinin problarına ultrasonik jel sürülüp aletin doğru sonuç vermesi adına süre sabitleyici parçasına problemlerin her iki ucu dokundurulup ultrases cihazında 25,4 μ s okunması sağlanır. Bu işlemin yapılması şekil 1.32 ve şekil 1.33’de gösterilmektedir.



Şekil 1.32 : Problemlerin dokundurma işlemi.



Şekil 1.33 : Deney aletinde 25,4 μ s okuma.

Bu işlemlerden sonra şekil 1.29’da gösterilen direkt metod ile numunede karşılıklı yüzey oluşturan 1-2 yüzeylerinden ilk noktadan başlayarak dokundurulup ilk okuma yapıldıktan sonra okunan değer kayıt altına alınır. Aynı şekilde yatay eksen de devam

edilip diğerk noktalarda aynı işlem gerçekleştirilerek bu yatay sıra bittikten sonra düşeyde bir alt sıraya geçilip aynı yatayda okumalar yapılır. Üçüncü düşey sırada da rutin olay tekrarlanıp 1-2 yüzeyinde ölçüm tamamlanır. Aynı işlemler karşılıklı 3-4 ve 5-6 yüzeylerinde tekrarlanarak direkt metotla ölçüm işlemi tamamlanır. 1-2, 3-4 ve 5-6 yüzeylerinde bu ölçümün nasıl yapıldığı şekil 1.34, şekil 1.35 ve şekil 1.36’da gösterilmektedir.



Şekil 1.34 : 1-2 yüzeyi okuması.



Şekil 1.35 : 3-4 yüzeyi okuması.



Şekil 1.36 : 5-6 yüzeyi okuması.

Bu deneyler yapıldıktan sonra aynı numuneye 5 numaralı yüzey üzerinden şekil 1.30 deki gibi indirekt ölçüm metodu uygulanır. Bu metod uygulanırken önceki yöntemde

olduğu gibi aynı gridler üzerinde 25,4 μ s okuma değeri okunana kadarki işlemler aynen uygulanır. Daha sonra düşey ve yatayın ilk sırasında problemlerin biri dokundurulup diğer prob ilk yatay eksen üzerinde onun yanındaki gride dokundurulup okuma alınır. Sonraki aşamada ilk yatay ekseninde birinci prob ilk noktada sabit tutulup ikinci prob son noktaya dokundurulup ölçüm yapıp okuma alınır. En son olarak da birinci yatay ekseninde ilk prob yatayda ikinci noktaya dokundurulup diğer prob sabit tutulup okuma alınır. Aynı işlemler ikinci ve üçüncü yatay eksenlerde de uygulanıp okuma bitirilir. Bu okumaların yapılması şekil 1.37, şekil 1.38 ve şekil 1.39’da gösterilmiştir.



Şekil 1.37 : Birinci deney okuması.



Şekil 1.38 : İkinci deney okuması.



Şekil 1.39 : Üçüncü deney okuması.

1.3.3.3 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp üzerinde ultrases deneyinin uygulanması

1.3.2.2 maddesinde gerçekleştirilen işlemler küp numunenin tahribat verilmiş haline numunenin aynı şekilde uygulanarak cihazda okunan değerler kayıt altına alınır. Tahribat verilmiş numuneye ait okumanın yapılışı ile ilgili görsel şekil 1.40, şekil 1.41 ve şekil 1.42’de gösterilmektedir.



Şekil 1.40 : Tahribatlı numunede karşılıklı yüzeyde okuma.



Şekil 1.41 : Tahribatlı numunede tek yüzeyde yapılan okuma.



Şekil 1.42 : Tahribatlı numunede tek yüzeyde yapılan diğer okuma.

1.3.3.4 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma üzerinde ultrases deneyinin uygulanması

1.3.2.1 maddesinde anlatıldığı şekilde hazırlanmış numunede deneyin yapılacağı noktaları belirlemek adına bir grid sistemi oluşturulur. Bu grid sistemi oluşturulurken ilk önce prizma numunenin yere dik olarak uzanan bir kenarı 72 cm olan yüzeyleri üzerinden gridleme işlemi yapılır. Bu yüzeylerin birinden başlarken ilk nokta üst kenarın 3 cm altından ve yan kenarın 1 cm sağından başlanarak işaretlenip diğer noktalar 10 cm aralıkla sağa kaydırılarak konup 8 tane nokta oluşturularak ilk sıra tamamlanır. Aynı şekilde bu sıranın 10 cm altında ikinci sıra oluşturulurduktan sonra ikinci sıranın altında üçüncü sıra ve dördüncü sıra gene aynı şekilde aralarında 10'ar

cm olacak şekilde oluşturulup bu yüzeyde gridleme işlemi tamamlanır. Aynı işlemler bu yüzeyin karşısındaki yüzeyde oluşturulup diğer yüzeyinde gridleme işlemi tamamlanır. Daha sonra yere parallel, numunenin üst kısmında yer alan ve bir kenarı 72 cm olan yüzeyde gridleme işlemine geçilir. Burada ilk nokta oluşturulurken üst kenardan 5 cm aşağıda, yan kenarın 1 cm sağından başlanarak işaretlenip ilk nokta oluşturulur. Diğer noktalar ilk noktanın 5 cm sağından devam edilerek 15 adet nokta oluşturulduktan sonra ilk sıra tamamlanır. İkinci sıra ilk sıranın 10 cm altında birinci sıradaki gibi oluşturulduktan sonra üçüncü sırada ikinci sıranın 10 cm altında aynı şekilde oluşturulup bu yüzeyin gridleme işlemi tamamlanır. Sonraki aşamada deney aletinin problemlerine ultrasonik jel sürülüp aletin doğru sonuç vermesi adına süre sabitleyici parçasına problemlerin her iki ucu dokundurulup ultrases cihazında 25,4 μ s okunması sağlanır. Şekil 1.32 ve Şekil 1.33'deki işlemler yapıp deneylerin yapılması aşamasına geçilir. İlk olarak Şekil 1.29'da gösterilen direkt metod ile numunede karşılıklı olarak noktalanmış yüzeylerde ilk noktadan başlayarak dokundurulup ilk okuma yapıldıktan sonra okunan değer kayıt altına alınır. Aynı şekilde yatay eksende devam edilip diğer noktalarda aynı işlem gerçekleştirilerek bu yatay sıra bittikten sonra düşeyde bir alt sıraya geçilip aynı yatayda okumalar yapılır. Üçüncü düşey sırada da rutin olay tekrarlanıp bu karşılıklı yüzeylerde okuma tamamlanır. Olayın gerçekleşmesi Şekil 1.43'de gösterilmektedir. Bu deney yapıldıktan sonra boşluğun üstünde ve yanında kalan yüzeylerde birer işaretlenmiş noktaya dokundurularak Şekil 1.31'deki gibi yarı direkt ölçüm metodu uygulanarak okunan değer kayıt altına alınır. Bu deneyin gerçekleşmesine ait görsel Şekil 1.44'de gösterilmektedir.



Şekil 1.43 : Karşılıklı yüzey okuması.



Şekil 1.44 : Yarı direkt metotla ölçüm yapılması.

Bu deneyler yapıldıktan sonra yere paralel, numunenin üst kısmında yer alan ve bir kenarı 72 cm olan yüzey üzerinde şekil 1.30'daki gibi indirekt ölçüm metodu uygulanır. Bu metod uygulanırken önceki yöntemde olduğu gibi aynı gridler üzerinde 25,4 μ s okuma değeri okunana kadarki işlemler aynen uygulanır. Daha sonra problemlerin bir tanesi numunenin sol üst köşesinde işaretlenmiş noktaya konarak diğer prob 5 cm aralıklarla sağa doğru son işaret noktasına gelene kadar okuma işlemleri yapıp kayıt altına alınır. Daha sonra 10 cm aşağıdaki ikinci sıraya ve ikinci sıranın 10 cm altındaki üçüncü sıraya geçilip aynı işlem tekrarlanır. Şekil 1.45 ve şekil 1.46'da deneyin yapılışındaki iki aşama gösterilmektedir.



Şekil 1.45 : Yüzeyde indirekt okuması 1. aşama



Şekil 1.46 : Yüzeyde indirekt okuması 2.aşama.

Daha sonra numunenin yine sol üst köşesinden başlanarak ilk prob buraya konur. İkinci prob 10 cm sağ tarafına konarak okuma yapıp kaydedildikten sonra ilk prob ikinci probun konduğu yere konup ikinci prob ise onun 10 cm sağına konarak bu sıra bitene kadar bu işlem devam ettirilip kayıtlar yapılır. Aynı işlemler 10'ar cm aşağıdaki sıralar içinde uygulanıp okumalar yapıp kayıtlar oluşturulur. Deneyin yapılmasındaki son kısım şekil 1.47'deki gibidir.



Şekil 1.47 : Yüzeyde indirekt okuma.

1.3.3.5 Ultrasonik tomografi deney aleti

Ultrasonik Tomografi Deneyinde cihaz olarak A1220 Monolith aleti kullanılmıştır. Bu alet eko metodunu kullanarak malzemenin tek tarafından ölçüm alıp malzemenin kalınlığı ve yapısındaki kusurlar hakkında tespit yapmak amacıyla kullanılır. Alet 6*4 şeklinde bir matris yapısında olan 24 tane seramik uçtan meydana gelen problardan oluşmakta olup bu problemlerin 12 tanesi ses dalgalarını göndermesi, diğer 12 tanesi ise gönderilen bu ses dalgalarını alması ile bu dalgaların oluşturduğu

yansımalar malzeme üzerinde yatay kesitler oluşturmasıyla beraber görüntü elde edilmesi sistemine dayanır. A1220 Monolith aletinden elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasıyla Planevisor 4.0 adı verilen bilgisayar yazılımında malzemenin yapısıyla ilgili görüntü elde edilmesi sağlanıp bu yapıyla ilgili yorumlar yapılır. Bu aletin en büyük avantajı “dry contact” metoduna dayalı olarak çalıştığı için, ultrases aleti ölçüm yaparken problemlerine jel sürmek gerekirken bu aletin problemlerine herhangi bir sıvı sürmek gerekmeden ölçüm yapılmasına olanak vermesidir. Ama ölçümün sağlıklı yapılması adına ölçüm yapılacak yüzeyin temiz olması gereklidir. A1220 Monolith aletine ait görsel şekil 1.48’de gösterilmektedir. [54,55]



Şekil 1.48 : A1220 monolith aleti.

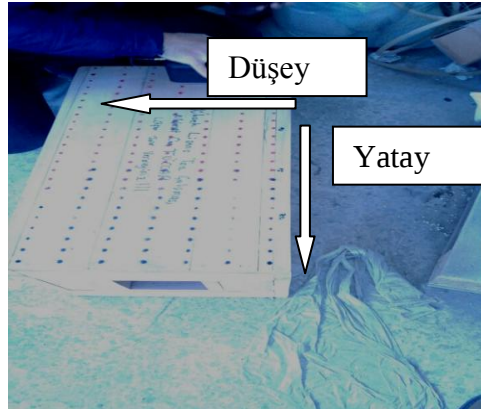
1.3.3.6 İçi boş 36*36*72 cm boyutlu kare prizma üzerinde tomografi deneyinin uygulanması

İlk olarak pleksi cisim üzerinde aralarındaki uzaklık yatay ekseninde 3cm ve dikey ekseninde 5 cm olacak şekilde gridleme işlemi yapılır. Daha sonra bu pleksi cisim deney numunesinin deney yapılacak yüzeyi olan üst kısmına getirilip delik açılarak gridlenmiş olan pleksi üzerine spreylenip gridlerin numune yüzeyi üzerinde oluşması sağlanır. Sonraki aşamada A1220 Monolith aletinin düzeneği kurularak aletin ilk probu deney yüzeyinin ilk kısmına gelecek şekilde bastırılıp cihazda ölçüm yapılması sağlanarak veri alınır. Sonraki aşamada cihaz yatayda bir grid sağa

kaydırılıp ikinci okuma işlemi gerçekleştirilip tüm yatay boyunca okuma sağlanır. Okuma yaparken dikkat edilecek en önemli nokta yatayda 4 probdan oluşan cihaz ilk okumada ilk dört gride dokundurulduktan sonra diğer okuma yapılırken sol üstteki ilk probun beşinci gride değil ikinci gride dokundurulup bir kesişim kümesi gibi okuma yapılması gerekir. Eğer beşinci gride dokundurulursa istenilen veriler elde edilememektedir. Yatay sıra boyuncada bu mantıkta ölçüm yapılması gerekmektedir. İlk yatay sıra bittikten sonra düşeyde birer grid aşağı inilerek tüm yataylarda ve düşeylerde okuma yapıldıktan sonra numunedeki okuma işlemi tamamlanır. Son aşama olarak elde edilen veri cihazdan bilgisayar ortamına aktarılır. Gridleme ve ölçüm işlemi şekil 1.49 ve 1.50’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.49 : Gridleme işlemi.



Şekil 1.50 : Okuma işlemi.

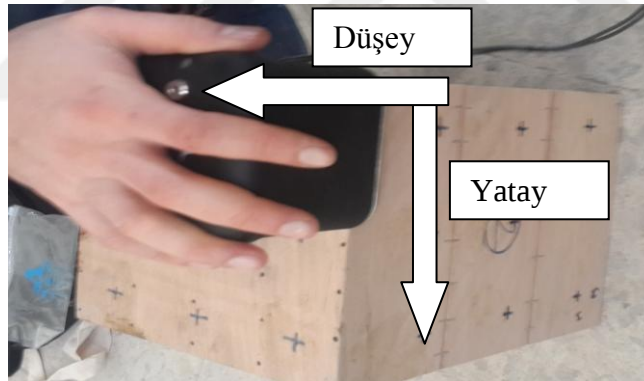
Ayrıca deneyler yapılırken aletin değerleri Şekil 1.51 deki gibi olmalıdır.

CAN-AHSAP	Horizontal step, mm	30
EMRE-3	Vertical step, mm	50
EMRE-1	horizontal size (points)	Off
EMRE-2	vertical size (points)	Off
EMRE-LIFLI	Probe type	double
URFA-1	Operating frequency, kHz	50
URFA-2	Delay, µs	31.0
URFA-3	Gain, dB	40
URFA-4	Pulse voltage, V	200
QWER	Period number	1.0
NUM3	Pulse repetition rate, Hz	40
NUM2	Averaging quantity	4
NUM1	Sound Velocity, m/s	2700
NUM4	Base, mm	Off
CAN-KUCUK-AHSAP	TCG	Off
CAN-KUCUK-AHSAP-g	Scale	mm

Şekil 1.51 : A1220 monolith aletinin ölçüm değerleri.

1.3.3.7 20*20*20 cm boyutlu küp üzerinde tomografi deneyinin uygulanması

1.3.3.6 maddesindeki işlemler tekrar edilerek 6 yüzeyinde deneyler uygulanıp veriler bilgisayara aktarılır. 6 numaralı yüzeyde okuma işlemi ile ilgili iki aşama şekil 1.52ve 1.53’de gösterilmektedir.

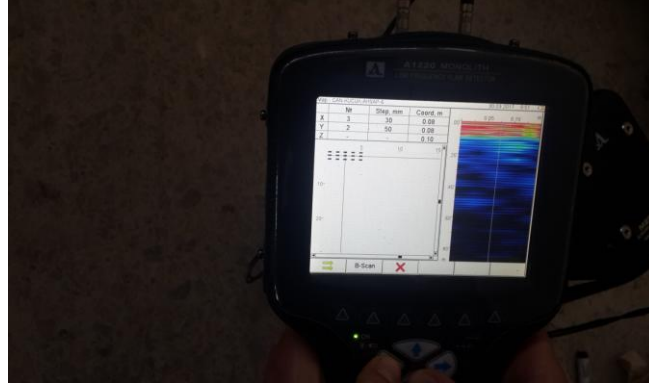


Şekil 1.52 : Okuma işlemi. (1.aşama)



Şekil 1.53 : Okuma işlemi. (2.aşama)

Cihaz numuneye dokunduruldulup deney tamamlandıktan sonra cihaz ekranında şekil 1.54 deki gibi bir görüntü oluşmaktadır.



Şekil 1.54 : Deney sonrası A1220 Monolith ekranı görseli.

1.3.3.8 20*20*20 cm boyutlu tahribatlı küp üzerinde tomografi deneyinin uygulanması

1.3.3.6 da yapılan işlemler numuneye tahribat verildikten sonra 6 numaralı yüzeyde yapılır. 6 numaralı yüzeyde deneyin yapılması Şekil 1.55 deki gibidir.



Şekil 1.55 : Tahribatlı numunede okuma işlemi.

2. DENEY SONUÇLARI

2.1 İçi Boş 36*36*72 cm Boyutlu Kare Prizma Üzerinde Uygulanan Ultrases Deneyinin Sonuçları

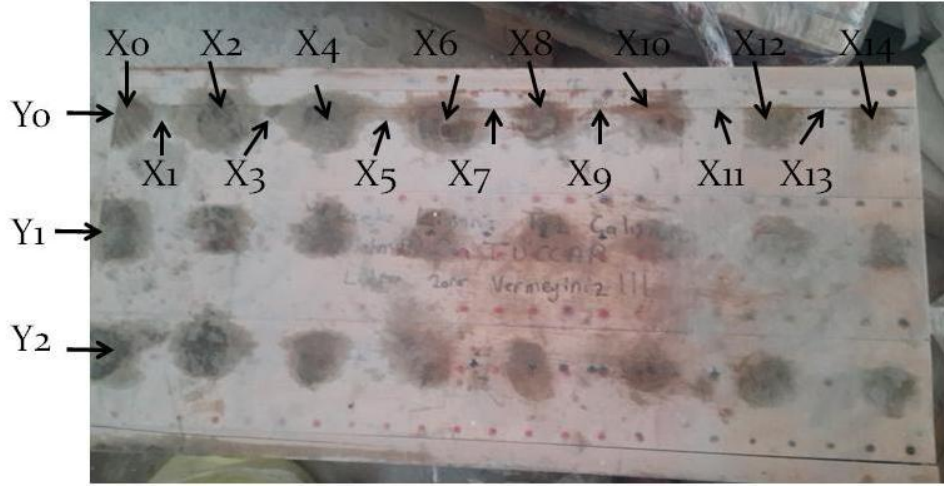
Şekil 1.45 ve 1.46'daki bir prob sabit tutularak üst yüzeyde indirekt okuma ile yapılan deneyler, deney yapılışında anlatıldığı gibi birinci sıra, ikinci sıra ve üçüncü sıra olmak üzere üst yüzey üç bölüme ayrılıp veriler tabloya aktarıldıktan sonra denklem 2.1 e göre dalga hızı hesaplanarak hızlarda aynı şekilde tabloya aktarılır. Denklemdaki ifadelerden V hızı, L uzunluğu ve t^{-1} süreyi ifade etmektedir. Hızın birimi mm/ μ s, uzunluğun birimi mm ve sürenin birimi μ s dir. [52]

$$V=L.t^{-1} \quad (2.2)$$

Şekil 2.1'de koordinatsal olarak ölçüm aralıkları, Çizelge 2.1'de ise değerler gösterilmektedir. (Çizelgede $X_n X_{n+1}$ arası 5cm, $Y_n Y_{n+1}$ arası 10 cm dir.)

Çizelge 2.1 : Bir probun sabit tutulduğu üst yüzey indirekt okuma.

XY	Yo		Y1		Y2	
$X_o X_{n+1}$	Süre (μ s)	Hız (mm/ μ s)	Süre (μ s)	Hız (mm/ μ s)	Süre (μ s)	Hız (mm/ μ s)
XoX1	16,4	3,05	24,4	2,05	16,4	3,05
XoX2	21,9	4,57	31,9	3,13	21,9	4,57
XoX3	48,2	3,11	32,9	4,56	48,2	3,11
XoX4	62,2	3,22	44,9	4,45	62,2	3,22
XoX5	69,4	3,60	54,9	4,55	69,4	3,60
XoX6	80,9	3,71	66,9	4,48	80,9	3,71
XoX7	81,2	4,31	85,9	4,07	81,2	4,31
XoX8	99,4	4,02	98,4	4,07	99,4	4,02
XoX9	109,7	4,10	103,9	4,33	109,7	4,10
XoX10	110,9	4,51	107,4	4,66	110,9	4,51
XoX11	131,4	4,19	111,4	4,94	131,4	4,19
XoX12	150,4	3,99	137,4	4,37	150,4	3,99
XoX13	166,4	3,91	142,4	4,56	171,6	3,79
XoX14	171,6	4,08	159,4	4,39	205,0	3,41



Şekil 2.1 : Numunenin koordinat ile gösterimi.

Şekil 1.47'deki gibi üst yüzeyde iki probun da hareketine dayalı oluşan okumanın sonuçları çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : İki probun hareketli olduğu üst yüzey indirekt okuma.

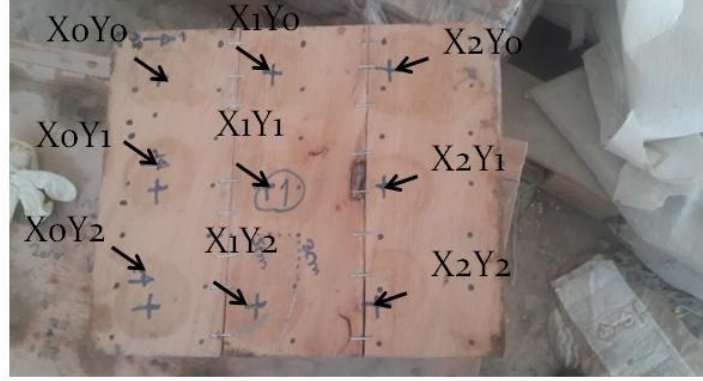
XY	Yo		Y1		Y2	
XnXn+2	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)
XoX2	21,9	4,57	31,9	3,13	21,9	4,57
X2X4	26,9	3,72	28,4	3,52	31,4	3,18
X4X6	26,4	3,79	43,9	2,28	25,9	3,86
X6X8	28,2	3,55	24,4	4,10	26,9	3,72
X8X10	34,9	2,87	41,9	2,39	35,4	2,82
X10X12	26,4	3,79	38,4	2,60	33,9	2,95
X12X14	29,9	3,34	33,9	2,95	35,4	2,82

Şekil 1.43'deki karşılıklı yüzey okumasına dayalı direkt metod ve şekil 1.46'daki yarı direkt metodla yapılan ölçümlerde veri alınamadığı için ortaya bir deney sonucu çıkmamıştır.

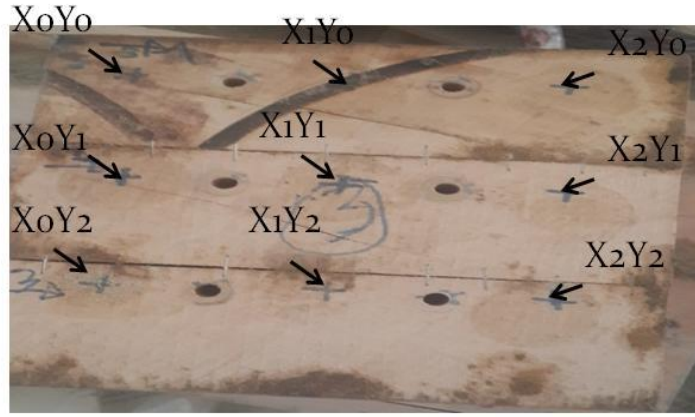
2.2 20*20*20 cm Boyutlu Küp (Tahribatlı ve Tahribatsız) Üzerinde Uygulanan Ultrases Deneyinin Sonuçları

Şekil 1.34.... şekil 1.42 arasında direkt metodla yapılan deneylerin sonuçları 1-2, 3-4, 5-6 yüzeyleri için tahribatlı ve tahribatsız olarak aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir. Tablolardaki Xo,X1 ve X2 belirlenen başlangıç noktasından yatay

hareketi; Y_0 , Y_1 ve Y_2 ise gene aynı noktadan düşey hareketi temsil eder. (Şekil 2.2, 2.3, 2.4 koordinatsal olarak ölçüm aralıklarını ifade eder)



Şekil 2.2 : 1-2 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.



Şekil 2.3 : 3-4 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.



Şekil 2.4 : 5-6 yüzeyinin koordinat ile gösterimi.

Çizelge 2.3 : 1-2 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	103,7	104,9	90,1
Y1	98,4	100,4	81,1
Y2	96,1	100,1	103,9

Çizelge 2.4 : 1-2 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	1,93	1,91	2,22
Y1	2,03	1,99	2,47
Y2	2,08	2,00	1,92

Çizelge 2.5 : 1-2 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	104,7	115,1	97,2
Y1	98,9	100,9	91,4
Y2	96,4	100,2	107,6

Çizelge 2.6 : 1-2 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	1,91	1,74	2,06
Y1	2,02	1,98	2,19
Y2	2,07	1,97	1,86

Çizelge 2.7 : 3-4 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	47,1	47,9	48,4
Y1	37,9	44,9	47,4
Y2	53,1	43,1	45,2

Çizelge 2.8 : 3-4 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/μs)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	4,25	4,18	4,13
Y1	5,28	4,45	4,13
Y2	3,77	4,64	4,42

Çizelge 2.9 : 3-4 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	47,4	48,2	48,6
Y1	52,6	50,4	48,9
Y2	53,4	49,4	45,4

Çizelge 2.10 : 3-4 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/ μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	4,22	4,15	4,12
Y1	3,80	3,97	4,09
Y2	3,75	4,05	4,41

Çizelge 2.11 : 5-6 yüzeyi için tahribatsız süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	142,9	143,9	140,4
Y1	146,4	138,7	140,9
Y2	148,7	137,7	157,1

Çizelge 2.12 : 5-6 yüzeyi için tahribatsız hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/ μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	1,40	1,39	1,42
Y1	1,37	1,44	1,42
Y2	1,34	1,45	1,27

Çizelge 2.13 : 5-6 yüzeyi için tahribatlı süre direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Süre (μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	156,9	145,9	164,4
Y1	146,7	144,9	157,4
Y2	148,9	137,9	157,4

Çizelge 2.14 : 5-6 yüzeyi için tahribatlı hız direkt okuma değerleri.

Uzaklık (200 mm)		Hız (mm/ μ s)	
XY	Xo	X1	X2
Yo	1,27	1,37	1,22
Y1	1,36	1,38	1,27
Y2	1,34	1,45	1,27

Şekil 2.4’de indirekt okuma ile 5 numaralı yüzeyin koordinatsal gösterimi, çizelge 2.15 ve çizelge 2.16’da ise tahribatlı ve tahribatsız durumun sonuçları gösterilmektedir. (X₀ ile X₁ arası 4 cm, X₁ ile X₂ arası 3 cm olup ardışık Y uzaklıkları 7 cm dir.)



Şekil 2.5 : 5 numaralı yüzeyin koordinatsal gösterimi.

Çizelge 2.15 : 5 numaralı yüzey için tahribatsız okuma değerleri.

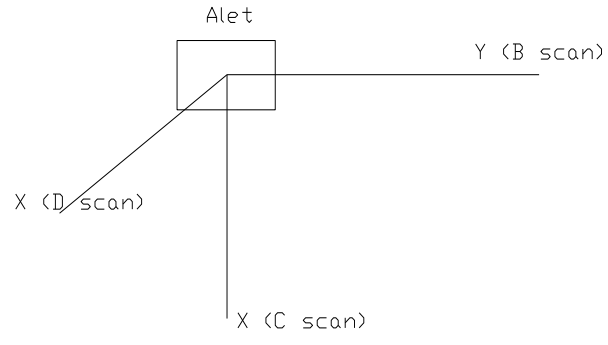
XY	Y ₀		Y ₁		Y ₂	
X _i X _j	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)
X ₀ X ₁	33,4	1,20	34,9	1,15	17,1	2,34
X ₁ X ₂	33,4	0,90	28,9	1,04	32,4	0,93
X ₀ X ₂	144,9	0,48	110,9	0,63	66,9	1,05

Çizelge 2.16 : 5 numaralı yüzey için tahribatlı okuma değerleri.

XY	Y ₀		Y ₁		Y ₂	
X _i X _j	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)	Süre (µs)	Hız (mm/µs)
X ₀ X ₁	107,4	0,37	36,9	1,08	86,4	0,46
X ₁ X ₂	57,9	0,52	34,4	0,87	45,4	0,66
X ₀ X ₂	194,4	0,36	117,7	0,59	143,4	0,49

2.3 Ultrasonik Tomografi Deneyinin Sonuçları

Şekil 1.50’deki gibi uygulanan deneyden elde edilen sonuçların PlaneVisor 4.0 yazılımına aktarılmasıyla görüntüler elde edilmektedir. Elde edilen görüntüler B, C ve D scan olmak üzere 3 çeşit görüntüleme oluşmaktadır. Burada bahsedilen C scan z eksenini yani aletin tutulduğu noktadan aşağı taraf olan derinliği, D scan aletin hareket yönü olan x eksenini ve B scan aletin hareket yönüne dik olan y eksenini temsil etmektedir. Yazılım bu görüntüleri kesitler olarak oluşturmaktadır. Şekil 2.5’de eksenler net bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Ultrasonik tomografi görüntüleme eksenleri.

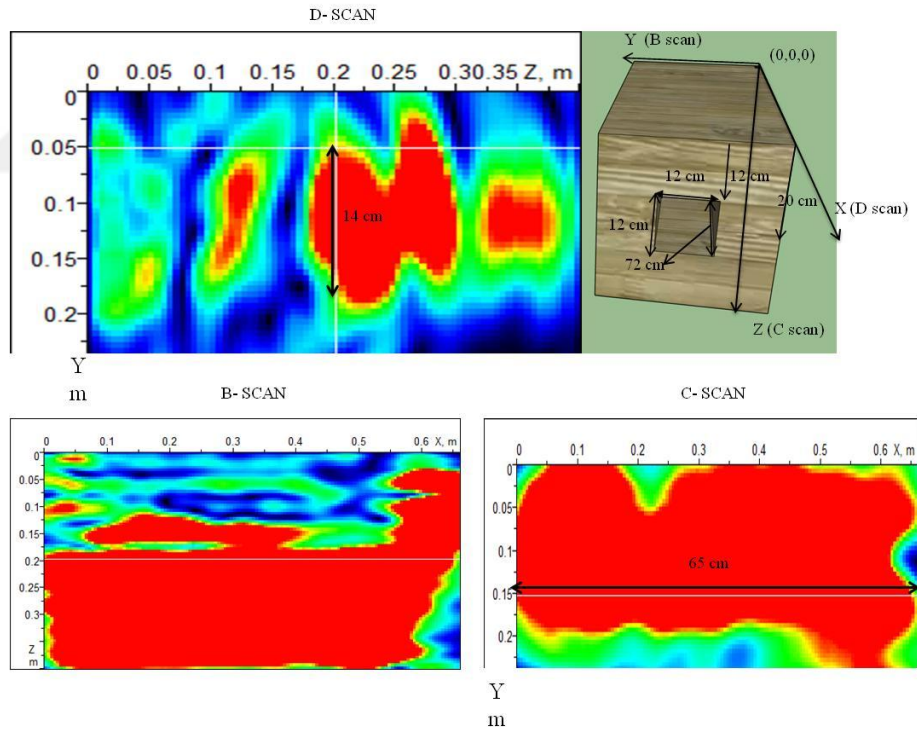


3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Numunelerde boyutların değerlendirmesi X*Y şeklinde yapılacaktır. Buradaki X, X eksenindeki uzunluğu (D scanı); Y ise Y eksenindeki uzunluğu (B scanı) temsil etmektedir. Örnek verilecek olursa 20*15 için X eksenindeki uzunluk 20 cm, Y eksenindeki uzunluk 15 cm dir.

3.1 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi

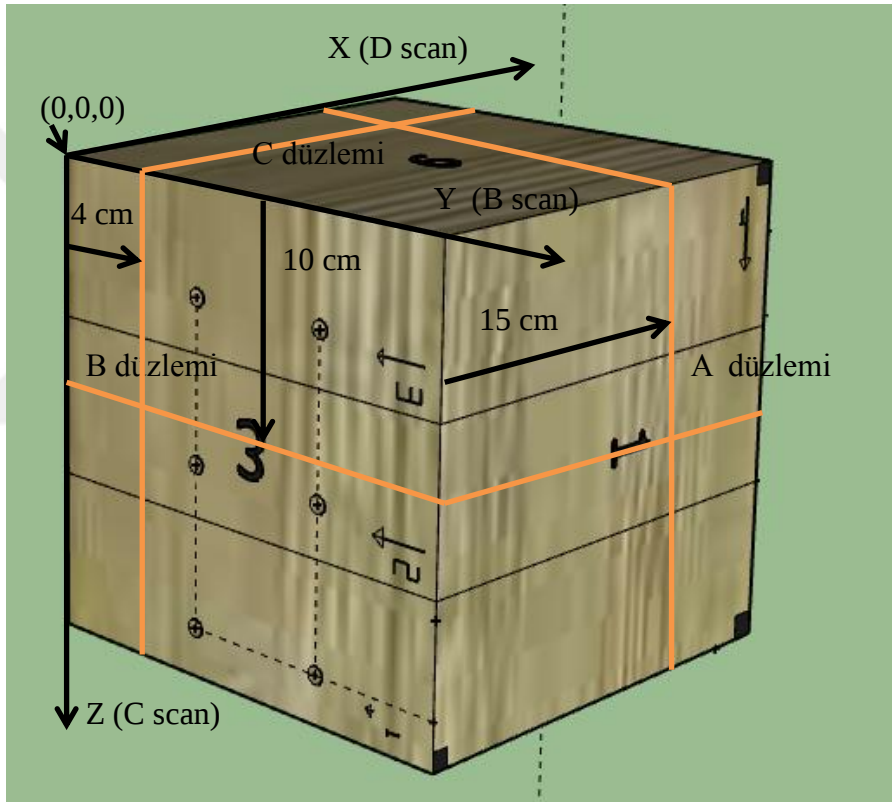
Söz konusu numunede yapılan deney sonucunda, ahşap yüzeyinden 20 cm derinden alınan kesitlerde boşluk yapısına ulaşılarak B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntülerle birlikte numuneye ait kesit şekil 3.1’de gösterilmektedir. Gerçekte 72*12 cm boyutlarına sahip boşluk deney sonucunda 65*14 cm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.1 : 20 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

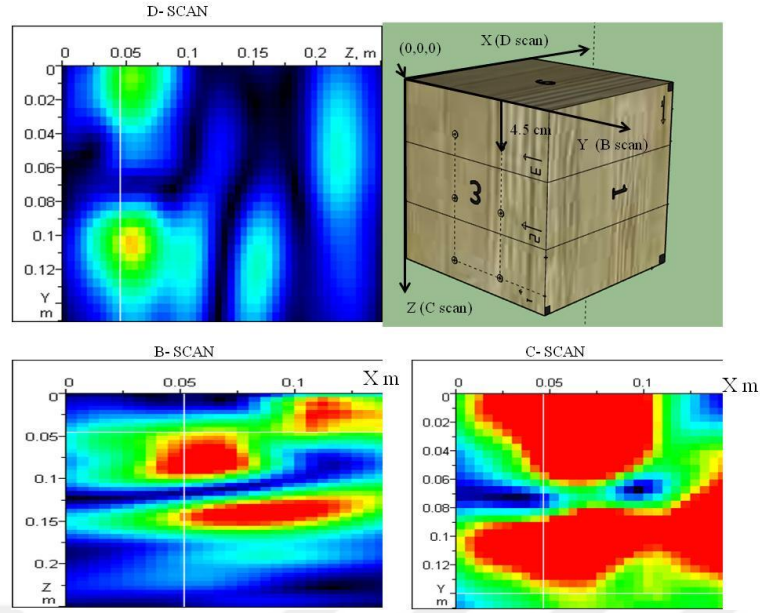
3.2 20*20*20 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu numunede yüzeyler düzlemler ile tanımlanmıştır. Bu durumu örneklerle açıklamak gerekirse Şekil 3.2’de yer alan A, B ve C düzlemlerinden A düzlemi x eksenini $x=15$ doğrusu üzerinde kesip diğer eksenlere paralel olduğundan dolayı $(x,y,z)= (15,\infty,\infty)$ düzlemi; B düzlemi z eksenini $z=10$ doğrusu üzerinde kesip diğer eksenlere paralel olduğundan $(x,y,z)= (\infty,\infty,10)$ düzlemi C düzlemi y eksenini $y=4$ doğrusu üzerinde kesip diğer eksenlere paralel olduğundan $(x,y,z)= (\infty,4,\infty)$ düzlemi olarak tanımlanmaktadır.

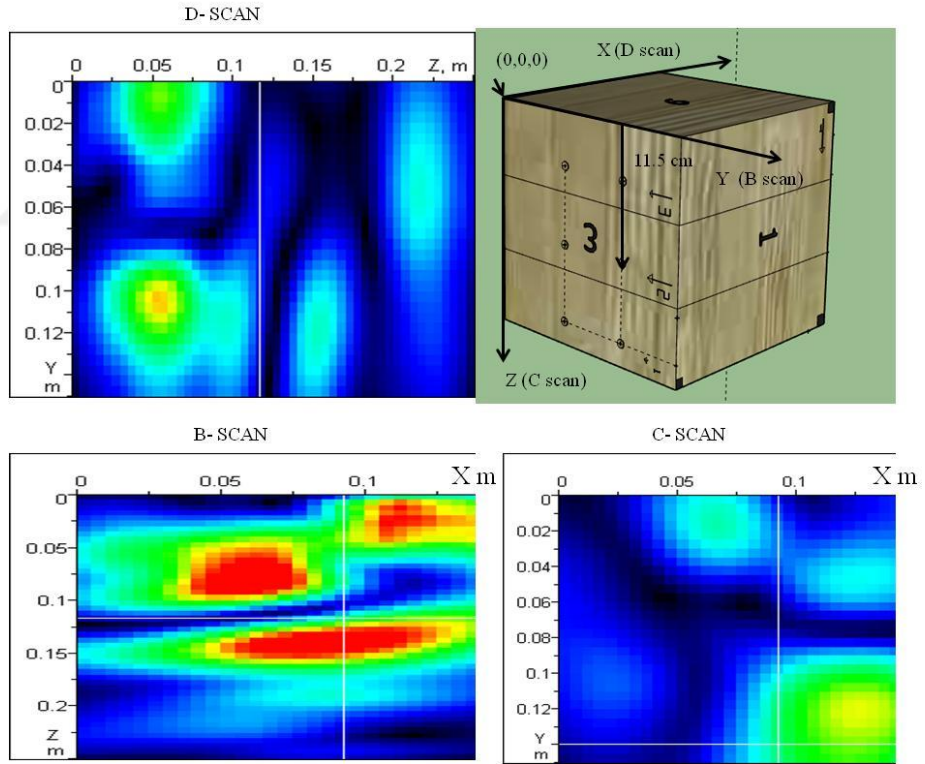


Şekil 3.2 : A, B ve C düzlemlerinin konumu.

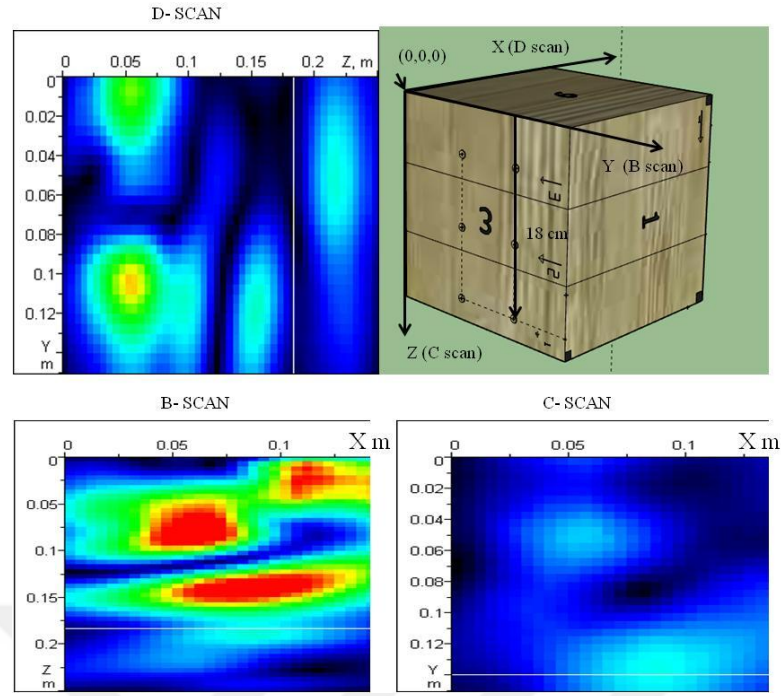
Küp numunenin tahribatsız durumunda $(x,y,z)= (0,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 4.5 cm, 11.5 cm ve 18 cm derinliklerden alınan kesitlerde B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. (Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5) Burada numuneye suni bir kusur verilmediğinden dolayı üç derinlik içinde gerçekte 0*0 cm olması gereken boşluk boyutu deney sonucunda da 0*0 cm olarak elde edilmiştir



Şekil 3.3 : 4.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

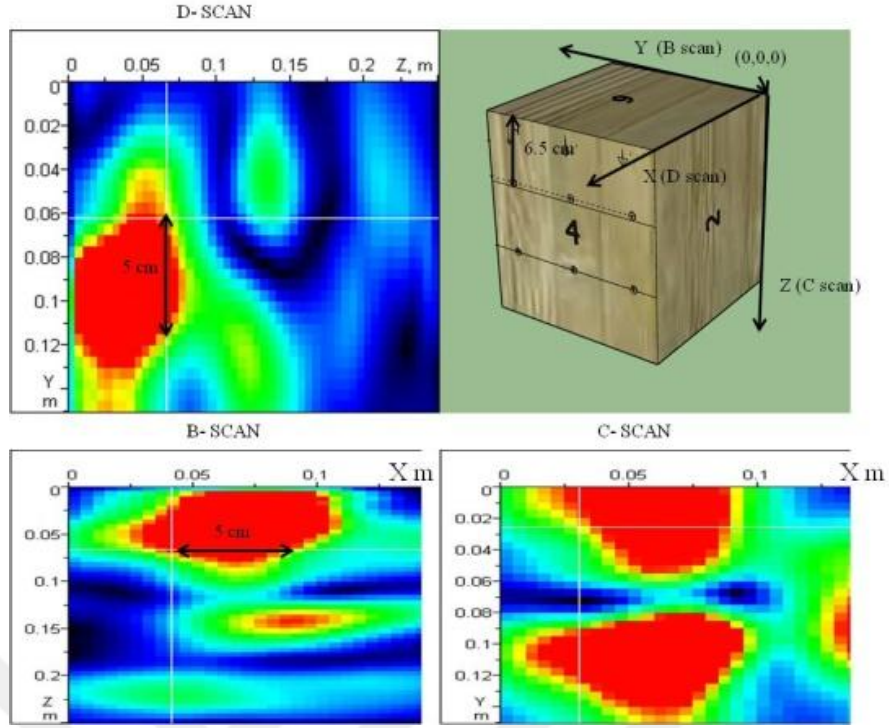


Şekil 3.4 : 11.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.



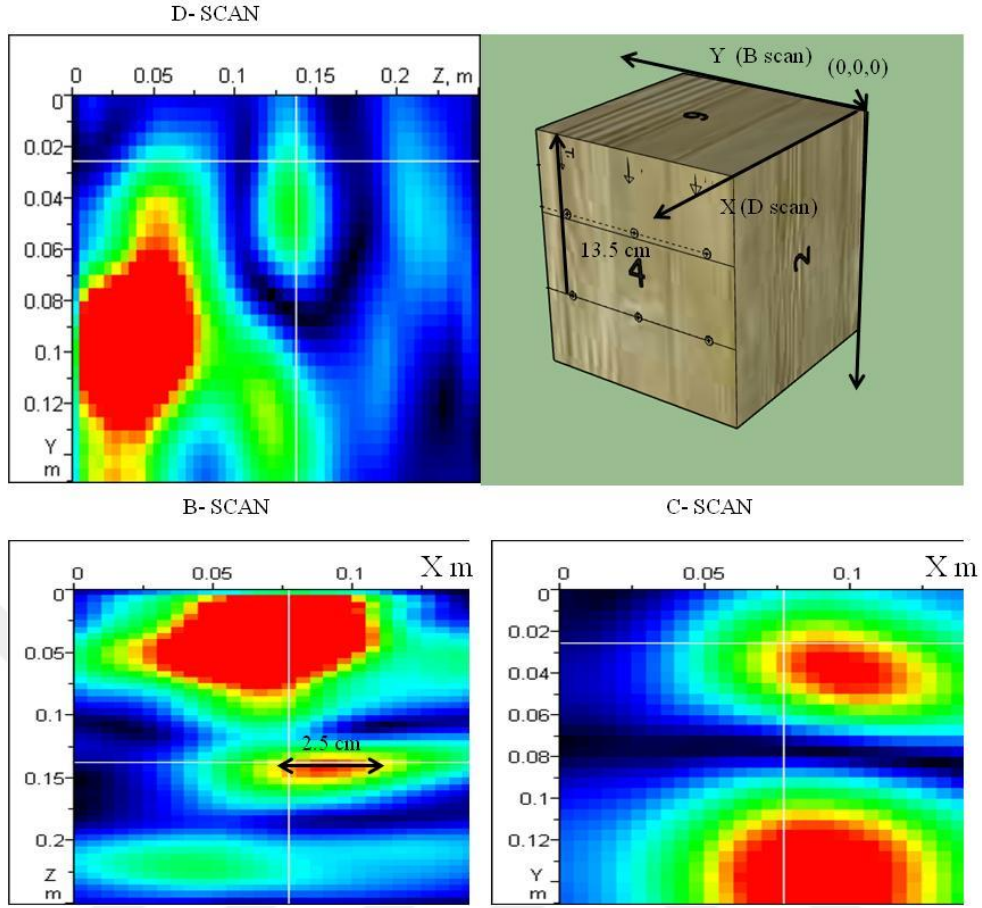
Şekil 3.5 : 18 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

Küp numunenin tahribatsız durumunda $(x,y,z) = (20,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 6.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.6 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye tahribat verilmemiş olmasından dolayı gerçekte $0*0$ cm olması gereken boşluk boyutu deney sonucunda da $0*0$ cm olarak elde edilmesi gerekirken $5*5$ cm olarak elde edilmiştir. Bahsi geçen derinlik ahşap numunenin yapışarak oluştuğu kısım olduğundan dolayı yapışmanın etkisiyle oluşan, süreksiz (boşluklu) kısımlar (bu boşluklar hava boşluğu, kılcal boşluk gibi boşluk türlerinin bir araya gelmesinden oluşmuş olabilir) $5*5$ cm lik boşluk boyutuna neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.6 : 6.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

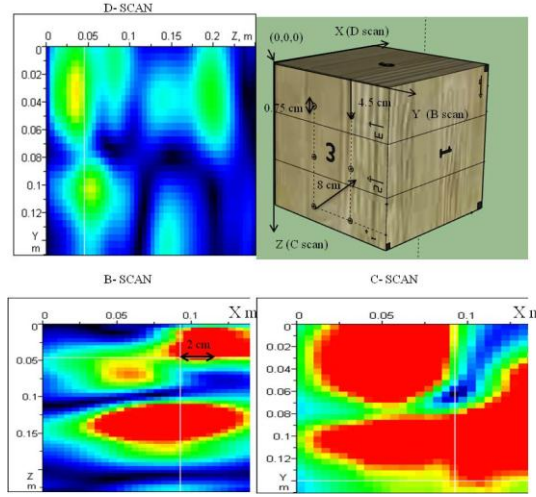
Küp numunenin tahribatsız durumunda $(x,y,z) = (20,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 13.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.7 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye tahribat verilmemiş olmasından dolayı gerçekte $0*0$ cm olması gereken boşluk boyutu deney sonucunda da $0*0$ cm olarak elde edilmesi gerekirken $2.5*0$ cm olarak elde edilmiştir. 13.5 cm derinlikte gerçekte kusur olmamasına rağmen küçük ölçekte kusurlar belirlenmiştir. Bunun nedeni numune için kullanılan malzemenin kendi yapısında bulunan veya numunenin oluşturulması sırasında oluşan hava boşluğu veya kılcal boşlukların yada her ikisinin birden bu bölgede meydana gelmiş olabilme ihtimalinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.7 : 13.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

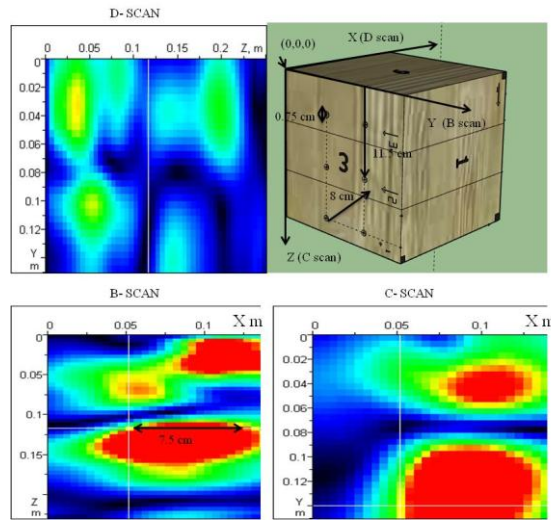
3.3 20*20*20 Boyutlu Tahribatlı Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Küp numunenin tahribatlı durumunda $(x,y,z) = (0,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 4.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.8 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye X (D scan) ekseninde 8 cm boyunda ve Y (B scan) ekseninde 0,75 cm çapında matkap ucuyla tahribat verilmiş olmasından dolayı gerçekte $8*1.5$ cm olması gereken boşluk boyutu (bu derinlikte Y (B scan) ekseninde 2 tane delik olduğundan $0.75*2=1.5$ cm lik bir boyut oluşacaktır) deney sonucunda X (D scan) ekseninde 2 cm, (Bu sayı tahribatlı durumla tahribatsız durumdan elde edilen değerlerin farkından elde edilmiştir) olarak elde edilmiştir. Y (B scan) eksenindeki kusur ise görülmüş olmasına rağmen alt ve üst yansımaların etkisi altında kaldığından boyutu elde edilememiştir.



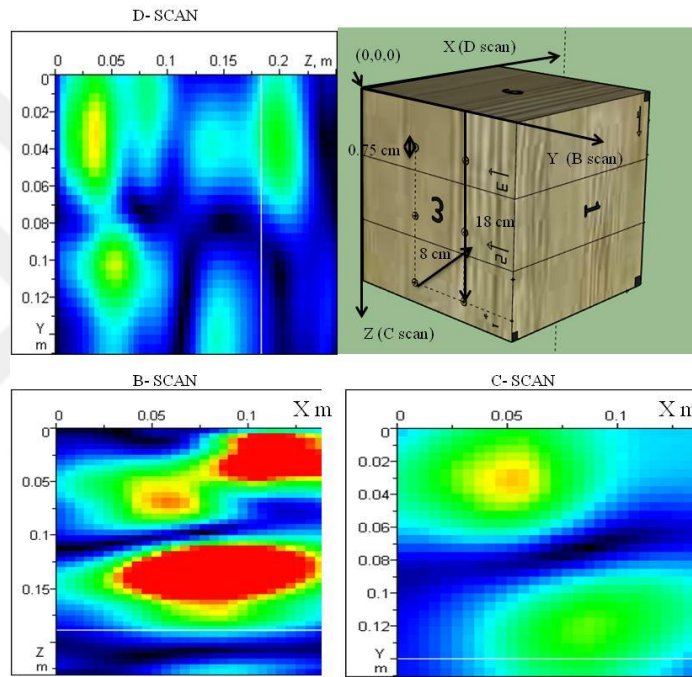
Şekil 3.8 : 4.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

Küp numunenin tahribatlı durumunda $(x,y,z) = (0,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 11.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.9 da elde edilen B, C, D scan görüntüleri tespit edilmiştir. Burada numuneye X (D scan) ekseninde 8 cm boyunda ve Y (B scan) ekseninde 0,75 cm çapında matkap ucuyla tahribat verilmiş olmasından dolayı gerçekte $8*1.5$ cm olması gereken boşluk boyutu (bu derinlikte Y (B scan) ekseninde 2 tane delik olduğundan $0.75*2=1.5$ cm lik bir boyut oluşacaktır) deney sonucunda X (D scan) ekseninde 7.5 cm, (Bu sayı tahribatlı durumla tahribatsız durumdan elde edilen değerlerin farkından elde edilmiştir) olarak elde edilmiştir. Y (B scan) eksenindeki kusur ise görülmüş olmasına rağmen alt ve üst yansımaların etkisi altında kaldığı düşünüldüğünden, boyutu elde edilememiştir.



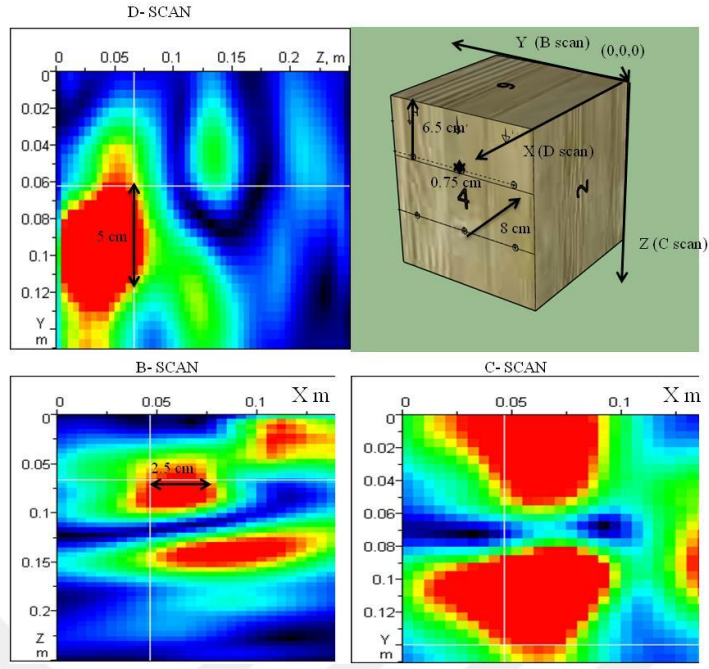
Şekil 3.9 : 11.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

Küp numunenin tahribatlı durumunda $(x,y,z) = (0,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 18 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.10 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye X (D scan) ekseninde 8 cm boyunda ve Y (B scan) ekseninde 0,75 cm çapında matkap ucuyla tahribat verilmiş olmasından dolayı gerçekte 8*1.5 cm olması gereken boşluk boyutu (bu derinlikte Y (B scan) ekseninde 2 tane delik olduğundan $0.75*2=1.5$ cm lik bir boyut oluşacaktır) deney sonucunda X (D scan) ekseninde ve Y (B scan) eksenindeki kusurlar tespit edilememiştir. Bunun nedeninin alt ve üst yansımaların olduğu düşünülmektedir.



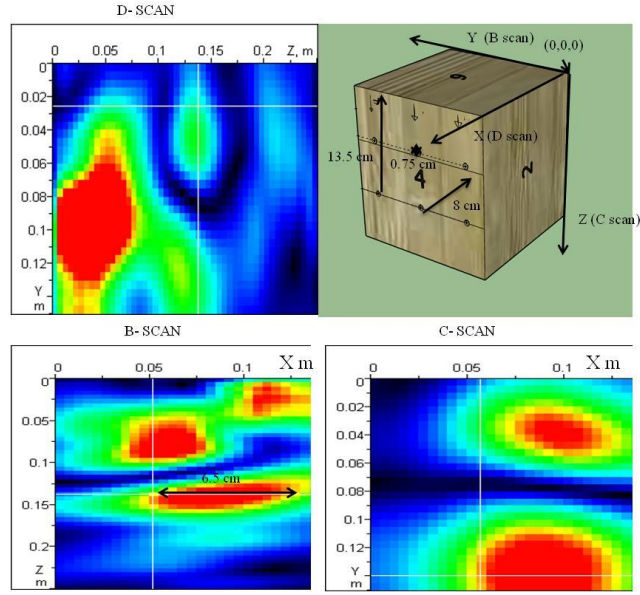
Şekil 3.10 : 18 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

Küp numunenin tahribatlı durumunda $(x,y,z) = (20,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 6.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.11 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye X (D scan) ekseninde 8 cm boyunda ve Y (B scan) ekseninde 0,75 cm çapında matkap ucuyla tahribat verilmiş olmasından dolayı gerçekte 8*2.25 cm olması gereken boşluk boyutu (bu derinlikte Y (B scan) ekseninde 3 tane delik olduğundan $0.75*3=2.25$ cm lik bir boyut oluşacaktır) elde edilmesi gerekirken söz konusu derinlik yapıştırılan yüzeye denk geldiğinden ve yapıştırmanın yarattığı boşluk etkileri düşünüldüğünde oluşturulan kusurların boşluk boyutu hakkında yorum yapılamamaktadır.



Şekil 3.11 : 6.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

Küp numunenin tahribatlı durumunda $(x,y,z) = (20,\infty,\infty)$ düzleminde yapılan deney sonucunda ahşap numune yüzeyinden 13.5 cm derinliğinden alınan kesitlerle şekil 3.12 da görülen B, C, D scan görüntüleri elde edilmiştir. Burada numuneye X (D scan) ekseninde 8 cm boyunda ve Y (B scan) ekseninde 0,75 cm çapında matkap ucuyla tahribat verilmiş olmasından dolayı gerçekte 8*22.5 cm olması gereken boşluk boyutu (bu derinlikte Y (B scan) ekseninde 3 tane delik olduğundan $0.75*3=2.25$ cm lik bir boyut oluşacaktır) elde edilmesi gerekirken X (D scan) ekseninde 4 cm, (Bu sayı tahribatlı durumla tahribatsız durumdan elde edilen değerlerin farkından elde edilmiştir) olarak elde edilmiştir. Y (B scan) eksenindeki kusur ise görülmüş olmasına rağmen alt ve üst yansımaların etkisi altında kaldığı düşünüldüğünden, boyutu elde edilememiştir.



Şekil 3.12 : 13.5 cm derinlikte kesit ve deney görüntüleri.

3.4 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrases Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir probun sabit tutulduğu üst yüzey indirekt okuma çizelgesinden elde edilen verilere göre, Yo sırasının XoX14 arası hız değeri 4.08 mm/ μ s, Y1 sırasının XoX14 arası hız değeri 4.39 mm/ μ s ve Y2 sırasının XoX14 arası hız değeri 3.41 mm/ μ s dir. Buradan Y2 bölgesinin hızı daha düşük olduğundan diğerlerine göre daha kusurlu yapıya sahip olduğu söylenebilir. Y2 bölgesinin daha kusurlu çıkmasının nedeninin alt tarafında meydana gelmiş çatlakın neden olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 3.13 : Kare prizma numunede hız ve bölge gösterimi.

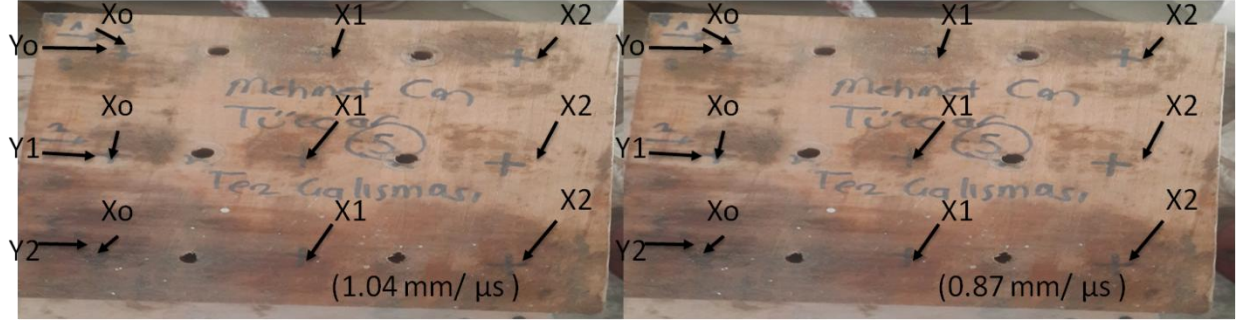
3.5 20*20*20 Boyutlu K p Numunenin Ultrases Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tüm yüzeyler için 1-2 yüzeyi için tahribatlı ve tahribatsız, 3-4 yüzeyi için tahribatlı ve tahribatsız ve 5-6 yüzeyi için tahribatlı ve tahribatsız direkt hız okuma değerleri çizelgeler kıyaslandığında, verilen tahribattan oluşan kusurlarla beraber hızın azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum örnek ile açıklanacak olursa, 1-2 yüzeyi için tahribatsız hız okuma değeri  izelgesinde X2Y2 hız değeri 1.92 mm/  s iken 1-2 yüzeyi için tahribatlı hız okuma değeri  izelgesinde X2Y2 hız değeri 1.86 mm/  s dir. Bu durum beklenen sonuçla paralellik göstermektedir. Şekil 3.14 de örnek verilen hız değerleri soldaki tahribatsız sağdaki tahribatlı durum için gösterilmiştir.



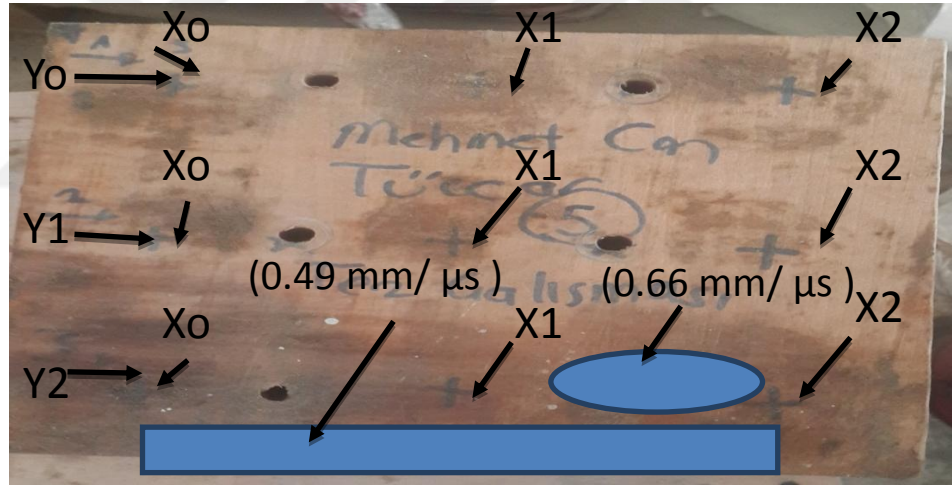
Şekil 3.14 : K p numunede hız ve bölge gösterimi.

5 numaralı yüzey için tahribatsız okuma değerleri ile tahribatlı okuma değerleri  izelgesi kıyaslandığında, tahribatlı okuma değerleri çizelgesindeki tüm hız değerlerinin, tahribatlı okuma değerleri çizelgesindeki tüm hız değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.  rnek olarak 5 numaralı yüzey için tahribatsız okuma değerleri  izelgesindeki Y2X1X2 in hız değeri 1.04 mm/  s iken, 5 numaralı yüzey için tahribatlı okuma değerleri  izelgesindek aynı aralığın hız değeri 0.87 mm/  s olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.15’de örnek verilen hız değerleri soldaki tahribatsız sağdaki tahribatlı durum için gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Küp numunenin 5 numaralı yüzeyinde hız ve bölge gösterimi.

Tahribatlı durum için geniş aralık olan 5 numaralı yüzey için tahribatlı okuma değerleri çizelgesinde hız değerlerinden X_0X_2 daki değerlerin dar aralık olan X_1X_2 ve X_0X_1 den küçük olması, X_0X_2 arasında iki delik, diğerlerinin arasında birer delik olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3. 16'da bunla ilgili bazı hız değerleri verilmiştir.



Şekil 3.16 : Tahribatlı küp numunenin 5 numaralı yüzeyinde hız ve bölge gösterimi.

3.6 36*36*72 Boyutlu Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Doğruluk Kontrolü

Çizelge 3.1'de X, Y ve Z eksenlerinde 20 cm derinlikte numunedeki gerçek uzunluk ile ölçümde elde edilen uzunluk arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Numunedeki 20 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	72	65	90
Y	12	14	86
Z	-	-	-

3.7 20*20*20 Boyutlu Tahribath Numunenin Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçlarının Doğruluk Kontrolü

Çizelge 3.2, 3.3 ve 3.4’de 3 numaralı yüzeyde X, Y ve Z eksenlerinde sırasıyla 4.5, 11.5 ve 18 cm derinlikte numunedeki gerçek uzunluk ile ölçümde elde edilen uzunluk arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Yapılan değerlendirmelerden;

- 3 numaralı yüzey için orta kısımdaki derinliklere gelindiğinde daha yüksek doğrulukta boyut elde edilmektedir.
- 3 numaralı yüzey için numune yüzeyinden 18 cm derinlikte yansılardan kaynaklı olduğu düşünülerek boşluk boyutuna ulaşılamamıştır.
- Y (B scan) ekseninde (küp numune için) alt ve üst yansılara bağlı olduğu düşünülerek boşluk boyutu elde edilememiştir.
- 4 yüzeyi için numune yüzeyinden 6.5 cm derinlikte yapıştırma etkisi olduğu düşünülerekten boşluk boyutları tespit edilememiştir.
- Numunede bazı boşluk boyutlarının yüksek bazı boşluk boyutlarının düşük ölçülmesinin, malzemede bizim bilmediğimiz iç kusurlar var olabilme ihtimalinden, numune oluşturulurken meydana gelmiş tahmin edilemeyen kusurların oluşmuş olma ihtimalinden, numune üzerinde oluşan yansılardan ve aletsel hatalardan olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 3.2 : 3 numaralı yüzey ve 4.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	8	2	25
Y	1.5	-	-
Z	-	-	-

Çizelge 3.3 : 3 numaralı yüzey ve 11.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	8	7.5	94
Y	1.5	-	-
Z	-	-	-

Çizelge 3.4 : 3 numaralı yüzey ve 18.0 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	8	-	-
Y	1.5	-	-
Z	-	-	-

Çizelge 3.5 ve 3.6’da 4 numaralı yüzeyde X, Y ve Z eksenlerinde sırasıyla 6.5 ve 13.5 cm derinlikte numunedeki gerçek uzunluk ile ölçümde elde edilen uzunluk arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : 4 numaralı yüzey ve 6.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	8	-	-
Y	2.25	-	-
Z	-	-	-

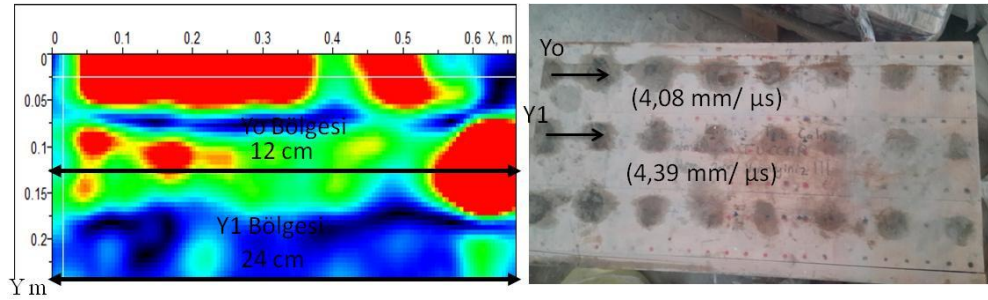
Çizelge 3.6 : 4 numaralı yüzey ve 13.5 cm derinlikteki doğruluk kontrolü değerleri.

	Gerçek Uzunluk (cm)	Deney Uzunluğu (cm)	Doğruluk (%)
X	8	4	50
Y	2.25	-	-
Z	-	-	-

3.8 Ultrasonik Tomografi Yöntemi İle Ultrases Yöntemi Sonuçlarının Kıyaslanması

3.8.1 36*36*72 boyutlu numunenin sonuçlarının kıyaslanması

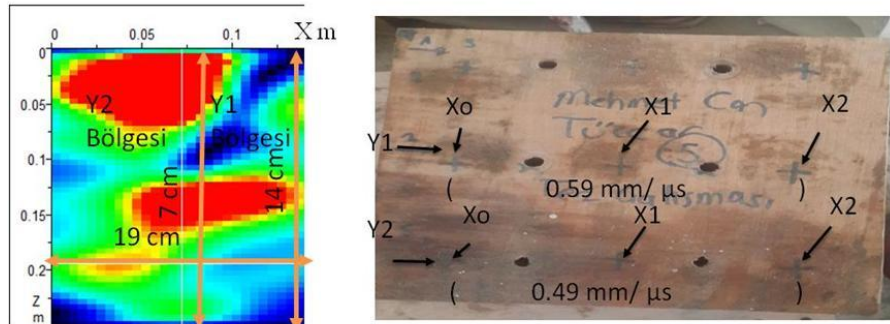
Ahşap yüzeyinden 6 cm derinlikten alınan kesitte şekil 3.17’de yer alan ultrasonik tomografi (sol şekil) ve ultrases hız ve bölge (sağ şekil) gösteriminin her ikisinde de kapladığı alanlara bakıldığında Yo sırasının Y1 sırasından daha kusurlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.17 : 6 cm derinlikte ultrasonik tomografi- ultrases hız ve bölgesi.

3.8.2 20*20*20 boyutlu tahribatlı numunenin sonuçlarının kıyaslanması

5 numaralı yüzeyin kıyaslanmasında; numunenin 6 numaralı yüzeyinden 19 cm derinlikten kesit alındığında, başlangıç noktasında itibaren X ekseninden yaklaşık 7 cm içeriye kadar olan uzaklıkta kalan bölge Y2 bölgesi, 7cm ile 14 cm arasında kalan bölge Y1 bölgesidir. şekil 3.18 incelendiğinde sol taraftaki ultrasonik tomografi görüntüsündeki kaplanılan alanlardan ve sağ taraftaki ultrases değerlerinde de Y2 bölgesinin Y1 bölgesinden daha kusurlu olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.18 : 19 cm derinlikte ultrasonik tomografi- ultrases hız ve bölgesi.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ultrasonik Tomografi deney yönteminin ahşap malzemeye tahribat vermeden onun kusurları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlaması, ahşaptaki kesit kaybının oluşmasını engellediği için tahribatlı yöntemlere göre kullanılmasının tercih sebebi olmasına neden olabileceği söylenmektedir.

Tez kapsamında 36*36*72 ve 20*20*20 (Tahribatlı ve tahribatsız) cm boyutlarına sahip ahşap numunelerin uygulanan iki deney yöntemi (Ultrasonik Tomografi ve Ultrases) ile elde edilen sonuçları değerlendirilmiş olup aşağıda elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

- 36*36*72 numunesinde oluşturulan kusur belirli doğrulukta elde edilmiş olup X doğrultusu uzunluğu için düşük mertebe, Y doğrultusu uzunluğu için yüksek mertebe doğrulukta elde edilmiştir.
- 20*20*20 numunesinin tahribatlı durumunda numunede oluşturulan deliklerin toplam çap değerlerinin Y doğrultusu boyutları (1.5 ve 2.25 cm) ve 18 cm derinlikteki X doğrultusu boyutu elde edilememiştir. Elde edilemeyen durumun sebebinin alt ve üst yansımalarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.
- 20*20*20 numunesinin yapıştırılarak oluşturulmasının yarattığı kusurlar,(örnek olarak numunede kılcal boşluk veya hava boşluğu yada her ikisini birden oluşturabilme ihtimali) numunenin oluşumu sırasında oluşan kusurlar (kılcal boşluk, hava boşluğu gibi), numunede kullanılan malzemenin iç yapısından kaynaklı kusurların sağlıklı veri alınmasını engellediği düşünülmektedir.
- 20*20*20 numunesinden elde edilen sonuçlara bakıldığında numunenin orta kısımlarına gelindiğinde daha yüksek doğrulukta veri elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durumdan dolayı ahşap numunelerin orta derinliklerindeki değerler üzerinden yorum yapılması daha sağlıklı sonuçlar oluşturabileceği düşünülmektedir.
- Ultrases deneyi için kusur miktar arttığında hız değerinin azaldığı tespit edilmiştir.
- Ultrases deneyi için ölçüm uzunluğu arttıkça kusura denk gelme olasılığı ve dalganın katetmesi gereken mesafede arttığından dolayı hızın azaldığı tespit edilmiştir.

- Yapılan iki deney için de, gerek görüntülerden gerek ise hız değerlerinden kusurların türü (hava boşluğu, kılcal boşluk gibi) ile ilgili bir yorum yapılamamıştır.

Ahşap yapıların gerek inşaasından kaynaklı gerekse çevresel faktörler ile geçen zamandan kaynaklı olarak yapısından oluşan kusurların Ultrasonik Tomografi ve Ultrases deney yöntemleriyle tespit edilmesi, tadilat ve güçlendirmelerin doğru şekilde yapılması açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden ki ahşap yapılarda bahsi geçen bu iki deney yönteminin uygulanması tavsiye edilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Güler, S. B.** (2011). *Ahşabın yaşam döngüsü çerçevesinde koruma ve onarım metodlarının analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Yaman, F. Z.** (2007). *Geleneksel ahşap yapılarda kullanılan ahşap yapı elemanlarının uzun- dönem performansı-Giresun Zeytinlik Mahallesiinde örnek yapı incelemesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Akgül, T.** (2007). *Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle (FRP) güçlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] **Eriç, M.** (1994). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, İstanbul : Literatür Yayıncılık
- [5] **Kartal, S. N.** (2009). Neden Emprenye?, *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, Sayı: 12, 79- 84.
- [6] **Dışkaya, H.** (2004). *Kuzey Marmara bölgesindeki 19.yüzyıl ahşap yapıların depreme karşı güçlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **KUDEB.** (2006). *Geleneksel Ahşap Yapı Uygulamaları*, 2. Baskı, İstanbul : İBB Kudeb Yayınları
- [8] **Güngör, H. İ.** (1969). *Ahşap Yapı Bilgisi*, Cilt: 1, İkinci Baskı, Sayı: 72, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Teknik Okulu Yayınları.
- [9] **Şimşek, O.** (2007). *Yapı Malzemesi II*, Ankara.
- [10] **Özdöl, G.** (2010). *Masif ahşap parkelerin boyutsal kararlılığının araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] **Lyons, A.** (2004). *Materials for Architect and Builders*, Elsevier Butterworth & Heinemann, Amsterdam.
- [12] **Bozkurt, A.Y. & Erdin N.** (1997). *Ağaç Teknolojisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- [13] **Kermani, A. & Porteous, J.** (2007). *Structural Timber Design to Eurocode5*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- [14] **Rowell R.M.** (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC Press, USA.
- [15] **Arntzen C.J.** (1994). *Encyclopedia of Agricultural Science*, Academic Press, (Vol 15, pp.549-561) October, Orlando.
- [16] **Vurdu, H.** (1980). *Proportions and Types of Cells in Stems, Branches, and Roots of European Black Alder*, Wood Science, Vol: 13, No:1, p 37.

- [17] **Duman, N. & Ökten, S.** (1988). *Ahşap Yapı Dersleri I*. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınevi.
- [18] **Akyol, S.** (2008). *Ahşap asma çatıların geometrik olanaklar ve malzeme kullanımı açısından sınıflandırılması* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [19] **Karalar, N.** (2009). *Gemi modelciliğinde kullanılan ağaç çeşitleri ve çıta kesim yöntemleri*. Erişim tarihi 13.11.2016. Erişim adresi http://www.gemimodeli.com/faydali/agaci_tanimak.htm
- [20] **Domone, P. & Illston, J.M.** (2001). *Construction Materials: Their Nature and Behavior*, E&FN Spon, London.
- [21] **Günay, R.** (2007). *Ahşap yapılar*. İstanbul : Birsen Yayınevi, 262 s.
- [22] **Günay, R.** (2002). *Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları*. İstanbul : Birsen Yayınevi.
- [23] **Uzielli, L., Bonamini G., Noferi, M, Togni, M. e Uzielli, L.** (2003). *Il Manuale Delle Strutture di Legno, V.II, Ispezioni e Diagnosi in Opera*, Mancosu Editore, Roma.
- [24] **Karabulut, C.** (2000). *Ahşap birleşim detayları*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] **Dışkaya, H.** (2011). *19.yüzyıl İstanbul ahşap karkas yapılarda deprem etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **Cowan, H. J.** (1991). *Handbook of Architectural Technology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [27] **Erdin, N.** (2009). *Ahşap Konservasyonu*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın no: 4840, ISBN: 978-975-404-842-1, İstanbul.
- [28] **Giordano, G., Ceccotti A. e Uzielli, L.** (2008). *Tecnica delle Costruzioni in Legno* Hoepli, Milano.
- [29] **Yener, N.** (2000). *Özelikten Biçime*. Profesörlük Çalışması . İstanbul.
- [30] **Sivrikaya, H.** (2008). *Odunda doğal dayanımı etkileyen faktörler*. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:10, Sayı:13, 66-70
- [31] **Url-1** <<http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/17.ahsap.pdf>>, erişim tarihi 18.12.2016.
- [32] **Dalkıran, M.** (2008). *Ahşap iskelet yapı sisteminin ısı ve buhar geçişi açısından değerlendirilmesi*, Trakya Üniversitesi, 5, Edirne.
- [33] **Addleson L., Rice C.** (1991). *Performance of Materials in Buildings*, Butterworth & Heinemann, Oxford.
- [34] **Url-2** <<http://www.ggi-myanmar.com/wood>>, erişim tarihi 17.12.2016
- [35] **Ertemli, M.** (2011). *Ahşap deniz araçlarında koruyucular ve ortamın durabilitiye etkisi*. (Doktora Tezi). Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] **Onaran, K.** (2011). *Malzeme Bilgisi*. İstanbul : Bilim Teknik Yayınevi.
- [37] **Eriç, M.** (1978). *Yapı Malzemeleri*. Cilt II, İstanbul : Kazmaz Matbaası.

- [38] TSE. (1979). *Türk Standardı, Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları* (TS647).
- [39] Avlar, E. (2004). *Ahşap Malzeme Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [40] Küçükosmanoğlu, A. (1993). *Ahşap Malzemenin Yanma Özelliği ve Binalarda Yangın Güvenliği*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Sayı: 3-4, Cilt: 43, İstanbul.
- [41] Bardavit, D. (1992). *Ahşap Yapıda Taşıyıcılık ve Koruyuculuk Sorunları*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] TSE. (1977). *Ahşap Koruma (Terimler ve Tarifler)* (TS 343).
- [43] Tsoumis, G. (1991). *Science and Technology of Wood*. New York : Van Nostrand Reingol.
- [44] As, N. & DüNDAR, T. (1991) *Lif Kıvrıklığının Odunun Teknolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Sayı: 3-4, Cilt: 41, İstanbul.
- [45] Emerson, R.N., Pollock, D.G., Kainz, J.A., Fridley K.J., Mclean, D.L. & Ross, R.J. (1998). Nondestructive Evaluation Techniques for Timber Bridge. In J. Natterer & J.L. Sandoz, (Ed.), *5th World Conference on Timber Engineering*, Switzerland : Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, August 17-20.
- [46] Bülbül, Z. (2012). *Karaçam kerestesinde eğilme özelliklerinin stres dalga yöntemiyle tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [47] Brancheriau, L., Nia, M.A.S., Gallet, P., Lasaygues, P., Pourtahmasi, K., & V., Kaftandjian. (t.y.). *Ultrasonic imaging of reaction wood in standing trees*. Erişim: 10 Ekim, 2017, <http://academia.edu/download/39185249/00b7d531ebd7504d81000000.pdf>.
- [48] Krause, M., Kurz, J.H., Lanata, F., Krstevska, L. & Cavalli, A. (2015). Needs for further developing monitoring and NDT for timber structures, *3rd International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures*, Wroclaw, Poland: September 9-11.
- [49] Görgün, H.V. (2013). *Ahşap kirişlerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tahribatsız ve tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [50] PELLERIN, R.F. & ROSS, R.J. (2002). *Nondestructive Evaluation of Wood*, Forest Products Society Publication, Madiosun, USA, 1-892529-26-2.
- [51] Url-3 <<http://www.orman.istanbul.edu.tr/node/9528>>, erişim tarihi 16.04.2016
- [52] Hassan, K. T. S., Horacek, P., Tippner, J. (2013). Evaluation of stiffness and strenght of scots pine wood using resonance frequency and ultrasonic techniques, *Dynamic Test of Wood*, BioResources 8(2), 1634-1645.

- [53] **Dackermann, U., Crews, K., Kasal, B., Li, J., Riggio, M., Rinn, F., Tannert, T.,** (2014). In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements, *Materials and Structures*, doi: 10.1617/s11527-013-0095-4.
- [54] **Url-4** <<http://www.acsys.ru/eng/production/detail/a1220-monolith/>>, erişim tarihi 17.10.2017
- [55] **White, J., Hurlebaus, S., Nazarian, S., Shokouhi, P.,** (2012). Tunnel nondestructive testing equipment user's manual, *Mapping Voids, Debonding, Delaminations, Moisture, and Other Defects Behind or Within Tunnel Linings*. Texas, USA: Texas A&M Transportation Institute



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Can TÜCCAR

Doğum Tarihi ve Yeri : 1990/SAKARYA

E-posta : cantuccar90@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü