

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ULTRASONİK TAHRİBATSIZ MUAYENE SİSTEMLERİ İÇİN
AKILLI CİHAZ ARAYÜZÜ UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Samet GÜL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR**

**Mayıs 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Samet GÜL

İmza :



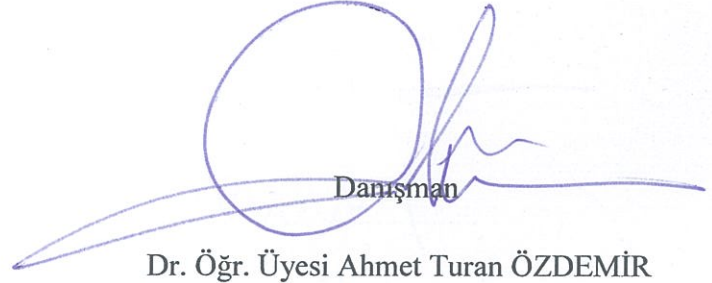
YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Ultrasonik Tahribatsız Muayene Sistemleri İçin Akıllı Cihaz Arayüzü Uygulaması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



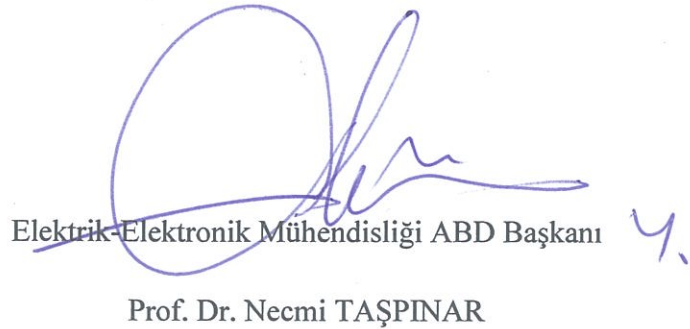
Tezi Hazırlayan

Samet GÜL



Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR



Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı 4.

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR danışmanlığında **Samet GÜL** tarafından hazırlanan “**Ultrasonik Tahribatsız Muayene Sistemleri İçin Akıllı Cihaz Arayüzü Uygulaması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18 / 05 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR 

Üye : Prof. Dr. Kenan DANIŞMAN 

Üye : Doç. Dr. V. Çağrı GÜNGÖR 

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/06/2018 tarih ve 2018/25-07.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.


12 / 06 / 2018


Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Arş. Gör. Ahmet ATCI'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 2150093) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen eşime ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Samet GÜL

Kayseri, Mayıs 2018

ULTRASONİK TAHRİBATSIZ MUAYENE SİSTEMLERİ İÇİN AKILLI CİHAZ ARAYÜZÜ UYGULAMASI

Samet GÜL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan ÖZDEMİR

ÖZET

Bu çalışmada ultrasonik tahribatsız muayene sistemlerine akıllı telefon ve tablet gibi gelişmiş özelliklere sahip Android tabanlı donanımların entegre edilmesi amaçlanmıştır. Akıllı cihazların konvansiyonel ultrasonik test uygulamasına entegre edilmesiyle, muayene işleminin performans ve özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistemde bir ultrasonik geliştirme kartı hazır olarak kullanılmıştır. Bu geliştirme kartı, ultrasonik testin gerçekleştirilebilmesi için gereken ultrasonik dalgaların üretilip malzemeye gönderilmesi ve tekrar kazanılması işlemlerini yerine getirmektedir. Bu çalışmada, geliştirme kartına Bluetooth haberleşme yeteneği kazandırılması amacıyla gerekli gömülü yazılım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geliştirme kartına muayene için gerekli ayar bilgilerinin gönderilmesi; alınan ultrasonik verilerin görüntülenmesi ve değerlendirilmesi amaçlarıyla akıllı cihazlar için bir Android uygulama geliştirilmiştir.

Çalışma sonucunda, yüksek doğrulukta kalınlık ölçümü ve hata tespiti yapabilen bir sistem ortaya konulmuştur. Bu sistemle, tek ve çift elementli ultrasonik problarla darbe yankı yöntemi veya doğrudan geçişli yöntem kullanılarak ultrasonik test işlemi yapılabilmektedir. Akıllı telefon ile geliştirme kartı Bluetooth üzerinden haberleşmektedir. Ayrıca akıllı telefonun sağladığı ilave özellikler sayesinde, geliştirilen arayüz ile kaydedilen muayene bilgileri internet üzerinden paylaşılabilir. Bu sayede muayene yapılan yerde bulunmayan uzmanların da ilgili muayene üzerinde inceleme yapabilmesine imkan verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik tahribatsız muayene; akıllı sistemler; Android; akıllı telefon; donanım tasarımı.

**THE APPLICATION OF THE SMART DEVICE INTERFACE FOR
ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE INSPECTION SYSTEMS**

Samet GÜL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, May 2018

Supervisor: Dr. Ahmet Turan ÖZDEMİR

ABSTRACT

This study aims to integrate Android-based smartphones and tablets into ultrasonic non-destructive testing systems. Studies were made on improving the performance and capabilities of ultrasonic inspection by integrating smart devices into the conventional ultrasonic application.

An ultrasonic development board was used in this system in order to create a smart inspection system. The development board enables the system to generate the ultrasonic waves, send them to the inspection material, and capture echoes that return from the material. In this study, embedded software enhancements were made to provide Bluetooth communication capability to the development board. Moreover, an Android application for smart devices was developed for uploading the required board configuration to the development board and evaluating the received ultrasonic data.

With this study, a system was developed that can perform thickness measurement and defect detection at high accuracy. The developed system can perform ultrasonic testing with either pulse echo or through transmission method. It is also compatible with single and double element ultrasonic probes. The smartphone and the development board communicate with each other over Bluetooth. In addition, the inspection results can be recorded and shared over the internet through the smartphone application. In this way, experts who are not physically present in the inspection area can also evaluate the results.

Keywords: Ultrasonic nondestructive testing; smart systems; Android; smartphone; hardware design.

İÇİNDEKİLER

ULTRASONİK TAHRİBATSIZ MUAYENE SİSTEMLERİ İÇİN AKILLI CİHAZ ARAYÜZÜ UYGULAMASI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tahribatsız Muayene ve Ultrasonik Testin Tarihsel Gelişimi.....	3
1.2. Ultrasonik Test ve Tercih Edilme Sebepleri.....	4
1.3. Dalga Yayılımı ve Çeşitleri.....	7
1.4. Akustik Dalga Özellikleri	9
1.5. Ultrasonik Sesin Ortamda Yayılma Prensibi	10
1.6. Akustik Empedansın Ultrasonik Dalga Yayılımı Üzerindeki Etkisi.....	11
1.7. Ultrasonik Dalga Yayılımında Zayıflama.....	13
1.8. Ultrasonik Dalgalarda Mod Dönüşümü.....	14
1.9. Prob Yapısı ve Özellikleri	16
1.10. Ultrasonik Testte Sıvı Kuplaj Malzemesi Kullanımı.....	19
1.11. Ultrasonik Dalgaların Birbirlerine Girişim Etkileri	20

1.12. Ultrasonik Testte Verilerin Sunulması	23
1.13. Android Uygulama Geliştirme.....	27

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Ultrasonik Verinin Yorumlanması	29
2.2. Geliştirilen Sistem	31
2.2.1. Donanım Geliştirilmesi	33
2.2.1.1. Regülasyon Birimi.....	35
2.2.1.2. Ultrasonik Analog Ön Uç (UAFE) Birimi.....	36
2.2.1.3. FPGA Birimi.....	37
2.2.1.4. Geliştirme Kartı Kontrol Birimi.....	39
2.2.1.5. Akıllı Telefon ile Bluetooth Haberleşmesi Birimi	39
2.2.2. Yazılım Geliştirilmesi.....	40
2.2.2.1. Uygulamanın Ana Aktivitesi	41
2.2.2.2. Uygulamanın Bluetooth Aktivitesi	42
2.2.2.3. Uygulamanın Kart Konfigürasyon Aktivitesi	45
2.2.2.4. Uygulamanın Grafik Aktivitesi.....	48
2.2.2.5. Ayar Sıfırlama Aktivitesi.....	55
2.2.3. Sistemin Yazılım ve Donanımla Genel İşleyişi	55

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Kalınlık Ölçümü Çalışması	58
3.2. Hata Tespiti Çalışması.....	65
3.3. Kalınlık Ölçme ve Hata Tespitinde Farklı Sıvı Kuplaj Malzemelerinin Kullanımı	68
3.4. Geliştirilen Sistemin Güvenilirlik Çalışması	69

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç	72
4.2 Öneriler	73

KAYNAKÇA	75
ÖZGEÇMİŞ	80



KISALTMALAR

<u>Kısaltma</u>	<u>Anlamı</u>
ADC	Analog to Digital Converter (Analog Sayısal Dönüştürücü)
BW	Back Wall (Arka Duvar)
DSP	Digital Signal Processing (Sayısal İşaret İşleme)
DVM	Dalvik Virtual Machine (Dalvik Sanal Makinesi)
EBI	External Bus Interface (Harici Veriyolu Arayüzü)
FPGA	Field Programmable Gate Array (Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi)
IP	Initial Pulse (Başlangıç Darbesi)
JVM	Java Virtual Machine (Java Sanal Makinesi)
LNP	Low Noise Pre-amplifier (Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici)
NDK	Native Development Kit (Yerli Geliştirme Kiti)
NDT	Non-Destructive Testing (Tahribatsız Muayene)
PE	Pulse Echo (Darbe Yankı)
QNDE	Quantitative Non-Destructive Evaluation (Niceliksel Tahribatsız Değerlendirme)
RAM	Random Access Memory (Rastgele Erişimli Bellek)
RFCOMM	Radio Frequency Communication (Radyo Frekans Haberleşmesi)
SOC	System on Chip (Yonga Üzerinde Sistem)
SPP	Serial Port Profile (Seri Port Profili)
TCP	Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
TT	Through Transmission (Doğrudan Geçişli)
UAFE	Ultrasonic Analog Front End (Ultrasonik Analog Ön Uç)
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı-Verici)
UT	Ultrasonic Testing (Ultrasonik Test)
VGA	Variable Gain Amplifier (Değişken Kazanç Kuvvetlendiricisi)

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Hatalara ve malzeme tiplerine göre muayene yöntemi tercihleri.....	6
Tablo 1.2.	Yaygın olarak kullanılan bazı malzemelerin akustik empedans değerleri....	12
Tablo 2.1.	Bluetooth haberleşmesinde kullanılan veri paketleri.....	41
Tablo 3.1.	Tekrarlanabilirlik testi için UT sonuç tablosu	70



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Temel hata çeşitleri	5
Şekil 1.2.	Enine ve boyuna dalgaların ortamda yayılma davranışları	8
Şekil 1.3.	Yüzey dalgalarının ortamda yayılım şekli	8
Şekil 1.4.	Hata tespitinde dalga boyu ve hatanın ilişkisi	9
Şekil 1.5.	Ultrasonik dalga yayılımının malzeme taneciklerine etkisi	10
Şekil 1.6.	Çelik bir test malzemesinin daldırma tipi ultrasonik testi	13
Şekil 1.7.	Daldırma tipi muayenede malzemenin dalga saçma etkileri	14
Şekil 1.8.	Ultrasonik dalgaların belirli bir açıyla başka bir ortama geçişi	16
Şekil 1.9.	Tek elementli prob ve iç yapısı	17
Şekil 1.10.	Çift elementli prob ve iç yapısı	18
Şekil 1.11.	Açılı prob ve iç yapısı	19
Şekil 1.12.	Muayenede sıvı kuplaj malzemesi kullanımı	20
Şekil 1.13.	Dalgaların birbirlerine girişim etkileri	20
Şekil 1.14.	Prob yüzeyinden yayılan ultrasonik dalgalar	21
Şekil 1.15.	Probun yakın ve uzak alanla ilişkisi	22
Şekil 1.16.	Ultrasonik test verilerinin A-Scan sunumu	24
Şekil 1.17.	Ultrasonik test verilerinin B-Scan sunumu	25
Şekil 1.18.	Ultrasonik test verilerinin C-Scan sunumu	26
Şekil 1.19.	Rüzgar türbinine ait bir kanadın C-Scan muayenesi	26
Şekil 2.1.	Darbe yankı yöntemi ile kalınlık ölçümü	30
Şekil 2.2.	Darbe yankı yöntemi ile hata tespiti	31
Şekil 2.3.	Geliştirilen sistemin blok diyagramı	32
Şekil 2.4.	Geliştirme kartının genel diyagramı	33
Şekil 2.5.	Geliştirme kartı ve birimleri	34
Şekil 2.6.	Geliştirme kartının prob, USB ve adaptör giriş kısımları	35
Şekil 2.7.	FPGA içerisinde sentezlenen donanımın modüllerinin blok gösterimi	38
Şekil 2.8.	Akıllı telefon ile Bluetooth haberleşmesinde kullanılan donanımın gösterimi	40
Şekil 2.9.	Android arayüzünün ana aktivitesi	42
Şekil 2.10.	Bluetooth aktivitesinin görüntüleri	43
Şekil 2.11.	Konfigürasyon aktivitesinin görüntüsü	45
Şekil 2.12.	Ana aktivitede ayarların karta gönderildiği bilgisinin alınması	48

Şekil 2.13. Grafik aktivitesinin görüntüsü	49
Şekil 2.14. Grafik aktivitesinde sonucu ekrana bastırma butonu.....	50
Şekil 2.15. Grafik aktivitesinde kaydet butonu ve kayıtlı ölçümler fragmenti	51
Şekil 2.16. Grafik aktivitesinde örnekleme frekansı ve kuvvetlendirme butonları.....	51
Şekil 2.17. Kapı butonu ve fragmenti	52
Şekil 2.18. Kalibrasyon butonu ve fragmenti.....	53
Şekil 2.19. Ayar sıfırlama aktivitesi.....	55
Şekil 2.20. Muayene gerçekleştirilirken sistemin izlediği işlem akışı şeması	57
Şekil 3.1. 10 MHz tek elementli prob	58
Şekil 3.2. Çelik (1018) kalibrasyon bloğu.....	59
Şekil 3.3. Çelik (1018) kalibrasyon bloğunda yapılan kalınlık ölçüm testleri.....	60
Şekil 3.4. Alüminyum test malzemesi.....	61
Şekil 3.5. Alüminyum test malzemesinin kalınlığının muayenesi	62
Şekil 3.6. Alüminyum test malzemesinin boyunun muayenesi	62
Şekil 3.7. Çift element 2 MHz prob	63
Şekil 3.8. Çift elementli prob ile alüminyum test malzemesinin kalınlık ve boy ölçüm testi	64
Şekil 3.9. Alüminyum test bloğu üzerinde tek elementli prob ile hata tespiti	66
Şekil 3.10. Alüminyum test bloğu üzerinde çift elementli prob ile hata tespiti:.....	67
Şekil 3.11. Sıvı kuplaj malzemesi olarak motor yağı kullanılarak yapılan ölçümler	68

GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar malzemelerin muayenesi için pek çok yöntem geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Pratikte tahribatsız muayene (NDT, Non-Destructive Testing) alanında en çok kullanılan yöntemler; penetrant sıvı testi, manyetik parçacık testi, girdap akım testi, radyografik test, ultrasonik test, akustik emisyon testi ve görsel testtir. Ultrasonik test (UT, Ultrasonic Testing), NDT yöntemleri arasındaki en popüler ve kullanışlı yöntemlerden biridir [1]. Bunun nedeni UT'nin sunduğu avantajlardır. Bu avantajlardan bazıları kolay uygulanabilir olması, insan ve çevre sağlığına zararı olmaması ve yüksek doğruluğa sahip olmasıdır [2]. UT popüler bir NDT yöntemi olmasına rağmen cihaz fiyatları oldukça yüksektir. Bununla birlikte piyasadaki ultrasonik cihazların sınırlı haberleşme yetenekleri ve dahili hafıza kapasiteleri gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır.

Hızla gelişen teknoloji sayesinde akıllı telefonlarda yüksek hızda veri işleme yeteneklerinin yanında pek çok faydalı özelliğin de gelişmesi sağlanmıştır. Bu önemli özelliklerden bazıları; geniş hassas dokunmatik ekran, tatmin edici bir işlemci performansı, kablosuz haberleşme yetenekleri ve sürekli geliştirilebilir bir platforma sahip olması şeklinde sıralanabilir. Bu teknoloji günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olarak hepimizin cebinde bulunmaktadır [3]. Bu tez çalışması kapsamında UT cihazlarının maliyetini düşürecek ve konvansiyonel uygulamanın özelliklerini artıracak bir sistem tasarımı gerçekleştirilmek istenmiştir.

Akıllı cihazların ultrasonik NDT uygulamasına dahil edilmesi pek çok kullanışlı özelliği muayeneye dahil etmekle beraber tez çalışması kapsamında geliştirilen sistem piyasadaki benzer ürünlere göre daha düşük maliyetle ortaya konulmuştur. Kapalı sistemler halinde piyasada sunulan ve geliştirilmek yerine bir üst modelinin satın alınmasını zorunlu kılan konvansiyonel ürünler yerine, tez çalışması ile açık kaynak kodlu ve sürekli geliştirilebilir bir sistem alternatifi ortaya konulmuştur.

Akıllı telefonun sisteme kazandırdığı yetenekler sayesinde muayene verileri internet üzerinden paylaşılabilir. Bunun yanında akıllı telefonun internete bağlanabilmesi demek veri depolama ile ilgili bütün sıkıntıların ortadan kalkması anlamına gelmektedir. Ayrıca bu cihazlar, gelişmiş işlemcilerinin sahip olduğu yüksek veri işleme yetenekleri sayesinde sayısal sinyal işleme (DSP, Digital Signal Processing) işlemlerini de yüksek performans ile yerine getirebilecek kapasiteye sahiplerdir [3]. Akıllı telefonların dahili işlemcileri ile DSP uygulamaları yapmak için Android yazılım geliştirme platformu verimli bir ortam sunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında sistem tasarımı gerçekleştirilirken hazır bir ultrasonik geliştirme kartından yararlanılmıştır. Bu geliştirme kartının pek çok gelişmiş fonksiyonu bulunmasına rağmen ana fonksiyonları; ultrasonik dalgaların üretilmesi amacıyla proba yüksek voltaj ve yüksek frekansta elektrik darbeleri sağlanması ve malzemeden geri dönen yankıların kazanılıp sayısallaştırılmasıdır. Ayrıca geliştirme kartı üzerinde paralel işlem yeteneği bulunan bir alanda programlanabilir kapı dizisi (FPGA, Field Programmable Gate Array) entegresi ve yüksek hızlı bir mikrodenetleyici bulunmaktadır. Bu geliştirme kartı üzerinde gömülü yazılımına müdahale edilebilen bu güçlü entegrelere yer verilmesiyle özel UT uygulamaları geliştirilmesine imkan veren esnek bir tasarım sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında, ultrasonik geliştirme kartına kablosuz haberleşme özelliği kazandırılması amacıyla bir Bluetooth modülü entegre edilmiş ve gerekli gömülü yazılım çalışmaları yapılmıştır. Geliştirme kartının muayene işlemi için ihtiyaç duyduğu ayar bilgileri, akıllı cihazlar için geliştirilen arayüz kullanılarak Bluetooth üzerinden karta gönderilmektedir. Geliştirme kartı aldığı ayarlarla birlikte UT işlemini gerçekleştirmekte ve akıllı telefona sayısallaştırılan muayene sinyallerini aktarmaktadır. Akıllı cihaz arayüzüyle geliştirme kartından alınan sinyal üzerinde anlamlandırma ve değerlendirme işlemleri yapılmaktadır [4]. Ayrıca NDT'de muayene sonucunun doğruluğunu etkileyen en önemli parametrelerden birisi olan cihaz kalibrasyon işlemi için de akıllı telefon arayüzünde bir kalibrasyon fonksiyonu geliştirilmiştir.

Sistem tasarımı gerçekleştirilirken ülkemizde NDT sektöründe çalışan, muayene cihazı satan ve NDT eğitimi veren pek çok kurum ve kuruluşla görüşülmüştür. Elde edilen deneyimlerle sistemin donanım ve yazılım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1 Tahribatsız Muayene ve Ultrasonik Testin Tarihsel Gelişimi

NDT teknolojisinin geliştirilmesindeki ilk amaçlar yalnızca malzemedeki hataların tespit edilmesi ve güven içerisinde çalışılabilecek iş ortamlarının sunulmasıydı. Kullanılan malzemelerin sağlık durumlarının test edilmesi ve ciddi hataların tespit edilmesi durumunda hasarlı malzemenin sağlam olanıyla değiştirilmesi veya onarılması işlemlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştı. Bu ihtiyaçlara cevap olarak, ultrasonik dalgalar, girdap akımları, X-ışınları, penetrant sıvılar, manyetik parçacıklar ve diğer muayene tekniklerinin dayandığı temellerle, özgün teknikler ortaya atıldı. UT yönteminin gelişimi 1920'lerin sonunda başlamıştır. Başlangıçta UT yöntemi temellerini geometri, temel fizik, dalga optiği, akustik ve sismolojiden almıştır [1]. Teknolojinin hemen hemen her alanında olduğu gibi NDT alanı da insanlık tarihindeki savaşlar ve ülkelerin savunma alanındaki çabalarından çok fazla etkilenmiştir. II. Dünya Savaşı ve sonraki yıllardaki savunma çalışmalarının teşvikleriyle NDT alanında çok hızlı teknolojik gelişmeler yaşanmıştır [5].

Teknolojinin sürekli gelişmeye devam etmesiyle cihazlara daha küçük hataları tespit edebilme yeteneğinin kazandırılması, daha fazla parçanın hatalı olarak nitelendirilmesine neden olmuştur. Bu gelişmeler sonucunda, sadece hatanın tespit edilmesinin yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu durumun aşılması amacıyla malzemenin kalan ömrünün kırılma mekaniğine dayalı tahminlerini hesaplamaya yönelik birtakım bilimsel çalışmalar başlatılmıştır. Bu amaç doğrultusunda kusur boyutu hakkında niceliksel bilgi edinme gereksinimi doğmuştur. Özellikle savunma ve nükleer enerji endüstrilerinde güçlü şekilde hissedilen endişeler, dünya çapında bir dizi araştırma programının oluşturulmasına ve yeni bir disiplin olarak Niceliksel Tahribatsız Değerlendirme'nin (QNDE, Quantitative Non-Destructive

Evaluation) ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bundan sonraki yıllarda pek çok önemli gelişme kaydedilmiştir. Muayene alanlarının kusurlarla olan etkileşimini tanımlamak için nicel kuramlar geliştirilmiştir. Bu gelişmelerden sonra başlangıçta metaller için geliştirilen ölçüm prosedürleri, homojen olmamanın önemli bir mesele olduğu kompozit gibi anizotropik malzemeleri kapsayacak hale gelmiştir [5].

Sayısallaştırma ve bilgi işleme yeteneğindeki hızlı teknolojik gelişmeler; birçok muayene cihazının ve elde edilen verilerin işlenmesinde kullanılan algoritmaların türünü tamamen değiştirmiştir. Bir kusurun karakterize edilmesi için yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri ve çoklu ölçüm yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler sonucunda UT yönteminin ilgi alanı, yalnızca kusurların belirlenmesinde, tanımlanmasında ve boyutlarının tespit edilmesinde değil, ortaya çıktıkları materyalleri karakterize etmede de gelişmeye başlamıştır. Bu gelişmelerden sonra NDT'nin amaçları tane boyutu, porozite ve doku gibi temel mikro yapısal özelliklerin belirlenmesinden; yorulma, sürünme ve kırılma tokluğu gibi malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesine kadar genişlemiştir [5].

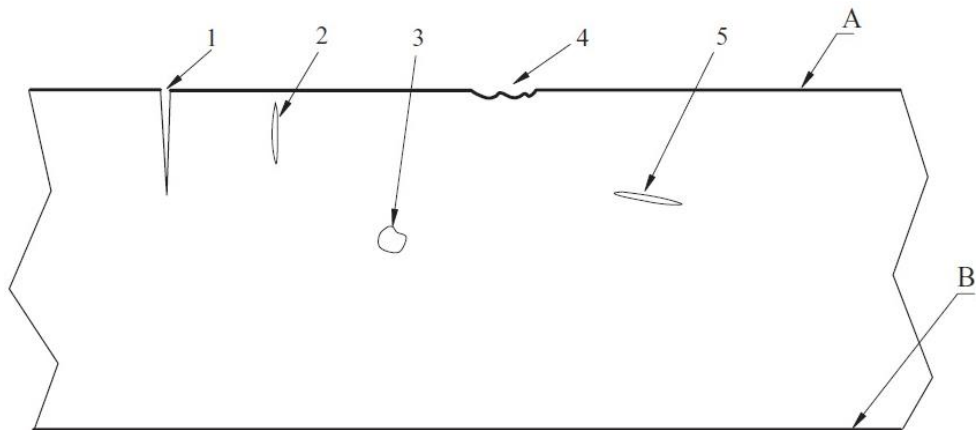
1.2 Ultrasonik Test ve Tercih Edilme Sebepleri

NDT için pek çok tanımlama kullanılsa da kısaca malzemelere herhangi bir hasar vermeden bir inceleme, ölçme ve hata değerlendirme işlemi olduğu söylenebilir. Popüler NDT yöntemlerinden biri olan UT, ultrasonik seslerin malzeme içerisinde gösterdiği davranış biçimi incelenerek gerçekleştirilmektedir. Ses dalgaları, katı, sıvı veya gaz gibi ortamlarda seyahat eden organize olmuş mekanik titreşimlerdir. Bu dalgalar seyahatleri sırasında belli bir frekans ve hıza sahiplerdir. Seyahat ettikleri ortamdan farklı bir ortama karşılaştıklarında; bu ortamlar arasındaki bölgeden bir kısmı yansımakta, bir kısmı da yoluna devam ederek diğer ortama aktarılmaktadır. Yansıma ve nüfuz etme oranları iki malzemenin sahip olduğu akustik empedanslarla alakalı bir olaydır. Örneğin bir malzeme kalınlık ölçümü işlemi gerçekleştirilirken malzeme ve hava iki farklı ortamdır. Malzeme içerisinde yayılan ultrasonik dalga, malzemenin bir kenarına geldiğinde hava ortamıyla karşılaşır. Burada dalgaların küçük bir kısmı hava ortamına geçerken dalgaların çoğu bu kenardan geri yansır. Geri yansıyan ultrasonik dalgaların yakalanması ve yorumlanmasıyla kalınlık ölçümü işlemi gerçekleştirilmektedir. Hata tespiti işlemi de aynı prensibe dayanmaktadır. Örneğin bir

malzemenin üretim sürecinde içerisinde hatalar oluşmuş olabilir. Ultrasonik dalgalar ilgili hata ile karşılaştıklarında kalınlık ölçümünde gösterdiği davranışa benzer şekilde büyük bir kısmı hatadan geri yansiyacaktır. Bu yankıların yakalanıp yorumlanması ile hatanın malzeme yüzeyinden ne kadar derinde olduğu bilgisi elde edilmektedir.

Endüstriyel uygulamalarda UT, özel uygulamalar hariç genellikle 500 kHz - 10 MHz frekans sahasında gerçekleştirilmektedir. Megahertz seviyesine çıktığında ses enerjisi hava veya diğer gaz ortamlarında verimli bir şekilde seyahat edememesine rağmen; pek çok sıvı, yaygın endüstriyel katı malzemeler olan metallerin çoğu, plastik, seramik ve kompozitlerde rahat bir şekilde yayılabilmektedir [6].

NDT'ye ihtiyaç duyulduğunda karşımıza pek çok alternatif muayene yöntemi çıkmaktadır. NDT yöntemleri ve hatalara göre tercih edilme öncelikleri hakkında Tablo 1.1 son derece aydınlatıcı bilgiler içermektedir. Ancak bundan önce hata çeşitlerinden bahsetmek gerekir. Malzemelerde ortalama 80 farklı hata tipi bulunabilmektedir. Ancak bunlar basitçe ifade edilirse beş temel kusura indirgenebilir ve bu hata çeşitleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir [1].



Şekil 1.1: Temel hata çeşitleri: 1) Düzlemsel yüzey yarığı, 2) Yüzey altı düzlemsel yarık, 3) İç hacimsel boşluk, 4) Geometrik kusur, 5) İç düzlemsel yarık. A) Test yüzeyi, B) Karşı yüzey [1].

Tablo 1.1 incelenirken Şekil 1.1'de numaralar ile belirtilen hatalarla tabloda verilen hata tiplerini karşılaştırmak tablonun daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu yüzden Şekil 1.1'deki hata numaraları ve malzemenin yüzeylerini temsil eden harfler Tablo 1.1'de ilgili hata tipleri ile beraber verilmiştir.

Tablo 1.1: Hatalara ve malzeme tiplerine göre muayene yöntemi tercihleri [1]

Hata Tipi	Malzeme Tipleri	Tahribatsız Muayene Tercihleri	
		İlk Tercih	İkinci Tercih
Test Yüzeyine Açık Düzlemsel Yarık (1, A)	Metal Olmayan	Penetrant	Ultrasonik
	Ferromanyetik	Manyetik Parçacık	Penetrant, Ultrasonik
	İletken	Girdap Akım	Penetrant, Ultrasonik
Test Yapılan Yüzeyin Zıt Yüzeyine Açık Düzlemsel Yarık (1, B)	Herhangi Katı Malzeme	Ultrasonik	
Test Yüzeyine Yakın Yüzey Altı Düzlemsel Yarık (2, A)	Metal Olmayan	Ultrasonik	
	Ferromanyetik	Ultrasonik	Manyetik Parçacık
	İletken	Ultrasonik	Girdap Akım
Test Yüzeyinin Zıt Yüzeyine Yakın Yüzey Altı Düzlemsel Yarık (2, B)	Herhangi Katı Malzeme	Ultrasonik	
İç Hacimsel Boşluk (3)	Herhangi Katı Malzeme	Radyografik	Ultrasonik
İç Düzlemsel Yarık (5)	Herhangi Malzeme	Ultrasonik	Radyografik
Test Yüzeyindeki Geometrik Kusur (4, A)	Herhangi Malzeme	Görsel	
Test Yüzeyinin Zıt Yüzeyindeki Geometrik Kusur (4, B)	Herhangi Katı Malzeme	Ultrasonik	Radyografik

UT yönteminin diğer muayene yöntemlerinden daha kullanışlı olduğu bilinmekte ve Tablo 1.1'den anlaşılacağı üzere çoğu muayene gerektiren durumda yöntemler arasında ya ilk tercih edilen veya kullanılan diğer yöntem yardımcı bir yöntem olarak kullanılmaktadır [1]. Tablo 1.1'de ifade edildiği üzere UT ile düzlemsel ve hacimsel hemen hemen her türlü hata tespit edilebilmektedir.

Ultrasonik NDT, basınçlı kaplarda ve borularda korozyon testleri gibi endüstride pek çok uygulama alanına sahiptir. Ayrıca enerji sektöründeki kompozit yapıları rüzgar türbinlerinin ve silikon tabanlı güneş pillerinin muayenelerinde, sıvı ve gazların dolaştığı boru sistemlerindeki boruların kaynak muayenelerinde, inşaat sektöründe

betonların muayenelerinde ve nükleer enerji tesislerindeki özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu alanlarda gerçekleştirilen pek çok bilimsel çalışma bulunmaktadır [7-11].

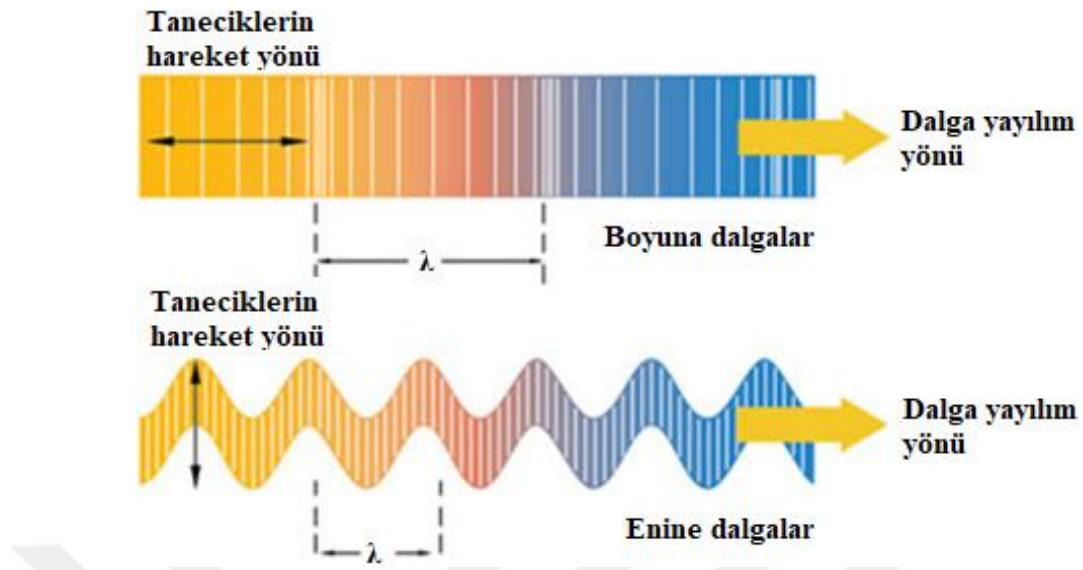
1.3 Dalga Yayılımı ve Çeşitleri

UT'de gerçekleştirilen muayene çeşidine (kalınlık ölçümü, içsel hata tespiti veya yüzeysel hata tespiti gibi) ve malzemenin kalınlığına göre farklı dalga modlarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Özel uygulamalarla birlikte kullanılan pek çok dalga şekli olmasına rağmen genel olarak 4 tip dalga yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar boyuna (longitudinal) dalgalar, enine (shear) dalgalar, yüzey (surface, Rayleigh) dalgaları ve lamba (lamb) dalgalarıdır.

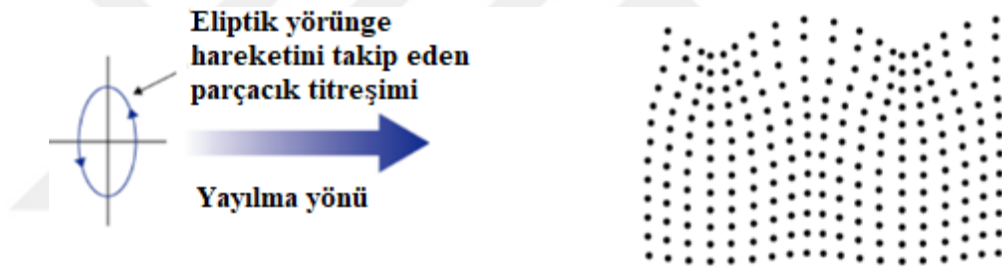
Boyuna dalgalar ortamda yayılma davranışı bakımından insan kulağı tarafından duyulabilen ses dalgalarına benzemektedirler. Malzemede yayılırlarken tanecikler, dalga yayılım yönü ile aynı yönde sıkışıp genişerek bir osilasyon hareketi meydana getirirler ve bu enerjiyi dalga yayılım yönüne göre malzemenin diğer taneciklerine aktarırlar. Bu dalgalar, katılarda olduğu gibi sıvılarda da yayılabilirler [12].

Enine dalgalar, malzeme içerisinde yayılırlarken tanecikler dalga yayılım yönüne dik bir osilasyon hareketi yaparlar. Genellikle açılı problemlerdeki piezoelektrik malzemenin ürettiği boyuna dalgaların belirli bir açıyla malzemeye gönderilmesi sayesinde mod dönüşümü gerçekleştirilerek üretilirler. Enine dalga modu sadece katı malzemelerde verimli bir şekilde yayılabilmektedir. Kaynakların muayene edilmesinde sıkça kullanılırlar ve hızları yaklaşık boyuna dalgaların yarısı kadardır [12]. Şekil 1.2'de enine ve boyuna dalgaların yayılma prensipleri gösterilmiştir.

Rayleigh veya yüzey dalgaları olarak bilinen dalga çeşidi malzeme yüzeyindeki hatalara karşı son derece hassaslardır. Bu yüzden malzemenin yüzeysel kusurlarını tespit etmek amacıyla kullanılırlar. Bu dalgalar malzemede yayılırlarken yüzeyden içeriye doğru ortalama bir dalga boyu kadar derine nüfuz edebilirler. Yüzey dalgalarının hızı ve dalga boyu yaklaşık enine dalgalarla aynı büyüklüğe sahiptir. Bu dalgalar enine ve boyuna dalga hareketlerinin birleşimi şeklinde bir yayılma davranışına sahiptirler. Bu yayılma davranışı Şekil 1.3'te görüldüğü gibi parçacıkları eliptik bir yörünge hareketiyle titreştirmektedir [12].



Şekil 1.2: Enine ve boyuna dalgaların ortamda yayılma davranışları [13]



Şekil 1.3: Yüzey dalgalarının ortamda yayılım şekli [12]

Lamba dalgalar yüzey dalgalarına benzerler ve kullanılan ultrasonik dalgaya ait dalga boyunun birkaç katı kalınlığa sahip olan ince malzemeleri muayene etmek için kullanılırlar. İnce levha, tüp ya da tel gibi malzemelerin muayenelerinde sıkça tercih edilmektedirler [14]. Bu dalgalar sayesinde, güneş pillerinde bulunan ince silikon katmanların tahribatsız muayenesi gibi hassas çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir [8].

Yüzey dalgaları ve lamba dalgaları ile ilgili pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Genellikle bu dalgalarla muayene işlemi gerçekleştirilirken otomatik tarama sistemleri tasarlanmaktadır [7, 14, 15]. Bu dalgalarla pek çok farklı sektörde özel uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bu dalga modlarından en çok kullanılanları boyuna ve enine dalgalar olup endüstride kullanılan konvansiyonel UT cihazları genellikle bu iki modu destekleyecek şekilde tasarlanmışlardır.

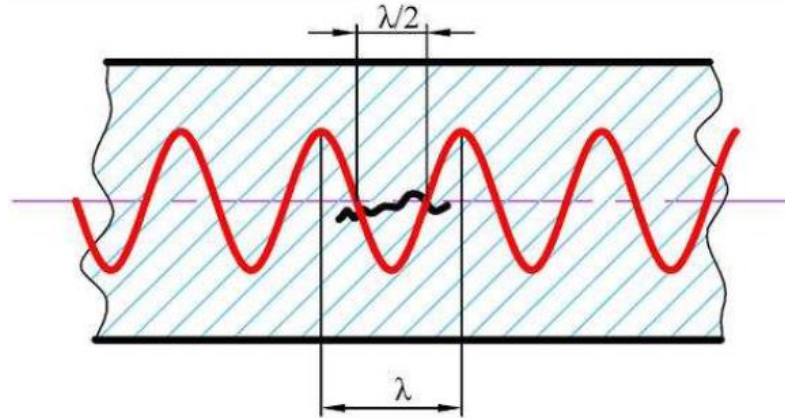
1.4 Akustik Dalga Özellikleri

Akustik dalganın üç temel özelliği bulunmaktadır ve bunlar ultrasonik dalganın yayıldığı ortamdaki ses hızı, frekansı ve dalga boyudur. Malzemelerde sesin yayılma hızının sabit olmasıyla beraber dalga boyu ve frekansı arasında ters bir orantı mevcuttur. Bu ilişki Formül (1.1)'de ifade edilmiştir.

$$\lambda = v / f \quad (1.1)$$

Formül (1.1)'de λ dalga boyunu, v malzeme içerisindeki ses hızını, f ise kullanılan ultrasonik dalganın frekansını ifade etmektedir. Formülden anlaşıldığı gibi dalga boyu, malzeme içerisindeki ses hızının dalgaların frekansına bölünmesiyle bulunmaktadır.

Muayenede kullanılan frekansın artması daha küçük hataların tespit edilebilmesine imkan vermektedir. Bunun nedeni ise dalga boyunun küçülmesidir. Hata tespiti işlemi gerçekleştirilirken temel kurallardan birisi hatanın boyunun malzemede yayılan ultrasonik sesin dalga boyunun yarısından büyük olması gerektiğidir ve Şekil 1.4'te bu durum gösterilmektedir [16].



Şekil 1.4: Hata tespitinde dalga boyu ve hatanın ilişkisi [16]

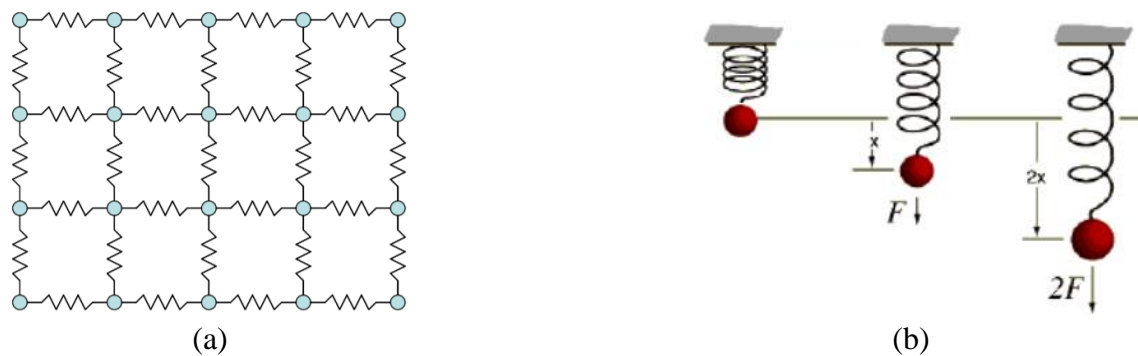
Frekansın artırılması, UT'yi malzemelerin tanecik yapısına ve küçük kusurlara karşı daha duyarlı hale getirmesine rağmen ultrasonik sesin saçılmasına ve kaybına neden olmaktadır. Yani frekansın artması hassasiyeti artırırken ultrasonik sesin malzeme içerisine nüfuz etme yeteneğini azaltmaktadır. Pratikte uygulama gerçekleştirilirken muayeneye bağlı olarak optimum frekansa sahip bir probun seçilmesi gerekmektedir.

Kullanılacak prob belirlenirken malzemenin tanecik yapısı ve kalınlığı gibi etkenler de göz önünde bulundurulmalıdır.

1.5 Ultrasonik Sesin Ortamda Yayılma Prensibi

Ultrasonik sesin bir ortamda yayılması, yaylarla birbirlerine bağlanmış taneciklerin osilasyon hareketi yapması şeklinde açıklanmakta ve bu durum Şekil 1.5a'da gösterilmektedir. Tanecikler ultrasonik titreşimlerin sebep olduğu kuvvetle denge noktalarından ayrılmakta ve her bir taneciğin hareketi komşularını etkilemektedir. Ayrıca taneciklerin denge noktalarını korumalarını sağlayan elastik toparlanma kuvvetleri bulunmaktadır. Bu kuvvet sayesinde malzemenin tanecikleri hareketi yaptıktan sonra eski konumlarına geri dönmektedirler [17].

Şekil 1.5b'deki gibi bir yayın ucuna bağlanmış kütlenin, yay sabiti ve kütle tarafından belirlenen bir rezonans frekansı vardır. Yay sabiti, birim uzunluk başına toparlanma kuvvetini ifade etmektedir. Herhangi bir malzemenin elastik sınırları içerisinde parçacığın yer değiştirmesi ve parçacığın denge noktasına geri toparlanma kuvveti eğilimi arasındaki ilişki Hooke Kanunu ile açıklanmaktadır [17].



Şekil 1.5: Ultrasonik dalga yayılımının malzeme taneciklerine etkisi: (a) Malzeme taneciklerinin sembolik yay bağlantıları, (b) Kütlenin yay hareketi ile ilişkisi [17]

Hooke Kanunu'na göre toparlanma kuvveti, yay gerildiğinde gerçekleşen yer değiştirmeye bağlı olarak zıt yönde oluşmaktadır ve bu durum Formül (1.2)'de ifade edilmiştir.

$$F = -kx \quad (1.2)$$

Burada F kuvvet, k yay sabiti ve x taneciğin yer değiştirme miktarını ifade etmektedir. Sesin malzeme taneciklerine uyguladığı kuvvet Newton'un ikinci kanununa göre açıklanmaktadır [17]. Bu kanunda, bir taneciğe kuvvet uygulandığında taneciğin ivmesi olacağı ifade edilmektedir ve bu durum Formül (1.3)'te verilmiştir.

$$F = ma \quad (1.3)$$

Bu kuvvet, Hooke kanunundaki yay sabitine yani parçacık yer değiştirme miktarına bağlı olarak ifade edilen zıt yöndeki kuvvetle dengelenmektedir. Buradan toparlanma kuvveti ve uygulanan kuvvet eşitlenirse Formül (1.4) ortaya çıkmaktadır.

$$ma = -kx \quad (1.4)$$

Formüldeki negatif işaret, kuvvetin zıt yönlü olduğunu ifade etmektedir. Kütle ve yay sabiti malzemelerde sabit olduğundan yer değiştirme ve ivme değişken olan parametrelerdir. Buradan taneciğin yer değiştirmesindeki artışın ivmeyi arttırdığı ve bunlar arasında bir doğru orantı olduğu sonucu çıkmaktadır [17].

Ultrasonik ses, farklı malzemelerde farklı hızlara sahiptir. Bunun sebebi malzemelerdeki taneciklerin kütlesi ve yay sabitinin her malzemedede farklı olmasıdır. Parçacığın kütlesi malzemenin yoğunluğuyla alakalı iken yay sabiti malzemenin elastik sabiti ile ilişkilidir [17].

1.5 Akustik Empedansın Ultrasonik Dalga Yayılımı zerindeki Etkisi

Malzemelerin akustik empedansı Formül (1.5)'e göre hesaplanmaktadır. UT'de yaygın olarak kullanılan bazı malzemelerin Formül (1.5) ile ilişkisi Tablo 1.2'de açıkça ifade edilmiştir [18].

$$Z = \rho.v \quad (1.5)$$

Burada Z malzemenin akustik empedansı, ρ malzeme yoğunluğu, v ise malzeme içerisindeki ses hızını ifade etmektedir. Ultrasonik dalgalar malzemedede yayılırken herhangi bir akustik empedans değişikliği ile karşılaşmadıkları sürece yollarına devam ederler. Dalgalar yayıldıkları malzemenin akustik empedansından farklı bir akustik empedansla karşılaştıklarında ise yansımaya başlarlar. İki farklı akustik empedansa

sahip bir ortamdan diğerine geçerken yansıma ve nüfuz etme oranları iki malzeme arasındaki akustik empedans farkına göre değişmektedir. Bu akustik empedanslar arasındaki farka akustik empedans uyumsuzluğu denmektedir. Eğer akustik empedans uyumsuzluğu çok fazla ise iki malzemenin birleştiği noktadan ultrasonik sinyallerin çoğu yansırken çok az bir kısmı diğer malzemeye nüfuz eder.

Tablo 1.2: Yaygın olarak kullanılan bazı malzemelerin akustik empedans değerleri [18]

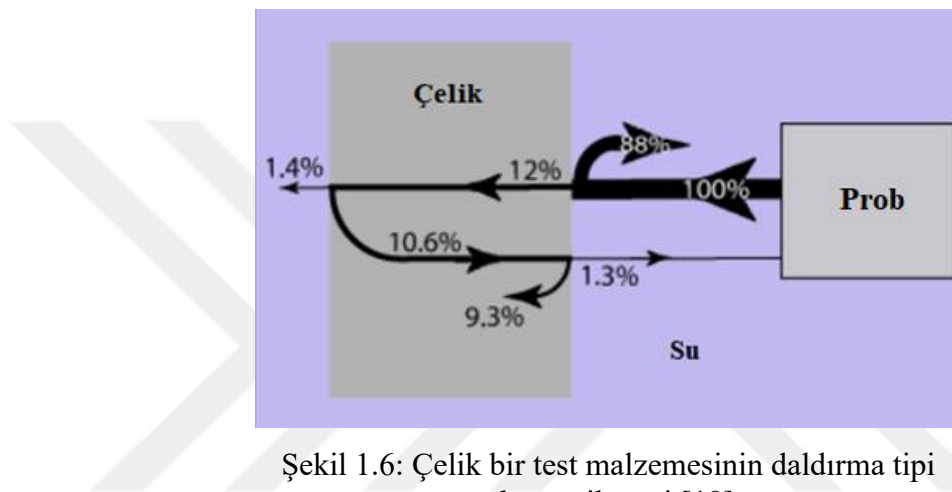
Malzeme	Boyuna dalga hızı (cm/s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Akustik empedans (g/(cm ² s))
Hava	0.33	0.0001	0.00033
Alüminyum (1100)	6.35	2.71	17.2
Demir	5.90	7.69	45.4
Çelik	5.85	7.80	45.6
Su	1.49	1.00	1.49
Çelik (1018)	5.92	7.87	46.6

Dalgaların yayılması istenilen iki malzemenin akustik empedansı da biliniyorsa, malzemelerin birleşme noktasında ne kadar kırılma ve nüfuz etme olacağı Formül (1.6)'dan hesaplanabilmektedir [17]. Bu formül ile elde edilen R , yansıma katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Yansıma katsayısınının 100 ile çarpılması ile iki malzemenin birleşme yüzeyine gelen enerji miktarının yüzde olarak ne kadarlık bir kısmının yansıdığı tespit edilebilmektedir. Nüfuz eden ve yansıyan dalgaların toplamının gelen enerjiye eşit olmasından dolayı ne kadar dalganın diğer malzemeye nüfuz ettiği bilgisi de yüzde olarak hesaplanabilmektedir.

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (1.6)$$

Şekil 1.6'da çelik bir test malzemesinin daldırma tipi ultrasonik muayenesi gösterilmektedir. Tablo 1.2'de verilen çelik ve suyun akustik empedansları Formül (1.6)'da kullanılarak su ve çelik arasındaki yansıma katsayısı yaklaşık olarak 0.88 elde edilmekte ve bu katsayı 100 ile çarpılarak %88 değeri bulunmaktadır. İki farklı akustik empedansa sahip malzemelerin birleşme yüzeyine gelen dalganın enerjisi, birleşme bölgesinden yansıyan ve diğer malzemeye nüfuz eden dalgaların toplam enerjisine eşit

olmasından dolayı nüfuz eden dalganın miktarı %12 olarak elde edilir. Bu yüzde değerlerine göre, çeliğe nüfuz eden ultrasonik dalgalar herhangi bir kenara geldiğinde aynı katsayı oranlarında bir kısmı yansımakta kalan kısmı da diğer ortama transfer edilmektedir. Ultrasonik dalgalar sönümlenene kadar şekilde belirtilen oranlarla yayılmaya devam ederler [19]. Akustik empedans uyumsuzluğu, ultrasonik hata tespiti ve kalınlık ölçümü testlerinde hayati önem taşımaktadır.



Şekil 1.6: Çelik bir test malzemesinin daldırma tipi ultrasonik testi [19]

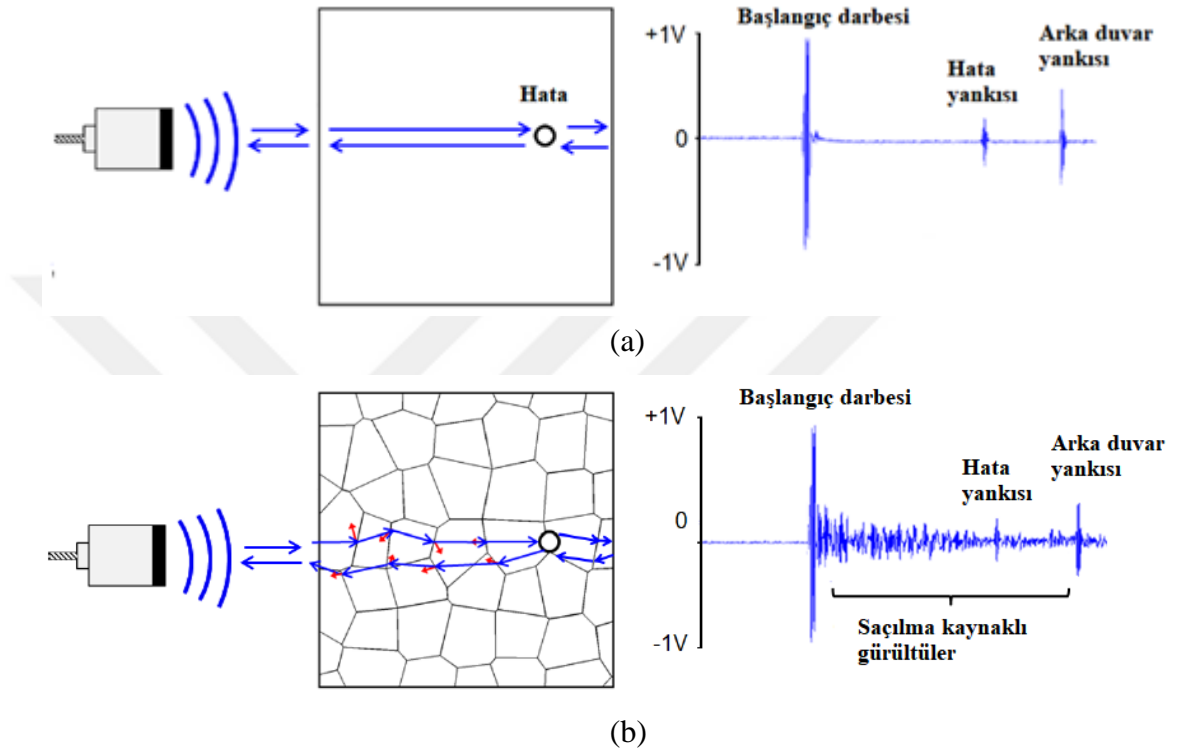
1.7 Ultrasonik Dalga Yayılımında Zayıflama

İdeal şartlarda ses kuvvetinin sadece malzeme içerisinde yayılırken azalması ve bitmesi gerekir. Ancak pratikte, malzemelerde ses yayılırken zayıflamasına sebep olan başka birtakım unsurlar da mevcuttur. Bu unsurlara saçılma ve özümseme denilmektedir. Saçılma, ses dalgalarının orijinal yayılım yönünden farklı yönlere doğru yayılmaya başlaması şeklinde tanımlanır. Özümseme ise ses dalgasının malzeme içerisinde enerjinin başka formları haline dönüşmesidir. Bu iki olumsuz etkiye genellenerek zayıflama adı verilir. Malzemenin belli bir noktasındaki zayıflamaya uğramış genlik Formül (1.7) ile hesaplanmaktadır [17].

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z} \quad (1.7)$$

Formülde dalga genliğinin ölçüldüğü nokta için A_0 zayıflamaya uğramamış olan genliği, A zayıflamış genliği, α zayıflama katsayısını ve z başlangıç noktasından zayıflama noktasına olan mesafeyi ifade etmektedir.

Bazı malzemelerin mikro yapıları UT için son derece elverişlidir ve Şekil 1.7a'da görülmektedir. Bazı malzemeler ise mikro yapılarından dolayı çok fazla saçılmaya neden olabilmektedirler ve bu durum Şekil 1.7b'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7: Daldırma tipi muayenede malzemenin dalga saçma etkileri: (a) Malzemenin mikro yapılarının saçılmaya neden olmadığı muayene, (b) Mikro yapıların saçılmalara neden olduğu muayene [20]

Şekiller incelendiğinde malzemelerin iç yapılarının muayene sonucu üzerinde son derece önemli bir role sahip görülmektedir. Mikro yapıları engel teşkil eden malzemede saçılmalardan kaynaklanan gürültülü bir sinyal elde edilmiştir. Bazen saçılmalar değerlendirme işleminin sonucunu tamamen değiştirecek kadar sinyale gürültü bindirebilmektedirler. Saçılmalardan kaynaklanan zayıflamaların önlenmesi konusunda çeşitli akademik filtreleme çalışmaları yapılmıştır [21-25].

1.8 Ultrasonik Dalgalarda Mod Dönüşümü

Ultrasonik dalgalar belirli bir açıyla iki farklı ortam arasındaki bir arayüzden geçtiğinde dalgaların bir kısmı yansırken bir kısmı da kırılarak diğer ortama aktarılır. Bu davranışın sebebi malzemelerin farklı kırılma indekslerine sahip olmasındandır ve bu

kırılma olayı, ışığın iki ortam arasındaki geçiş olayına benzemektedir. Ultrasonik dalgaların iki malzeme arasındaki ortamda sergilediği bu davranış, iki ortamın farklı ses yayılım hızlarına sahip olmasından kaynaklanmaktadır [26]. Yani malzemelerin ultrasonik sesleri kırılma indeksleri ultrasonik dalgaların malzemelerdeki yayılma hızlarıyla alakalıdır.

Şekil 1.8a'da gösterilen iki ortam arasındaki dalga geçişinde meydana gelen kırılma olayı Snell Kanunu ile açıklanmaktadır. Bu kırılma olayı sonucunda gerçekleşen kırılma ve yansıma etkileri Formül (1.8) yardımıyla bulunmaktadır [26].

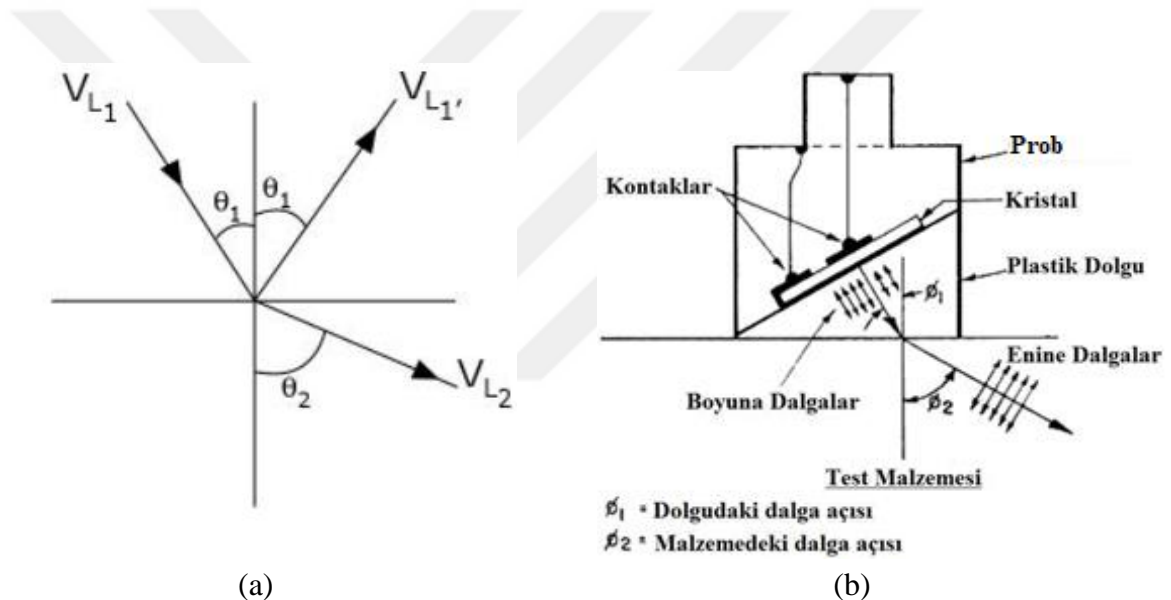
$$\frac{\sin \theta_1}{V_{L1}} = \frac{\sin \theta_2}{V_{L2}} \quad (1.8)$$

V_{L1} geçiş ortamına gelen boyuna dalganın ortamdaki hızı, V_{L1} ' arayüzden yansıyan boyuna dalganın ortamdaki hızı, V_{L2} kırılarak diğer ortama geçen dalganın ortamdaki hızı, θ_1 gelen dalga ve yansıyan dalganın normalle yaptığı açı ve θ_2 kırılan dalganın normalle yaptığı açıdır. Aynı malzemede yayılmaları sebebiyle gelen ve yansıyan dalgalar aynı hız ve aynı açığa sahiplerdir [26].

Bahsedilen kırılma olayı esnasında belirli şartlar oluşursa ultrasonik dalgalarda mod dönüşümü gerçekleşmektedir. Boyuna dalgalar farklı akustik empedanslara sahip iki malzemenin birleştiği bir yüzeye açılı bir şekilde çarptığında, bunların bir kısmı enine dalgalara dönüşmektedir. Örneğin daldırma tipi bir muayene ile malzemenin kalınlığı ölçülürken iki ortam söz konusudur. Bu ortamlar aralarında belli bir akustik empedans farkı bulunan su ve test malzemesidir. Gönderilen boyuna dalgalar test malzemesine girerken veya malzemenin içerisindeyken açılı bir şekilde bir kenara çarptıklarında muayene sonucunda istenmeyen yankıların oluştuğu gözlemlenecektir. Bu yankıların sebebi mod dönüşümüyle ortaya çıkan enine dalgaların prob tarafından yakalanmasındandır. Muayenesi yapılan malzemedeki asimetric kenarlar veya bu malzeme içerisinde bulunan bir hataya dalgaların açılı bir şekilde çarpması gibi durumlar istenmeyen mod dönüşümlerine sebep olabilmektedir.

Aynı mantıkla açılı problemlerde enine dalgalar üretilmektedir. Ancak açılı problemlerle muayenede enine dalga kullanımı istenilen bir durumdur ve sinyaller değerlendirilirken enine dalgalar incelenmektedir. Şekil 1.8b'de görüldüğü gibi probun içine belirli bir

açıyla yerleştirilen kristal, boyuna dalgalar üretmektedir. Burada belirli açı şeklinde ifade edilen açığa ilk kritik açı denmektedir. İlk kritik açı ve daha büyük açılarla gönderilen boyuna dalgalar, kırılarak enine dalgalara dönüşüp diğer ortama nüfuz ederler. Şekil 1.8b'de gösterilen prob, boyuna dalgaları malzemeye doğru bir açı ile gönderdiği için mod dönüşümü meydana gelir ve enine dalgaların üretimi gerçekleştirilir. Şekil 1.8b'de verilen θ_1 (dolgudaki dalga açısı) ve θ_2 (malzemedeki dalga açısı) açıları, Şekil 1.8a'daki θ_1 (gelen dalganın normalle yaptığı açı) ve θ_2 (kırılan dalganın normalle yaptığı açı) ile aynıdır ve Snell kanunu ait Formül (1.8) kullanılarak bu açı değerleri hesaplanabilmektedir.



Şekil 1.8: Ultrasonik dalgaların belirli bir açıyla başka bir ortama geçişi: (a) Açılı olarak iki ortamın birleşme arayüzeyinden geçişi, (b) Açılı problarda mod dönüşümü ile enine dalgaların üretimi [26]

1.9 Prob Yapısı ve Özellikleri

Elektriksel darbelerin mekanik titreşimlere ve dönen mekanik titreşimlerin tekrar elektriksel sinyallere dönüştürülmesi UT'nin temelini oluşturmaktadır. UT'de bu işlemi gerçekleştiren birime ultrasonik prob denmektedir. Problar kullanım amaçlarına, uygulamaya ve frekansa göre pek çok çeşide sahip olsalar da pek çoğu ortak bir iç yapıya sahiptir [27].

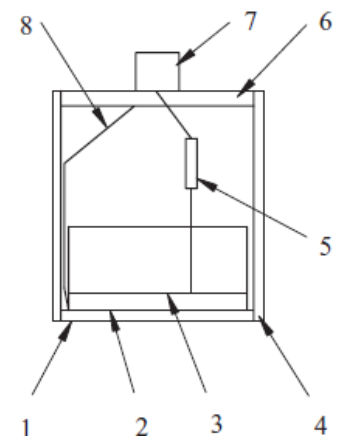
Probun içerisinde piezoelektrik seramik ya da piezokompozit bir malzemeden üretilen ince bir disk, kare veya dikdörtgen şekle sahip olan bir aktif element bulunmaktadır.

Prob içerisinde enerji dönüşüm işlemlerini gerçekleştiren asıl kısım aktif elementtir ve kristal diye de anılmaktadır. Aktif element elektrik darbeleriyle sürüldüğünde titreşerek ses dalgaları üretmekte veya malzemedan dönen ultrasonik yankılarla titreştiğinde gerilim üretmektedir. Aktif elementin kalınlığı belirlenirken probun hangi frekans için kullanılacağına bakılır. Çünkü aktif element, kalınlığının iki katına sahip bir dalga boyunda titreşmektedir. Bu yüzden yüksek frekansa sahip olan bir prob ince bir aktif elemente sahiptir [27].

Şekil 1.9a'da gösterilen prob tipine tek elementli prob (single element probe) denmektedir. Bu tip problarda, enerjiyi maksimum verimle muayene malzemesine gönderebilmek amacıyla aktif elementin önünde bir empedans eşleştirme katmanı yerleştirilir. Bu katman Şekil 1.9b'de 1 rakamı ile numaralandırılmıştır. Bu katman muayene malzemesine yakın bir empedansa sahip olduğundan üretilen ultrasonik darbelerin büyük kısmını muayene malzemesine aktarmakta ve malzemedan dönen ultrasonik yankı darbelerini de aynı şekilde aktif elemente az bir kayıpla geri iletmektedir. Bu katmanın akustik empedansı genellikle aktif element ve çeliğin akustik empedansları arasında bir değere sahiptir.



(a)



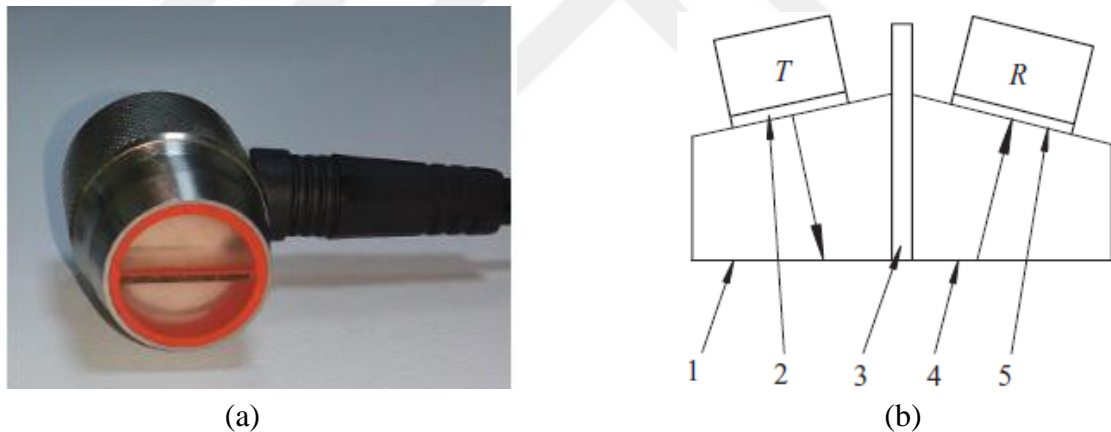
(b)

Şekil 1.9: Tek elementli prob ve iç yapısı: (a) Prob görünümü, (b) Probun iç yapısı.
1) Eşleşme katmanı, 2) Kristal (aktif element), 3) Sönümlenme bölgesi, 4) ve 6) Kılıf,
5) Ayar elemanı, 7) Konektör, 8) Toprak [1]

Genelde aktif element ve eşleşme katmanına zarar gelmesini önlemek maksadıyla önüne akustik lens olarak adlandırılan koruyucu bir malzeme de yerleştirilmektedir. Aktif

elementin arkasında bir sönümlenme bölgesi bulunmaktadır. Sönümleyici katman, muayene yönünün tersi istikametinde oluşacak sinyallerin yok edilmesi ve ekstra fiziksel girişimlerin önlenmesi vazifelerini yürütmektedir. Uygun bir elektriksel bağlantı ile beraber probun iç yapısı genel olarak Şekil 1.9b'deki gibidir [1]. Yaygın olan temaslı, açılı, gecikme hatlı ve daldırma tipi problemler de aynı yapıyı kullanmaktadır.

Şekil 1.10a'da bir çift elementli probun (dual element probe) genel görünümü, Şekil 1.10b'de ise çift elementli probun iç yapısı gösterilmiştir. Bu problemlerde, ultrasonik dalgaların gönderilmesi ve geri alınması işlemleri iki ayrı aktif element tarafından gerçekleştirilir. Şekil 1.10b'de 3 rakamı ile numaralandırılan gönderici ve alıcı birimlerini ikiye ayıran yapıya yalıtım bariyeri denilmektedir. Yalıtım bariyeri, iki ortamı (gönderici ve alıcı ortamları) birbirinden elektriksel ve akustik açıdan izole eden çift elementli problemler için özel bir yapıdır [1].



Şekil 1.10: Çift elementli prob ve iç yapısı: (a) Prob görünümü, (b) Probun iç yapısı.
1) Gönderici taban, 2) Gönderici kristal (aktif element), 3) Yalıtım bariyeri, 4) Alıcı taban, 5) Alıcı kristal (aktif element) [1]

Şekil 1.11'de gösterilen açılı problemlerin (angle beam probes) düz problemlerden en büyük farkı kristalin önüne eklenmiş olan takozdur. Takoz, kristalin ürettiği boyuna dalgaların malzemeye açılı bir şekilde gönderilmesini sağlayarak mod dönüşümü olayının gerçekleşmesini mümkün kılmaktadır [1]. Açılı prob ile gerçekleştirilen muayene değerlendirilirken düz problemlerde kullanılan hesaplama yöntemlerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Açılı problemlerin kullanılması, trigonometrik birtakım hesaplamaların muayene değerlendirmesi sürecine dahil edilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca

muayenede enine dalgaların kullanılması sebebiyle hesaplamalara katılan sesin ortamda yayılma hızının uygun şekilde değiştirilmesi gerekmektedir. Açılı problarla gerçekleştirilen bir muayenede, hatanın proba olan yatay uzaklığı ve yüzeye olan dikey uzaklığı bilgileri edinilmektedir. Bu problar endüstride sık bir şekilde kullanılmakta ve özellikle borulardaki kaynakların muayenelerinde tercih edilmektedirler.

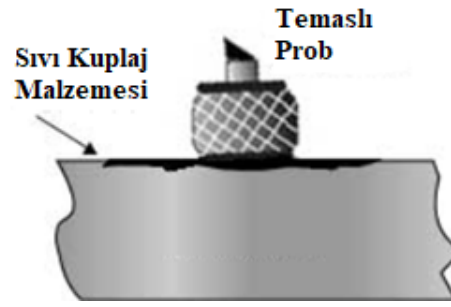


Şekil 1.11: Açılı prob ve iç yapısı: (a) Prob görünümü, (b) Probun iç yapısı. 1) Takoz, 2) Eşleşme katmanı (takoz-malzeme), 3) Eşleşme katmanı (takoz-kristal), 4) Kristal, 5) Eşleşme katmanı (kristal-sönümleme katmanı), 6) Sönümleme katmanı [1]

1.10 Ultrasonik Testte Sıvı Kuplaj Malzemesi Kullanımı

Şekil 1.12'de gösterildiği gibi sıvı kuplaj malzemesi, ses dalgalarının daha az kayıpla hedef malzemeye transferini sağlamak amacıyla prob ile test malzemesi arasında neredeyse tüm temaslı UT uygulamalarında kullanılmaktadır [28]. UT'de kullanılan ses yüksek frekanslı olduğu için hava yoluyla iletilmemektedir. Prob ile test malzemesi arasındaki son derece ince bir hava boşluğu dahi ortamlar arasında ultrasonik dalga transferini büyük ölçüde engellemekte ve konvansiyonel uygulamaları imkansız hale getirmektedir. Sıvı kuplaj malzemesinin kullanılma amacı, prob ile malzeme arasındaki akustik empedansı uygunlaştırmaktır.

Su, motor yağı, gres yağı ve saç jölesi gibi ürünler de temaslı muayene uygulamasında ultrasonik dalgaların iletilmesine yardımcı olmak amacıyla kuplaj malzemesi olarak kullanılabilirler. Ancak yüksek sıcaklıkta yapılan testler gibi bazı özel uygulamaların gerekli olduğu durumlarda akustik empedans uygunlaştırması için özel kuplaj malzemeleri kullanılmaktadır [28].

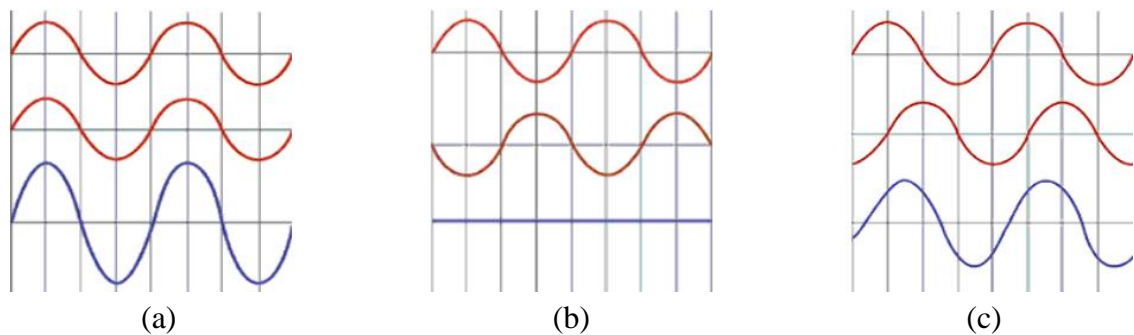


Şekil 1.12: Muayenede sıvı kuplaj malzemesi kullanımı [28]

Daldırma tipi UT'lerde, malzeme su tankının içerisinde bulunduğu için ekstra bir akustik empedans uygunlaştırması işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sıvı kuplaj malzemesi genellikle boyuna ve enine dalga modları ile temaslı muayene gerçekleştirilirken kullanılmaktadır. Yüzey ve lamba dalga modları ile sıvı kuplaj malzemesi kullanmadan da muayene yapılabilmektedir [8, 15, 20].

1.11 Ultrasonik Dalgaların Birbirlerine Girişim Etkileri

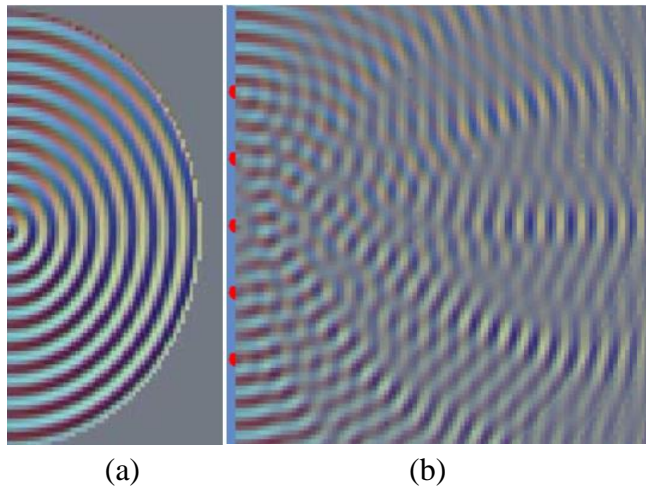
Ultrasonik dalgalar malzeme içerisinde yayılırken birbirleri üzerinde girişimlere sebep olmaktadır. Bu girişimlere yapıcı ve yıkıcı girişimler denilmektedir. Eğer aynı fazda ve aynı alternansta iki ultrasonik dalga birbiriyle girişim halinde bulunursa daha büyük genliğe sahip bir dalga oluşmaktadır. Farklı alternanslarda ve aynı fazda ise dalgalar birbirini sönmölemektedir. Farklı fazlarda olan dalgalar birbirleriyle etkileştiğinde sonuçta genliklerin toplamıyla oluşan başka bir dalga ortaya çıkmaktadır ve bu durumu Şekil 1.13 göstermektedir. Şekilde kırmızı dalgalar iki ayrı dalgayı, mavi dalga ise iki dalganın birbirlerine girişimleri sonucu oluşan dalgayı ifade etmektedir [29].



Şekil 1.13: Dalgaların birbirlerine girişim etkileri: (a) Aynı faz ve alternansta iki genlik, (b) Aynı faz farklı alternanslarda iki genlik, (c) Farklı fazlarda iki genlik [29]

Buraya kadar ultrasonik dalgalardan bahsedilirken tek bir ultrasonik dalga probdan çıkarak malzeme içerisine yayılıyormuş gibi bahsedilmiştir. Bu yaklaşım konuların anlaşılmasını kolaylaştırmak için tercih edilmiştir. Ancak pratikte ultrasonik dalgalar prob yüzeyinin tek bir noktasından üretilmek yerine probun yüzeyi boyunca birçok noktadan üretilerek ortama gönderilirler [5, 29].

Şekil 1.14a'da dalga, prob yüzeyinde tek bir noktadan yayılmaktadır. Boyuna dalgalar için aydınlık kısımlar malzeme taneciklerinin genleşmesini, karanlık kısımlar sıkışmasını ifade etmektedir. Ancak Şekil 1.14b'de görüldüğü üzere ultrasonik dalgalar prob yüzeyinde beş farklı noktadan üretildiğinde, prob yüzeyine yakın olan bölgede pek çok girişim olayının gerçekleştiği görülmektedir. Prob yüzeyine yakın olan alanda girişimler sebebiyle oluşan dalgalar muayenede anlamlandırılması zor olan bir bölgeyi ifade etmektedir. UT'de bu bölge yakın alan ya da Fresnel alan olarak bilinmektedir. Ancak şekilden de görüldüğü gibi yakın alandan dışarıya doğru yayılan dalgalar belli bir mesafeden sonra tekrar düzelmeye başlamaktadırlar. Yakın alanın bitiminden itibaren dalgaların tekrar düzgün yayılmaya başladığı bölgeye uzak alan veya Fraunhofer bölgesi denmektedir. Şekil 1.14b incelendiğinde uzak alanda da dalgaların birbirlerine girişim uyguladığı görülmektedir. Ancak bu girişimler yapıcı girişimlerdir ve yakın alandaki gibi muayeneyi olumsuz etkilememektedirler. Şekilde görüldüğü üzere uzak alandaki girişimlerle düzgün ve yoğun bir dalga alanı oluşmuştur. [5, 29].

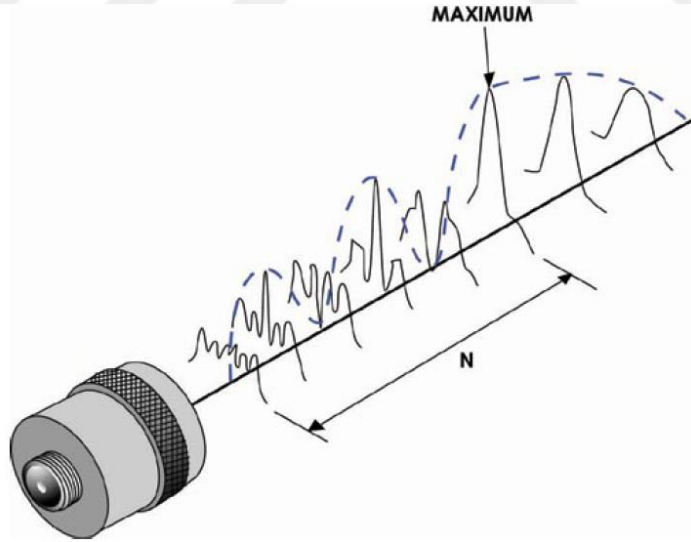


Şekil 1.14: Prob yüzeyinden yayılan ultrasonik dalgalar: (a) Tek bir noktadan yayılan dalga, (b) Beş farklı noktadan yayılan dalga [29]

Şekil 1.15’de görüldüğü üzere yakın alanda, prob yüzeyindeki pek çok noktadan ultrasonik dalgaların üretilmesi sebebiyle düzgün olmayan bir dalga paketi oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak malzemenin yakın alan mesafesi içerisinde kalan bölümünde konvansiyonel yöntemlerle doğru bir ölçüm yapmak oldukça zordur. Şekil 1.15’de N olarak adlandırılan mesafe probun yakın bölge mesafesidir ve N mesafesinin bittiği nokta probun doğal odağı olarak adlandırılmaktadır. Probu odak noktasından sonra uzak bölge başlamaktadır. Bu noktadan itibaren yapılan ölçümler mantıklı ve doğruluk oranı yüksek sonuçlar verecektir. Burada N mesafesi Formül (1.9)’dan hesaplanabilmektedir [5, 29].

$$N = D^2 f / 4c \quad (1.9)$$

Formül (1.9)’da N yakın bölge uzunluğu, D probun çapı, f probun frekansı, c ise malzemenin ses hızıdır. Buradan anlaşıldığı üzere probun yüzeyinin ve frekansının artması yakın alan mesafesini artırmaktadır.



Şekil 1.15: Probu yakın ve uzak alanla ilişkisi [5]

Yakın ve uzak bölge, muayenesi yapılacak malzemeye göre kullanılacak probun seçilmesinde son derece önemli bir konudur. Bir malzemenin muayenesi yapılırken yakın bölge mesafesi bu malzemeye uygun olan bir prob seçilmesi gerekir. Piyasada kullanılan çift elementli probalar, ince malzemelerde tek elementli problara göre daha

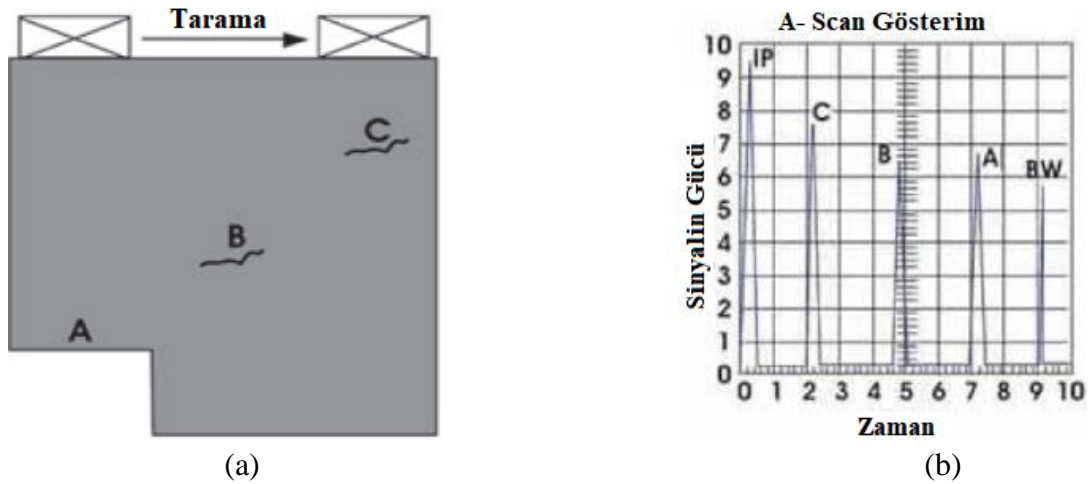
fazla tercih edilmektedirler. Bunun nedeni, çift elementli problarda aktif elementin prob içerisinde tek elementlilere göre daha geriye yerleştirilmesindedir. Bu prob tasarımıyla, yakın bölgenin bir kısmının prob içerisinde kalması amaçlanmıştır. Bu şekilde malzeme içerisinde oluşacak olan yakın bölge mesafesinin kısılması sağlanmıştır. Kısa yakın alan mesafesine sahip olmaları, basınçlı kap ve borulardaki korozyon muayenelerinde genellikle çift elementli problemlerin tercih edilme sebeplerinden biridir.

Ayrıca prob yüzeyinden çıkan dalgalar malzeme içerisinde yapıcı ve yıkıcı girişimlerle beraber yayılırken silindirik bir ses alanı oluştururlar. Bu silindirik alan dalgaların yayıldığı mesafe arttıkça genişlemeye başlar. Ses alanının genişlemeye başlamasının sebebi malzeme taneciklerinin sebep olduğu saçılmalardır.

1.12 Ultrasonik Testte Verilerin Sunulması

UT işleminin sonuçları üç farklı şekilde sunulabilmektedir ve bunlar A-Scan, B-Scan ve C-Scan olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde modern bilgisayarlı ultrasonik tarama sistemleri üç çeşit veri gösterimini de aynı anda sunabilmektedir. Şekil 1.16a'da gösterilen muayene işleminde gri olan kısım muayene malzemesidir. A bölgesi malzemenin diğer kısımlarına göre daha az derinliğe sahiptir. Ayrıca malzeme B ve C şeklinde isimlendirilen iki farklı hataya sahiptir. Malzemenin üzerindeki prob soldan sağa doğru gezdirilerek muayene işlemi yapılmaktadır.

Ultrasonik verilerin A-Scan gösterimi, yansıyan ultrasonik sinyallerin güçlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak sunulmasıdır. Şekil 1.16b'de gösterildiği gibi sinyallerin A-Scan gösteriminde y eksenini yansıyan sinyalin gücünü, x eksenini ise ultrasonik dalgaların malzeme içerisindeki seyahat zamanını ifade etmektedir. Bu gösterimde tespit edilen hatanın büyüklüğü incelenirken, hatanın sinyali ne kadar zayıflattığı gözlemlenerek bir yorum yapılabilir. Şekil 1.16b'de IP (Initial Pulse, Başlangıç Darbesi) olarak gösterilen sinyal başlangıç darbesini temsil etmektedir. Şekilde görülen ve harflerle işaretlenen bütün sinyaller muayene sürecinde aynı anda gözlemlenmez. Öncelikle Şekil 1.16a'da prob en soldayken A-Scan sunum yapan ekranda IP ve A sinyalleri görünecektir. Bu kısımda herhangi bir hata olmadığı için sadece arka duvar yankısı ve başlangıç darbesi ekranda görüntülenmelidir. Burada arka duvar yankısı Şekil 1.16b'deki A yankısıdır.

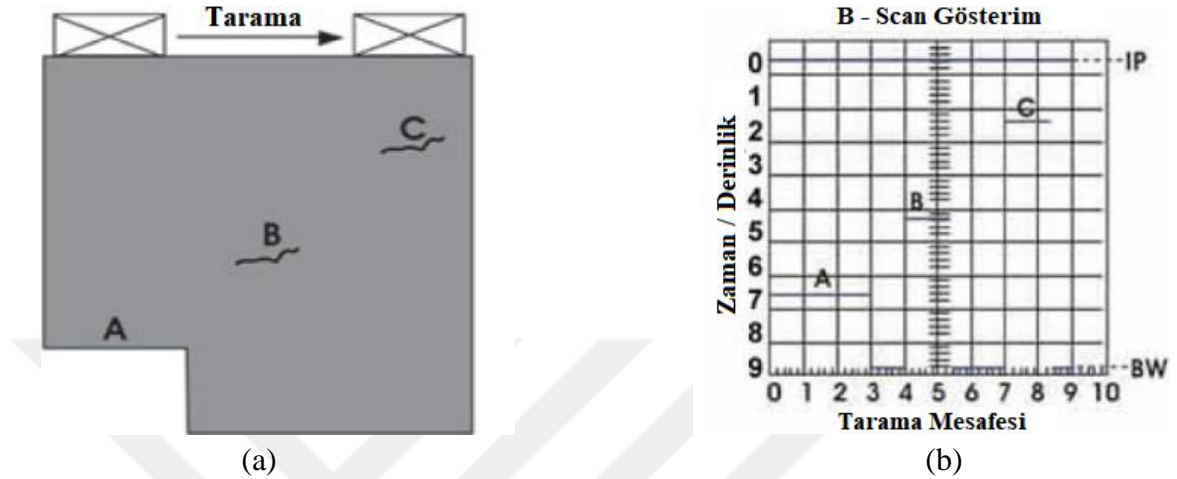


Şekil 1.16: Ultrasonik test verilerinin A-Scan sunumu: (a) Temsili muayene ortamı, (b) Ultrasonik sinyallerin A-Scan gösterimi [5]

Prob sağa doğru kaydırılıp B olarak adlandırılan hatanın üzerine getirildiğinde Şekil 1.16b'deki ekranda IP, B ve BW (Back Wall, Arka Duvar) yankıları görülecektir. B yankısı hatadan geri dönen yankıları ifade etmektedir. BW ise arka duvar yankısını ifade etmektedir. Şekil 1.16b'de BW ile A yankıları karşılaştırıldığında ikisi de arka duvar yankısı olarak değerlendirildiği halde BW'nin daha geç gelmesinin sebebi Şekil 1.16a'da görüldüğü gibi A mesafesinin BW'ye göre daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Prob tekrar sağa kaydırılıp C hatasının olduğu noktaya geldiğinde ise ekranda IP, C ve BW sinyalleri oluşacaktır. C hatası, B hatasına göre yüzeye daha yakın bir hata olduğu için Şekil 1.16b'deki gösterimde yankı daha erken oluşmuştur.

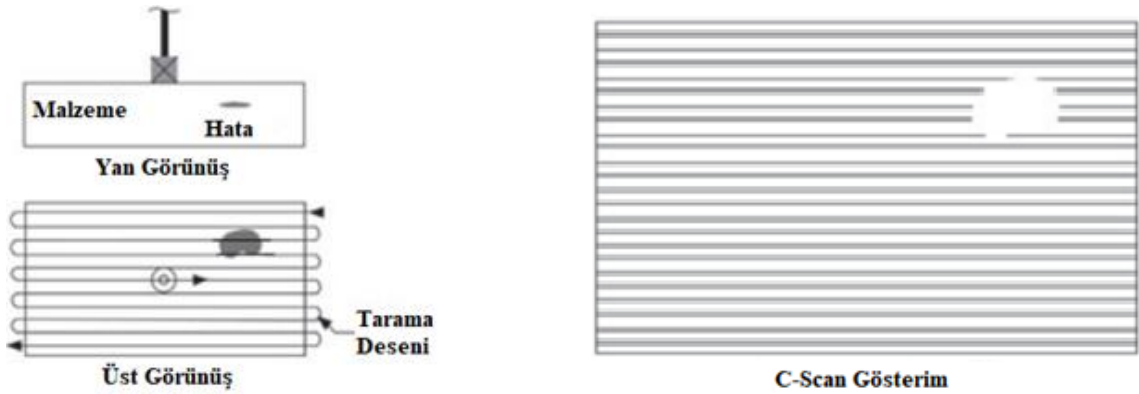
B-Scan sunum, muayene malzemesinin enine kesit görüntüsüdür ve Şekil 1.17b'de verilmiştir. B-Scan'de dikey eksen ultrasonik dalgaların seyahat sürelerini, yatay eksen ise enine kesit boyunca probun yer değiştirme mesafesini ifade etmektedir. B-Scan sunumdan, hatanın derinliği ve enine kesit içerisindeki konumu belirlenebilir. B-Scan gösterim oluşturulurken, A-Scan muayenelerden yararlanır. Kesit boyunca A-Scan sunumunda bir tetikleme kapısı kurularak muayene işlemleri yapılır. Gelen sinyalin gücü kapıyla belirlenen güç eşliğini her geçtiğinde B-Scan için enine kesit içerisindeki muayene noktasına ait bölüm üretilir. Şekil 1.17b'de verilen B-Scan görüntüsünde A çizgisi üretilirken prob malzemenin en solunda kalınlığı azaltılmış kısmı üzerinde gezmektedir. Prob sağa doğru hareket ettiğinde BW arka duvar hattı üretilmeye başlar. Prob sağa doğru hareketine devam ettiğinde B ve C kusurlarının malzeme içerisindeki

derinliklerine bağılı olarak çizgiler üretilir. Kısacası B-Scan gösterimde, Şekil 1.17a'da gösterilen malzemenin muayene edilen kesitinin iç görüntüsü elde edilmektedir.



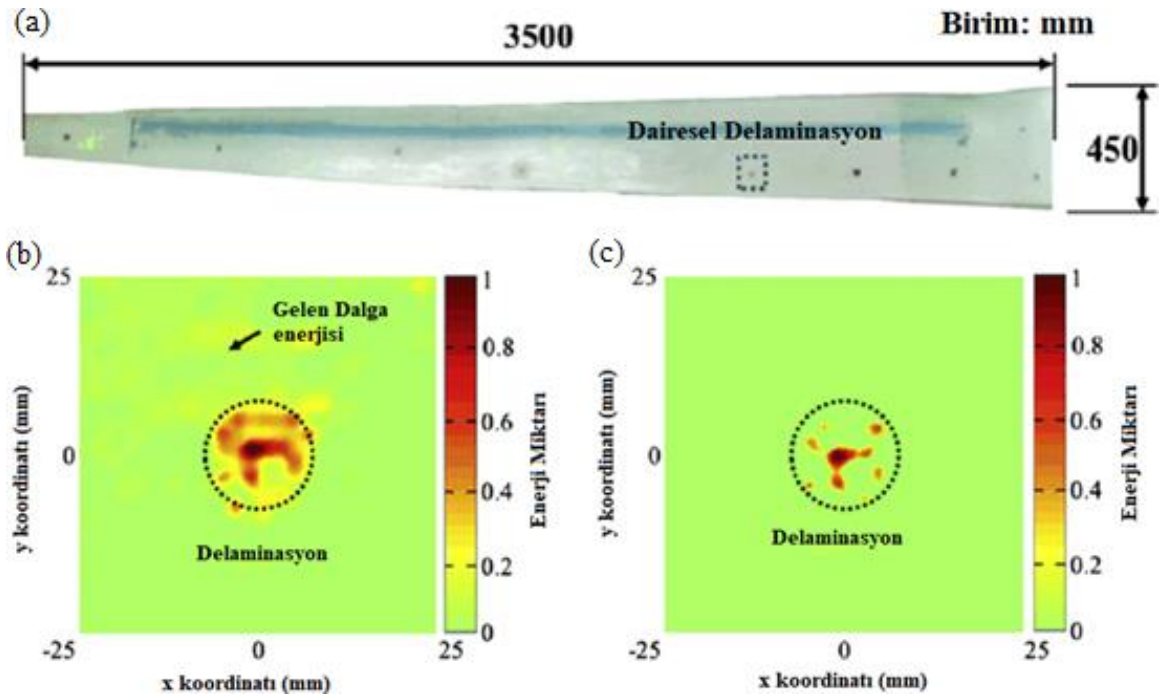
Şekil 1.17: Ultrasonik test verilerinin B-Scan sunumu: (a) Temsili muayene ortamı, (b) Ultrasonik sinyallerin B-Scan gösterimi [5]

B-Scan'de malzemenin sadece bir kesiti taranırken, C-Scan gösterimde muayene edilen malzemenin bir yüzeyinin tamamının taraması gerçekleştirilmektedir. Malzemenin tamamının taranması malzeme içerisindeki hataların yeri ve derinliği hakkında bilgileri verirken muayene bir resim haline dönüştürülebilmektedir. Şekil 1.18'de probun malzeme üzerinde muayene işleminde izleyeceği tarama rotası verilmiştir. Malzemenin üst kısmı tamamen taranarak bir resim oluşturulmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi hatanın yeri ve büyüklüğü hakkında net bilgiler sunmaktadır. Bu tarama şekli genellikle bilgisayar kontrollü ultrasonik tarama sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler, büyük ve düzgün şekilli malzemelerin muayenelerinde tercih edilmektedirler. Bu gösterimde de yine A-Scan taramalar her nokta için gerçekleştirilir. Yansıyan sinyalin gücü o noktanın koordinat bilgisi ile birlikte kaydedilir [30]. Bu işlem malzemenin ilgili yüzeyindeki her nokta için gerçekleştirilir. A-Scan sinyal sonuçlarında sinyallerin gücüne ve yankıların geliş sürelerine göre her bir sinyal için grinin tonları arasında değişen bir renk oluşturulur. Eğer sistemin muayene çıktısı siyah ve beyaz arasında değişen bir görüntü olacaksa bu geçerlidir. Ancak gri renk kullanılması bir zorunluluk değildir. Son olarak, her bir konum için elde edilen renk değerleri birleştirilerek malzemenin görüntüsü çıkarılır.



Şekil 1.18: Muayenenin C-Scan gösterimi [5]

Şekil 1.19'da bir rüzgar türbini kanadının C-Scan muayenesi gerçekleştirilmiştir. Bu muayene sonucunda, yüksek çözünürlüklü ve türbin kanadıyla aynı şekle sahip bir resim oluşmuştur. Değerlendirme sonucunda kompozit bir malzemedan üretilen türbin kanadı üzerinde bir delaminasyon hatası tespit edilmiştir. Şekil 1.19b'de elde edilen muayene resminde delaminasyonun net görülebilmesi için hatalı kısım büyütülmüştür. Şekil 1.19c'de ise bu muayenenin gerçekleştirildiği sistem için geliştirilen görüntü işleme özellikleriyle delaminasyonun daha net görüntülenmesi sağlanmıştır.



Şekil 1.19: Rüzgar türbinine ait bir kanadın C-Scan muayenesi: (a) Tübin kanadı, (b) Hatalı noktayı gösteren tarama sonucu, (c) Görüntü işleme uygulaması gerçekleştirilmiş tarama sonucu [7]

1.13 Android Uygulama Geliştirme

Android uygulamalar geliştirilirken iki farklı programlama dili bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programlama dilleri Java ve XML'dir. Android programlamada Java ile geliştirilen uygulamanın davranışları yazılmaktadır. Örneğin bir butona basıldığında nasıl bir davranış sergileyeceği Java diliyle yazılan kodlar tarafından belirlenir. XML ile Android uygulamaların görsel düzenlemeleri gerçekleştirilir. Bir butonun büyüklüğü, içine yazılacak metin gibi düzenlemeler bu dil ile yapılır. Bilindiği gibi Java ile yazılan bir uygulamanın bilgisayar ortamında çalıştırılabilmesi için bilgisayarda Java Sanal Makinesi'nin (JVM, Java Virtual Machine) kurulu olması gerekmektedir. Çünkü sanal makine, Java kodu derlendikten sonra ortaya çıkan ve byte code denilen özel yapının bilgisayar tarafından yorumlanmasını sağlamaktadır. Android tabanlı akıllı telefonlarda ise uygulamaların koşturulması için JVM yerine Dalvik Sanal Makinesi (DVM, Dalvik Virtual Machine) denilen bir yapı kullanılmaktadır.

Android uygulamalar akıllı telefonda koşturulurken telefon ekranında görünen her bir sayfaya aktivite denilmektedir. Her aktivite, davranışlarının yazıldığı bir Java sınıfa ve görsel çalışmalarının gerçekleştirildiği bir XML dosyasına sahiptir. Bir Android uygulama koşturulmak istendiğinde, akıllı cihaz öncelikle o uygulamaya ait Android Manifest diye adlandırılan ve XML ile yazılan dosyaya bakar. Bu dosya uygulamanın hangi aktivite ile başlatılacağına ve akıllı telefonda bulunan hangi donanımlara erişim izni olacağına karar verilen kısımdır. Uygulama geliştirilirken oluşturulan bütün aktivitelerin isminin de bu dosyanın içerisine eklenmiş olması gerekmektedir. Android Manifest'e eklenmeyen bir aktiviteye program çalışırken erişilememektedir. Çünkü akıllı telefona böyle bir aktivitenin varlığı bildirilmemiş olur.

Android geliştirme platformunda uygulamaların C ve C++ dilleri ile geliştirilmesine imkan veren Android NDK (Native Development Kit, Yerel Geliştirme Kiti) adlı özel bir yapı da bulunmaktadır [31]. Bu sayede bu dillere aşina olan kişiler de Android uygulama geliştirebilmektedir. Ayrıca bu özellik uygulama geliştirme ortamına pek çok fayda sağlamaktadır. Örneğin günümüzde C++ görüntü işlemede kullanılmaktadır ve Android NDK sayesinde akıllı telefon üzerinde görüntü işleme çalışmaları rahatlıkla yapılabilmektedir. Ayrıca C programlama diliyle yazılmış olan DSP uygulamaları, DSP

entegreleri yerine akıllı telefon işlemcilerinin yüksek veri işleme yetenekleri sayesinde telefon üzerinde de gerçekleştirilebilmektedir [21].

Android uygulama geliştirme ortamının geliştiriciye sağladığı özellik ve avantajların çok fazla olması sebebiyle hepsini anlatılabilmek güçtür. Bu yüzden tez çalışmasına ait gereç ve yöntem bölümünde, sadece çalışma kapsamında geliştirilen Android arayüzde yararlanılan özelliklere değinilmiştir.



BÖLÜM 2

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1 Ultrasonik Verinin Yorumlanması

Ultrasonik dalgaların üretilmesi ve yankı sinyallerinin geri kazanılması kadar muayene sinyalinin değerlendirilmesi işlemi de son derece önem arz etmektedir. Ham bir sinyale bakarak bazı tahminler yürütülebilse de kesin sonuçların elde edilebilmesi mümkün değildir.

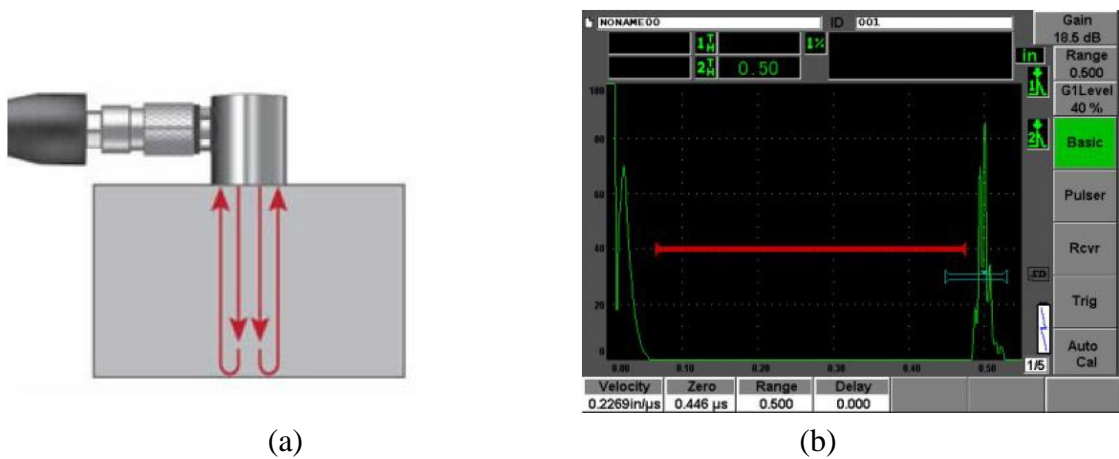
UT işlemi, tek elementli problemlerle gerçekleştirilirken iki yöntem kullanılabilir. Bunlar doğrudan geçişli (TT, Through Transmission) ve darbe yankı (PE, Pulse Echo) yöntemleridir. TT yönteminde, malzemenin iki yüzünde iki farklı prob bulunmakta, bunlardan birisi sinyal gönderici diğeri ise sinyal alıcı eleman olarak çalışmaktadır [32]. Bu yöntemde, malzemenin iki farklı yüzeyinde olan problemlerin sürekli birbirlerini göreceği konumda tutulmaları gereklidir. Bu yüzden TT yöntemi genellikle otomatik tarama sistemlerinde kullanılır. Bu yöntemde gönderilen ultrasonik dalgaların zayıflama miktarına bakılarak hedef malzeme hakkında yorum yapılır. PE yöntemiyle muayene gerçekleştirilirken ultrasonik dalgaların hem gönderilmesi hem de alınması işlemi aynı prob tarafından yapılır. PE yöntemiyle UT gerçekleştirilirken sinyalin değerlendirilmesi işleminde Formül (2.1) kullanılır.

$$d = v(t/2) \quad (2.1)$$

Formül (2.1)'de d muayene yüzeyinden yankının geldiği noktaya olan mesafe, v malzeme içerisindeki ses hızı ve t ise yankı işaretinin gönderilme ve geri alınma süreleri arasındaki farktır [33]. Formülde zamanın ikiye bölünmesinin nedeni, t süresinin ultrasonik dalgaının gitme ve gelme süresinin toplamına eşit olmasından kaynaklanır. Mesafeyi bulmak için gerekli olan zaman ise dalgaının ilgili noktaya gitme süresidir.

Sürenin iki kat olarak elde edilmesinin fiziksel nedeni, darbe yankı yönteminde dalgaların gönderilme ve alınma işleminin aynı prob tarafından gerçekleştirilmesidir.

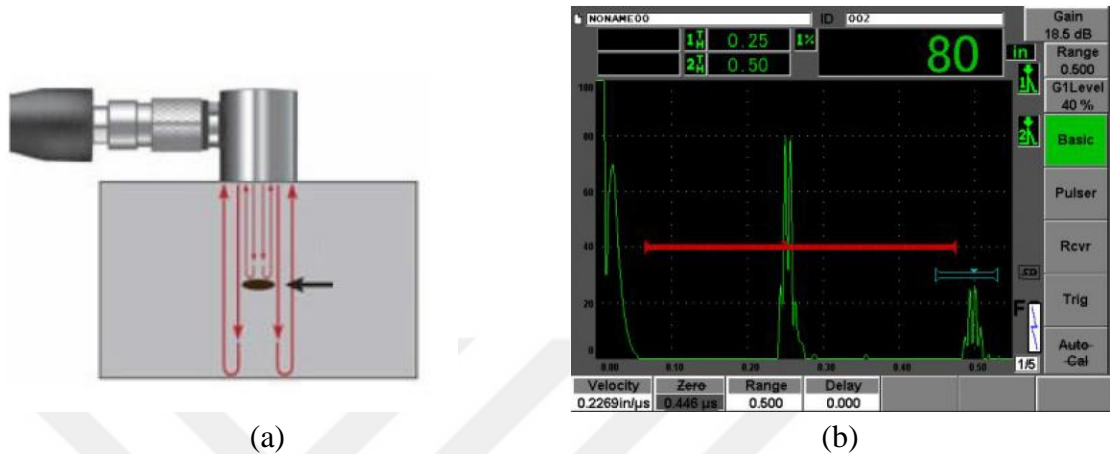
Şekil 2.1a'daki muayenenin gerçekleştiği bölgede malzeme içerisinde bir hata bulunmadığı için Şekil 2.1b'de verilen A-Scan sunumunda dönen sinyallere bakıldığında sadece başlangıç darbesi ve arka duvar yankısı olduğu görülmektedir. Muayenenin başlangıcında, probdan üretilen ultrasonik dalgalar malzemeye girerken iki ortam arasındaki akustik empedans farkından dolayı dalgaların bir kısmı muayene yüzeyinden geri yansımakta diğer kısmı ise malzemeye nüfuz etmektedir. Muayene yüzeyinden yansıyan yankılar, Şekil 2.1b'de görülen başlangıç darbesini oluşturmaktadır. Malzemeye nüfuz eden yankılar ise yeni bir akustik empedans farkıyla karşılaşmadıkları sürece yollarına devam etmektedirler. Şekil 2.1'de gerçekleştirilen muayenede malzeme içerisinde herhangi bir hata bulunmadığı için ultrasonik dalgalar arka yüzeye kadar yollarına devam ederler. Malzemenin arka yüzeyine ulaştıklarında ise yüksek akustik empedans farkından dolayı (metal-hava ara yüzü) dalgaların büyük bir kısmı yüzeyden geri yansırken çok küçük bir kısmı malzemeyi terk eder. Arka yüzeyden geri dönen bu ultrasonik yankılar Şekil 2.1b'deki arka duvar yankısını oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.1: Darbe yankı yöntemi ile kalınlık ölçümü: (a) Muayene işlemi, (b) Muayene sonucunun gösterimi [34]

Şekil 2.2a'da ise malzeme içerisinde ok ile işaret edilen bölgede bir hata mevcuttur. Bu hatadan geri dönen hata yankısı, başlangıç darbesi ve arka duvar yankısı arasında Şekil 2.2b'de görülmektedir. Malzemeye nüfuz eden ultrasonik dalgalar bir hata ile

karşılaştıklarında hata ve malzeme arasındaki akustik empedans farkından dolayı geri yansımakta ve hata yankısını oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.2: Darbe yankı yöntemi ile hata tespiti. (a) Muayene işlemi, (b) Muayene sonucunun gösterimi [34]

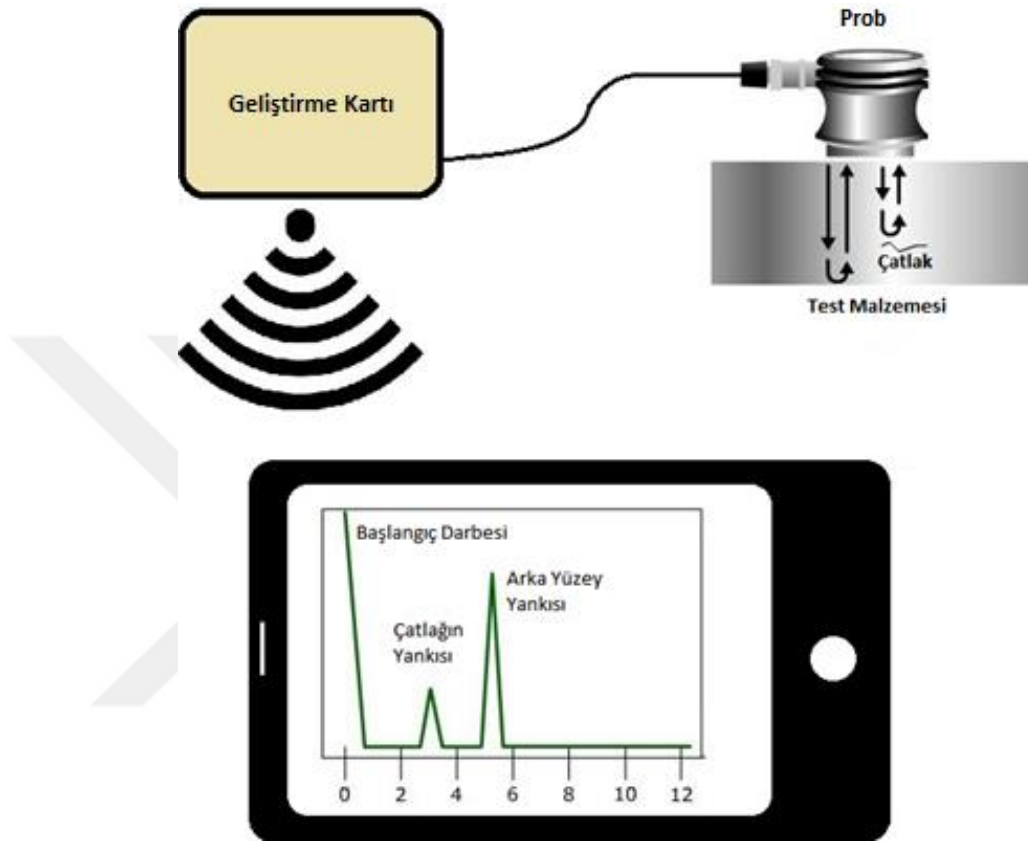
Şekil 2.1b ve 2.2b karşılaştırıldığında Şekil 2.2b'deki arka duvar yankısının zayıflamış olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni, ultrasonik dalgaların bir kısmının tabana ulaşmadan hatadan geri yansımalarından dolayı arka duvar yankısının zayıflamasıdır.

Ultrasonik sinyallerin değerlendirilmesinde yankılar incelenirken iki farklı yöntem izlenebilir. Birinci yöntem başlangıç darbesi ve ilk yankının değerlendirilmesi, ikinci yöntem ise ilk ve ikinci yankının incelendiği yankının yankısı değerlendirilmesidir. İkinci yöntem başlangıç darbesinin aşırı kuvvetlenmesi gibi bazı durumlarda tercih edilmektedir. Bu iki yöntemden birisi tercih edildikten sonra Formül (2.1) kullanılarak sinyaller yorumlanır. Hız bilgisi, ilgili malzeme için sabittir ve bu değer başlangıçta kullanılan cihaza girilir. Zaman bilgisi ise ölçüm sonucunda elde edilerek formüle girilir. Değerlendirme sonucunda, yüzeyden arka duvara kadar olan veya bir hata varsa yüzeyden hataya kadar olan mesafe bilgileri elde edilir.

2.2 Geliştirilen Sistem

UT işlemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla tez çalışması kapsamında geliştirilen sistem, ultrasonik dalgaların üretim-geri kazanım işlemlerini yerine getiren bir

ultrasonik geliştirme kartı ve akıllı telefonlar için bir Android arayüz programından oluşmaktadır. Geliştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Geliştirilen sistemin blok diyagramı

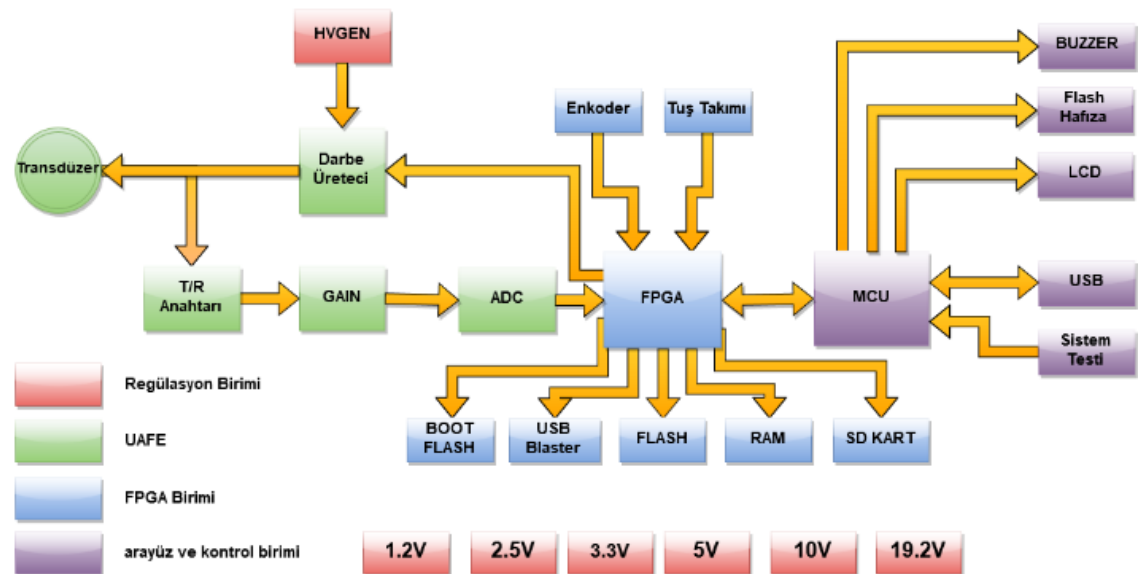
Bu sistem kullanılarak UT yapılırken, öncelikle Android arayüzü ile Bluetooth üzerinden muayene için ihtiyaç duyulan konfigürasyon verileri geliştirme kartına gönderilir. Geliştirme kartı, bu verilerle muayene için gerekli konfigürasyon ayarlarını yaptıktan sonra Android arayüzünden gelecek olan muayene başlatma komutunu bekler. Muayeneyi başlat komutu alındığında ultrasonik dalgalar malzemeye gönderilmek üzere üretilir. Geliştirme kartı, ultrasonik dalgayı üretip gönderdikten hemen sonra geri dönen ultrasonik yankıları dinlemeye başlar. Prob tarafından elektriksel işaretlere dönüştürülen ultrasonik yankılar sayısallaştırılarak akıllı telefona gönderilir. Daha sonra akıllı telefon uygulamasında ultrasonik sinyalin değerlendirilme işlemi gerçekleştirilir. Kısaca geliştirme kartı, ultrasonik dalgaların üretilmesi, dönen dalgaların kazanılıp sayısallaştırılması ve bu verinin akıllı telefona Bluetooth üzerinden gönderilmesinden

sorumludur. Ultrasonik sinyallerin değerlendirilme ve yorumlanma işlemleri ise akıllı telefon arayüzünde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.3'teki akıllı telefon ekranında temsil edilen muayene gösterimi A-Scan sunumdur. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sistem de hataların gösteriminde A-Scan sunum formatını kullanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen muayene sistemi donanım ve yazılım olarak iki ayrı kısımda incelenecektir.

2.2.1 Donanım Geliştirmesi

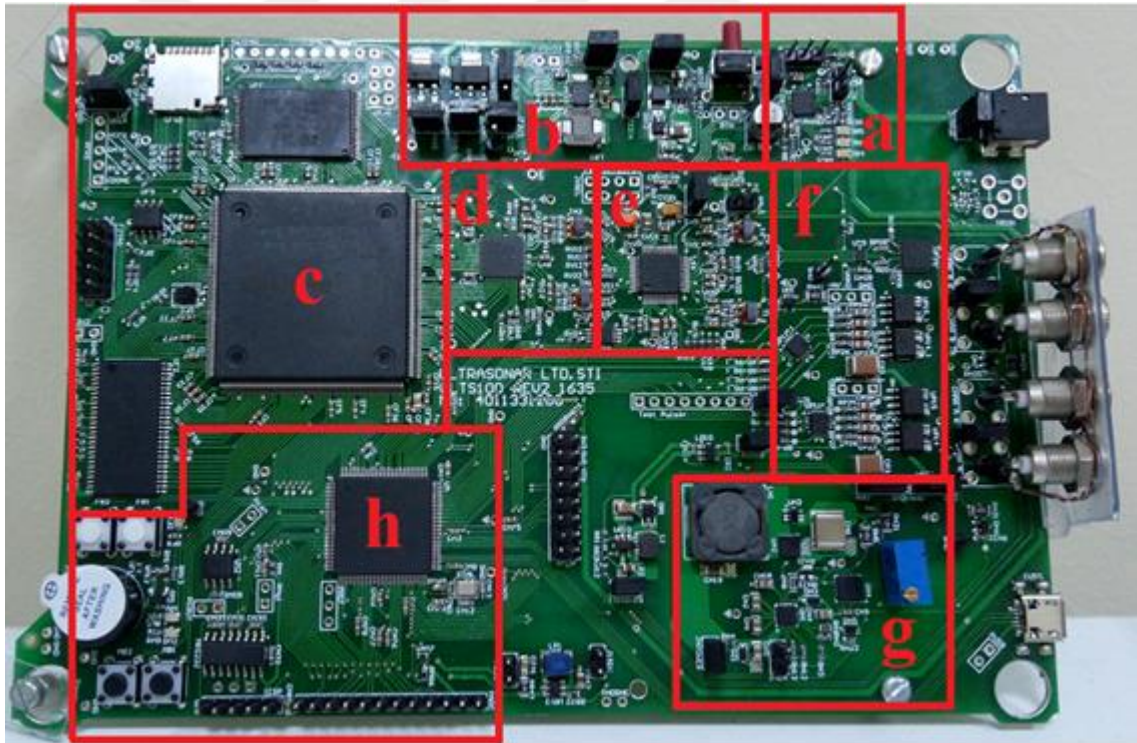
Tez çalışmasında hazır olarak kullanılan ultrasonik geliştirme kartı daha önce TMSC6416 tabanlı bir DSP geliştirme kitinin yardımcı birkaç geliştirme kiti ile birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. TMSC6416 kiti kullanılarak yapılan çalışmalardan kazanılan tecrübe ve bilgiyle bu ultrasonik geliştirme kartı geliştirilmiştir [35, 36]. Ultrasonik geliştirme kartının genel yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu kart genel olarak dört kısma ayrılmaktadır. Bu kısımlar regülasyon birimi, ultrasonik analog ön uç (UAFE, Ultrasonic Analog Front End), FPGA birimi ve kontrol birimidir.



Şekil 2.4: Geliştirme kartının genel diyagramı [36]

Şekil 2.5'te sistemi gerçekleştirmek için kullanılan geliştirme kartı görülmektedir. Bu kart, çift kanal (darbe üretici, kuvvetlendirme ve örnekleme birimleri) olarak tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen sistemin geliştirme kartı kısmına ait özellikleri aşağıdaki

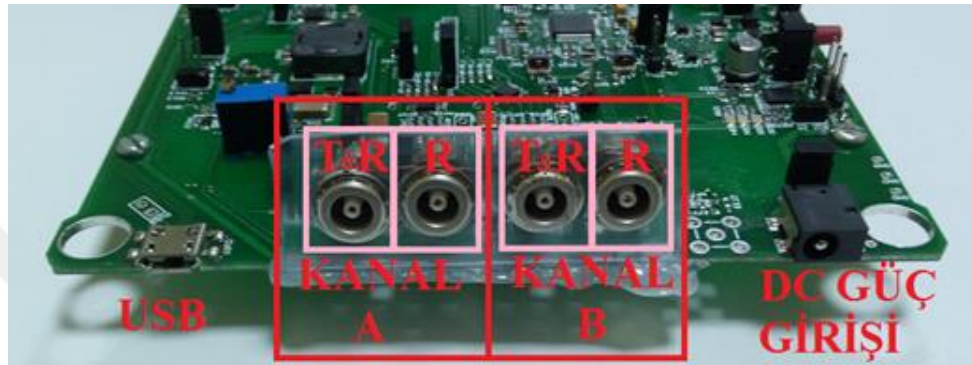
gibi özetlenmiştir. +40 V ile +200 V arasında ayarlanabilen yüksek genlik üretimi yapılabilmektedir. Kartın darbe üretici kısmı, ± 200 V genlikli 1 ile 10 MHz arası belirli frekanslarda darbe üretimi yapabilmekte ve her bir vuruşta darbelerin sayısı ayarlanabilmektedir. Dönen sinyalleri +72 dB'ye kadar analog kuvvetlendirebilme özelliğine ve dönen sinyalleri 100 MHz'te örnekleme birimine sahiptir. Örneklenen verilerin üzerinde DSP işlemlerinin uygulandığı bir FPGA birimi mevcuttur. Geliştirme kartını yöneten ve USB gibi pek çok çevresel birimi çalıştıran yüksek hızlı (200 MHz) bir mikrodenetleyici birimi bulunmaktadır. Tek ve çift elementli problarla çalışabilme yeteneğine sahiptir. UT işlemini TT ve PE yöntemleriyle gerçekleştirebilmektedir. Kartta bulunan batarya yönetim sistemi sayesinde batarya kullanımıyla mobil çalışabilme imkanı sunulmaktadır. [36]



Şekil 2.5: Geliştirme kartı ve birimleri: (a) Batarya yönetim sistemi, regülasyon birimi, (c) FPGA birimi, (d) Örnekleme birimi, (e) Kuvvetlendirme birimi, (f) Darbe üretici ve yankı alma birimi, (g) Yüksek voltaj birimi, (h) Mikrodenetleyici birimi [36]

Geliştirme kartının besleme, prob ve USB bağlantı soketleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Geliştirme kartı UT işlemi için TT ve PE yöntemleri ile çalışmayı destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. İki kanallı olarak tasarlandığı için TT ve PE yöntemleri ile muayene

yapılabilen iki ayrı kanal bulunmaktadır. Kanallardaki T&R soketi tek elementli problemlerle çalışmayı desteklemek içindir. Yapılan konfigürasyon ayarına göre hem dalgaların gönderilmesi hem de geri dönen sinyallerin kazanılması işlemleri T&R soketinden gerçekleştirilebilmektedir. Her kanal tek ve çift element problemlerle darbe yankı yöntemini ayrı ayrı gerçekleştirebilmektedir [36].



Şekil 2.6: Geliştirme kartının prob, USB ve adaptör giriş kısımları [36]

2.2.1.1 Regülasyon Birimi

Tez çalışması kapsamında kullanılan geliştirme kartı, sağlıklı bir şekilde çalışabilmek için birçok noktada farklı gerilimlere ihtiyaç duymaktadır. Regülasyon birimi kartın ihtiyaç duyduğu farklı genlik seviyelerini üreten güç kaynaklarından meydana gelmektedir. Geliştirme kartının ana güç hattı beslemesi 2.7 V ile 5.5 V arasındaki değerlerde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Geliştirme kartında gürültü hassasiyeti yüksek olan birimlerde düşük gürültülü lineer regülatörler, diğer birimlerde ise anahtarlamalı regülatörler kullanılmıştır. Sistemde en çok güç tüketiminin gerçekleştiği bölüm 3.3 V çıkışıdır. Bu değer batarya aktif sahası içerisinde bulunduğu için lineer regülatör kullanılması halinde batarya kapasitesi tam olarak kullanılamayacaktır. Bu nedenle verimi artırmak amacıyla özel bir regülasyon tipine sahip olan Buck-boost regülatörler kullanılarak 3.3 V çıkış üretilmiştir. Bu uygulamayla, giriş voltajı 3.3 V değerinden yüksek ise gerilimi düşürerek 3.3 V çıkışı, giriş voltajı 3.3 V'un altına düştüğünde ise düşük gerilimi arttırarak 3.3 V çıkışı elde edilmektedir [36].

Regülasyon birimine ait yüksek genlik üretme birimi sayesinde darbe üretici biriminin ihtiyaç duyduğu gerilim üretilmektedir. Bu birimde genlik değerinin +200V

seviyelerine çıkarılması için özel bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Anahtarlamalı genlik arttırıcı bir regülatör kullanılarak pozitif alternansta genlik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu birim sayesinde üretilen tek kutuplu ve pozitif alternansa sahip darbeler hata tespiti ve kalınlık ölçümü işlemleri için kullanılmaktadır.

2.2.1.2 Ultrasonik Analog Ön Uç (UAFE) Birimi

Darbe üretici birimi, problemlerin ihtiyaç duyduğu gerilimi yüksek genlik üretici biriminden alarak yüksek frekanslı darbeleri üreten birimdir. Bu birimde, UT sistemleri için özelleşmiş bir MOSFET entegresi ve bu entegreyi süren bir sürücü devresi bulunmaktadır. Sürücü devre FPGA'den tetikleme sinyallerini aldığı anda darbe üretici birimi yüksek genlik ve yüksek frekanslı darbeleri üretmekte ve probu beslemektedir. Bu birimin FPGA tarafından yönetilmesi ile sisteme arzu edilen vuru sayısı ve frekansta darbe üretme özelliği kazandırılmıştır.

UT işlemi gerçekleştirilirken, ultrasonik dalgaların malzemeye gönderilmesinin hemen ardından malzemedan dönen ultrasonik yankılar prob ile tekrar sinyale dönüştürülerek mili voltlar seviyesinde elde edilirler. Geliştirme kartında belli bir eşikten (2V) yüksek genliğe sahip gerilimleri engelleyip eşik seviyesinin altındaki gerilimlerin geçmesine izin veren yapı T/R anahtarıdır (Transfer Receive Switch, Gönderme Alma Anahtarı). Ultrasonik dalgaların gönderilme ve geri alınma işlemi, nanosaniyeler (50ns) mertebesinde bir zaman diliminde gerçekleştirilmektedir. Yankı sinyalleri bu birimden geçtikten sonra anlamlı ultrasonik işaretler kuvvetlendirme birimine aktarılmaktadır [36].

Dönen ultrasonik yankılardan elde edilen zayıflamış sinyallerin sayısallaştırılma işleminden önce kuvvetlendirilmesi gerekebilmektedir. UAFE kısmında bulunan kuvvetlendirme birimi bu işlemi gerçekleştirmektedir. Bu birimde kullanılan entegrenin iki çeşit kuvvetlendirme yeteneği bulunmaktadır. Bunlar düşük gürültülü ön kuvvetlendirici (LNP, Low Noise Preamplifier) ve değişken kazanç kuvvetlendiricisidir (VGA, Variable Gain Amplifier). LNP dört farklı kuvvetlendirme seviyesine sahipken, VGA'nın kuvvetlendirme miktarı analog olarak farklı seviyelere ayarlanabilmektedir. Bu birim genel olarak sinyali +72 dB'ye kadar kuvvetlendirebilmektedir.

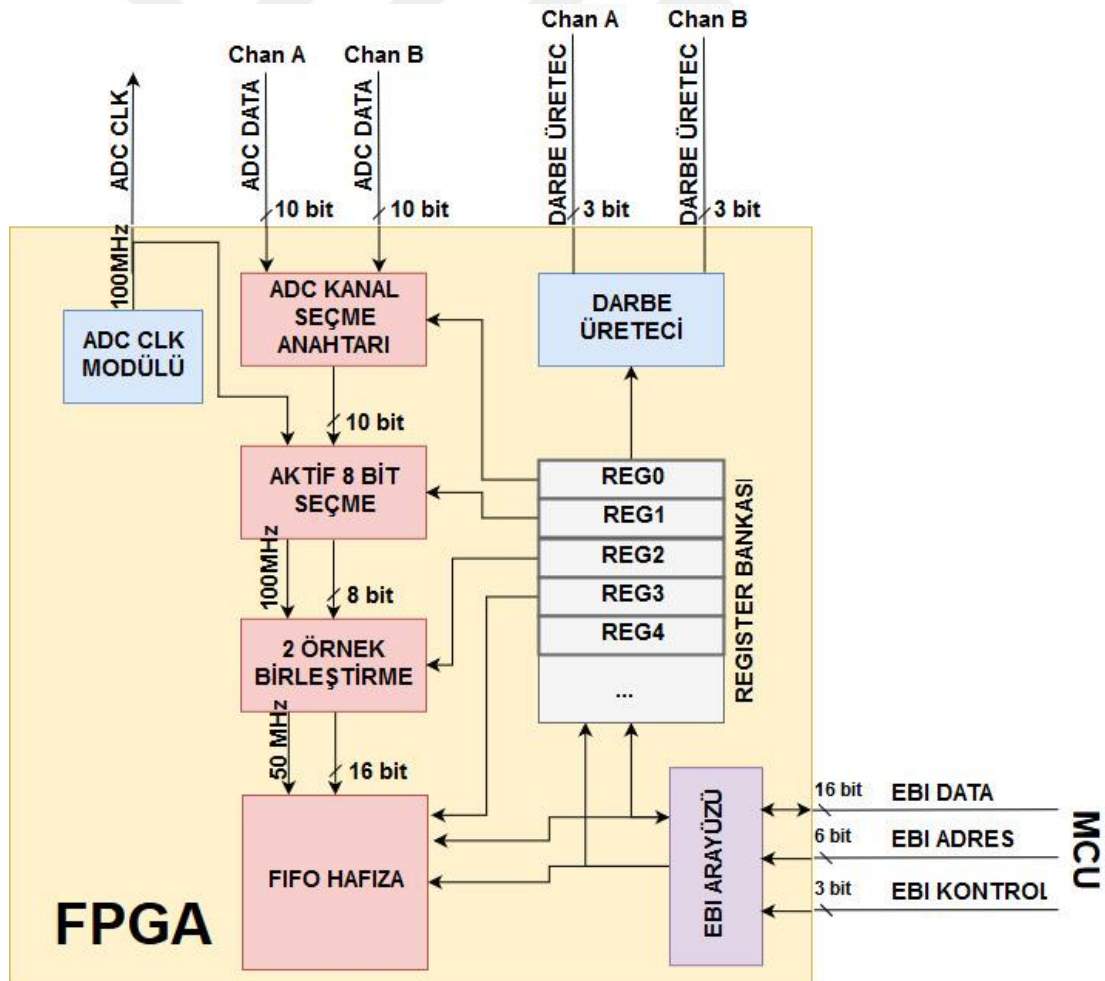
Dönen ultrasonik yankılar kuvvetlendirme birimi tarafından kuvvetlendirildikten sonra örnekleme birimi tarafından sayısallaştırılmaktadır. Geliştirme kartı, 1 ile 10 MHz arasındaki frekanslara sahip problemlerle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu frekans aralığındaki sinyallerin sayısallaştırılması için 100Msps 10 bit örnekleme yeteneğine sahip bir analog sayısal dönüştürücü (ADC, Analog to Digital Converter) entegresi kullanılmıştır. ADC saat frekansı 100 MHz olup bu saat kaynağı FPGA ile harici olarak sağlanmaktadır.

2.2.1.3 FPGA Birimi

Geliştirme kartında, Altera Cyclone III FPGA entegresi kullanılmıştır [37]. Muayene işlemi gerçekleştirilirken 10 MHz'e kadar olan ultrasonik dalgaların üretilebilmesi için darbe üretici tarafından gerekli sinyal üretiminin sağlanması ve ADC çıkışlarının okunma işleminin FPGA tarafından aynı anda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü dalgaların gönderilme ve alınma işlemi arasında çok kısa bir süre bulunur. Hem sistemin kontrol edilmesi hem de çok kısa bir zaman diliminde malzemedeki dönen dalgaların geri kazanılması işlemlerinin bir mikrodenetleyici ile aynı anda yapılabilmesi mümkün değildir. Paralel işlem yeteneği sayesinde FPGA bahsedilen süreci sağlıklı bir şekilde yerine yönetebilmektedir. Ayrıca, bu birim ADC çıkışlarından elde edilen sayısallaştırılmış ultrasonik verilerin üzerinde bütün DSP işlemlerinin gerçekleştirildiği yerdir. Alınan ultrasonik verilerin ortalama değerlerinin hesaplanması, ADC çıkışının modunun alınması ve sayısal filtreleme çalışmaları gibi pek çok işlem FPGA üzerinde gerçekleştirilir.

FPGA yongasını programlamak için yazılan kodların FPGA içerisinde bir donanıma dönüşmesi işlemine donanım sentezi adı verilir. Bunun nedeni, editörün (Quartus II) kodları FPGA'in anlayacağı hale getirmesi ve yüklemesiyle FPGA içerisindeki lojik elemanları birbirine bağlayan enterkonnekte anahtarların açma kapama durumları belirlenerek bir donanım sentezi yapılmasıdır. Bu tez çalışmasında, FPGA içerisinde donanım sentezlenmesi amacıyla Verilog HDL donanım tanımlama dili ve Quartus II sentez editörü kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında donanım tanımlama diliyle yazılan kod ile FPGA içerisinde oluşturulan modüller Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Bu modüller; FPGA'in mikrodenetleyici ile haberleşmesini sağlayan ve özel bir yapı olan harici veriyolu arayüzü (EBI, External Bus Interface), her bir modüle ait konfigürasyon

bilgilerini tutan saklaç (register) bankası, darbe üretici birimini yöneten darbe üretici tetikleme modülü ve örnekleme sonrası sayısal veri edinim modülüdür. ADC CLK modülü ise ADC entegresinin ihtiyaç duyduğu saat frekansının üretilmesinden sorumludur. Bu modül sayesinde FPGA ve ADC senkronize bir saat frekansı kullanabilmektedir. Akıllı telefon arayüzü ile gönderilen konfigürasyon verileri mikrodenetleyici ile alındıktan sonra EBI ile FPGA'ye yüklenir. Örneğin buffer boyutu bilgisi ile FIFO (First In First Out) hafızanın istenilen doluluk oranı belirlenmektedir. Bu bilgi FIFO'ya ait olan saklaca kaydedilmekte ve buradaki bilgiye göre doluluk oranı otomatik olarak belirlenmektedir. Tanımlanan doluluk oranına ulaşıldıktan sonra veriler üzerinde DSP ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilerek işlenmiş veri mikrodenetleyiciye aktarılır.



Şekil 2.7: FPGA içerisinde sentezlenen donanımın modüllerinin blok gösterimi [36]

2.2.1.4 Geliştirme Kartı Kontrol Birimi

Bu birimde, çeşitli regülatör çıkışlarındaki genlik değerlerinin kontrol edilmesi ve bunların kapatılıp açılması, yüksek genlik üretimi biriminin çıkışının kontrolü, örnekleme ve kuvvetlendirme birimleri için gereken ayarların gönderilmesi, batarya yönetim sisteminin kontrolü, akıllı cihazlarla Bluetooth üzerinden veri alışverişi, FPGA'le veri alışverişi gibi kartın yönetimi için gerekli olan birtakım görevler yerine getirilmektedir. Geliştirme kartında bütün bu işlemlerin gerçekleştirilmesine imkan veren Microchip firmasına ait 32 bit MZ serisi bir PIC mikrodenetleyici yer almaktadır. Bu mikrodenetleyici maksimum 200 MHz çalışma saat frekansına, dahili 1024 kb flash hafızaya ve 512 kb RAM hafızasına sahiptir [38].

Mikrodenetleyici ve FPGA arasında özel bir iletişim yöntemi kullanılmaktadır ve bu yöntem mikrodenetleyiciye ait özel bir yapı olan harici veri yolu arayüzüdür (EBI). Bu yapı 16 bit veri yolu, 21 bit adres ve bazı kontrol sinyallerine sahip bir haberleşme modülüdür. Akıllı telefon arayüzünden gelen bütün konfigürasyon bilgileri mikrodenetleyici tarafından ilgili birimlere yönlendirilir. FPGA içerisindeki saklaç bankası, 64x16 bitlik bir RAM (Random Access Memory, Rastgele Erişimli Bellek) hafıza oluşturularak gerçekleştirilmiştir ve her bir adreste farklı işlemlere ait konfigürasyon bilgileri saklanmaktadır. Mikrodenetleyici sayesinde ilgili RAM adreslerine bilgi yazılarak veya adresten bilgi okunarak FPGA'in kontrolü ve uygulamanın akışı yürütülmektedir.

2.2.1.5 Akıllı Telefon ile Bluetooth Haberleşmesi Birimi

Ultrasonik geliştirme kartına kablosuz haberleşme yetenekleri kazandırılması amacıyla Şekil 2.8'de kırmızı çerçeve içine alınan haberleşme donanımı eklenmiştir. Kablosuz haberleşme donanımının karta harici olarak eklenmesinin sebebi en uygun haberleşme modülünün araştırılmasıdır. Kablosuz haberleşme modülü geliştirme aşamasındadır. Bu tez çalışması kapsamında ortaya konulan sistemle haberleşme donanımının kart ile doğru bir şekilde çalıştığı doğrulanmıştır. İlerleyen çalışmalarda daha hızlı haberleşme modülleri kullanılarak gerçek zamanlı çalışan bir sistem oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada akıllı telefon ile Bluetooth haberleşmesi gerçekleştirilmesi amacıyla HC-06 Bluetooth modülü kullanılmıştır. Modülün geliştirme kartı ile haberleşmesi UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter,

Evrensel Asenkron Alıcı-Gönderici) üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu modülün Bluetooth bağlantısı ile sağladığı veri alışveriş kapasitesi 2.1-3.0 Mbit/s'dir [39]. Gerçekleştirilen sistem bir muayeneyi verinin büyüklüğüne göre 150 ile 250 ms arasında tamamlamaktadır. Yani tez çalışması kapsamında geliştirilen sistem, gerçek zamanlı ve büyük veri paketleri ile kullanıldığında saniyede 4 veya 5 ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 2.8: Akıllı telefon ile Bluetooth haberleşmesinde kullanılan donanımın gösterimi

2.2.2 Yazılım Geliştirilmesi

Bu tez çalışmasında, UT uygulamaları geliştirmek amacıyla Android yazılım geliştirme platformu olarak LG G5 H850 akıllı telefon kullanılmıştır. Bu cihaz tatmin edici bir veri işleme performansına sahip dört çekirdekli Qualcomm MSM8996 mikroişlemcisine sahiptir. Bu mikroişlemci yonga setinin içerisine gömülü iki adet 2.15 GHz Kryo ve iki adet 1.6 GHz Kryo işlemci çekirdekleri bulunmaktadır [40].

Bluetooth üzerinden Android uygulama ve geliştirme kartı arasında gerçekleştirilen haberleşmede kullanılan veri paketleri için özel bir yapı tasarlanmıştır ve paket içeriği Tablo 2.1'de ifade edilmiştir.

Haberleşme amacıyla kullanılan bütün veri paketleri “0xFF” ile başlar. Daha sonra gelen iki byte o an gönderilen veri paketinin eleman sayısını tanımlar. Bu iki byte hem akıllı telefon hem de geliştirme kartı tarafında tek bir sayı haline dönüştürülür. Bu işlem gerçekleştirilirken soldaki byte en önemli byte olarak değerlendirilir ve buradan elde edilen sayı veri paketinin uzunluğunu ifade etmektedir. Android arayüzünde ve geliştirme kartında bu ilk üç byte güvenlik amacıyla her zaman kontrol edilir. İki tarafta da öncelikle ilk byte olan açılış kontrol edilir. Eğer veri paketinin ilk elemanı “0xFF” değilse o veri paketi direkt olarak reddedilir. Açılış kontrol doğrulandıysa iki tarafta da paketin uzunluk bilgisi ikinci ve üçüncü byte kullanılarak hesaplanır ve alınan veri paketinin bu uzunluğa sahip olup olmadığı kontrol edilir. Eğer uzunluk bilgisi ve veri paketinin uzunluğu eşitse bir sonraki byte’a (Byte 3) bakılır. Veri paketi uzunluğu bilgisinden sonra gelen ve dördüncü byte, paketin konusunu ifade etmektedir. Her iki tarafta da paket konuları yapılacak işe göre değişmektedir ve farklıdır. Örneğin bu byte “0x03” ise kart tarafında ledleri yak anlamına gelebilirken Android tarafında ekrana bir mesajın yazılması anlamına gelebilmektedir. Buradan sonra veri paketindeki bütün elemanlar konuya göre o konuya ait verileri taşımaktadır. Haberleşme için kullanılan veri paketi en fazla 16200 byte uzunluğunda olabilir. Sayısallaştırılmış ultrasonik sinyallerin tutulduğu FPGA içerisindeki FIFO hafızanın maksimum kapasitesinin 16000 örnek olması ve ekstra bilgi taşımak amacıyla 200 byte daha ayrılması maksimum veri paketi uzunluğunu belirlemiştir.

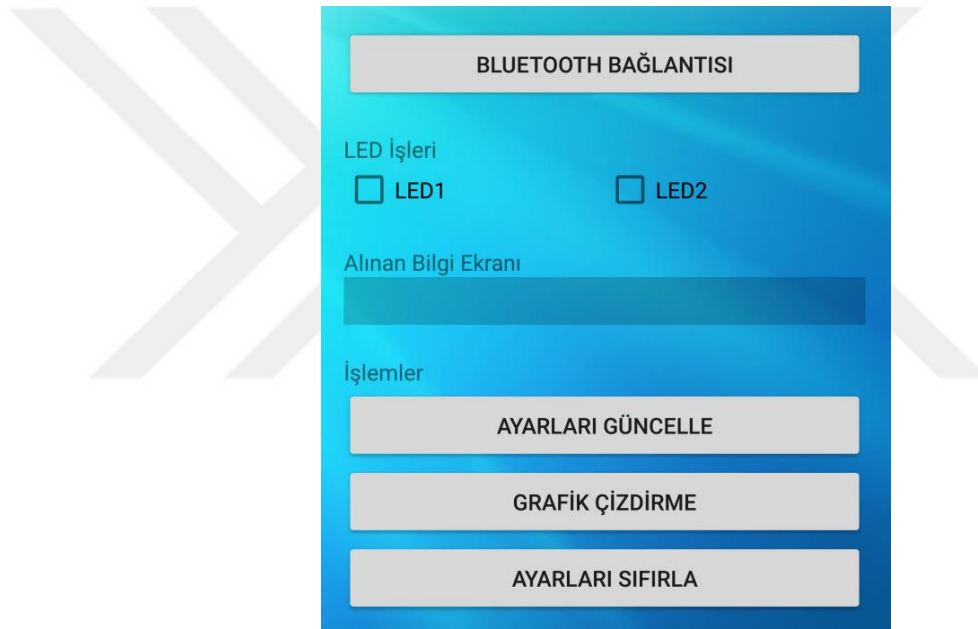
Tablo 2.1: Bluetooth haberleşmesinde kullanılan veri paketleri

Veri No	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	...
Veriler	0xFF	0x00	0x03	0x01	0x01	...
Anlam	Açılış kontrol	Paket Byte Adedi		Paket Konusu	Paket Verisi	

2.2.2.1 Uygulamanın Ana Aktivitesi

Genel bilgiler bölümünde Android uygulama geliştirme başlığı altında ifade edildiği üzere Android uygulamalarda her sayfaya aktivite denmektedir. Şekil 2.9’da geliştirilen Android arayüzüne ait ana aktivitenin görüntüsü verilmiştir. Bu aktivite Bluetooth bağlantısı, ayarları güncelleme, grafik çizdirme ve ayarları sıfırlama aktivitelerini birbirine bağlamaktadır. Ayrıca “LED İşleri” başlığının altında “LED1” ve “LED2”

şeklinde iki adet onay kutusu bulunmaktadır. Bunların işaretlenmesi ya da işaretlerinin kaldırılması geliştirme kartı üzerinde bulunan iki adet test ledini yakıp söndüren veri paketlerini göndermektedir. Bu işlem Bluetooth bağlantısı yapıldıktan sonra hem sistemin görevlerini yerine getirdiğini hem de Bluetooth bağlantısının sağlıklı bir şekilde kurulduğunu kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca “Alınan Bilgi Ekranı” başlığı altında bazı işlemler gerçekleştirildikten sonra bildirim mesajları veren bir metin kutusu yer almaktadır. Örneğin telefon arayüzünden konfigürasyon verileri karta aktarıldığında bu kutuda “Ayarlar Gönderildi” mesajı düşmektedir.



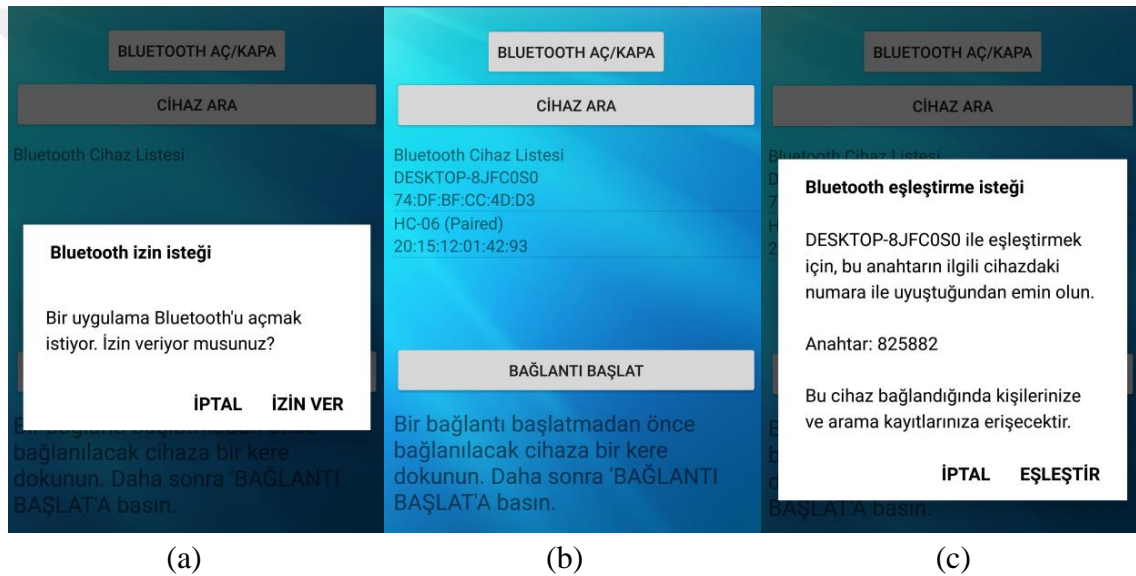
Şekil 2.9: Android arayüzünün ana aktivitesi

2.2.2.2 Uygulamanın Bluetooth Aktivitesi

Ana aktivitede “Bluetooth Bağlantısı” butonuna basıldığında Şekil 2.10’deki Bluetooth aktivitesi açılmaktadır. Öncelikle akıllı telefonun Bluetooth gibi mevcut donanımlarının uygulama tarafından kullanılabilmesi için ilgili uygulamaya ait Android Manifest dosyasına gerekli izin kodlarının eklenmiş olması gerekir. Bluetooth kullanımı için gerekli olan izin kodları bu dosyaya eklenmiştir.

Android cihazlar, uygulama yazılımı içerisinde Bluetooth donanımını Bluetooth adaptörü olarak tanımaktadır. “Bluetooth Aç/Kapa” butonuna basıldığında akıllı telefon

üzerinde Bluetooth adaptörünün varlığı kontrol edilir. Eğer akıllı telefonda Bluetooth adaptörü yoksa, telefonun Bluetooth desteğinin olmadığına dair ekranda bir mesaj gösterilir. Eğer Bluetooth adaptörü var ve kapalı ise Şekil 2.10a'daki gibi açmak için izin istenir. İzin verilirse Bluetooth özelliği açılır fakat Bluetooth açıkken bu butona basılırsa Bluetooth kapatılır. Tek butonla açma/kapama işlemi için yazılımda bir bayrak kullanılmıştır. Her butona basıldığında bayrağın durumu değişmekte ve koşullarla sorgulanmaktadır. Bu şekilde tek butonla Bluetooth açıksa kapalı hale, kapalı ise açık hale getirilir.



Şekil 2.10: Bluetooth aktivitesinin görüntüleri: (a) Bluetooth açma isteği, (b) Etraftaki cihazların aranması, (c) Eşleştirme isteği

“Cihaz Ara” butonuna basıldığında akıllı telefon tarafından ortamdaki Bluetooth cihazları için arama başlatılır. Ortamda bulunan aygıtlar “Bluetooth Cihaz Listesi” yazan kutuya Şekil 2.10b’deki gibi eklenerek listelenmektedir. Akıllı telefon, cihaz arama işlemi yaklaşık 12 saniye sürdürmektedir. Eğer bulunan cihaz daha önce akıllı telefon ile eşleştirilmişse listeye ismi eklenirken isminin yanına “Paired” yazısı eklenir. Cihazlar listeye eklenirken isimlerinin altına her cihaz için eşsiz olan MAC adresleri de yazılır. İki cihazın birbiriyle eşleştirilmesinin anlamı, cihazların haberleşme için kullanacakları ortak ve sadece o iki cihaza özel bir bağlantı anahtarı oluşturması ve kaydetmesi demektir. İki cihaz için bir defa eşleşme sağlandığında birbirlerini gördükleri ve birbirlerine bağlanmak istedikleri her anda şifre gibi güvenlik önlemleri

almadan doğrudan birbirlerine bağlanabilirler. Eğer listeye eklenen ve bağlanılmak istenen cihazla daha önce eşleşme sağlanmamışsa listede sadece ismi ve MAC adresi yazılı olur. Listeden bu cihaza tıkladığında Şekil 2.10c'deki gibi eşleşme için şifre soracaktır. Şifre girilip iki tarafta da karşılıklı onay verildikten sonra eşleşme işlemi gerçekleştirilir. Artık bu cihazda akıllı telefon tarafından güvenli aygıtlar arasına eklenir. Eğer listeden eşleşmiş bir cihaza tıklanırsa “Bağlantı Başlat” butonu ile aygıtla bağlanma isteği yapılır. Karşı taraf bu isteği kabul ederse bağlantı kurulur. Bağlantı kurulduğunda cihaz arama işlemi kapatılır.

İki cihaz arasında Bluetooth bağlantısı gerçekleştirilirken bağlanma isteği gönderip bağlanan cihaza istemci, bağlanılan cihaza ise sunucu denmektedir. Bu iki rol için Java diliyle farklı sınıfların yazılması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında akıllı telefonun sadece istemci olarak davranması istenildiği için istemciye ait olan sınıf yazılmıştır. Sunucu sınıfı, Bluetooth bağlantı isteklerini dinleyen özel bir yapıdır. Eğer bir bağlantı isteği olursa bu sınıf yardımıyla sunucu bağlantıyı yakalar ve değerlendirir. İstemci sınıfında, Bluetooth bağlantısı dinlemek yerine sunucu aygıtlara bağlanmak için gerekli özellikler mevcuttur. İki tarafta da bağlantı ve veri transferi işlemlerini yürütmek için Bluetooth soketi oluşturulur. Bluetooth soketi, bir uygulamaya başka bir Bluetooth aygıtıyla veri alışverişi yapabilme imkanı veren bir bağlantı noktasıdır ve TCP (Transmission Control Protocol, İletim Kontrol Protokolü) soketine benzer şekilde çalışmaktadır. Bir bağlantı kurulmadan önce sunucu tarafında Bluetooth sunucu soketi oluşturulur. Bluetooth sunucu soketi dinleme işlemini yerine getiren sokettir. Bluetooth sunucu soketi tarafından bir bağlantı kabul edildiyse, bağlantıyı yönetmek için bu sınıf içerisinde bir Bluetooth soketi döndürülür. İstemci tarafında ise bir bağlantı başlatmak ve bağlantıyı yönetmek için yalnızca Bluetooth soketi kullanılır. Akıllı telefonlar tarafından desteklenen en yaygın Bluetooth soketi RFCOMM'dur (Radio Frequency Communication, Radyo Frekans Haberleşmesi) ve seri bağlantı noktası (SPP, Serial Port Profile) olarak da anılmaktadır. İstemci tarafından sunucuya bir RFCOMM kanalı açıldığında yani bağlanma isteği yapıldığında sunucu tarafına ilgili soket bilgisini de sağlamaktadır. Gelen bağlantı isteği kabul edildiğinde sunucu tarafından soket bilgileri alınır. İstemci ve sunucu aynı RFCOMM kanalında her biri bir Bluetooth soketine sahip bir şekilde bulduklarında birbirlerine bağlı kabul edilirler. Bu şartlar sağlandığında iki aygıt da giriş çıkış akışları sağlayabilir ve veri transferi yapabilirler [41].

Bağlantı sağlandıktan sonra veri alışverişini yönetmek için yazılan Bluetooth sınıfı içerisinde thread olarak anılan ve Java diline ait olan bir yapı kullanılarak veri alışveriş işlemleri yerine getirilir. Geliştirilen Bluetooth sınıfı içerisinde kullanılan thread yapısının işlevi, bağlantı sağlandıktan sonra aygıtta bir bilgi akışı olup olmadığını sürekli olarak dinlemektir. Eğer karşı taraftan bir bilgi gönderiliyorsa bunu byte dizisi halinde kaydetmeye başlar. Bluetooth kısmında bilgi alma işlemi tamamlandığında byte paketi ana aktiviteye gönderilmektedir. Ana aktivitede paketin konusu incelenerek gerekli işlemler yapılır. Eğer karta bilgi göndermek isteniyorsa aynı thread yapısı içerisindeki yazma fonksiyonu kullanılarak veri Bluetooth soketi ile geliştirme kartına gönderilmektedir.

2.2.2.3 Uygulamanın Kart Konfigürasyon Aktivitesi

Uygulamanın ana aktivitesinde bulunan “Ayarları Güncelle” butonuna basıldığında konfigürasyon aktivitesi açılmaktadır. Bu aktiviteden geliştirme kartının bir muayene gerçekleştirebilmesi için ihtiyaç duyduğu özellikler ayarlanır. Kartı muayene için konfigüre etmenin yanında dönen sinyalin yorumlanmasında kullanılan bazı bilgileri de içermektedir. İlk üç ayar akıllı telefon içerisinde değerlendirilmekte diğer ayarların hepsi geliştirme kartına gönderilmektedir. Bu aktivitedeki tüm ayarlar muayeneyi ciddi anlamda etkilemektedir. Şekil 2.11’de bu aktivite için iki ekran görüntüsü verilmesine rağmen aslında bu aktivite bütün halinde alta doğru uzanan kaydırılabilir bir ekran olarak ayarlanmıştır.

Ses Hızı:	6350	Trigger:	EXT
Kapı Başlangıç:	750	Pulse Channel Sel:	Pulse Channel A
Kapı Bitiş:	900	Read Channel Sel:	Read Channel A
Buffer Boyutu:	6000	Ultrasonik Yöntem:	Pulse Echo
PRF:		Kanal:	Pulsed Read
Darbe Frekansı:	10	Frekans Seç:	100
Darbe Sayısı:	1	Variable Gain:	5/40
HV Genlik:		LNP Gain:	3 dB
Rectifier:	No Rectifier	Channel Bit Gain:	0db
AYARLARI GÜNCELLE			

Şekil 2.11: Konfigürasyon aktivitesinin görüntüsü

“Ses Hızı” metin kutucuğunun içerisine girilen bilgi, muayene işlemi gerçekleştirilirken kart tarafından gönderilen ultrasonik sinyalin yorumlanmasında kullanılmaktadır. Muayenesi gerçekleştirilen malzemenin içerisindeki sesin yayılma hızı bilgisini ihtiva etmektedir. Akıllı telefon üzerinde alınan sinyal değerlendirilirken bu bilgi konfigürasyon aktivitesinden çekilerek sinyalin yorumlanmasında kullanılmaktadır. Örneğin şekilde 6350 m/s bilgisi girilmiştir ve Tablo 1.2’de verilen alüminyumun içerisindeki ses hızı bilgisidir.

“Kapı Başlangıç ve Bitiş” metin kutucuklarına gelen sinyalde kullanılacak değerlendirme yöntemine göre değer girilir. Yankı sinyali, başlangıç darbesi ile ilk yankıya bakılarak değerlendirilecekse başlangıç darbesinin olduğu örnek aralığı bilgisi, yankının yankısına bakılarak değerlendirilecekse ilk yankının olduğu örnek aralığı değerleri girilmektedir. Bu kutucuklar ile belirlenen örnek aralığı Android uygulaması tarafından kapı olarak kullanılır ve bu kapı aralığındaki en yüksek genlikli örnek seçilerek kaydedilir.

“Buffer Boyutu” metin kutusuna 0 ile 16000 arasında değerler girilebilir. Bu bilgi, geliştirme kartına ait bir konfigürasyon verisidir ve FPGA’in içerisindeki FIFO hafızanın doluluk oranını belirlemektedir. Burada bahsi geçen FIFO hafızaya sayısallaştırılmış ultrasonik sinyal verileri kaydedilmektedir. Yani buffer boyutunun büyüklüğü akıllı telefon ekranında bir seferde gösterilecek olan örnek sayısını belirler.

“Darbe Frekansı” bölümünde bir liste yer alır ve içerisinde 0.5, 1, 2, 5 ve 10 MHz değerleri listelenir. Bu listeden kullanılacak olan proba uygun frekans seçimi yapılır.

“Pulse Channel Sel” listesinde “A” ve “B” olmak üzere iki farklı seçenek bulunur. Geliştirme kartı iki kanal olarak tasarlandığı için probun hangi kanaldan darbe göndereceği buradan seçilir.

“Read Channel Sel” listesinde de “A” ve “B” olmak üzere iki farklı seçenek bulunmakta ve hangi kanaldan okuma yapılacağı bilgisi seçilmektedir.

“Ultrasonik Yöntem” kısmında “TTU veya Dual Element” ve “Pulse-Echo” seçenekleri bulunmaktadır. Buradan muayene sırasında kullanılan ultrasonik yöntem seçilir. TT tekniğinde alıcı ve gönderici olarak iki farklı prob kullanılması sebebiyle iki konektöre

ihtiyaç duyulur. Benzer şekilde çift elementli problarda gönderici ve alıcı kısımları prob içerisinde birbirinden bağımsızdır ve iki konektörü vardır. Her iki teknikte de bir konektörden darbe gönderilmeli diğer konektörden dönen yankının okuması yapılmalıdır. Bu benzerlik sebebiyle “TTU veya Dual Element” seçeneği her ikisi (TT yöntemi ve çift elementli çevirgeç) için de ortak olarak kullanılmaktadır. “Pulse-Echo” seçeneği ile tek elementli prob kullanılacağı belirtilmektedir. Tek elementli problemlerin tek bir konektörü bulunduğu için gönderilen ve alınan sinyalin tek konektör üzerinden iletileceği bilgisi geliştirme kartına bu ayar sayesinde bildirilir.

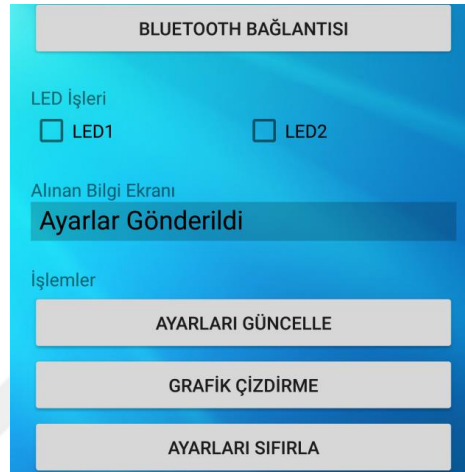
“Kanal” kısmında “AvB”, “Read” ve “Pulsed Read” seçenekleri bulunmaktadır. “AvB” seçeneği her iki kanalın da kullanılacağını ifade etmektedir. “Read” seçeneği hiç darbe üretmeden sadece seçili olan okuma kanalından okuma yapılacağını ifade etmektedir. “Pulsed Read” ise seçili olan darbe ve okuma kanallarından darbe gönderip okuma yapılacağını ifade etmektedir.

“Frekans Seç” listesi içerisinde 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.13, 1.56 MHz ve “ADC durdur” seçenekleri bulunmaktadır. Buradan geliştirme kartı üzerindeki ADC entegresinin örnekleme frekansı seçilmektedir. Örnekleme frekansının değiştirilmesi okunan verinin uzunluğunu değiştirmezken okuma zamanını değiştirmektedir. Yani buffer boyutu sabit olan her bir okuma için örnekleme frekansı değiştirildiği zaman veriler eşit uzunlukta olmasına rağmen buffer boyutu ile belirlenen örnek sayısına farklı sürelerde ulaşılır. En kısa süreli örnek 100 MHz ve uzun süreli örnek 1.56 MHz seçeneği ile alınır.

Geliştirme kartında kullanılan kuvvetlendirme entegresi içinde iki farklı kuvvetlendirme birimi bulunmasından dolayı “Variable Gain” ve “LNP Gain” adında iki ayrı kazanç ayarı menüye eklenmiştir. Muayene sonucunun kuvvetlendirilmesinde bu iki kuvvetlendirme biriminin toplam kuvvetlendirmesi göz önünde bulundurulur. Bu iki birimin etkisiyle ne kadar kuvvetlendirme gerçekleşeceği bilgisi entegreye ait kullanım kılavuzunda detaylı olarak verilmiştir [42].

“Ayarları Güncelle” butonuna basıldığında konfigürasyon bilgilerinden geliştirme kartına ait olanlar karta gönderilir. Akıllı telefona ait olan bilgiler ise doğrudan kaydedilir. Eğer geliştirme kartı kısmında konfigürasyon ayarları başarı ile alınıp

gerçekleştirildi ise akıllı telefona işlemin tamamlandığına dair bir bilgi gönderilir. Bu gelen bilgi ile ana aktivitedeki “Alınan Bilgi Ekranı” kısmında Şekil 2.12’de verilen “Ayarlar Gönderildi” bilgisi görüntülenir.



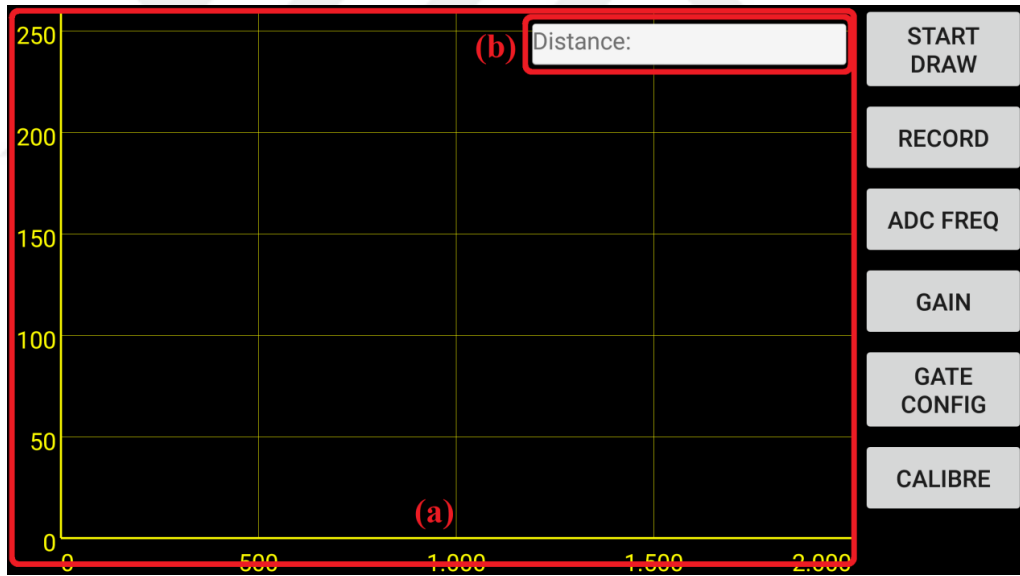
Şekil 2.12: Ana aktivitede ayarların karta gönderildiği bilgisinin alınması

Ayrıca bu konfigürasyon bilgilerini her seferinde baştan doldurmak uzun süreceği için Android yazılım geliştiricinin bir diğer güçlü özelliği olan “Shared Preferences” özelliğinden faydalanılmıştır. Bu özellik ile aktivite kapatılmadan önce yapılan değişikliklerin hepsi kaydedilir ve bir sonraki konfigürasyon aktivitesine girilince, en son yapılan ayarlar gerekli yerlere program tarafından otomatik olarak çağrılır. Eğer hiçbir ayar girilmemişse geliştirilen yazılım içerisinde varsayılan olarak kayıtlı olan ayar verileri gerekli yerlere atanır. Genellikle yinelenen muayene işlemlerinde bütün ayarların değiştirilmesi gerekmez. Bu yüzden ayar verilerinin kayıtlı kalması geliştirme kartının konfigürasyonu işleminde zaman kaybını engellemekte ve UT işlemini hızlandırmaktadır. Cihaz üzerinde farklı kullanıcılar ve farklı testler için ayarların kaydedilerek çağrıldığı menülerin ilerleyen zamanda oluşturulması planlanmaktadır.

2.2.2.4 Uygulamanın Grafik Aktivitesi

Ana aktivitede “Grafik Çizdirme” butonuna basıldığında Şekil 2.13’teki aktivite açılır. Bu şeklin (a) çerçevesine alınan bölümü, muayene sonucunda elde edilen ultrasonik sinyalin A-Scan sunumu ile gösterildiği ve incelendiği bölümdür. Grafikte y eksenini sinyalin gücünü, x eksenini ise örnek sayısını ifade etmektedir. Örnek sayısı örnekleme

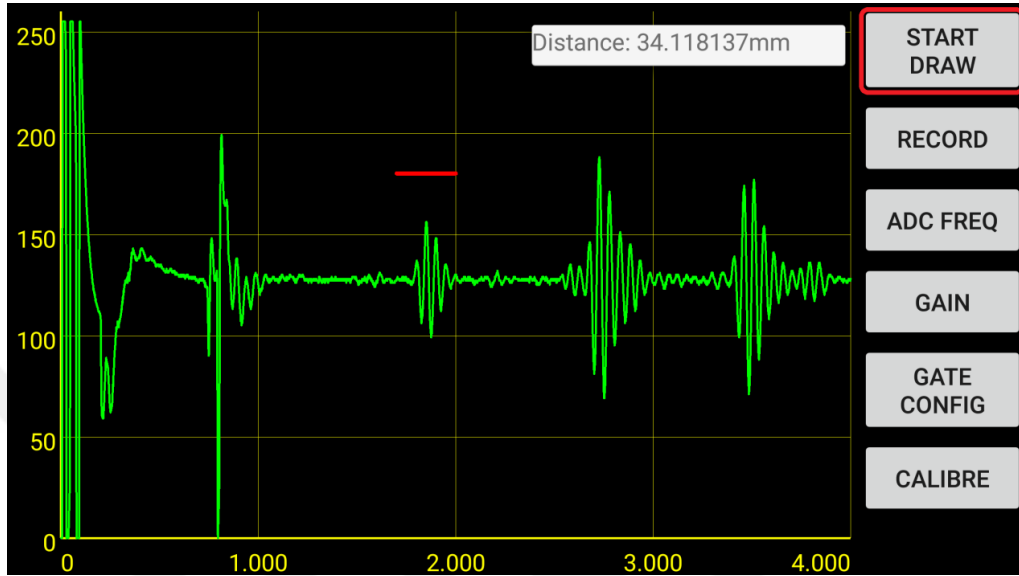
frekansı ile ilişkilendirilerek zaman bilgisi elde edilebilmektedir. Grafikteki x eksenı değerleri konfigürasyon aktivitesindeki buffer boyutu ile bağlantılıdır. Örneğin buffer 6000 ise grafikte 6000 örnek gösterilmektedir. Sabit buffer boyutuna giren örnek sayısı da sabit olduğu için örnekleme frekansının değişmesi ile bu sınırlı aralığa karşılık gelen süre değişmektedir. Geliştirilen grafik ekranında sinyalin ayrıntılı incelenmesine ihtiyaç duyulursa, incelenecek kısma istenildiği kadar yaklaşılabilmektedir. Ayrıca sinyale yaklaşıldığında x ekseninde ileri geri kaydırılabilecek şekilde programlanmıştır. Yakınlaşma ve kaydırma özellikleri sinyalin incelenmesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. şekil 2.13'te (b) çerçevesi içerisindeki bilgilendirme bölümü kapı ile seçilen yankının kullanılan yöntemine göre başlangıç darbesine veya başka bir yankıya kadar olan süresinin hesaplanması sonucunda elde edilen mesafe bilgisini milimetre cinsinden göstermektedir.



şekil 2.13: Grafik aktivitesinin görüntüsü: (a) Muayene sinyalinin gösterildiği bölüm, (b) Muayenede ölçülen mesafe bilgisini gösteren bölüm

şekil 2.14'te kırmızı çerçeve ile işaretlenen "Start Draw" butonuyla, konfigürasyon ayarları tamamlanan geliştirme kartının muayeneye başlaması için ihtiyaç duyduğu başlangıç komutu geliştirme kartına gönderilir ve karttan bir cevap beklenir. Geliştirme kartıyla muayene gerçekteşirildikten sonra sonuç bilgisi hazırlanır ve Bluetooth üzerinden akıllı telefona gönderilir. Arayüz tarafından alınan veri paketinde paket konusunu ihtiva eden byte incelenir. Paket konusu ekrana bastırma işlemi ise verinin

ekrana basılması için yazılan sınıf tarafından bu veri paketi alınır ve paketinin içeriği grafik ekranına basılır.



Şekil 2.14: Grafik aktivitesinde sonucu ekrana bastırma butonu

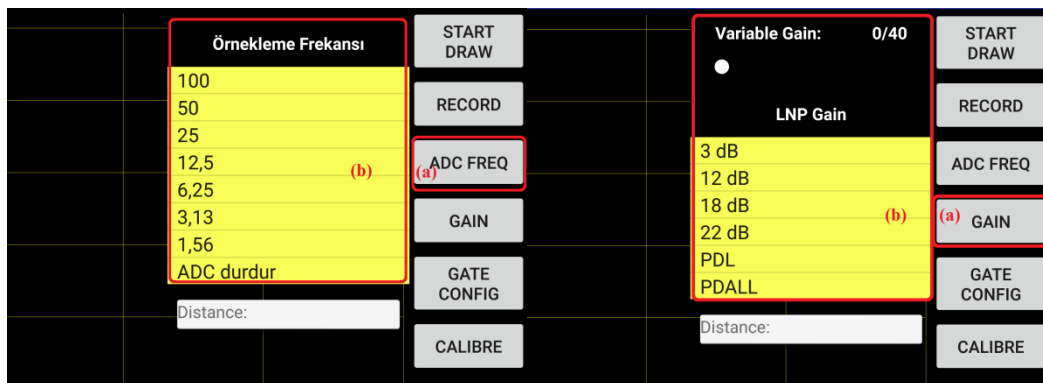
Grafik aktivitesinde Şekil 2.15’te (a) çerçevesi içine alınmış olan “Record” butonuna basıldığında Şekil 2.15’te (b) çerçevesiyle belirtilen fragment açılır. Fragment, aktivite ekranında istenilen boyutlarda başka aktiviteler çağırma imkanı veren özel bir yapıdır. Geliştirilen ilgili fragment, kaydedilmiş ölçüm sonuçlarını içerisinde tutan bir listeyi, ekranda o anda bulunan muayeneyi kaydetmeye yarayan “Kaydet” butonunu ve seçilen bir kaydı silmeye yarayan “Kayıt sil” butonunu içermektedir. Bir ölçüm yapıldıktan sonra sonuç verisi kaydedilmek istenirse kullanıcı tarafından “Kaydet” butonuna basılarak bu işlem gerçekleştirilir. Android’de verileri akıllı telefonun içerisinde kayıtlı tutmanın en etkili ve tercih edilen yollarından birisi SQLite veritabanı kullanmaktır. Veritabanına ait sınıf yazılırken kaydedileceği bir klasör yolu ve oluşturulacak veritabanının ismi belirtilmiştir. “Kaydet” butonuna basıldığında veritabanı belirtilen klasör yolunda bulunuyor ise veritabanı açılıp içerisine muayene tarih ve saatiyle beraber muayene verisini kaydedilir. Eğer veritabanı belirlenen klasörde yoksa uygulama yazılırken belirlenen isimle beraber “.db” uzantılı yeni bir veritabanı oluşturulur ve veritabanının içine kaydedilmek istenen sinyal verisi kaydedilir. Şekil 2.15’ te (b) çerçevesi içerisinde bulunan listeden herhangi bir kayıtlı sinyale basıldığında sinyali ekrana basan sınıf

çağırılır ve sinyal ekrana verilir. Listedeki çağırılan bir sinyal silinmek istenirse “Kayıt sil” butonuna basılarak silinebilmektedir. NDT’de verilerin kaydedilmesi son derece önem arz eder. Kayıtlar, muayenesi yapılan malzemenin başka uzmanlar tarafından incelenebilmesini mümkün kılmakla beraber aynı hatanın bir sonraki muayene ile karşılaştırılmasına imkan vermektedir.



Şekil 2.15: Grafik aktivitesinde kaydet butonu ve kayıtlı ölçümler fragmenti

Şekil 2.16a’da verilen “ADC Freq” butonu ile örnekleme frekans ayarı özelliği ve Şekil 2.16b’de verilen kuvvetlendirme özellikleri de grafik aktivitesine eklenmiştir.



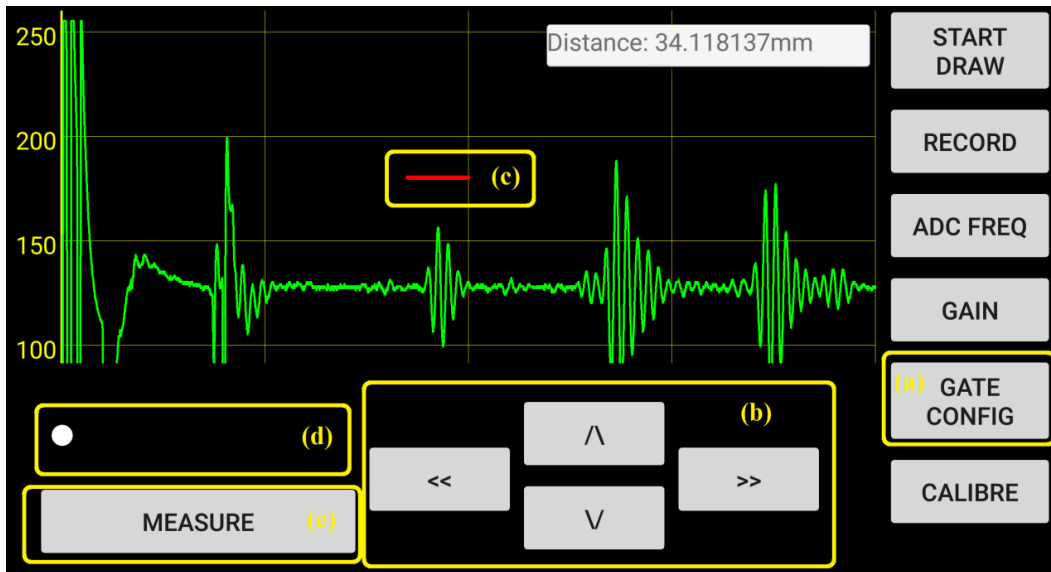
(a)

(b)

Şekil 2.16: Grafik aktivitesinde örnekleme frekansı ve kuvvetlendirme butonları: (a) Örnekleme frekansı fragmenti, (b) Kuvvetlendirme fragmenti

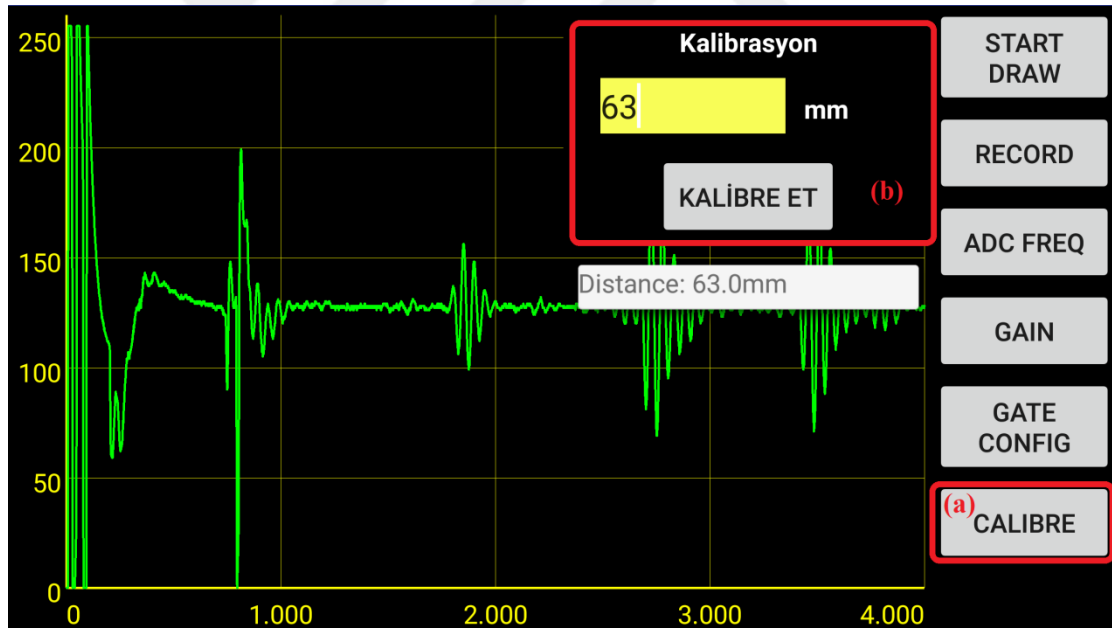
Şekil 2.16’da gösterilen ve muayenede sıkça kullanılan bu özellikler sürekli konfigürasyon aktivitesine geçilerek ayarlanmak yerine muayene sırasında kolaylıkla değiştirilebilmesi amacıyla bu aktiviteye de eklenmişlerdir. Özellikle kuvvetlendirme en sık değiştirilmeye ihtiyaç duyulan özelliktir, çünkü muayene sırasında dönen sinyalin ne kadar zayıflayacağı önceden bilinmemektedir. Başlangıçta konfigürasyon aktivitesinde tahmini olarak bir kuvvetlendirme ayarı yapılır. Ancak bu kuvvetlendirme az veya fazla gelirse tekrar konfigürasyon aktivitesini açmak yerine buradan kuvvetlendirme ayarları değiştirilebilmektedir.

Şekil 2.17’de (a) çerçevesiyle gösterilen “Gate Config” butonu, kapıya ait olan fragmenti görünür kılmak veya ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.17’de (b) çerçevesi içine alınan butonlar ile kapı x ve y eksenlerinde hareket ettirilmektedir. Şekilde (c) çerçevesiyle sinyalin üzerinde gezdirilen kapı gösterilmektedir. Bu kapının genişliği (d) çerçevesiyle işaretlenen ayar barı ile değiştirilebilir. Bu özellik kullanılarak kapı genişletilip daraltılabilir. Ayrıca (e) çerçevesi içerisinde bulunan “measure” butonu ile kapının üzerine getirildiği yankı örnekleri arasından en yüksek güce sahip olan örnek seçilir. Şekil 2.17’deki başlangıç darbesinin bulunduğu örnek aralığı konfigürasyon sayfası kullanılarak girilmiştir. Kapı ile hata yankısının üzerine gelip “measure” butonuna basıldığında malzemenin yüzeyi ile hata arasındaki mesafe bilgisi milimetre cinsinden gösterilmektedir. Bu bilgi, hatanın ne kadar derinde olduğunu gösterir.



Şekil 2.17: Kapı butonu ve fragmenti: (a) Kapı ayar fragmenti butonu, (b) Kapı hareket butonları, (c) Kapı, (d) Kapı genişlik ayarı, (e) Mesafe hesaplama butonu

Ultrasonik değerlendirmenin en önemli kısımlarından birisi de prob kalibrasyon işlemidir. Kullanılan probun kalibrasyonu yapılmamış ise değerlendirmede yanlış bilgiler elde edilecektir. Bir prob için kalibrasyon işlemi yapılmış ve bu ayarlar kaydedilmiş olsa bile zamanla problemlerin davranışları değişebilmekte ve tekrar kalibre edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu olayın gerçekleşme nedenlerinden birisi temaslı UT’de prob yüzeyinin muayene edilen malzeme yüzeyleri tarafından tahrip edilmesindedir ve bu aşınmalar probun karakteristiğini etkilemektedir. Bu yüzden muayene işlemine başlamadan önce problemler kalibrasyon blokları üzerinde denenir ve gerekli durumlarda kalibre edilirler. Geliştirilen sistemde kalibrasyon işlemi, akıllı telefon arayüzü üzerinden gerçeleştirilmektedir. Şekil 2.18’de (a) çerçevesiyle işaretlenen “calibre” butonuna basıldığında (b) çerçevesi içerisine alınan kalibrasyon fragmenti açılmaktadır.



Şekil 2.18: Kalibrasyon butonu ve fragmenti: (a) Kalibrasyon ayar fragmenti butonu, (b) Kalibrasyon fragmenti

Tez çalışması kapsamında gerçeleştirilen sistemde kalibrasyon işlemi için geliştirilen yazılımın özellikleri aşağıdaki gibidir. Geliştirilen sistemle kalınlığı bilinen bir malzeme, genellikle test bloğu, üzerinde UT yapılır. Program normalde Formül (2.1)’i kullanarak mesafe bilgisini bulmaktadır. Formülde kullanılan zaman bilgisi, kapıyla seçilen yankı ve başlangıç yankısındaki en yüksek y değerleri arasındaki süredir. Bu

süre program tarafından hesaplanarak elde edilmektedir. Burada yapılan ölçüm doğru çıkarsa kalibrasyon yapmaya gerek olmaz. Ancak malzeme kalınlığı ile ölçülen değer tutmuyorsa kalibrasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Şekil 2.18'deki ölçülen malzemenin gerçekte kalınlığı 63 mm'dir. Ancak kapı ile bakıldığında yaklaşık 61 mm ölçülmüştür. Burada kapı ile 63 mm'de bulunması gereken yankı seçilir ve kalibrasyon fragmentindeki metin kutusuna 63 bilgisi girilerek "kalibre et" butonuna basılır. Yapılan işlem uygulamaya bu yankının 63 mm'de bulunması gerektiğini söylemektedir. Muayene sonucuna bakıldığında başlangıç darbesinin 750 ile 1000 arasındaki örnekleme değerlerinde oluştuğu görülmektedir. Bu örnekler arasındaki y eksenine göre en yüksek değere sahip olan örnek numarası program tarafından tespit edilir. Şekil 2.18'de görüldüğü gibi 2600 ile 3000 numaralı örnekler arasında da arka duvar yankısı bulunmaktadır. Kırmızı bar şeklinde olan kapı arka duvar yankısı üzerine getirilerek yankı seçilir. Kapının getirildiği bölgede bulunan yankının en yüksek y değerine sahip olan örneği program tarafından tespit edilir. Darbe yankısından elde edilen y değeri ile arka duvar yankısından elde edilen y değeri arasındaki örnek sayısı program tarafından hesaplanır, bu ölçüm için elde edilen örnek sayısı 1913'tür. 100 MHz'te örnekleme yapıldığı için her örnek arası 10 ns'yi temsil etmektedir. İki y değeri arasındaki örnek sayısı 10 ns ile çarpıldığında ölçüm süresi elde edilmiş olur. Normalde Formül (2.1) kullanılarak kalınlık bilgisi elde edilmelidir. Ancak doğru sonucun elde edilebilmesi için formülde süre olarak 1913 ile 10 ns'nin çarpımı kullanılmamalıdır. Prob kalibrasyonu yapılırken eklenmesi gereken bir prob gecikme süresi hesabı yapılmıştır. İlk ölçtüğümüzde 61 mm çıktığında elde edilen süreden kalibrasyon işlemi sırasında elde edilen süre çıkarılır. Hesaplanan değer probun doğru sonuç vermesi için ihtiyaç duyulan zaman gecikmesidir. Doğru sonucun elde edilebilmesi için bu gecikme süresinin de hesabı katılması gerekmektedir. Yani kalibrasyon işlemi gereken durumlar için Formül (2.1)'in genişletilmiş hali olan Formül (2.2) kullanılmalıdır.

$$d = v(t + t_{cg}) / 2 \quad (2.2)$$

Formül (2.2)'de t_{cg} prob gecikme süresini ifade etmektedir. Burada prob gecikmesi program tarafından yaklaşık 712 ns olarak hesaplanıp formüle eklenmiştir. Muayenesi yapılan malzeme içerisindeki ses hızı başlangıçta programa girildiği için Formül (2.2)'de kullanılması gereken süre de hesap edilerek kalınlık ölçüm işlemi doğru bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.18'de darbe yankısı ile arka duvar yankısı arasında

bir hata yankısı görülmektedir. Bu hatanın malzeme içerisindeki derinliğini tespit ederken yine Formül (2.2) kullanılmalıdır. Ancak yankı hatası daha kısa sürede dönmektedir, bu yüzden eklenmesi gereken prob gecikmesi 712 ns olmayacaktır. Geliştirilen uygulama, 61 mm için gecikme 712 ns ise hatanın bulunduğu mesafe için kaç ns olmalıdır şeklinde bir doğru orantı kurarak hata yankısının değerlendirilmesi için ihtiyaç duyulan prob gecikme süresini otomatik olarak hesaplar. Hesaplanan prob gecikme süresi formüle eklenerek ölçüm yapılır. Kalibrasyon işlemi bir defa gerçekleştirildiğinde aynı malzemenin farklı kalınlıkları ve farklı derinliklerindeki hataları aynı ayarla tespit edilebilmektedir.

2.2.2.5 Ayar Sıfırlama Aktivitesi

Geliştirilen uygulamada ana aktiviteden “Ayarları Sıfırla” butonuna basıldığında ayar sıfırlama aktivitesi açılmaktadır. Bu aktivitede Şekil 2.19’da gösterilen iki buton bulunur. Bunlardan “Cihaz Ayar Bilgilerini Sıfırla” butonuna basıldığında konfigürasyon aktivitesindeki konfigürasyon bilgileri için yazılım içerisinde kayıtlı olan varsayılan değerler yüklenir. “Veritabanını Sıfırla” butonuna basıldığında ise muayene sonuçlarının kaydedildiği SQLite veritabanı yazılımda belirlenen dizinden bulunup silinmektedir.

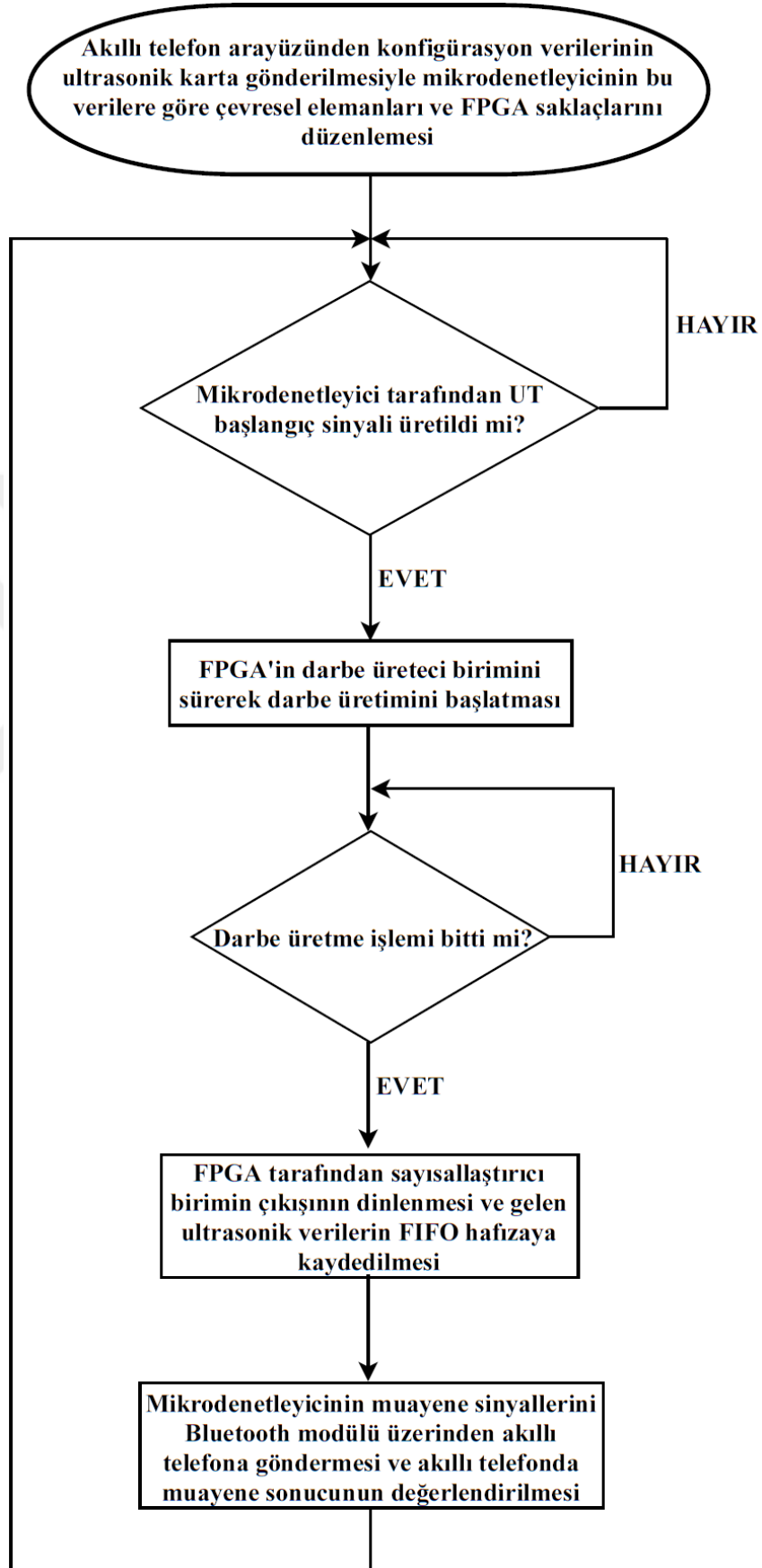


Şekil 2.19: Ayar sıfırlama aktivitesi

2.2.3 Sistemin Yazılım ve Donanımla Genel İşleyişi

Geliştirilen sistemle bir muayene işlemi yapılırken öncelikle akıllı telefon arayüzünden geliştirme kartına Bluetooth bağlantısı yapılır. Bu işlemin başarılı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediği ana aktivitedeki led yakma onay kutucuklarıyla kontrol edilebilir. Daha sonra UT’de ihtiyaç duyulan konfigürasyon verileri konfigürasyon aktivitesinden yapılandırılarak geliştirme kartına Bluetooth üzerinden gönderilir.

Geliştirme kartına Bluetooth kanalından gelen konfigürasyon verileri, HC-06 modülü üzerinden mikrodenetleyici tarafından alınır. Bu verilerle kuvvetlendirme, darbe üretici ayarları gibi birtakım işlemlerle FPGA'deki saklaç modülüne diğer modüllere ait olan konfigürasyon değerleri de atanarak kartın konfigürasyonu tamamlanır. Konfigürasyon işlemlerinin alınıp tamamlandığına dair bir bilgi ana aktivite ekranında gösterilir. Eğer ekranda ayarların yapıldığına dair bir bilgi görünmediyse buraya kadar tanımlanan işlemler kontrol edilir ve gerekirse yinelenir. Kart konfigürasyonunun başarılı şekilde tamamlandığı bilgisi akıllı telefon tarafından alınır. Akıllı telefonda mikrodenetleyiciye muayene başlangıç komutu gönderildiğinde ultrasonik darbeler üretilir. Başlangıç komutu, arayüzde grafik çizdirme aktivitesinden gönderilmektedir. Geliştirme kartından darbe gönderme işleminin tamamlanma anı ile eş zamanlı olarak örnekleme birimi çıkışındaki veriler FPGA içerisindeki FIFO hafızaya kaydedilmeye başlanır. FIFO, daha önce ayarlanan doluluk oranına ulaştığında mikrodenetleyiciye EBI üzerinden muayene verilerini aktarır. Eğer sinyal işleme işlemleri gerçekleştirilecekse veri aktarımından önce bu işlemler gerçekleştirilir. Muayene verileri akıllı telefona gönderilmek amacı ile HC-06 birimine UART üzerinden iletilir ve bu modül tarafından Bluetooth ile veriler akıllı telefona gönderilir. Akıllı telefonla alınan veri paketi, açılış kontrol byte değeri ve paket uzunluk bilgilerini taşıyan elemanlarıyla kontrol edilir. Kontrollerin sonucu başarılı ise paket konusuna bakılır. Paket konusu muayene sonucunu taşıdığını bildiriyorsa, akıllı telefon için hazırlanan yazılımda gerekli sınıfa dallanılarak sonucun grafik ekranına basılması işlemi yürütülür. Akıllı telefon arayüzüyle alınan veri üzerinde istenildiği gibi değerlendirme ve yorumlama işlemleri gerçekleştirilebilir. Eğer muayenenin tekrar edilmesi gerekirse konfigürasyon ayarları değiştirilerek yeniden gönderilir ve işlem tekrar edilir. Şekil 2.20'de geliştirilen sistemle muayene işlemini özetleyen bir akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.20: Muayene gerçekleştirilirken sistemin izlediği işlem akışı şeması

BÖLÜM 3

BULGULAR

Tez çalışması için gerçekleştirilen deneylerde tek ve çift elementli olmak üzere iki farklı prob kullanılmıştır. Bu problemlerle hem kalınlık ölçümü testi hem de hata tespiti çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca prob ile test malzemesi arasındaki akustik empedans uyumsuzluğunu engellemek amacıyla kullanılan sıvı kuplaj malzemesi olarak su ve motor yağı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Farklı sıvı kuplaj malzemelerinin muayene işlemi üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

3.1 Kalınlık Ölçümü Çalışması

Öncelikle kalınlık ölçümü çalışması Şekil 3.1’de gösterilen tek elementli 10 MHz prob ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: 10 MHz tek elementli prob

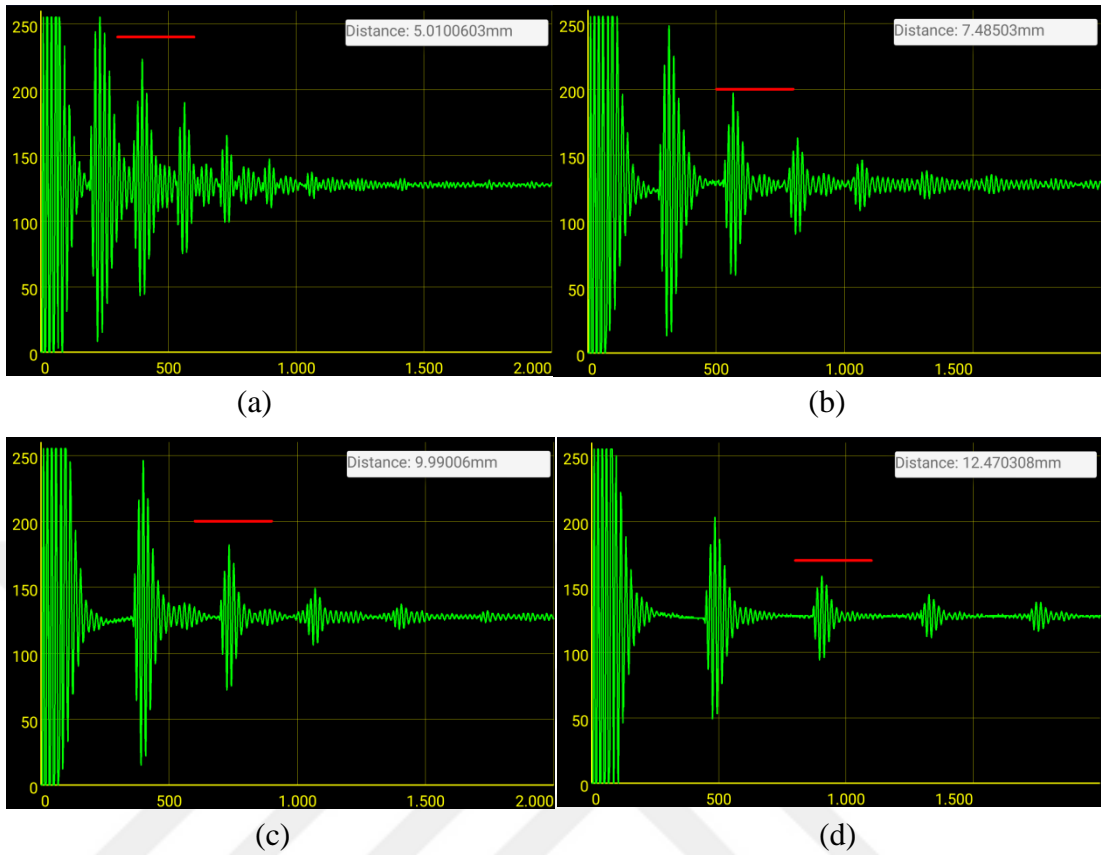
Kalınlık ölçüm testlerinde prob kalibrasyonu için endüstride sıkça kullanılan ve Şekil 3.2’de gösterilen çelik (1018) kalibrasyon bloğu kullanılmıştır. Bu blok 2.5, 5, 7.5, 10 ve 12.5 mm şeklinde beş farklı kalınlığa sahiptir. Tablo 1.2’ye bakıldığında çelik (1018) malzemesinin içerisindeki ses hızının 5920 m/s olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2: Çelik (1018) kalibrasyon bloğu

Bu kalibrasyon bloğunun farklı kalınlıklarında gerçekleştirilen testin sonuçları Şekil 3.3'de verilmiştir. Bu testler uygulanırken Android arayüzünün konfigürasyon aktivitesinde birtakım ayarlar gerçekleştirilmiştir. Tek elementli probun bir adet konektörü olduğu için konfigürasyon sayfasından ultrasonik yöntem “pulse-echo” olarak ayarlanmıştır. Prob 10 MHz olduğu için darbe frekansı “10 MHz” olarak seçilmiştir. Buffer boyutu ise 2000 olarak ayarlanmıştır. Yani her bir ölçüm için 2000 adet örnekleme yapılacağı ifade edilmiştir. 2000 örnek seçilmesinin nedeni, ultrasonik dalgaların sönümlenmesinin görülebildiği yeterli bir zaman aralığına karşılık gelmesidir. Şekil 3.3'deki bütün muayenelerde +4 dB kuvvetlendirme uygulanmıştır. Konfigürasyon sayfasından malzeme içerisindeki ses hızı da 5920 m/s olarak girilmiştir. Bu kalınlık ölçüm deneylerinin hepsinde 0 ile 150 numaralı örnek arasında başlangıç darbesi görülmektedir. Ancak yankıları net görebilmek için gerçekleştirilen kuvvetlendirme yüzünden başlangıç darbesi aşırı kuvvetlenmiştir. Başlangıç darbesi ile ilk yankı arasındaki bir değerlendirme ile tam doğru sonuçlara ulaşmak zor olduğundan buradaki kalınlık ölçüm testlerinde yankının yankısını değerlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekildeki bütün muayenelerde konfigürasyon sayfasından ilk yankının olduğu örnek aralığı girilmiştir.

Deney sonuçlarına genel olarak bakıldığında kalınlık arttıkça yankıların birbirinden uzaklaştığı açıkça görülmektedir. Bunun nedeni A-Scan gösterimde x ekseninin zamanı ifade etmesinden kaynaklanmaktadır. Ultrasonik dalganın malzeme içerisinde bir kere gidip gelme süresi kalınlık arttıkça uzamakta ve bu olay yankıların birbirinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca deneylerin hepsinde sabit kuvvetlendirme kazancı uygulanmasına rağmen kalınlık arttıkça ultrasonik dalgaların zayıflamasının arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle birinci yankıdan sonraki yankılarda bu değişiklik net bir şekilde görülmektedir. İkinci yankılara bakıldığında Şekil 3.3a'dan 3.3d'ye doğru y değeri yani sinyalin gücü azalmaktadır.

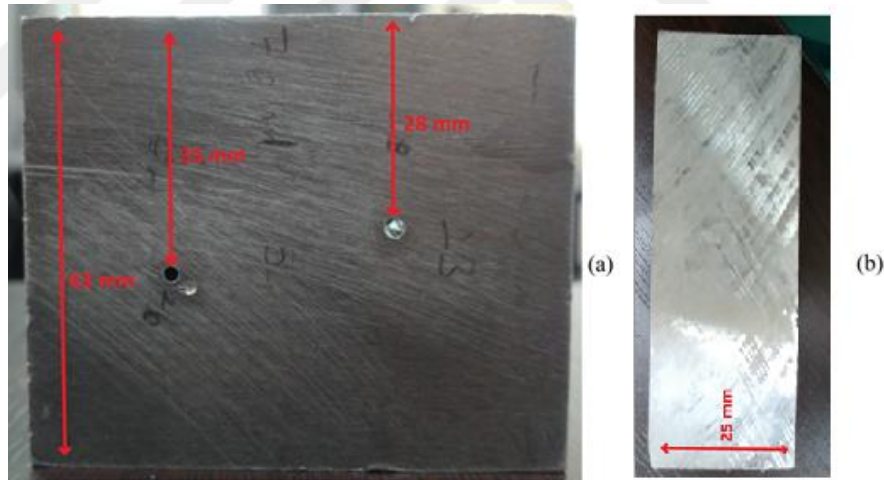


Şekil 3.3: Çelik (1018) kalibrasyon bloğunda yapılan kalınlık ölçüm testleri: (a) 5 mm’de yapılan test, (b) 7,5 mm’de yapılan test, (c) 10 mm’de yapılan test, (d)12,5 mm’de yapılan test

Yankının yankısı yöntemi ile değerlendirme yapıldığı için deneyler ilk yankı ile ikinci yankı arasındaki geçen süre hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3a’da ilk yankı 200 ile 300 arasında oluşmuştur. Bu örnekler arasındaki y eksenine göre en yüksek değere sahip olan örnek değeri program tarafından tespit edilmiştir. Bundan sonra ikinci yankı kapı yardımıyla seçilmiştir. Kapının üzerinde bulunduğu yankının en yüksek y değerine sahip olan örneği yine program tarafından tespit edilmiştir. İlk yankıdan elde edilen y değeri ile ikinci yankıdan elde edilen y değeri arasındaki örnek sayısı program tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır, bu iki değer Şekil 3.3a’daki muayene için 166’dır. 100 MHz’de örnekleme yapıldığı için her örnek arası 10 ns’ye denk gelmektedir. Ancak burada süre olarak 166 ile 10 ns’nin çarpımı kullanılmamıştır. Muayeneye başlamadan önce prob kalibrasyonu yapılmıştır. Bu yüzden prob gecikme süresi bu kalınlık için program tarafından yaklaşık 33 ns olarak hesaplanmış ve doğru muayene sonucunun elde edilmesi için Formül (2.2) kullanılmıştır. Muayenesi yapılan malzeme içerisindeki ses hızı başlangıçta programa girilmiştir. Formül (2.2)’de

kullanılması gereken süre de elde edildikten sonra kalınlık ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.3'deki bütün kalınlık ölçüm testleri için aynı şekilde uygulanmıştır. Şekil 3.3a'da gerçekleştirilen kalınlık ölçüm deneyinde birinci ve ikinci yankı değerlendirilmiş ve değerlendirme sonucunda 5,01 mm bulunmuştur. Bu deneyde kapı üçüncü yankının üzerine getirildiğinde Şekil 3.3a'da bulunan kalınlık ölçüm değerinin iki katına denk gelen 10,019 mm değeri elde edilmiştir. Çünkü bu sefer birinci ve üçüncü yankı arasındaki süre incelenmiştir. Bu ise ultrasonik dalgaların iki kere gidip gelme süresine denk gelen bir sürenin hesaplanmasıdır.

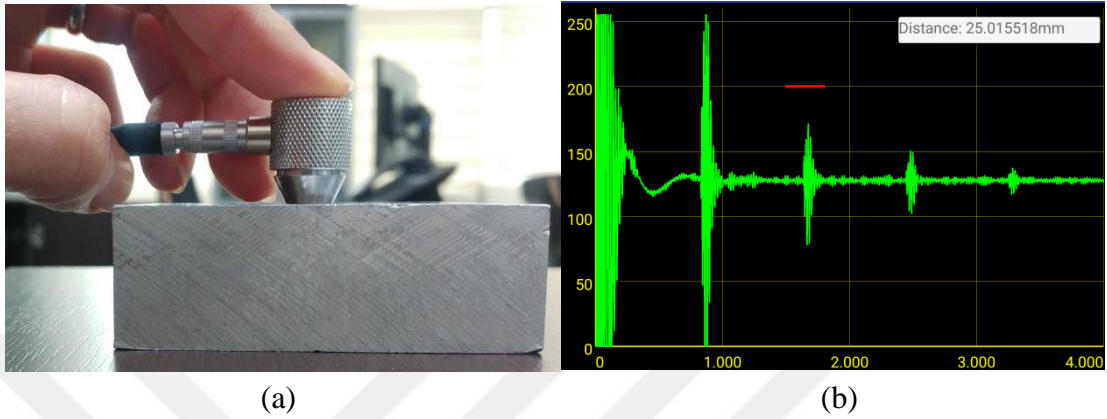
Bu proba gerçekleştirilen başka bir kalınlık ölçüm deneyi de Şekil 3.4'deki alüminyum malzemesinin Şekil 3.4a'da gösterilen 63 mm'lik boyunun ve Şekil 3.4b'de gösterilen 25 mm'lik kalınlığının ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Şekilde ifade edilen uzunluk birimleri kumpasla ölçülmüştür.



Şekil 3.4: Alüminyum test malzemesi:(a) Malzemenin yan yüzeyi,
(b) Malzemenin üst yüzeyi

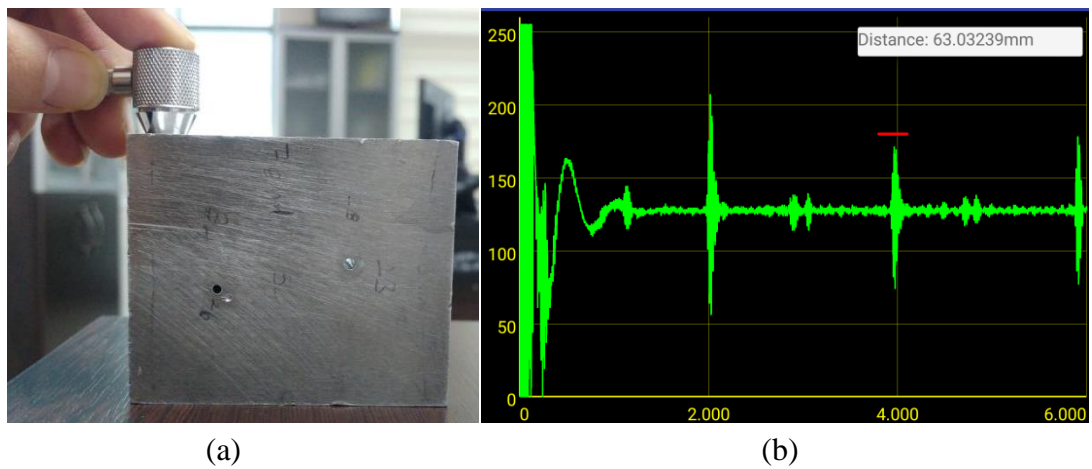
Alüminyum malzeme üzerinde gerçekleştirilen kalınlık ölçme deneyinin sonucu Şekil 3.5b'de verilmiştir. Şekil 3.5a'da gösterildiği gibi bu deneyde +8 dB'lik bir kuvvetlendirme uygulanmıştır. Tablo 1.2'ye bakıldığında alüminyum malzemesinin içerisindeki ses hızının 6350 m/s olduğu görülmektedir. Buffer boyutu 4000 olarak ayarlanmıştır. Deney yankının yankısı incelenerek gerçekleştirilmiştir. ilk yankı 800 ile 1000 numaralı örnek değerleri arasında olduğu için bu aralıkta konfigürasyon sayfasında belirtilmiş ve kapı yardımıyla ikinci yankı seçilmiştir. Bu seçim yapıldığında

program muayene için gereken süre değerini hesaplamıştır ve Formül (2.2)'yi kullanarak kalınlık bilgisini elde etmiştir.



Şekil 3.5: Alüminyum test malzemesinin kalınlığının muayenesi: (a) Malzemenin kalınlığının ölçümü (b) Malzemenin kalınlık ölçüm sonucu

Şekil 3.6'daki deneyde ise malzemenin hatalara denk gelmeyen bir noktasından boyunun ölçümü yapılmış ve Şekil 3.6a'da gösterilmiştir. Bu deneyde +16 dB'lik bir kuvvetlendirme yapılmıştır ve buffer boyutu 6000 olarak ayarlanmıştır. Yine yankının yankısı yöntemi ile deney gerçekleştirilmiş ve Formül (2.2) ile program tarafından malzeme kalınlığı otomatik olarak elde edilmiştir. Şekil 3.6b'de muayenenin sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Alüminyum test malzemesinin boyunun muayenesi: (a) Malzemenin boyunun ölçümü, (b) Malzemenin boyunun ölçüm sonucu

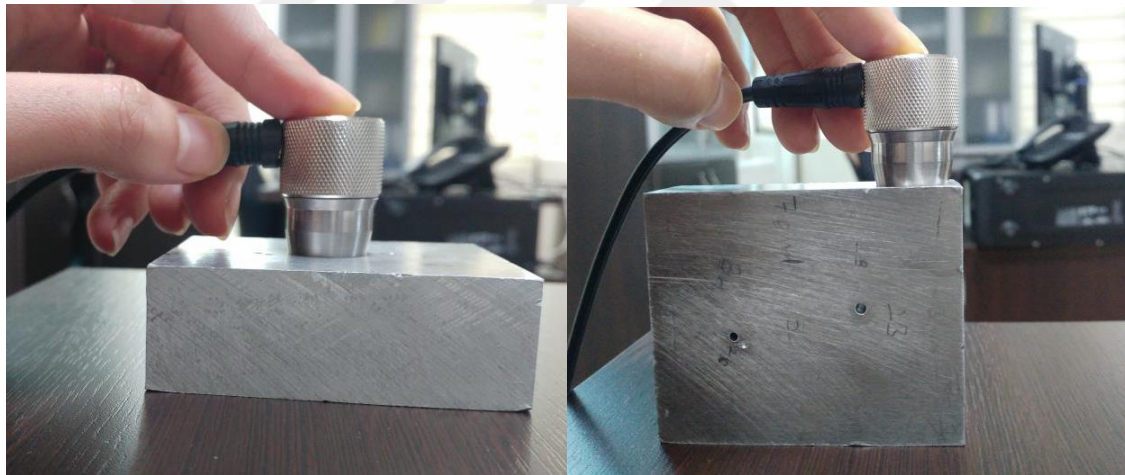
Alüminyum malzeme üzerinde gerçekleştirilen bu iki deney incelendiğinde başlangıç darbesi ile ilk yankı arasında bir dalgalanma hareketi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni muayenesi yapılan alüminyum malzeme yüzeylerinin pürüzlü olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan deneylerde bu probun yüzey kusurlarından çok etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden yankının yankısına bakılarak gerçekleştirilen ölçümler bu deneylerde en sağlıklı sonuçları vermiştir. Ayrıca Şekil 3.6b’de verilen değerlendirmede yankılar arasında birtakım küçük yankıların olduğu görülmektedir. Bu durum dalga yayılırken gerçekleşen ve istenmeyen dalga mod dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır. Prob frekansının yüksek olması ultrasonik dalganın daha fazla saçılarak yayılmasına sebep olmaktadır. Dar bir alana muayene yapıldığı için içeride dalgalar saçılarak yayılırken yan duvarlara veya hatanın olduğu kısma açılı bir şekilde çarparak mod dönüşümüne uğramıştır.

Buraya kadar gerçekleştirilen tüm deneyler Şekil 3.1’de gösterilen tek elementli prob ile yapılmıştır. Şekil 3.4’deki alüminyum malzeme üzerinde gerçekleştirilen kalınlık ölçüm testleri 2 MHz çift elementli başka bir prob ile de gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7’de gösterilen bu probun çift elementi olmasından dolayı uygulamanın konfigürasyon ayarları sayfasında birtakım değişiklikler yapılmıştır. Bu prob alıcı ve gönderici olmak üzere iki ayrı kristale sahiptir ve iki konektörü bulunmaktadır. Bu yüzden ultrasonik yöntem kısmından “TTU ya da Dual Element” seçeneği seçilmiş ve prob frekansı darbe frekansı kısmından 2 MHz olarak seçilmiştir. Bu proba Şekil 3.2’de gösterilen çelik kalibrasyon bloğu üzerinde de kalınlık ölçüm testleri yapılmış, ancak net sonuçlar elde edilememiştir. Bunun nedeni ise kullandığımız çift elementli probun frekansının nispeten düşük olmasıdır. Çelik bloğun basamak kalınlıklarının probun yakın bölgesi içerisinde kalması ve probun frekansının düşük olması sebebiyle yankı sinyallerinin birbiri içine girmesi nedenlerinden dolayı net sonuçlar alınamamıştır.



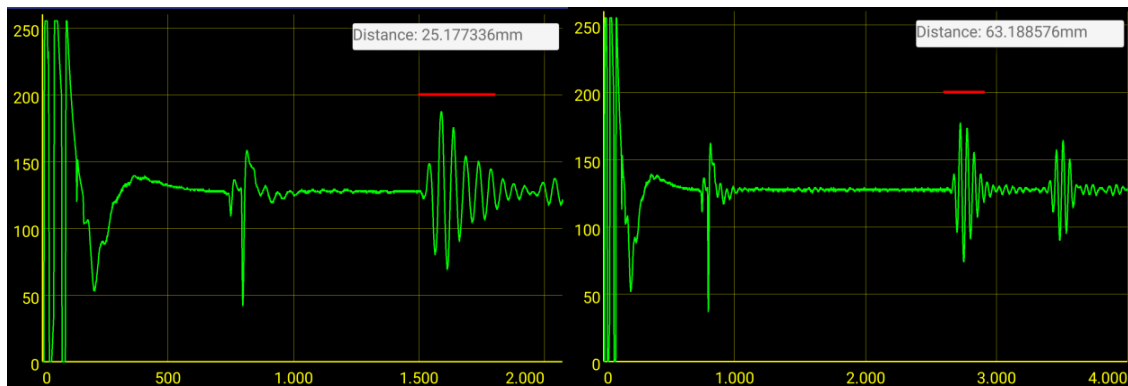
Şekil 3.7: Çift element 2MHz prob

Bu prob için gerekli kalibrasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.8a ve 3.8b'deki gibi gerçekleştirilen alüminyum bloğun kalınlığının ve boyunun muayenesinin sonuçları Şekil 3.8c ve 3.8d'de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 750 ile 1000 numaralı örnekler arasında bir darbe oluşmuştur ve bu darbe başlangıç darbesidir. Tek elementli probta yaptığımız deneylerde başlangıç darbesi 0 ile 150 numaralı örnekler arasında oluşmaktaydı. Bu probda başlangıç darbesinin daha uzun bir sürede oluşmasının nedeni çift elementli probdaki kristallerin prob kılıfı içerisinde tek elementli probun kristaline göre daha geride olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden başlangıç darbesini oluşturan ultrasonik dalgalar prob içerisinde malzemeye ulaşana kadar daha uzun bir yol kat etmektedirler ve bu başlangıç darbesinin oluşma süresinin uzamasına neden olmaktadır.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3.8: Çift elementli prob ile alüminyum test malzemesinin kalınlık ve boy ölçüm testi: (a) Malzemenin kalınlığının muayenesi, (b) Malzemenin boyunun muayenesi, (c) Malzemenin kalınlık ölçüm sonucu, (d) Malzemenin boy ölçüm sonucu

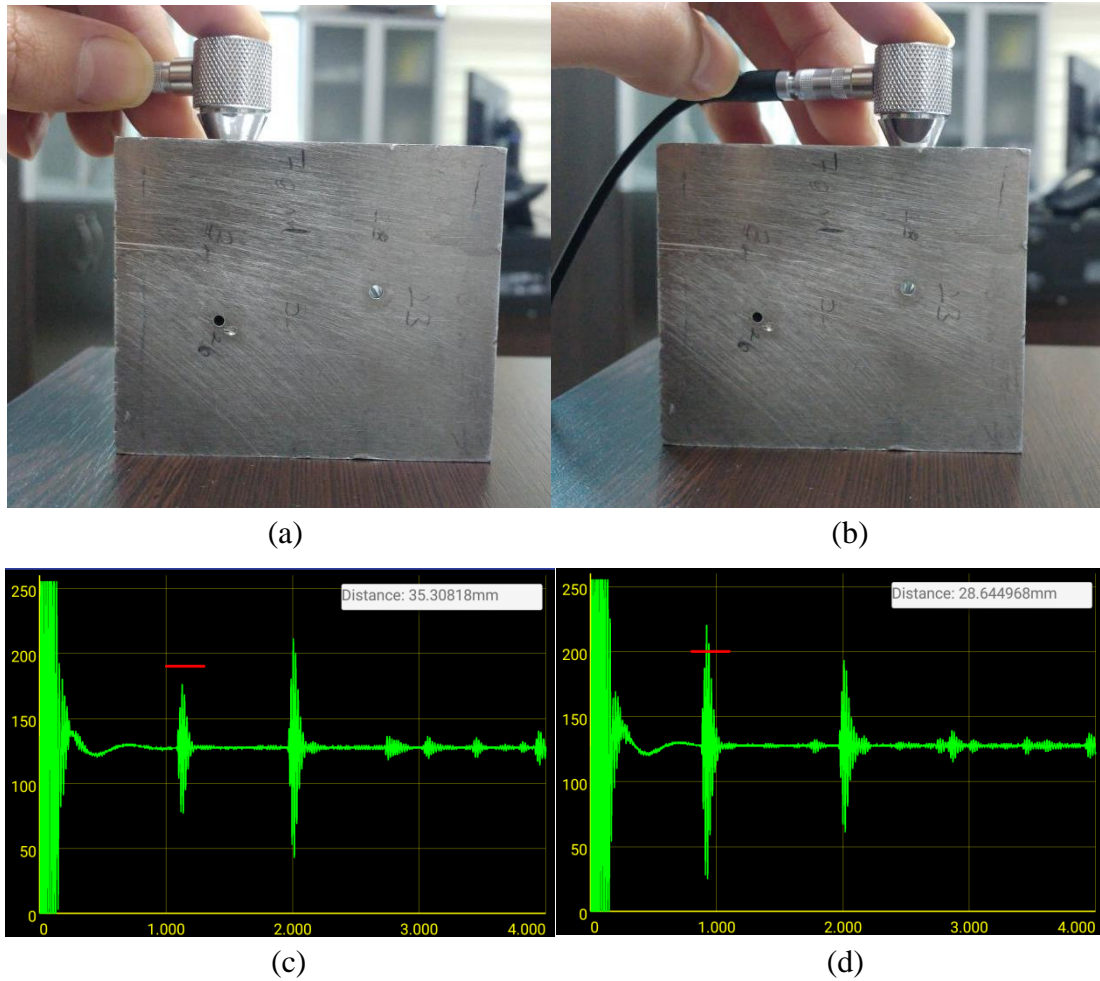
Şekil 3.8c ve 3.8d'deki testler başlangıç darbesi ve ilk yankı arasındaki süre esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8c'de verilen değerlendirmede +14 dB kuvvetlendirme uygulanmış ve 2000 örnek alınmıştır. Şekil 3.8d'de ise yine +14 dB kuvvetlendirme uygulanmış ve uzun kenar ölçüldüğü için 4000 örnek alınmıştır. Şekil 3.5b'de aynı malzeme ve aynı kalınlık üzerinde tek elementli prob ile gerçekleştirilen testte sinyale +8 dB kuvvetlendirme yapılmasına rağmen Şekil 3.8c'deki +14 dB kuvvetlendirilmiş sinyalin yaklaşık bir buçuk katı kuvvete sahip olunmuştur. Bu durum problemler arasındaki kalite farkı, sinyal cevabı ve iç yapılarındaki farklar gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

3.2 Hata Tespiti Çalışması

Hata tespiti deneylerinde ilk olarak tek elementli prob ile Şekil 3.4'de verilen alüminyum blok üzerindeki hatalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.4a'da gösterildiği gibi bu hatalardan biri yaklaşık 35 mm diğeri ise yaklaşık 28 mm derinliktedir. Şekil 3.9c ve 3.9d'deki hata muayeneleri gerçekleştirilirken başlangıç darbesi ile hata yankısı arasındaki süre esas alınmıştır. Tek elementli prob ile yapılan testlerde yankıların net görünmesi için yapılan sinyal kuvvetlendirilmesi başlangıç darbesinin aşırı kuvvetlenmesine neden olmuştur. Bu yüzden Şekil 3.9c ve 3.9d'de başlangıç darbesinin en yüksek y değerine sahip örneği görüntülenememiştir. Başlangıç darbesi içerisindeki ilgili örnek değerini tespit etmek için UT, öncelikle kuvvetlendirme yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Başlangıç darbesindeki maksimum genliğin örnek numarası program tarafından tespit edildikten sonra kuvvetlendirme işlemi yapılmış ve yankıların daha anlamlı hale getirilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.9'daki iki sinyal de +9 dB kuvvetlendirilmiştir. Şekil 3.9c ve 3.9d'de kapının üzerine getirildiği ilk yankı hatadan dönen yankıdır. Bundan sonraki yankı ise arka duvar yankısıdır ve üzerine kapı ile gelinip ölçüldüğünde yaklaşık 63 mm olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 3.9a ve 3.9b'ye dikkat edilecek olursa hata olarak nitelendirilen deliklerin çaplarının aynı olmadığı görülmektedir. 35 mm derinlikte olan hata 1,5 mm çapa sahip bir delici uçla, 28 mm derinlikte olan hata ise 2 mm çapa sahip bir uçla delinmiştir. Deliklerin farklı çaplara sahip olması sinyallerin güçlerinde gözle görülür farklılara neden olmuştur. Şekil 3.9c'de 35 mm derinlikte ve 1,5 mm çapa sahip hatadan meydana gelen yankının gücünün arka duvar yankısının gücünden daha düşük olduğu görülmektedir.

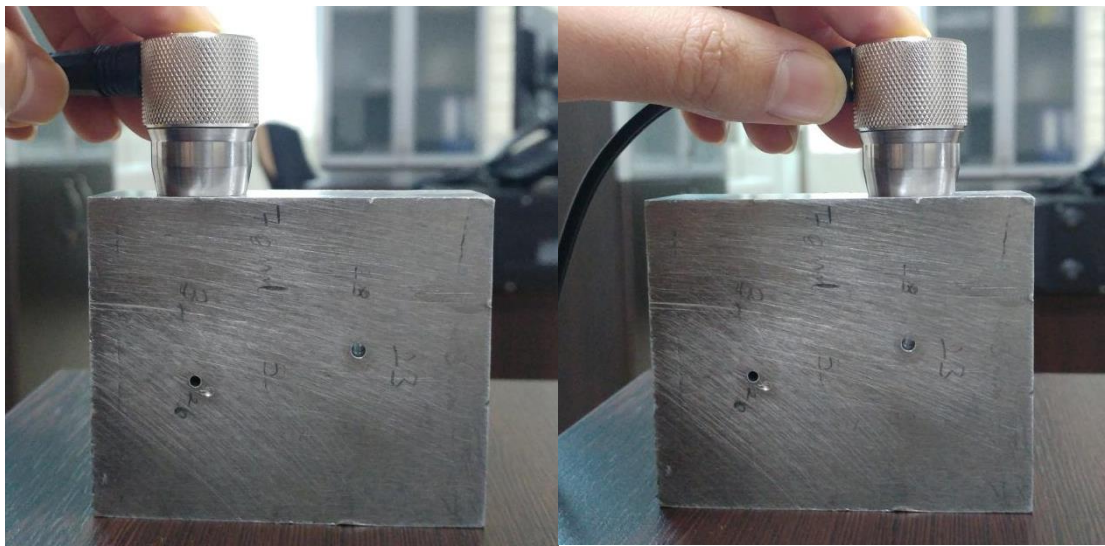
Ancak Şekil 3.9d'de 28 mm'deki 2 mm çapa sahip deliğin neden olduğu hata yankısının gücü arka duvar yankısının gücünden daha büyüktür. Büyük çapa sahip olan hatanın, sinyali daha fazla zayıflattığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 3.9c'deki hata 35 mm'de Şekil 3.9d'deki hata 28 mm'de bulunduğundan hata yankısının başlangıç darbesine şekil 3.9d'de daha yakın olduğu görülmektedir. Hata tespit işleminde Formül (2.2)'den yararlanılmıştır.



Şekil 3.9: Alüminyum test bloğu üzerinde tek elementli prob ile hata tespiti: (a) 35 mm'deki hatanın muayenesi, (b) 28 mm'deki hatanın muayenesi, (c) 35 mm derinlikteki hatanın ölçüm sonucu, (d) 28 mm derinlikteki hatanın ölçüm sonucu

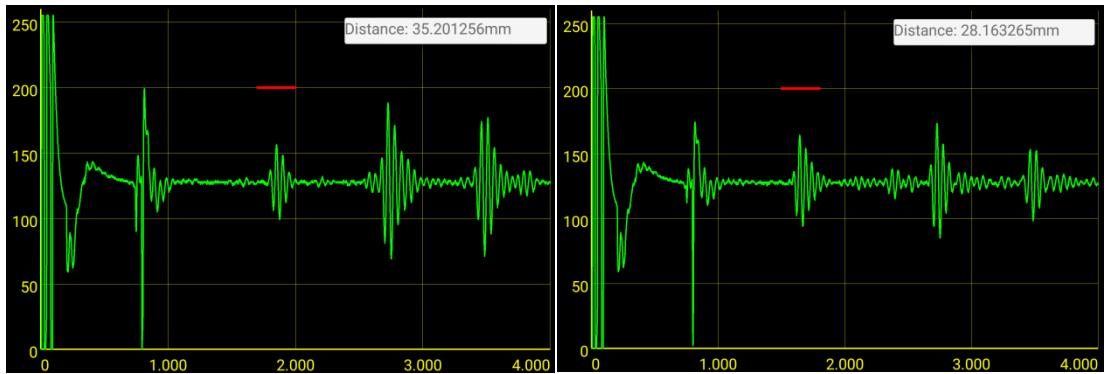
Tek elementli prob ile hata muayenesi gerçekleştirilen alüminyum malzemeye Şekil 3.10a ve 3.10b'de gösterildiği gibi çift elementli proba da hata tespiti işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10c ve 3.10d'de gerçekleştirilen testlerin sonuçları verilmiştir. Yapılan testlerde iki sinyal de +18 dB kuvvetlendirilmiştir. Şekil 3.10c ve

3.10d'de 750 ile 1000 numaralı örnek arasındaki darbe başlangıç darbesidir. Bu prob için ölçülen malzeme değişse bile başlangıç darbesinin yeri değişmeyecektir. Çünkü başlangıç darbesi, malzeme yüzeyine ulaşır malzemeye girmeden yansıyan ve sadece prob içerisinde seyahat eden darbeleri ifade etmektedir. Bu sebeple probda başlangıç darbesinin oluşması için geçen süre her zaman sabittir. Şekil 3.10c ve 3.10d'ye bakılacak olursa başlangıç darbesinden sonra gelen ilk darbe hatadan meydana gelen yankıdır. Hata yankısından hemen sonraki darbenin nedeni ise arka duvar yankısıdır.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3.10: Alüminyum test bloğu üzerinde çift elementli prob ile hata tespiti: (a) 35 mm'deki hatanın muayenesi, (b) 28 mm'deki hatanın muayenesi, (c) 35 mm derinlikteki hatanın ölçüm sonucu, (d) 28 mm derinlikteki hatanın ölçüm sonucu

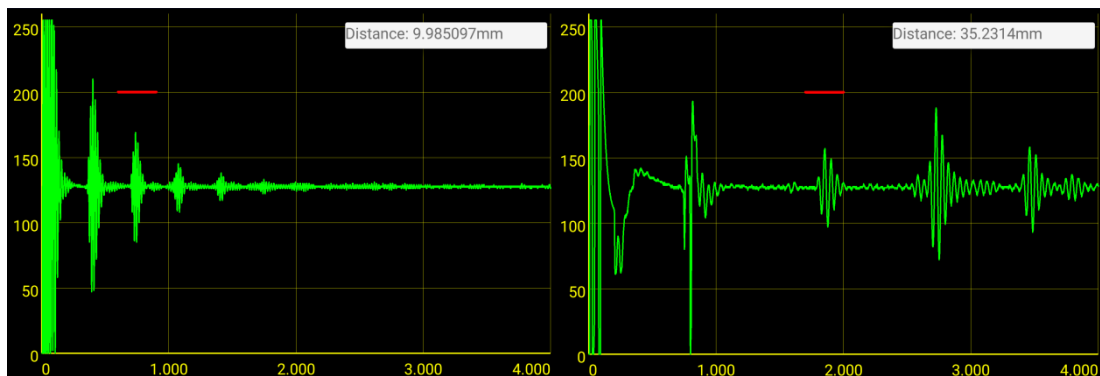
Tek elementli prob ile gerçekleştirilen Şekil 3.9'da gösterilen hata tespiti testleri ile Şekil 3.10'daki çift elementle gerçekleştirilen testler karşılaştırıldığında tek elementli

probla gerçekleştirilen muayeneler daha az gürültüye sahip daha net sonuçlar verirken çift elementli prob daha gürültülü sonuçlar vermiştir. Ancak yapılan testlerde çift elementli probun yüzey kusurlarından daha az etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden testlerde kullanılan tek elementli probun aksine çift elementli proba gerçekleştirilen deneylerde başlangıç darbesinden sonra bir dalgalanma yaşanmadığı görülmektedir.

3.3 Kalınlık Ölçme ve Hata Tespitinde Farklı Sıvı Kuplaj Malzemelerinin Kullanımı

Bu kısma kadar anlatılan testlerin tamamı sıvı kuplaj malzemesi olarak su tercih edilerek gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması gerçekleştirilirken piyasada çalışan ve işi NDT olan uzman kişilerle yapılan görüşmelerden sıvı kuplaj malzemesi olarak motor yağının sık sık kullanıldığı öğrenilmiştir. Bu yüzden test çalışması için gerçekleştirilen bütün testler hem su hem de motor yağı ile gerçekleştirilmiştir.

Su ve motor yağı kullanımını karşılaştırılırken aynı malzemeler için aynı sinyal kuvvetlendirmeleri kullanılmıştır. Bu sayede sinyal üzerinde meydana getirdikleri etkiler gözlemlenmek istenmiştir. Şekil 3.11a'daki muayene Şekil 3.3c'deki kalınlık ölçümü muayenesi ile aynı malzeme ve aynı kalınlık üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.11b ise Şekil 3.10a'daki hata tespiti muayenesi ile aynı malzeme ve aynı hata üzerinde denenmiştir. Bu iki muayene için de değişen tek faktör sıvı kuplaj malzemesi seçimidir.



Şekil 3.11: Sıvı kuplaj malzemesi olarak motor yağı kullanılarak yapılan ölçümler: (a) Kalınlık ölçümü testi, (b) Hata tespiti muayenesi

Şekiller su ile yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında hemen hemen birbirinin aynısı olduğu görülmektedir ve bunun nedenleri araştırılmıştır. Motor yağı ve suyun akustik

empedanslarının birbirlerine çok yakın olması muayene sonuçlarındaki benzerliklerin en büyük nedenlerinden biridir. Malzeme ile prob arasında dalga iletimi sağlanırken en önemli faktörlerden birisinin akustik empedans olduğu bilinmektedir.

Farklı sıvı malzemelerle yapılan deneylerde muayene sonuçları üzerinde büyük değişiklikler olmamasına rağmen çelik malzeme üzerinde su ile gerçekleştirilen testlerden sonra iyice kurulanmadığı takdirde test malzemesinin hızlı bir şekilde paslandığı gözlemlenmiştir. Bu sorunu önlemek amacıyla çelik gibi paslanabilecek malzemeler için motor yağı kullanımı doğru bir yaklaşım olacaktır. Yapılan testlerde alüminyum gibi paslanmayan malzemelerde ise su kullanımında herhangi bir sakınca gözlenmemiştir.

3.4 Geliştirilen Sistemin Güvenilirlik Çalışması

Tez çalışması kapsamında geliştirilen sistemle, Şekil 3.2’de gösterilen çelik (1018) kalibrasyon bloğunun 12,5 mm kalınlığındaki basamağı ve Şekil 3.4’de gösterilen alüminyum test malzemesinin yaklaşık 35 mm derinlikte bulunan hatası üzerinde tekrarlanabilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Tekrarlanabilirlik ölçme adına önemli bir parametredir ve bir ölçümün farklı zamanlarda aynı sonuçlar ile elde edilip edilmediğinin bir göstergesidir. Dolayısıyla ölçüm cihazlarında tekrarlanabilirlik oranının yüksek olması beklenir. Bu test için gerçekleştirilen her bir ölçümde bütün koşulların aynı olmasına özen gösterilmiştir. Ortam koşulları açısından en önemli parametre prob ile test bloğu arasındaki uygunlaştırıcı madde miktarı ve prob üzerindeki basıdır. Tekrarlanabilirlik çalışmasıyla, geliştirilen sistemin ölçüm sonuçları üzerindeki tutarlılığı tespit edilmek istenmiştir. Tablo 3.1’de tekrarlanabilirlik testinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1’deki ölçüm sonuçları dikkatle incelendiğinde; çelik blok için aralarında çok küçük bir fark olan iki farklı değer okunduğu görülmektedir ve aynı durum alüminyum malzeme için de geçerlidir. Sonuçlardaki bu küçük farkın nedeni ise ADC biriminin bazen bir örnek daha az okumasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifade ile RF şeklinde alınan ultrasonik vuru yankılarının pozitif örneklerinden alınan en büyük genlik noktasının bir örnek ileri veya bir örnek geri kalmasından kaynaklı bir durumdur. Rastgele ancak sadece bir basamak değişen bir örnek kaymasından söz etmekteyiz ve pratik uygulamalarda önemsiz bir detay olarak değerlendirilebilir. Daha öncede

belirtildiği gibi 100 MHz'te örnekleme yapılırken iki örnek arası 10 ns'lik bir zaman dilimine tekabül etmekte ve bu zaman diliminde sesin seyahat ettiği mesafe farkı yüzünden bu küçük değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Örneğin 12,5 mm'lik kalınlık ölçümü yapılırken okunan değerlerden birisi 12,4912 mm'dir. Kalınlık bilgisi ve sesin malzemedeki hızı bilindiğine göre Formül (2.1) kullanılarak bu muayene için ihtiyaç duyulan zaman bilgisi hesaplandığında 4220 ns'lik bir süre tespit edilmektedir. Aynı şekilde 12,5 mm'lik kalınlık için ölçülen diğer değer olan 12,5208 mm için muayene süresi de formülden 4230 ns hesaplanmaktadır. Görüldüğü üzere aynı malzeme için aynı şartlar altında ve aynı noktadan gerçekleştirilen bu iki ölçüm arasında 10 ns'lik bir zaman farkı vardır. Bu ise düşük değere sahip olan ölçümde 100 MHz'te bir örnek daha az alınmasından kaynaklanmaktadır. Alüminyum malzeme muayenesi sonuçları incelendiğinde; çelik blokta da görülen, bir örnek farkından kaynaklanan küçük değişiklik gözlemlenmektedir.

Tablo 3.1: Tekrarlanabilirlik testi için UT sonuç tablosu

	Çelik (1018): 12,5 mm	Alüminyum Malzeme: ~35 mm
Ölçüm 1	12,5208	35,3695
Ölçüm 2	12,5208	35,3695
Ölçüm 3	12,4912	35,3695
Ölçüm 4	12,5208	35,33775
Ölçüm 5	12,4912	35,3695
Ölçüm 6	12,5208	35,3695
Ölçüm 7	12,5208	35,3695
Ölçüm 8	12,4912	35,3695
Ölçüm 9	12,5208	35,33775
Ölçüm 10	12,5208	35,3695

Tablo 3.1'deki muayene sonuçları üzerinden sistemin hassasiyeti incelendiğinde, 12,5 mm'lik çelik bloğun muayenesinde görülen iki farklı muayene sonucu arasındaki mesafe farkı 29,6 μm 'dir. Bu muayene sonucu örneklenirken; alınan iki örnek değeri arasında başka bir deyişle 10 ns'lik bir sürede, ultrasonik dalgalar 29,6 μm 'lik bir yol kat etmektedir. Bu değer 12,5 mm'lik çelik blok üzerinde gerçekleştirilen muayene için, geliştirilen sistemin hassasiyetini ifade etmektedir. Ayrıca alüminyum test

malzemesinde gerçekleştirilen muayenede ise, 10 ns'lik sũrede malzeme içerisinde dalgalar 31,75 μm 'lik bir yol gitmektedir. Alũminyum malzemede gerçekleştirilen UT'de ise sistemin hassasiyeti iki ˆrnek arasında 31,75 μm 'dir. Kısacası, ultrasonik dalgalar farklı malzemelerde farklı ses hızına sahip olmalarından dolayı malzemenin cinsi hassasiyeti etkilemektedir.

Sadece bir ˆrnek fazla veya eksik alınması sebebiyle muayene sonuçlarında meydana gelen değişiklikler μm seviyesinde ve ihmal edilebilecek dũzeydedir. Gerçekleştirilen tekrarlanabilirlik testi ve sistemin hassasiyeti incelendiğinde tez çalışması kapsamında geliştirilen sistemin tutarlılığı ve doğruluğu olduğa tatmin edicidir.



BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 Sonuç

Bu tez çalışması kapsamında yaygın olarak kullanılan ultrasonik NDT cihazlarına akıllı cihazlar entegre edilerek farklı bir bakış açısı kazandırılmıştır. Geliştirilen sistemde, bir ultrasonik geliştirme kartı ile Android tabanlı akıllı cihazlar arasında Bluetooth üzerinden veri alışverişi yapılmakta ve geliştirilen akıllı cihaz arayüzünde ultrasonik sinyaller değerlendirilmektedir. Akıllı telefonun gelişmiş özelliklerinin konvansiyonel UT uygulamalarına entegre edilmesi muayene uygulamasına pek çok ilave özellik kazandırmıştır. Akıllı cihazlar için geliştirilen Android programı, ultrasonik yankı sinyallerini kaydedebilmekte ve kablosuz haberleşme özelliği sayesinde kaydettiği muayene verilerini internet üzerinden paylaşabilmektedir. Sonuç verilerinin internet üzerinden paylaşılabilmesi ve kaydedilebilmesi piyasadaki cihazlara kıyasla çok büyük bir depolama alanına sahip olmak anlamına gelir. Ayrıca akıllı telefonun halihazırda sunduğu özellikler sayesinde muayene yapılan yerlerde konum verisi kaydedilebilmekte veya muayenesi yapılan malzemenin fotoğrafı çekilebilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkan sistem sayesinde tek ve çift elementli problemlerle PE ve TT yöntemi ile UT yapabilen bir sistem elde edilmiştir. Geliştirilen sistem UT işleminde yaygın olarak kullanılan dalga modlarından boyuna dalga modunu kullanmaktadır. Tez içerisinde bahsedilen diğer üç dalga moduyla (enine, yüzey ve lamba modları) yazılım altyapısı tamamlandığı takdirde ölçümler yapılabilir. Bu dalga tiplerinin elde edilmesi kullanılan problemlerle alakalıdır ve geliştirilen donanım bu problemleri de destekleme kapasitesine sahiptir. Özellikle yüzey dalgaları ile çalışma yeteneği kazandırılmasının akademik açıdan pek çok çalışmanın tabanını oluşturacağı düşünülmektedir [7, 15].

Gerçekleştirilen sistemde, tez içerisinde bahsedilen ultrasonik verilerin gösterim çeşitlerinden A-Scan gösterimle sonuçlar sunulmaktadır. B-Scan ve C-Scan gösterimde pozisyon verilerinin okunması ultrasonik verilerin elde edilmesi kadar önemlidir. Geliştirilen sistemde bu gösterim çeşitlerinin de geliştirilebilmesi amacıyla sisteme enkoder okuyabilme yeteneği kazandırılmış ve donanımsal altyapı sağlanmıştır.

Geliştirilen sistem şu anki haliyle gerçek zamanlı çalışmamaktadır. Çünkü kullanılan haberleşme modülünün veri alışveriş hızı yetersizdir. Sistemin gerçek zamanlı hale getirilmemesinin sebebi bu tez çalışması kapsamında sistemin doğruluğuna ağırlık verilmesindedir. Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin tutarlılığı ve doğruluğu üzerine gerçekleştirilen testlerden tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmayla sistemin UT ve muayene sonuçlarını değerlendirme işleri bakımından kendini kanıtladığı ortaya konulmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistemle konvansiyonel UT uygulamasının özellikleri arttırılmış bunun yanında donanım maliyetleri düşürülmüştür. Ayrıca, bu çalışmayla sürekli geliştirilebilir bir sistem ortaya konmuştur.

4.2 Öneriler

Tez çalışması gerçekleştirilirken piyasada ultrasonik NDT işlerini yürüten, NDT eğitimi veren ve cihaz satışı yapan firmalarla görüşülmüştür. Piyasadan alınan bilgilerle, ultrasonik geliştirme kartının piyasada satılan cihazlardan donanım gereksinimleri açısından eksik bir özelliğinin bulunmadığı ortaya çıkmıştır. Ancak yazılımsal olarak geliştirmeler yapılarak konvansiyonel cihazlarda bulunan gelişmiş kalibrasyon yetenekleri gibi bazı özellikler geliştirilen sisteme kazandırılabilir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem batarya ile çalışabildiğinden dolayı güç tüketimi önemli bir konudur. Bir sonraki çalışmada kart tasarımında hem mikrodenetleyici hem de FPGA kullanmak yerine içerisinde bir mikrodenetleyici yapısı bulunduran SOC (System on Chip) FPGA entegreleri tercih edilerek kartın boyutu küçültülürken enerji ihtiyacı azaltılabilir.

Android NDK platformu ile C/C++ kodlarının Android uygulamalara dahil edilebilmesi, DSP entegreleri için yazılan pek çok uygulamanın akıllı telefon üzerinde

denenebilmesine imkan vermektedir. Örneğin malzemelerin tanecik yapısının sebep olduğu ultrasonik dalgaların saçılması olayı alınan sinyale gürültü eklemektedir. Bu gürültünün bastırılabilmesi için filtre çalışmaları bir DSP entegresi yerine akıllı telefon üzerinde gerçekleştirilebilir. Literatürdeki akademik çalışmalar bu fikri desteklemektedir [21].

Gerçekleştirilen sistem enine dalgaları kullanan açılı problemleri de gerekli gömülü sistem yazılımları gerçekleştirilerek destekleyebilir. Android uygulamada da gerekli yazılım işlemlerinin tamamlanması ile geliştirilebilecek cihazla kaynak muayeneleri yapılabilir.

Gerçekleştirilen sistemin enkoder okuma yeteneği sayesinde malzemelerin ultrasonik C-Scan muayenesini gerçekleştirebilen tezgahlarla kullanılması mümkün kılınabilir. Bu sayede uçak kanadı parçaları gibi elle muayenenin zor olacağı kadar büyük ve şekilsel olarak düzgün malzemeler bu tezgahlarla otomatik olarak muayene edilebilir. Şekli bozuk olan büyük parçalar için ise robotik okuma sistemleri geliştirilebilir.

Piyasada kullanılan Wi-fi modülleri veya daha hızlı çalışan Bluetooth modülleri ile sistem gerçek zamanlı hale getirilebilir.

Kaydedilen ultrasonik verilerin paylaşılabilmesi ve MATLAB'ın SQLite veritabanı ile çalışabilmesi sayesinde kaydedilen veriler üzerinde MATLAB ile çalışmalar gerçekleştirebilme imkanı sağlanmaktadır. Bu sayede kaydedilen ultrasonik sinyallerin değerlendirilmesi veya gürültüler için farklı filtrelerin denenmesi gibi konularda MATLAB'de çalışmalar yapılabilir.

Bu tez çalışması ile akıllı sistem tasarımları gerçekleştirebilmek için verimli ortamlar sağlanmıştır. Sistemde FPGA kullanılmasıyla halihazırda gerçekleştirdiği işin yanında sayısal sinyal işleme işlemleri de etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde FPGA ile ultrasonik saçılmaların sinyal üzerindeki etkilerini bastırmaya yönelik yapay sinir ağları ile filtreleme çalışmaları yapıldığı görülmüştür [25].

KAYNAKÇA

1. Brook, M.V., 2012. Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design: Examples of Practical Applications. IEEE press, New Jersey, 288 pp.
2. Özdemir, A.T., 2014. A low-cost and highly reliable amplitude modulator design for PC-based PCI plug ultrasonic pulser receiver boards. **Electronics World**, **120** (1937): 30-33.
3. Özdemir, A.T., Orman, A., 2015. Developing an iPhone smartphone based fall detection algorithm, pp. 2456-2459. *Proc. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, May 16-19, 2015, Malatya, Turkey.
4. Gül S., Özdemir A.T., 2017. Smartphone controlled ultrasonic nondestructive testing system design, pp. 335-338. *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE)*, December 7-9, 2017, Konya, Turkey.
5. İşleyici, U., 2005. Effect of Surface Roughness on Ultrasonic Testing. Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, PhD Thesis, Ankara, 115 pp.
6. Olympus Scientific Solutions Americas Corp. What is Ultrasound? (Web page: <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/ultrasound/>) (Date accessed: September 2017).
7. Yang, R., He, Y., Zhang H., 2016. Progress and trends in nondestructive testing and evaluation for wind turbine composite blade. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **60**: 1225-1250.
8. Abdelhamid, M., Singh, R., Omar, M., 2014. Review of microcrack detection techniques for silicon solar cells. **IEEE Journal of Photovoltaics**, **4**(1): 514-524.
9. Carvalho, A.A., Rebello, J.M.A., Souza, M.P.V., Sagrilo, L.V.S., Soares, S.D., 2008. Reliability of non-destructive test techniques in the inspection of pipelines used in the oil industry. **Int. J. Pressure Vessels Piping**, **85** (11): 745-751.
10. Hertlein, B.H., 2013. Stress wave testing of concrete: A 25-year review and a peek into the future. **Construction and Building Materials**, **38**: 1240-1245.

11. Rubio, F., Edward, D.B., Leonard J.B., 2016. Survey of advanced nuclear technologies for potential applications of sonoprocessing. **Ultrasonics**, **71**: 211-222.
12. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, Modes of Sound Wave Propagation. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/modepropagation.htm>) (Date accessed: October 2017).
13. Olympus Scientific Solutions Americas Corp. Wave Propagation. (Web page: <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/wave-propagation/>) (Date accessed: September 2017).
14. Chinthalapudi, A., Hassan, H., 2005. Investigation of Methods to Detect Defects in Thin Layered Materials, Ms Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden.
15. LIU, Q., Piwakowski, B., Lafhaj, Z., Agred, K., 2014. Automated non-contact NDT by ultrasonic surface waves. *IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation/Testing*, pp. 79-83.
16. Stonawski, O. (2008). Non-destructive Evaluation of Carbon/Carbon Brakes Using Air-coupled Ultrasonic Inspection Systems. Czech Technical University, Mechanical Engineering and Energy Processes, Ms Thesis, Prague, 109pp.
17. Brennan, R. E., 2007. Ultrasonic Nondestructive Evaluation of Armor Ceramics. The State University of New Jersey, Materials Science and Engineering, Ph. D Thesis, New Jersey, 503 pp.
18. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, UT Material Properties. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Reference%20Information/matproperties.htm>) (Date accessed: October 2017).
19. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, Reflection and Transmission Coefficients. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/reflectiontransmission.htm>) (Date accessed: October 2017).
20. Pamel A.V., 2015. Ultrasonic Inspection of Highly Scattering Materials. Imperial College London, Department of Mechanical Engineering, PhD Thesis, London, 211 pp.

21. Yi, W.J., Gilliland, S., Saniie, J., 2013. Mobile Ultrasonic Signal Processing System using Android Smartphone. *IEEE 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 1271-1274 pp.
22. Saniie J., Nagle, D.T., Donohue, K.D., 1991. Analysis of order statistic filters applied to ultrasonic flaw detection using split-spectrum processing. **IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control**, **38** (2): 133-140.
23. Weber J., Oruklu E., Saniie., 2011. FPGA-based configurable frequency-diverse ultrasonic target-detection system. **IEEE Trans. Ind. Electronics**, **58** (3): 871-879.
24. Gilliland, S., Saniie, J., Aslan, S., 2012. Linux based reconfigurable platform for high speed ultrasonic imaging. *IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 486-489 pp.
25. Saniie, J., Oruklu E., Yoon, S., 2012. System-on-chip design for ultrasonic target detection using split-spectrum processing and neural networks. **IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control**, **59** (7): 1354-1368.
26. Mix, P. E., 2005. Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide. John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 681 pp.
27. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, Piezoelectric Transducers. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/piezotransducers.htm>) (Date accessed: October 2017).
28. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, Couplant. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/Couplant.htm>) (Date accessed: November 2017).
29. NDT Resource Center, 2001-2014. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, Wave Interaction or Interference. (Web page: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/WaveInterference.htm>) (Date accessed: November 2017).

30. Özdemir A.T., 2018. A remote tone burst pulser design for automated ultrasonic scanning systems. **Journal of Aeronautics and Space Technologies**, **11**(1): 87-93.
31. Android Developer Web Site. Android NDK. (Web page: <https://developer.android.com/ndk/index.html>) (Date accessed: November 2017).
32. Özdemir A.T., 2014. Ultrasonik işaretlerin algılanmasında iletim hattı gürültülerinin bozucu etkilerinin giderilmesi hakkında bir saha uygulaması örneği, ss.1-4. *VII. URSI Ulusal Bilimsel Kongresi*, 28-30 Ağustos, 2014, Elazığ, Türkiye.
33. Berke, M., 2000. Nondestructive Material Testing with Ultrasonics: Introduction to the Basic Principles. NDT.net, vol. 5, no. 9. (Web page: <http://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke1.htm#0>) (Date accessed: September 2017).
34. Olympus Scientific Solutions Americas Corp. Straight Beam Tests. (Web page: <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/straight-beam-tests/>) (Date accessed: September 2017).
35. Özdemir, A.T., Atcı, A., 2015. A TMS320C6416 DSP-based high-speed data acquisition system, pp. 1315-1318. *Proc. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, May 16-19, 2015, Malatya, Turkey.
36. Atcı A., 2017. Ultrasonik Kalınlık Ölçer ve Hata Dedektörü Sistemi Tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 77s.
37. Intel FPGA. The Features of the Cyclone III FPGAs. (Web page: <https://www.altera.com/products/fpga/cyclone-series/cyclone-iii/features.html>) (Date accessed: September 2017).
38. Microchip PIC32MZ1024ECH144. The Features of the Microcontroller (Web page: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC32MZ1024ECH144>) (Date accessed: September 2017).
39. Ferro, E., Potorti, F., 2005. Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: a survey and a comparison. **IEEE Wireless Communications**, **12** (1): 12-26.

40. GSMArena, 2016. LG G5 H850 Smartphone Specifications. (Web page: https://www.gsmarena.com/lg_g5-7815.php) (Date accessed: September 2017).
41. Android Developer Web Site. The Usage of the Bluetooth. (Web page: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>) (Date accessed: November 2017).
42. Texas Instruments VCA2615. Low-Noise Variable-Gain Amplifier with Preamp (Web page: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/vca2615.pdf>) (Date accessed: April 2018).



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Samet GÜL
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 8 Ocak 1991, Bakırköy/İSTANBUL
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 224 300 37 42
Cep: +90 506 161 33 83
e-mail: samet.gul@btu.edu.tr
Yazışma Adresi: Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Mahallesi Mimar Sinan Bulvarı Eflak Caddesi No:177 16310 Yıldırım/BURSA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	E.Ü. Elektrik Elektronik Müh.	--
Lisans	E.Ü. Elektrik Elektronik Müh.	2015
Lise	Nakipoğlu Cum. Ana. Lis, İST	2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017- Halen	Bursa Teknik Üniversitesi Mekatronik Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi
2016–2018	Sonatest Teknoloji Ltd. Şti.	Şirket Kurucusu, Elektrik Elektronik Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Gül S., Özdemir A.T., 2017. Smartphone controlled ultrasonic nondestructive testing system design, pp. 335-338. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE), December 7-9, 2017, Konya, Turkey.