



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ULTRASONİK YÖNTEMDE KAYNAK HATALARININ  
OPTİMUM TEST PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Nuray BEKÖZ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı**

**Danışman**

**Prof.Dr. Enver OKTAY**

**Ocak, 2006**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ULTRASONİK YÖNTEMDE KAYNAK HATALARININ  
OPTİMUM TEST PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Nuray BEKÖZ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı**

**Danışman**

**Prof.Dr. Enver OKTAY**

**Ocak, 2006**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 01/02/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Enver OKTAY (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. İbrahim YUSUFOĞLU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. T.Osman ÖZKAN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Şerafettin EROĞLU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. M.Kelami ŞEŞEN  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Kimya-Metalurji Fakültesi

## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam süresince yardımlarını ve hoşgörüsünü hiç bir zaman esirgemeyen, değerli düşünceleri ile çalışmama yön veren ve tezimi yöneten çok değerli hocam Prof. Dr. Enver OKTAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca desteklerini hiç bir zaman esirgemeyip bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yolumuzu aydınlatıp bizlere yön veren başta bölüm başkanımız Prof. Dr. İbrahim YUSUFOĞLU ve Prof. Dr. T.Osman ÖZKAN olmak üzere bölümümüzün tüm değerli öğretim üyelerine ve araştırma görevlilerine sonsuz şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmam boyunca imkanlarından yararlandığım ve uygulama kısmımı destekleyen Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Endüstriyel Uygulama Bölüm Başkanı Doç. Dr. Şinasi EKİNCİ'ye ve Fizik Yük. Müh. Serdar SARIÇAM'a teşekkürü borç bilirim.

Bugüne kadar maddi ve manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen, bugünlere gelmemi sağlayan, haklarını hiç bir zaman ödeyemeyeceğim canım annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Desteğini ve ilgisini hiç bir zaman esirgemeyip, iyi ve kötü günümde her zaman yanımda olan çok değerli manevi ağabeyim M.İhsan UZUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

**Ocak, 2006**

**Nuray BEKÖZ**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vii
SEMBOL LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>6</b>
2.1. Ultrasonik Muayene .....	6
2.2. Ultrasoniğin Temeli ve Fiziksel Prensipleri .....	7
2.2.1. Sesin Özellikleri ve Ultrasonik Dalgaların Yayılması .....	7
2.2.1.1. Frekans ve Periyod .....	9
2.2.1.2. Dalga Boyu .....	9
2.2.1.3. Hız .....	9
2.2.1.4. Temel Dalga Denklemi .....	9
2.2.1.5. Akustik Empedans .....	10
2.2.1.6. Akustik Basınç ve Şiddet.....	10
2.2.2. Ultrasonik Dalgaların Üretilmesi .....	11
2.2.2.1. Piezoelektrik Olayı.....	11
2.2.3. Ultrasonik Dalga Türleri .....	12
2.2.3.1. Boyuna Dalgalar .....	12
2.2.3.2. Enine Dalgalar .....	12
2.2.3.3. Yüzey Dalgaları .....	13
2.2.3.4. Plaka Dalgaları .....	13
2.2.4. Ultrasonik Dalgaların Hızları ve Elastisite Modülleri .....	14
2.2.5. Normal Geliş Açısında Yansıma ve Transmisyon .....	14

2.2.5.1. Şiddet Yansıması ve Transmisyonu .....	14
2.2.5.2. Basınç Yansıması ve Transmisyonu .....	15
2.2.6. Eğik Geliş Açısında Yansıma , Kırılma , Dalga Dönüşümü ve Snell Kanunu.....	16
2.2.7. Ultrasonik Demet ve Özellikleri .....	17
2.2.7.1. Yakın Alan .....	18
2.2.7.2. Uzak Alan .....	19
2.2.7.3. Demet Genişlemesi .....	20
2.2.8. Ultrasonik Dalgaların Zayıflaması .....	21
2.2.8.1. Ultrasonik Dalgaların Saçılması .....	21
2.2.8.2. Ultrasonik Dalgaların Soğurulması .....	21
2.2.8.3. Temas ve Yüzey Pürüzlülüğü Kayıpları .....	22
2.2.8.4. Zayıflama Bağlıları .....	22
2.2.9. Prob Tipleri .....	23
2.2.9.1. Tek Kristalli Normal Problar .....	24
2.2.9.2. Çift Kristalli Normal Problar .....	24
2.2.9.3. Açılı Problar .....	25
2.2.9.4. Prob Seçimi.....	25
2.3. Ultrasonik Test Yöntemleri .....	26
2.3.1. Darbe Yankı Yöntemi .....	26
2.3.1.1. Açılı Demet Tekniği .....	27
2.3.2. Transmisyon Yöntemi .....	28
2.3.3. Rezonans Yöntemi .....	28
2.4. Kaynaklı Birleştirmelerin Ultrasonik Muayenesi ile İlgili Çalışmalar .....	29
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>32</b>
3.1. Kaynak Edilecek Malzemenin Özellikleri .....	32
3.1.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi .....	32
3.1.2. Malzemenin Sertliği .....	32
3.2. Kaynak Öncesi Numene Hazırlama.....	33
3.3. Numunelerin Kaynak ile Birleştirilmeleri .....	34
3.3.1. Kaynak Yöntemi .....	34
3.3.2. Kaynak Sonrası Yüzeyin Temizlenmesi .....	35
3.4. Kaynaklı Numuneler Üzerinde Yapay Hataların Oluşturulması .....	35
3.5. Yapay Hatalar Oluşturulmuş Kaynaklar Üzerinde Yapılan Ultrasonik Ölçümler.....	38
3.5.1. Ultrasonik Cihaz .....	38
3.5.1.1. Darbe Yankı Tipi Bir Ultrasonik Cihazın Çalışma Şekli .....	41

3.5.1.2. Görüntü ( Tarama) Şekilleri .....	42
3.5.2. Kullanılan Problar .....	43
3.5.3. Kullanılan Kalibrasyon Bloğu.....	44
3.5.3.1. Açılı Problarla Kalibrasyon .....	45
3.5.4. Kullanılan Temas Maddesi.....	47
3.5.5. Kaynaklı Birleştirmelerde Hataların ve Yerlerinin Belirlenmesi.....	48
3.5.6. Yankıların Anlamı ve Değerlendirilmesi .....	50
3.5.6.1. Ekranın Üzerindeki Yankının Yeri .....	50
3.5.6.2. Yankı Yüksekliği .....	50
3.5.6.3. Yankı Dinamiği .....	51
3.5.7. Ölçüm Pozisyonları .....	52
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>54</b>
4.1. Kaynak Edilecek Malzemenin Özellikleri .....	54
4.1.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi .....	54
4.1.2. Malzemenin Sertliği .....	54
4.2. Kaynaklı Numuneler Üzerinde Yapılan Ultrasonik Ölçüm Sonuçları .....	55
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>88</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Ultrasonik darbe-yankı testi .....	6
Şekil 2.2	: Yaya asılmış W yükünün A konumuna göre zaman ile yer değişimi ..	7
Şekil 2.3	: Elastik cisim modeli .....	8
Şekil 2.4	: Mekanik dalganın fiziksel bileşenleri.....	10
Şekil 2.5	: Doğrudan piezoelektrik olay .....	11
Şekil 2.6	: Ters piezoelektrik olay .....	11
Şekil 2.7	: Boyuna dalganın mesafeye bağlı olarak yer değişimi.....	12
Şekil 2.8	: Enine dalga .....	13
Şekil 2.9	: Normal geliş açısında yansıma ve transmision .....	15
Şekil 2.10	: Eğik olarak gelen boyuna dalga için yansıma ve kırılma.....	16
Şekil 2.11	: Eğik olarak gelen enine dalga için yansıma ve kırılma.....	17
Şekil 2.12	: Dairesel kesitli bir trasdüserin akustik ekseninde basıç değişimi	18
Şekil 2.13	: Ses demeti kesitinde basınç değişimi .....	19
Şekil 2.14	: Demet genişlemesi .....	20
Şekil 2.15	: Sesin malzemede yayılması sırasında oluşan zayıflama kayıpları .....	22
Şekil 2.16	: Normal Prob .....	24
Şekil 2.17	: Çift kristalli prob .....	24
Şekil 2.18	: Açılı prob.....	25
Şekil 2.19	: Darbe-yankı yönteminin prensibi .....	26
Şekil 2.20	: Açılı demet tekniği .....	27
Şekil 2.21	: Ses adımı ve demet yolu uzunlukları .....	27
Şekil 3.1	: Kaynak işleminden sonra parçaların teknik resimleri .....	34
Şekil 3.2	: Kaynaklı parçaların resimleri .....	35
Şekil 3.3	: X-kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi.....	36
Şekil 3.4	: Y-kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi.....	37
Şekil 3.5	: V-kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi .....	37
Şekil 3.6	: L-kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi .....	38
Şekil 3.7	: Ultrasonik cihazın temel devre elemanlarını gösteren blok diyagram .	39
Şekil 3.8	: Katot ışını tüpü .....	40
Şekil 3.9	: USM25-S model, Krautkramer marka ultrasonik cihaz.....	42
Şekil 3.10	: A-tarama gösterimi .....	43
Şekil 3.11	: Deneysel çalışmada kullanılan problar.....	43
Şekil 3.12	: IIW V2 kalibrasyon bloğu .....	44
Şekil 3.13	: 100 mm açılı demet kalibrasyonu için prob konumu .....	46
Şekil 3.14	: 100 mm ses yoluna göre kalibrasyon .....	46
Şekil 3.15	: IIW V2 kalibrasyon bloğu ve cihazın ekran görüntüsü.....	47
Şekil 3.16	: Açılı prob ile hata yerinin belirlenmesi .....	48
Şekil 3.17	: a-2a mesafeleri arasında hata derinliğinin belirlenmesi .....	49
Şekil 3.18	: Hata özelliklerine göre sesin yansıması .....	49
Şekil 3.19	: Açılı proba çatlak testi.....	50



<b>Şekil 3.20</b>	: Ultrasonik yöntemle belirlenen kaynak hatalarının test cihazındaki görüntüleri .....	51
<b>Şekil 3.21</b>	: X-kaynak ağzı açılarak kaynaklanmış numune üzerinde muayene hacminin ve probun hareketinin şematik gösterimi.....	52
<b>Şekil 3.22</b>	: Y-kaynak ağzı açılarak kaynaklanmış numune üzerinde farklı açılı problemlerle gönderilen ultrasonik ses sinyalinin malzeme içinde farklı ölçüm konumlarından ilerleyişi .....	53

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	: Hazırlanan kaynak ağız şekilleri ve özellikleri .....	33
<b>Tablo 3.2</b>	: 100 mm ses yoluna göre kalibrasyon tablosu.....	46
<b>Tablo 4.1</b>	: Kimyasal analiz sonuçları .....	54
<b>Tablo 4.2</b>	: X-kaynağında “1 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	56
<b>Tablo 4.3</b>	: X-kaynağında “2 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	57
<b>Tablo 4.4</b>	: X-kaynağında “3 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	58
<b>Tablo 4.5</b>	: X-kaynağında “4 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	59
<b>Tablo 4.6</b>	: Y-kaynağında “1 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	60
<b>Tablo 4.7</b>	: Y-kaynağında “2 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	61
<b>Tablo 4.8</b>	: Y-kaynağında “3 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	62
<b>Tablo 4.9</b>	: Y-kaynağında “4 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	63
<b>Tablo 4.10</b>	: V-kaynağında “1 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	64
<b>Tablo 4.11</b>	: V-kaynağında “2 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	65
<b>Tablo 4.12</b>	: V-kaynağında “3 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	66
<b>Tablo 4.13</b>	: V-kaynağında “4 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler ...	67
<b>Tablo 4.14</b>	: L-kaynağında “1 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler....	68
<b>Tablo 4.15</b>	: L-kaynağında “2 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler....	69
<b>Tablo 4.16</b>	: L-kaynağında “3 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler....	70
<b>Tablo 4.17</b>	: L-kaynağında “4 nolu hata’dan“ elde edilen ultrasonik ölçümler....	71

## SEMBOL LİSTESİ

<b>a</b>	: hatanın izdüşüm uzaklığı
<b>D</b>	: transdüser çapı
<b>d</b>	: hatanın derinliği, malzemede sesin aldığı yol
<b>E</b>	: elastisite (Young) modülü
<b>f</b>	: frekans
<b>G</b>	: kayma modülü
<b>H</b>	: yankı yüksekliği
<b>I</b>	: ultrasonik dalga şiddeti
<b>I<sub>i</sub></b>	: gelen ultrasonik dalga şiddeti
<b>I<sub>r</sub></b>	: yansıyan ultrasonik dalga şiddeti
<b>I<sub>t</sub></b>	: geçen ultrasonik dalga şiddeti
<b>k</b>	: transdüser tipine ve genişleme açısına bağlı katsayı
<b>N</b>	: yakın alan uzaklığı
<b>n</b>	: ilgili sınır demeti belirleyen alt indis
<b>P</b>	: ses basıncı
<b>P<sub>0</sub></b>	: başlangıçtaki ses basıncı
<b>P<sub>i</sub></b>	: gelen sesin akustik basıncı
<b>P<sub>r</sub></b>	: yansıtılan sesin akustik basıncı
<b>P<sub>t</sub></b>	: geçirilen sesin akustik basıncı
<b>R</b>	: hatanın kısaltılmış izdüşüm uzaklığı
<b>t</b>	: zaman, malzeme kalınlığı
<b>S</b>	: ses yolu
<b>T</b>	: periyod
<b>V</b>	: ultrasonik dalga hızı
<b>V<sub>B</sub></b>	: boyuna dalga hızı
<b>V<sub>E</sub></b>	: enine dalga hızı
<b>V<sub>P</sub></b>	: plaka dalga hızı
<b>V<sub>Y</sub></b>	: yüzey dalga hızı
<b>V<sub>1</sub></b>	: gelen dalga hızı
<b>V<sub>2</sub></b>	: yansıyan veya kırılan dalga hızı
<b>Z</b>	: akustik empedans
<b>Z<sub>1</sub></b>	: 1. ortamın akustik empedansı
<b>Z<sub>2</sub></b>	: 2. ortamın akustik empedansı
<b>a</b>	: genlik, mesafe
<b>a<sub>0</sub></b>	: parçacık titreşiminin genliği
<b>R</b>	: yansıma faktörü
<b>T</b>	: transmisyon faktörü
<b>V</b>	: cihaz kazanç seviyesi
<b>α</b>	: geliş açısı
<b>α<sub>B</sub></b>	: boyuna dalga geliş açısı
<b>α<sub>E</sub></b>	: enine dalga geliş açısı

$\alpha_i$	: kritik açısı
$\beta$	: yansıma veya kırılma açısı
$\beta_B$	: boyuna dalga kırılma açısı
$\beta_E$	: enine dalga kırılma açısı
$\gamma$	: demet genişleme açısı
$\theta$	: prob açısı
$\lambda$	: dalga boyu
$\mu$	: poisson oranı
$\rho$	: malzeme yoğunluğu
$\varphi$	: ses zayıflama katsayısı

## ÖZET

### ULTRASONİK YÖNTEMDE KAYNAK HATALARININ OPTİMUM TEST PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, 30 mm kalınlığında çelik parçalar (St-37-2) X, Y, V ve L-kaynak ağızı açılarak örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı kullanılarak kaynak edilmiştir. Kaynak bölgelerinde farklı tipte kaynak hataları (curuf kalıntıları, gözenek ve boyuna çatlaklar) yapay olarak oluşturulmuştur. Kaynakların ultrasonik incelemeleri; prob açısı, frekansı ve ölçüm konumu değiştirilerek bu parametrelerin optimum değerlerini bulmak için yapılmıştır. Ultrasonik testler darbe-yankı tipi ultrasonik cihaz ve 2-4 MHz frekanslı, 45<sup>0</sup>-60<sup>0</sup> ve 70<sup>0</sup> açılı proplar kullanılarak A tarama modunda gerçekleştirilmiştir.

Her bir yapay hatanın optimum test parametreleri; prob açısı, frekansı ve ölçüm konumu %40 ekran seviyesindeki kazanç sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz prob kullanılarak yapılan ölçümler tüm kaynaklı birleştirmelerde en iyi sonuçları vermiştir. En iyi yankılar; ses demetini arka cidardan yansıtmadan, en kısa mesafeden tek adımla ölçüm yapıldığında elde edilmiştir. Tüm testlerde; prob açısı, frekansı ve ölçüm konumunun kazanç seviyelerine etkisi açıkça görülmüştür.

## **SUMMARY**

### **DETERMINATION OF OPTIMUM TEST PARAMETERS OF WELDING DEFECTS IN ULTRASONIC METHOD**

In this study, 30 mm thick steel specimens (St 37-2) with X, Y, V and L-shaped grooves were welded using electric arc welding with coated electrode. Different types of weld defects (slag inclusions, porosity and longitudinal crack) were artificially produced in the welds. Ultrasonic examination of the welds were carried out by varying parameters such as probe angle, frequency and measuring position to find their optimum values. The ultrasonic tests were conducted by using pulse-echo type ultrasonic equipment and probes with 2-4 MHz frequencies,  $45^{\circ}$ - $60^{\circ}$  and  $70^{\circ}$  angles according to A-Scan inspection mode.

For each type of artificial defect, optimum test parameters such as probe angle, frequency and measuring position at gain levels according to 40% of screen height were evaluated. It was found that the optimum parameters were obtained by using 2 MHz probe with  $45^{\circ}$  angle. The best signals were received when back wall echo was eliminated in a shortest distance in single step. In all of the tests, the effects of probe angle, frequency and measuring position on the gain levels were clearly observed.

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile artış gösteren ürün çeşitliliği ve işlevselliği; kaynaklı birleştirmeler üzerinde kalite, teknik emniyet, dayanıklılık ve kullanım amacına uygunluk gibi ürüne dair koşulsuz güvence anlayışını da beraberinde getirmektedir. Kaynaklı imalat günümüzde, basınçlı kaplar, kazan, vinç, köprü, boru hatları ile otomotiv ve savunma sanayii gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretimde sürekli ve yüksek kalite sağlamak hedeflendiğinden, tahribatsız muayene yöntemlerinin kalite kontrol stratejilerindeki önemi gittikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak, kaynaklı bağlantıların tahribatsız muayenesi Toplam Kalite Sisteminin bir parçası haline getirilmiştir.

Kaynaklı birleştirmeler; imalatın maliyetini, ürünün kalitesini ve servis performansını önemli derecede etkilediğinden kaynaklı ürünlerin imalatın her aşamasında uygun yöntemlerle kontrol edilmesi gerekmektedir. Üretim ve kullanım sırasında sorunsuz bir kaynaklı imalatın yapılabilmesi için tasarımdan başlayarak malzeme seçimi, imalat yöntemi ile tahribatlı ve tahribatsız testleri de içeren kontrol ve denetim mekanizmaları kurulmalıdır. Kaynak dikişi için istenilen kalite seviyesi, standartlar veya üretici ve sorumlu tasarımcı yada kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Kalite seviyesinin seçiminde; tasarım, kaynak sonrası işlemler, servis sırasında etki altında kalınacak yüklerin tipleri (statik ve dinamik yük), servis koşulları (sıcaklık, korozif ortam), etkiyen kırılma mekanizmaları ile kaynakların muayene ve tamir maliyetleri önem taşımaktadır. Kaynaklı imalatın Toplam Kalite Sistemi içinde yer alan tahribatsız yöntemlerle kaynak dikişlerinin muayenesinde hatalar, gerçek boyutlarıyla tanımlanır. Hataların tespiti ve değerlendirilmesi için bir veya birden fazla tahribatsız muayene yönteminin uygulamasına gerek duyulur [1].

Kaynak işlemi esnasında, kaynak dikişinde ve ITAB (ısıl etkin bölge) bölgesinde hataların oluşması yada kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenir. Bunun olmaması halinde, malzemenin kullanım esnasında dayanımı olumsuz etkilenecek ve istenmeyen hasarlara neden olacaktır. Kaynaklı birleştirmelerde oluşacak hataların

tespit edilebilmesi için, istenilen kaynak kalitesine, malzemeye, kaynak dikişinin kalınlığına, kaynak yöntemine, kullanım yerine, beklenen hatanın tipine ve konumuna bağlı olarak en uygun olan tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir. Kaynak işlemi sırasında, önlenemeyen bazı hacimsel değişimler ve kalıntılar meydana gelebilir. Metalin ısı genleşmesi veya çekmesi sonucu oluşan bu hacim değişimleri kaynakta çarpımalara, kalıntı gerilmelerine ve çatlamalara neden olabilir. Kaynak dikişlerinde rastlanabilecek hatalar; gaz boşluğu, kalıntı, yan duvara kaynamama, yetersiz nüfuziyet, çatlak, yanma oluşu, taşma, düzensiz kaynak yüzeyi ve kökte sarkma olarak özetlenebilir. Kaynaklı birleştirmelerdeki bu hataların tespit edilebilmesi için; gözle muayene, sıvı penetrantla muayene, manyetik parçacık testi, girdap akımları testi, endüstriyel radyografi ve ultrasonik muayene yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler arasında farklılıkların yanı sıra benzerliklerde bulunmaktadır. Bunlar [2] :

- Tarayıcı ortam; muayene edilecek parçaya nüfuz edilen bir enerji, nükleer radyasyon, manyetik akı, ultrasonik dalga veya akışkan ortam,
- Tarayıcı ortamın modifikasyonu ,
- Tarayıcı ortamdaki değişikliklere hassas bir dedektör (prob),
- Dedektörün verdiği sinyalleri kullanışlı biçimde gösteren ve kayıt eden cihaz,
- Cihazın verdiği işaretleri, muayene edilen parçanın özellikleri ve süreksizlikleri cinsinden değerlendiren bir gözlemci olarak sıralanabilir.

Tahribatsız muayenenin bugünkü sağlam yerini korumasında birçok üstünlüklerinin payı vardır. Bunlara kısaca değinilecek olursa [2];

- Tahribatsız muayene ile parçanın bir benzeri değil, kendisi muayene olur. Böylece daha güvenilir sonuçlar elde edilir ve tahribatlı muayenedeki numune alma problemi ve alınan numunenin bütün kütleyi ne derece temsil ettiği tereddütü ortadan kalkar.
- Parçanın farklı özelliklerine ve bölgelerine hassas birçok tahribatsız muayene aynı anda veya sırasıyla uygulanabilir. Böylece servis performansıyla bağlantı kurulabilir ve istenen sayıda özellik kontrol edilir.
- Tahribatsız muayene aynı parçada belli zaman periyodları ile uygulanabilir. Böylece yorulma ve işlem hasarlarının takibi mümkün olur.



- Çok pahalı ve büyük tek parçalara tahribatsız muayene uygun ve ekonomik olur.
- Tahribatsız muayene, muayene yöntemini laboratuardan imalathaneye taşımıştır. Böylece iş akışı olumsuz yönde etkilenmemektedir.
- Tahribatsız otomatik muayene ile yüksek hızlı muayene otomatları, imalat bantlarının hızını kesmeden önceden planlanan muayeneleri yapabilirler ve reddi gereken parçaları ayırabilirler.
- Tahribatsız muayene imalat esnasında yeni parçalara olduğu kadar, periyodik bakımlarda ve işletme esnasında servisteki parçalara da uygulanır. Bazı hallerde parçayı, montajlı olduğu sisteme takılı olduğu yerden sökmeden ve bazen de işletmeyi durdurmadan muayene yapmak mümkündür.

Kaynaklı birleştirmeler üzerinde uygulanan tahribatsız muayeneleri özetlemek gerekirse [1,3]:

Göz ile muayene; kaynak yüzeyi kalitesinin uygunluğu kontrol edilerek, kaynak dikiş kalitesi hakkında ilk fikrin edinilmesini sağlar. Kaynak fazlalığı, yanma olukları, aksel kaçıklık, dikişin konumu, yüzeydeki ark izleri, yanma olukları, görülebilir gözenekler, yanarak delinme, ergiyerek yapışmış sıçrantılar, tav renkleri bu muayenenin kapsamı içine girmektedir.

Sıvı penetrantla muayene yöntemi; kaynaklı birleştirmelerde yüzeyde veya yüzeye açık olan çatlak, gözenek gibi hatalarının saptanmasında kullanılır. Muayene bölgesi, mekanik veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve penetrant (kırmızı renkli veya floroişil) yüzeye uygulanır. Penetrantın yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz edebilmesi için belirli bir süre beklenir. Yüzeydeki penetrant, uygun bir sıvı ile temizlenerek kurutulur ve geliştirici yüzeye uygulanır. Geliştirici süreksizlikler içindeki penetrantı emerek yüzeye yayar ve beyaz rengi sayesinde renk kontrastından hata gözle veya büyüteçle görülebilir.

Manyetik parçacıkla muayene yöntemi; yüzeyde veya yüzeye yakın (1-2 mm) olan malzeme süreksizliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sadece ferromanyetik malzemeler muayene edilebilir. Bunun için, test parçası önce bir sürekli mıknatıs (permanent manyet) veya bir elektro-manyet ile, hatta test parçasının içinden veya

etrafından elektrik akımı geçirilerek manyetize edilir. Böylece malzemede manyetik kuvvet çizgileri oluşur. Bu çizgileri kesen herhangi bir süreksizlik olması durumunda, kuvvet çizgileri süreksizliğin üzerinden atlayarak yoluna devam eder, dolayısıyla süreksizlik üzerinde yoğun bir kaçak manyetik alan oluşur. Süreksizliğin göz ile görünür hale gelmesi için test yüzeyine ince demir tozları serpilir. Yoğun kaçak alan demir tozlarını süreksizlik üzerinde toplayarak süreksizliğin görünür hale gelmesini sağlar. Böylece süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu tespit edilmiş olur. Süreksizliğin tespiti için en uygun konum, süreksizliğin manyetik alan çizgilerine dik olduğu konumdur. Kaynaklı birleştirmelerde; çatlaklar, gözenekler, çentikler, yetersiz kaynak nüfuziyeti ve yanarak delinme bu muayenenin kapsamı içine girer.

Girdap akımları muayenesi; bir alternatif bobini tarafından oluşturulan değişken manyetik alanın, malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarını endüklemesi esasına dayanır. Endüklenen bu girdap akımları, bobindeki manyetik alana ters yönde ikinci bir manyetik alan meydana getirirler. Malzeme yüzeyindeki herhangi bir süreksizlik, göstereceği dirençten dolayı girdap akımlarında değişmeye neden olacaktır. Bu değişiklik girdap akımları cihazının göstergesinde hata belirtisi olarak gösterilir. Kaynaklı birleştirmelerde; yüzeyde bulunan çatlaklar, birleştirme hataları, çentikler, kök sarkmaları ve dikiş yükseltmeleri bu muayenenin kapsamı içine girer.

Endüstriyel radyografi ile muayene, bir radyasyon kaynağından çıkan ışınların muayene edilecek malzeme içinden geçirilerek bir film üzerine düşürülmesi ile gerçekleştirilir. Film banyo edildiğinde, incelenen bölgedeki herhangi bir hata film üzerinde bir kontrast farkı olarak görülür. Bu yöntem, genellikle incelenen kaynak bölgesi içindeki gözenekler, çatlak, katı kalıntılar (sadece boşluk oluşturan), tungsten kalıntıları, birleştirme hataları (sadece ışınlama doğrultusuna paralel olan), yanma olukları, yetersiz nüfuziyet, kökte sarkma ve çökme gibi hataların tespitinde kullanılır.

Ultrasonik muayene ile incelenen bölge içindeki hataların varlığı ve konumu yüksek bir hassasiyetle tespit edilmektedir. Yüksek frekanslı ses dalgaları ile gerçekleştirilen bir yöntemdir. Kaynaklı birleştirmelerde ultrasonik muayene; problemler vasıtasıyla (0°, 45°, 60°, 70°) malzeme içerisine 0,5-20 MHz arası frekanslarla ultrasonik dalgalar gönderilir. Demet halinde yayılan dalgalar herhangi bir hataya çarptıklarında hatanın boyutuna ve

konumuna bağlı olarak değişen şiddette geri yansımakta ve prob tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülerek cihaz ekranına iletilmektedir. Kaynaklı birleştirmelerde; çatlaklar, gözenekler, büyük katı çökeltiiler (curuflar), birleştirme hataları (yetersiz kök nüfuziyeti ve yan duvara yapışmama) ve çekme boşlukları ile laminasyon gibi ana malzeme hataları ultrasonik yöntemle test edilebilmektedir. Kaynak hatalarını testinde çeşitli prosedürler kullanılmaktadır. Bu prosedürlerde; muayene yüzeyleri, kullanılacak prob tipi, frekansı, demet açısı ve tarama şekli ile yönleri belirtilmektedir.

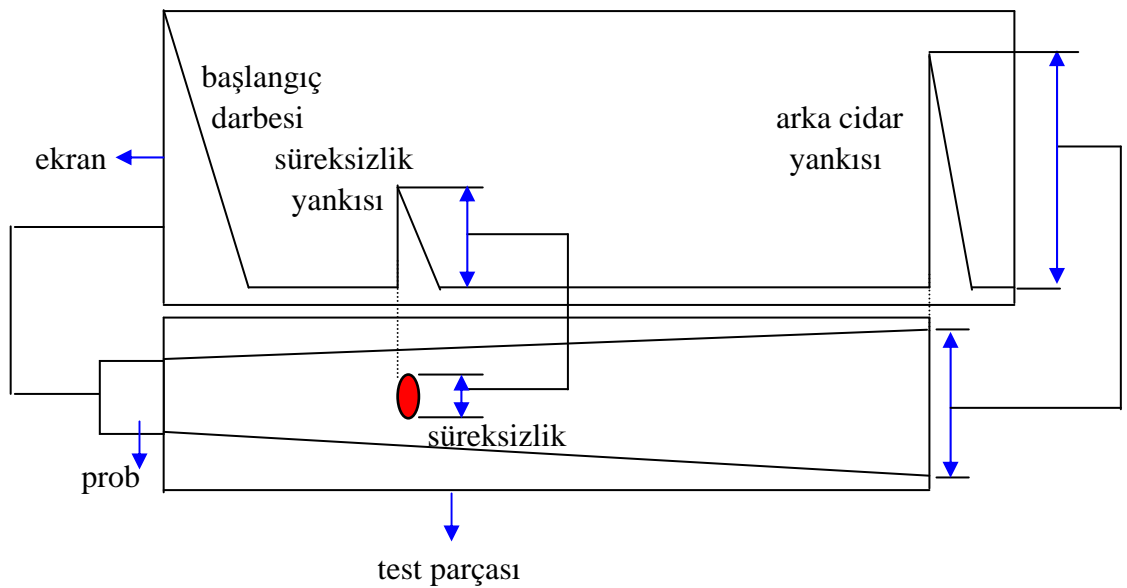
Literatürde yapılan çalışmalar genellikle paslanmaz çelik ve raylardaki kaynak hatalarının ultrasonik yöntemle optimum test parametrelerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Bu çalışmada, farklı kaynak ağızı açıları ile kaynak edilmiş düşük karbonlu çeliğin kaynak bölgesinde oluşturulan yapay hatalarda; farklı prob açısı, frekansı ve ölçüm konumu kullanılmasıyla gerçekleştirilen ultrasonik ölçümlerde en uygun test parametrelerinin saptanması amaçlanmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ULTRASONİK MUAYENE

Ultrasonik test, yüksek frekanslı ses dalgaları ile gerçekleştirilen bir tahribatsız muayene yöntemidir. İnsan kulağının algılayacağı ses frekansı aralığı 16-20.000 Hz olup, çoğu ultrasonik testler 0,5-20 MHz arası frekanslarda gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, bir ses kaynağı (genellikle piezoelektrik kristal) tarafından üretilen ses dalgaları malzeme içinde yayılarak malzeme hakkında çeşitli bilgiler verir. Bu bilgiler, dalgaların malzeme içinde enerji kaybetmesinden (zayıflama), hareket hızlarından, ara yüzeylerden veya hatalardan yansımından (darbe-yankı) veya karşı yüzeye geçiş şeklinden (transmisyon) elde edilebilir. Yansıyan veya geçiş yapan ses enerjisinden, hatalar veya malzeme özellikleri hakkında değerlendirmeler yapılır [4].

Ultrasonik darbe-yankı testinin gösterildiği Şekil 2.1’de, bir normal prob ile elde edilen başlangıç darbesi, hata yankısı ve arka cidar yankısı görülmektedir [4].



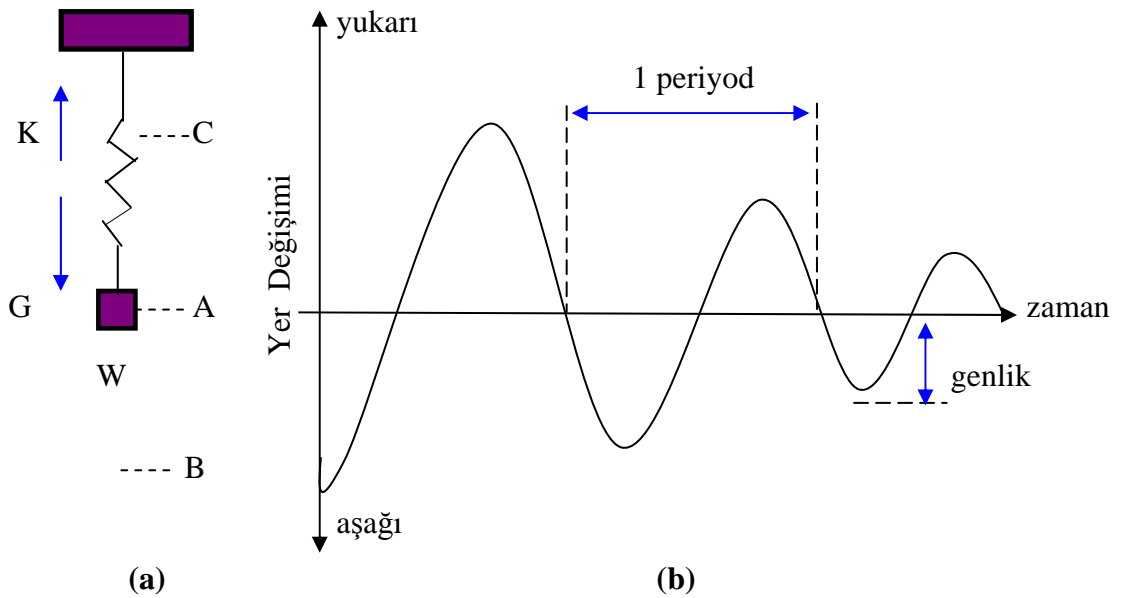
Şekil 2.1: Ultrasonik darbe-yankı testi [4].

Ultrasonik dalgalar, piezoelektrik etkiden yararlanılarak muayene probu içerisinde kısa darbeler şeklinde üretilir ve malzeme içerisine yollanırlar. Ses dalgaları arka cidara rastladıklarında yansır. Bu yansıma pasif durumdaki muayene probunda tekrar elektriksel bir darbeye dönüşerek kontrol cihazına iletilir ve buradaki şiddet göstergede yankı genliği olarak görülür. Cihazın beklenen arka duvar yansımasından önce gözlenen yansıma malzeme içerisinde bu bölgede bir ara süreksizlik bulunduğunu ifade etmektedir. Görülen yansıma şiddetinin miktarı, gönderilen sesin ne kadarının tekrar muayene probuna geri gönderildiğine bağlıdır.

## 2.2. ULTRASONİĞİN TEMELİ VE FİZİKSEL PRENSİPLERİ

### 2.2.1. Sesin Özellikleri ve Ultrasonik Dalgaların Yayılması

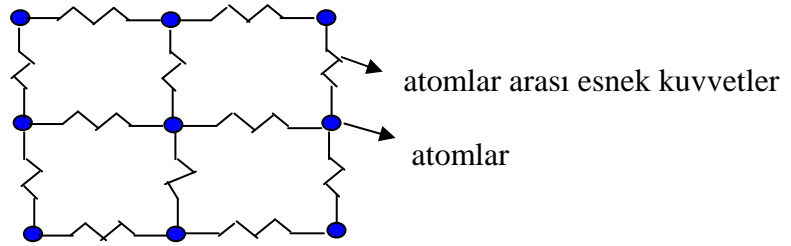
Akustik, mekanik titreşimlerin katı, sıvı ve gaz ortamlardaki yayılmalarını inceleyen bir bilim dalıdır. Işığın ve elektromanyetik dalgaların tersine, mekanik dalgaların yayılabilmesi için mutlaka bir madde ortamının olması gerekmektedir. Fiziksel olarak ses, esnek (elastik) ortamların mekanik titreşimlerinden meydana gelmektedir. Bu titreşimler, esnek bir maddenin parçacıklarının, moleküllerinin veya atomlarının sükunet halinden dışarıdan bir kuvvetin etkisiyle hareket haline geçirilmesi sonucu oluşmaktadır. Bir ortamda ses dalgalarının hareket mekanizmasını anlayabilmek için, ortamda iki nokta arasındaki enerji transferini incelemek gerekir. Olay, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, bir yay ucuna asılmış yükün oluşturduğu hareketlerle açıklanabilir [4].



Şekil 2.2 : a) Yaya asılmış yük, b) W yükünün A konumuna göre zaman ile yer değişimi [4].

Sükunet halindeki  $W$  yükü üzerine etki eden kuvvetler, yerçekimi  $G$  ve yayın çekme kuvveti  $K$ 'dır.  $W$  yükü, denge konumu  $A$ 'dan  $B$  konumuna hareket ettiğinde,  $K$  çekme kuvveti artar. Yük,  $B$  konumundan serbest bırakıldığında çekme kuvvetinin etkisiyle  $A$  konumuna doğru hareket eder.  $A$ 'da  $G$  ve  $K$  yine eşittir, ancak  $W$  belli bir hızla hareket ettiğinden,  $A$ 'dan geçip  $C$  konumuna doğru gidecektir. Bu sırada,  $K$  çekmesi azalır ve  $G$ 'deki nispi artış  $W$ 'yi kinetik enerjisi bitinceye kadar yavaşlatır ve  $C$ 'de durdurur.  $C$  konumunda  $G$ ,  $K$ 'den daha büyüktür ve  $W$  tekrar  $A$ 'ya doğru düşer. Yük,  $A$ 'da kinetik enerjiye sahiptir ve bir daha  $A$ 'dan aşağı doğru hareket eder.  $W$ ,  $A$  ve  $B$  arasında hareket ederken  $K$  kademeli olarak artar ve  $W$ ,  $B$ 'de duruncaya değin onu yavaşlatır.  $B$ 'de  $K$ ,  $G$ 'den daha büyüktür ve tüm hareket yeniden başlar.  $W$  yükünün,  $A$ 'dan  $B$ 'ye,  $B$ 'den  $A$ 'ya,  $A$ 'dan  $C$ 'ye ve  $C$ 'den  $A$ 'ya doğru olan bu yer değişim hareketine bir çevrim denir. Bir saniyedeki çevrim sayısına titreşimin frekansı ( $f$ ) denir. Bir çevrimi tamamlamak için geçen zamana titreşimin zaman periyodu ( $T$ ) denir.  $W$  yükünün  $A$ 'dan  $B$ 'ye veya  $A$ 'dan  $C$ 'ye olan maksimum yer değişimine titreşimin genliği ( $a$ ) denir [4,5].

Bütün maddeler, birbirine atomlar arası kuvvetlerle bağlanmış atomlardan (veya moleküllerden) oluşmaktadır. Bu atomik kuvvetler esnek, yani atomlar birbirine yaylarla bağlanmış gibi düşünülebilir. Böyle basitleştirilmiş bir malzeme modeli Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Elastik cisim modeli [5].

Eğer malzemenin atomlarından biri, dışarıdan uygulanan bir kuvvetin etkisiyle orijinal konumunu değiştirirse, Şekil 2.2'de gösterilen  $W$  yükü gibi titreşmeye başlar. Atomlar arası bağlantıdan dolayı, bu atomun titreşimi yanındaki atomun da titreşmesine neden olacaktır. Titreşim hareketi atomdan atoma geçerek tüm malzeme içine yayılacaktır. Eğer tüm atomlar birbirine esnek olmayacak şekilde bağlı olsaydı, hepsi de aynı anda hareket ederler ve aynı hareket konumunda sabit kalırlardı; yani, hepsi de aynı fazda olurlardı. Halbuki, atomlar birbirine esnek kuvvetlerle bağlı olduğundan, titreşimin

iletilmesi belli bir zaman almakta ve sonraki atomlar ilk titreşenlere göre daha sonra aynı faz konumuna gelmektedir. Ortamda dalga olarak yayılan titreşimlerin hareketi zaman ve hacim olarak periyodiktir [5].

#### 2.2.1.1. Frekans ve Periyod

Bir dalganın frekansı, dalganın yayıldığı ortamın atomlarının titreşim frekansı ile aynıdır. Frekansın birimi hertz (Hz) dir. Bir titreşimin oluşması için geçen zaman olan periyodun birimi saniye (s) olup, frekans ile arasındaki ilişki, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir [4]:

$$f = 1 / T \quad [1/s] \quad (2.1)$$

#### 2.2.1.2. Dalga Boyu

Titreşim periyodu (T) süresince, ortamda yayılan dalga belli bir yol kat eder. Bu mesafe, dalganın dalga boyu olarak adlandırılır ve  $\lambda$  harfi ile gösterilir. Dalganın yayıldığı ortamda belli bir mesafedeki atomlar aynı fazda titreşirler [4]:

#### 2.2.1.3. Hız

Ortamda yayılan dalgaların belli bir zaman içinde aldıkları yola hız denir ve V harfi ile gösterilir. Hız, dalga boyu ve periyod arasındaki ilişkiler aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir [4]:

$$V = \lambda / T \quad [m / s] \quad (2.2)$$

#### 2.2.1.4. Temel Dalga Denklemi

Bir mekanik dalga bir ortamdan geçerken, belli bir t zamanında denge halinde olan ortam parçacıklarının yer değişimi aşağıdaki bağıntı ile verilir [4]:

$$a = a_0 \sin 2\pi ft \quad (2.3)$$

Burada;  $a$  : t zamanında parçacık yerdeğişimi

$a_0$ : Parçacık titreşiminin genliği

f : Parçacık titreşiminin frekansı'dır.

Mekanik dalgaların ortamda yayılırken, zamana ve mesafeye bağlı hareket denklemi aşağıda verilmiştir. Bu bağıntı titreşen parçacıkların fazlarını mesafeye bağlı olarak vermektedir [4]:

$$a = a_0 \sin 2\pi f ( t - (x / V) ) \quad ( 2.4 )$$

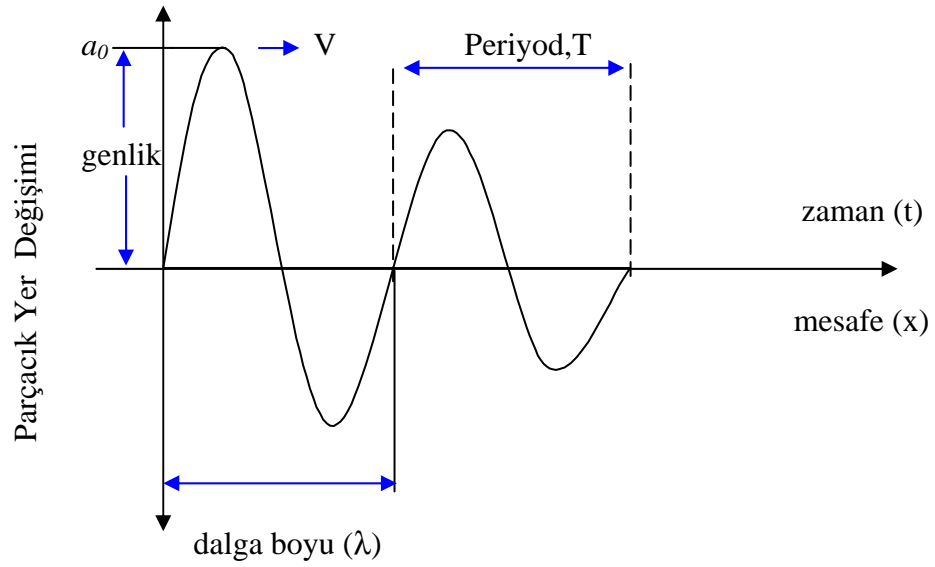
$a$  : Mekanik dalgaların yayıldığı ortam parçacığının yerdeğişimi (  $t$  zamanında ve ilk uyarılan parçacıktan  $x$  mesafesinde)

$a_0$  : Dalganın genliği ( titreşen ortam parçacığının genliği ile aynıdır)

$V$  : Dalganın yayılma hızı

$f$  : Dalganın frekansıdır

Bir mekanik dalganın fiziksel bileşenleri Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Mekanik dalganın fiziksel bileşenleri [6].

#### 2.2.1.5. Akustik Empedans

Bir malzemede ultrasonik dalgaların yayılmasına karşı gösterilen dirence akustik empedans denir.  $Z$  harfi ile gösterilen akustik empedans, malzemedeki ultrasonik dalga hızı ile malzeme yoğunluğunun ( $\rho$ ) çarpımına eşittir [4]:

$$Z = \rho V \quad [ \text{kg} / \text{m}^2 \text{ s} ] \quad ( 2.5 )$$

#### 2.2.1.6. Akustik Basınç ve Şiddet

Akustik basınç, bir ultrasonik dalga tarafından malzemeye uygulanan değişken gerilmelerin genliğini ifade etmek için kullanılan terimdir. Akustik basınç, aşağıdaki bağıntı ile verilir [4]:

$$P = Z a \quad ( 2.6 )$$



Burada;  $P$  : Akustik basınç  $Z$  : Akustik empedans  
 $a$  : Parçacık titreşiminin genliği'dir.

Ultrasonik dalgalar tarafından yayılma yönüne dik doğrultudaki birim kesitten geçirilen mekanik enerji miktarına ultrasonik dalgaların şiddeti denir. Şiddet ( $I$ ) ; akustik basınç, akustik empedans ve parçacık titreşiminin genliği ile ilişkili olup aşağıda verilmiştir [6]:

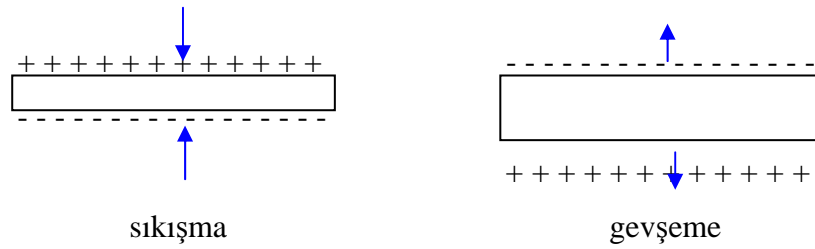
$$I = P^2 / (2Z) \quad (2.7)$$

$$I = P a / 2 \quad (2.8)$$

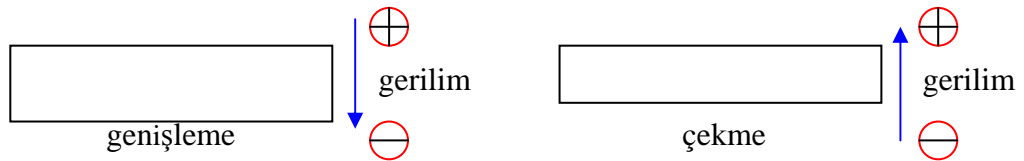
## 2.2.2. Ultrasonik Dalgaların Üretilmesi

### 2.2.2.1. Piezoelektrik Olayı

Bir transdüser, bir enerjiyi başka bir enerji şekline dönüştüren bir düzendir. Ultrasonik transdüserler, elektrik enerjisini ultrasonik enerjiye (yani mekanik enerjiye) ve ultrasonik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu olaya piezoelektrik olay denir. Bu tür özellikler gösteren malzemelere de piezoelektrik malzemeler denir. Doğrudan piezoelektrik olayda, mekanik basınç altında kalan bir piezoelektrik malzeme içinde bir elektrik potansiyeli oluşur. Şekil 2.5'de de görüldüğü gibi, sıkışan malzemenin yüzeyinde serbest elektrik yükleri açığa çıkar. Malzeme eski şekline dönerken, çıkan yükler yön değiştirir. Ters piezoelektrik olayda ise, elektrik potansiyeli uygulanan bir piezoelektrik malzemede mekanik deformasyon (şekil değişikliği), yani mekanik titreşimler meydana gelir. Şekil 2.6'de görüldüğü gibi, genişleme ve çekme, elektrik potansiyelinin yönüne bağlıdır [4,5].



Şekil 2.5: Doğrudan piezoelektrik olay [1].



Şekil 2.6: Ters piezoelektrik olay [4].

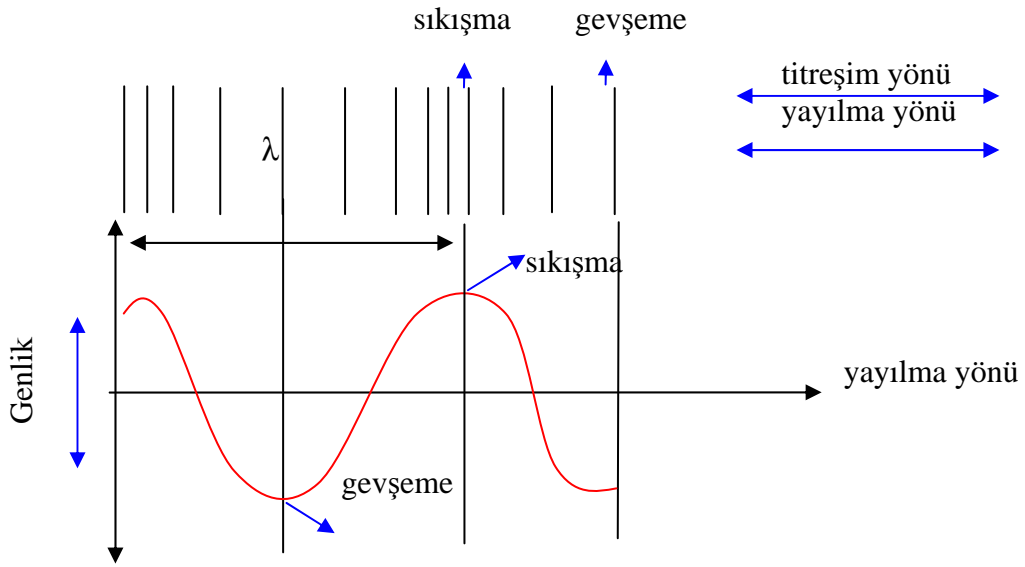
Doğrudan piezoelektrik olay ultrasonik dalgaları algılamada, ters piezoelektrik olay ise ultrasonik dalgaları üretmede kullanılır.

### 2.2.3. Ultrasonik Dalga Türleri

Ultrasonik dalgalar, ortam parçacıklarının titreşim şekline ve yayılma yönüne göre boyuna, enine, yüzey ve plaka dalgaları olmak üzere dört gruba ayrılır.

#### 2.2.3.1. Boyuna Dalgalar

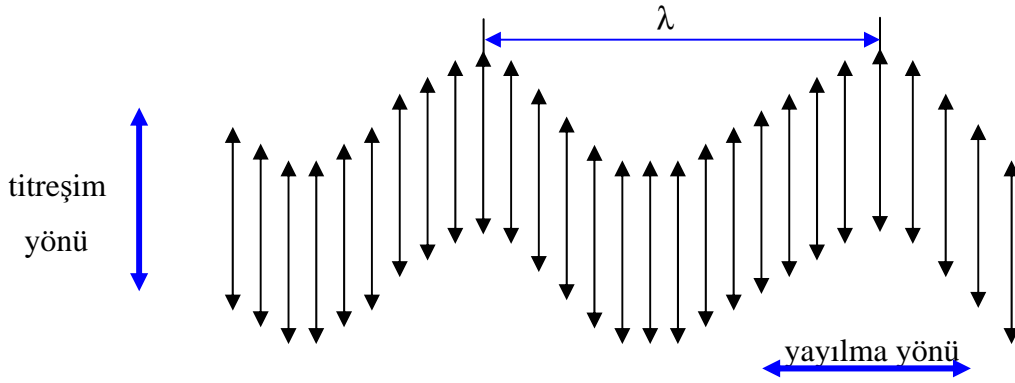
Boyuna dalgalara basınç dalgaları da denir. Bu dalga türü yayıldığı ortamın parçacıklarını sıkışmaya ve gevşemeye zorlayarak hareket eder ve yayılma yönü titreşim yönü ile aynı, yani paraleldir. Şekil 2.7’de şematik olarak boyuna dalga ve mesafeye bağlı olarak yer değişimi gösterilmektedir. Üretimlerinin ve algılanmalarının kolay olmasından dolayı, boyuna dalgalar ultrasonik testte en çok kullanılan dalga türüdür. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler [4,7].



Şekil 2.7 : Boyuna dalganın mesafeye bağlı olarak yer değişimi [7].

#### 2.2.3.2. Enine Dalgalar

Titreşim yönü yayılma yönüne dik açıda veya çapraz olduğundan dolayı, enine dalgalara kesme dalgaları da denir. Enine dalgalar, şematik olarak Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Enine dalgalar, yayıldıkları ortam parçacıklarını çapraz yönde çekmeye zorlarlar ve bu yüzden sadece katılarda yayılabilirler. Sıvı ve gazlarda moleküller veya atomlar arası mesafe katılara göre çok büyük olduğundan, bunlar arasındaki çekme kuvveti, birinin diğerini hareket ettirmesi için yeterli gelmemekte ve dalga hızla zayıflamaktadır. Enine dalga hızı, boyuna dalga hızının yaklaşık yarısıdır [4,7].



Şekil 2.8: Enine dalga [7].

### 2.2.3.3. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları ilk defa Lord Rayleigh tarafından açıklanmıştır; bu yüzden bunlara Rayleigh dalgaları da denir. Bu dalga türü, sadece malzeme yüzeyinde yayılabilmektedir. Yüzey dalgalarının hızı, aynı malzemede enine dalgaları hızının yaklaşık %90'ıdır ve malzeme yüzeyinden en fazla 1 dalga boyu derinlikte yayılabilirler. Bu derinlikte, dalga'nın enerjisi yüzeydeki enerjisinin yaklaşık yüzde dördüdür ve genlik, daha fazla derine inildiğinde çok küçük bir değere düşer. Yüzey dalgalarını, boyuna dalgaları malzeme yüzeyine belli bir kritik açı altında göndererek üretmek mümkündür. Bu, enine dalgaların malzeme içinde  $90^\circ$  kırılmasıyla sağlanır. Örnek olarak, çelikte yüzey dalgalarını üretmek için pleksiglas bir bloktan  $57^\circ$  geliş açısıyla boyuna dalgaları göndermek yeterlidir. Yüzey veya yüzeye yakın çatlakların tespitinde yüzey dalgaları, enine ve boyuna dalgalara göre daha kullanışlıdır. Oldukça karmaşık şekilli malzemelerin yüzey testinde kullanılabilirler [4].

### 2.2.3.4. Plaka Dalgaları

Eğer bir yüzey dalgası, kalınlığı dalga'nın üç dalga boyuna eşit veya daha ince bir plakanın içine gönderilirse, plaka dalgası denilen farklı bir dalga türü meydana gelir. Plaka dalgalarını, boyuna dalgaları yeterince ince bir plaka içine belli bir kritik açı altında göndererek elde etmek mümkündür. Bu kritik açı  $\alpha_i$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [4]:

$$\alpha_i = \arcsin (V_B / V_P) \quad (2.9)$$

Burada,  $V_B$  : Boyuna dalga hızı

$V_P$ : Plaka dalga hızı'dır.

### 2.2.4. Ultrasonik Dalgaların Hızları ve Elastisite Modülleri

Boyuna, enine ve yüzey dalgalarının hızları, malzemenin yoğunluğuna ve elastisite modüllerine bağlıdır. Bu dalgaların hızları frekansa ve malzeme boyutuna bağlı değildir. Plaka dalgalarının hızları ise, sadece malzeme yoğunluğuna bağlı değil, aynı zamanda plaka dalgasının tipine (asimetrik veya simetrik) ve frekansa bağlıdır.

Boyuna, enine ve yüzey dalgalarının hızları, elastisite modülleri ve poisson oranlarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir [6]:

$$V_B = \left\{ \left( \frac{E}{\rho} \right) \left[ \frac{(1 - \mu)}{(1 - \mu - 2\mu^2)} \right] \right\}^{1/2} \quad (2.10)$$

$$V_E = \left\{ \left( \frac{E}{\rho} \right) \left( \frac{1}{2+2\mu} \right) \right\}^{1/2} = \left( \frac{G}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2.11)$$

$$V_Y = \left\{ \left( \frac{0,87 + 1,12\mu}{1 + \mu} \right) \left\{ \left( \frac{E}{\rho} \right) \left( \frac{1}{2 + 2\mu} \right) \right\}^{1/2} \right\} \quad (2.12)$$

Burada;  $V_B, V_E, V_Y$ : Sırasıyla boyuna, enine ve yüzey dalgalarının hızları

$E$ : Young modülü

$G$ : Kayma modülü

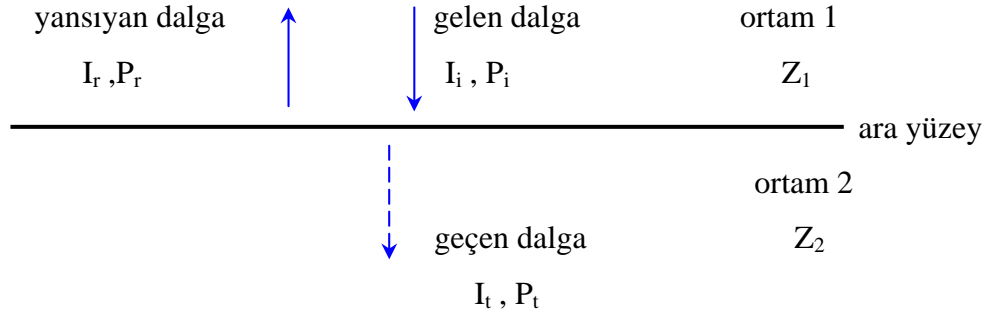
$\mu$ : Poisson oranı'dır.

Yukarıdaki bağıntılardan görüleceği gibi, bir malzemede boyuna, enine ve yüzey dalgası hızlarını ölçerek, o malzemenin elastisite ve kayma modüllerini tayin etmek mümkündür.

### 2.2.5. Normal Geliş Açısında Yansıma ve Transmisyon

#### 2.2.5.1. Şiddet Yansıması ve Transmisyonu

Ultrasonik dalgalar, akustik empedansları farklı olan iki ortamın ara yüzeyine dik açıda (normal geliş açısında) geldiklerinde, dalgaların bir kısmı ara yüzeyden geri yansıtılır, bir kısmı da geçirilir. Yansıtılan veya geçirilen ultrasonik enerji miktarı, iki ortamın akustik empedansları farkına bağlıdır. Bu fark büyükse, enerjinin büyük bir kısmı yansıtılır, sadece küçük bir kısmı ara yüzeyden geçirilir. Eğer akustik empedans farkı küçükse, ultrasonik enerjinin büyük bir kısmı geçirilir ve küçük bir kısmı geri yansıtılır. Şekil 2.9'da yansıma ve transmisyon olayı şematik olarak gösterilmektedir [4].



Şekil 2.9: Normal geliş açısında yansımaya ve transmisyon [6].

Yansımaya ( $R$ ) ve transmisyon ( $T$ ) faktörleri aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir [4]:

$$R = I_r / I_i = [ ( Z_2 - Z_1 ) / ( Z_2 + Z_1 ) ]^2 \quad (2.13)$$

$$T = I_t / I_i = [ ( 4Z_2 Z_1 ) / ( Z_2 + Z_1 )^2 ] \quad (2.14)$$

$$I_i = I_r + I_t \quad (2.15)$$

$$T + R = 1 \quad (2.16)$$

Burada;  
 $R$  : Yansımaya faktörü  
 $T$  : Transmisyon faktörü  
 $I_r$  : Yansıyan ultrasonik şiddet  
 $I_t$  : Geçen ultrasonik şiddet  
 $I_i$  : Gelen ultrasonik şiddet  
 $Z_1$  : 1. ortamın akustik empedansı  
 $Z_2$  : 2. ortamın akustik empedansı'dır.

#### 2.2.5.2. Basınç Yansımaya ve Transmisyonu

Normal geliş açısında, yansıtılan ve geçirilen akustik basınçlar aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir [4]:

$$P_r = ( Z_2 - Z_1 ) / ( Z_2 + Z_1 ) \quad (2.17)$$

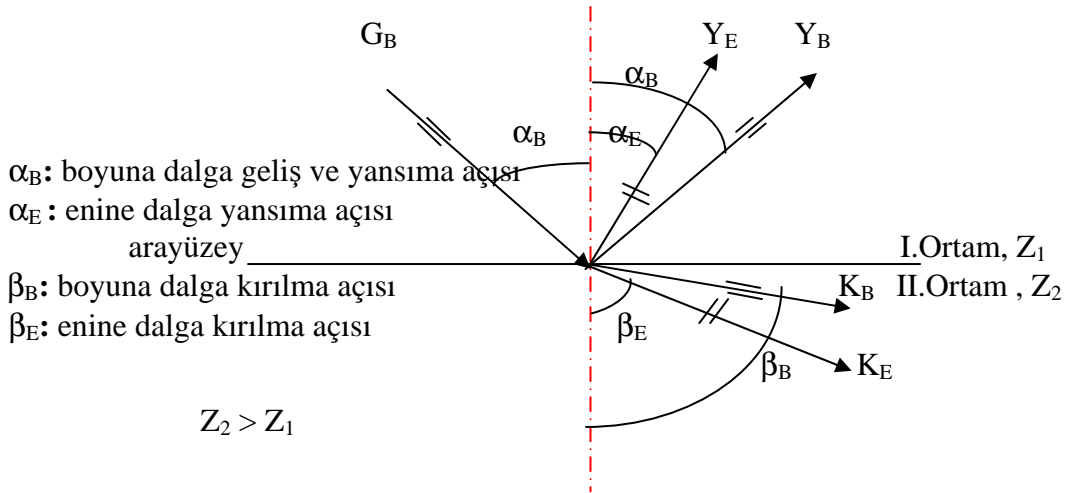
$$P_t = ( 2Z_2 ) / ( Z_2 + Z_1 ) \quad (2.18)$$

$$P_t = P_i + P_r \quad (2.19)$$

Burada;  $P_r$ : Yansıtılan sesin akustik basıncı  
 $P_t$ : Geçirilen sesin akustik basıncı  
 $P_i$ : Gelen sesin akustik basıncıdır.

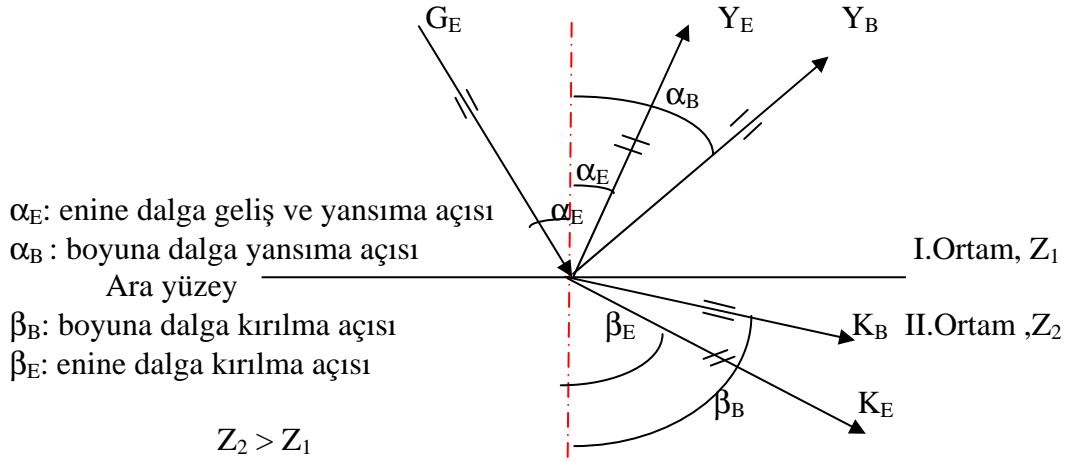
### 2.2.6. Eğik Geliş Açısında Yansıma, Kırılma, Dalga Dönüşümü ve Snell Kanunu

Ultrasonik dalgalar bir ortamdan diğerine eğik bir açı ile gelirse, yansıma, kırılma ve dalga dönüşümü (mode conversion) meydana gelir. Yansıyan dalgalar 1. ortamda, kırılan dalgalar 2. ortamda yayılırlar. Dalga dönüşümü, dalganın titreşim karakterini değiştirerek başka bir dalga şeklini almasıdır. Kırılma, 1. ortamdan 2. ortama geçen dalganın yön değiştirmesidir. Şekil 2.10'da, akustik empedansları farklı olan ( $Z_2 > Z_1$ ) iki katı ortamın arayüzüne eğik bir boyuna dalga gelmesi sonucu oluşan yansıma ve kırılma olayları görülmektedir [4,5].



Şekil 2.10: Eğik olarak gelen boyuna dalga için yansıma ve kırılma [4].

Şekil 2.10'dan görüldüğü gibi, her iki ortam da katı olduğu için yansıma ve kırılma sonucu hem boyuna hem de enine dalgalar oluşmaktadır. Bilindiği gibi, sıvı ortamlarda enine dalgalar yayılamazlar. Şekil 2.11'de, iki katı ortamın arayüzüne eğik bir enine dalga gelmesi sonucu oluşan yansıma ve kırılma olayları görülmektedir.



Şekil 2.11: Eğik olarak gelen enine dalga için yansımaya ve kırılmaya [4].

İki ortamın arayüzeyinde meydana gelen yansımaya ve kırılma olaylarında, yansıyan veya kırılan dalgaların yönleri Snell Kanunu ile belirlenir. Bu kanun matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir [4,6]:

$$\sin \alpha / \sin \beta = V_1 / V_2 \quad ( 2.20 )$$

Burada;

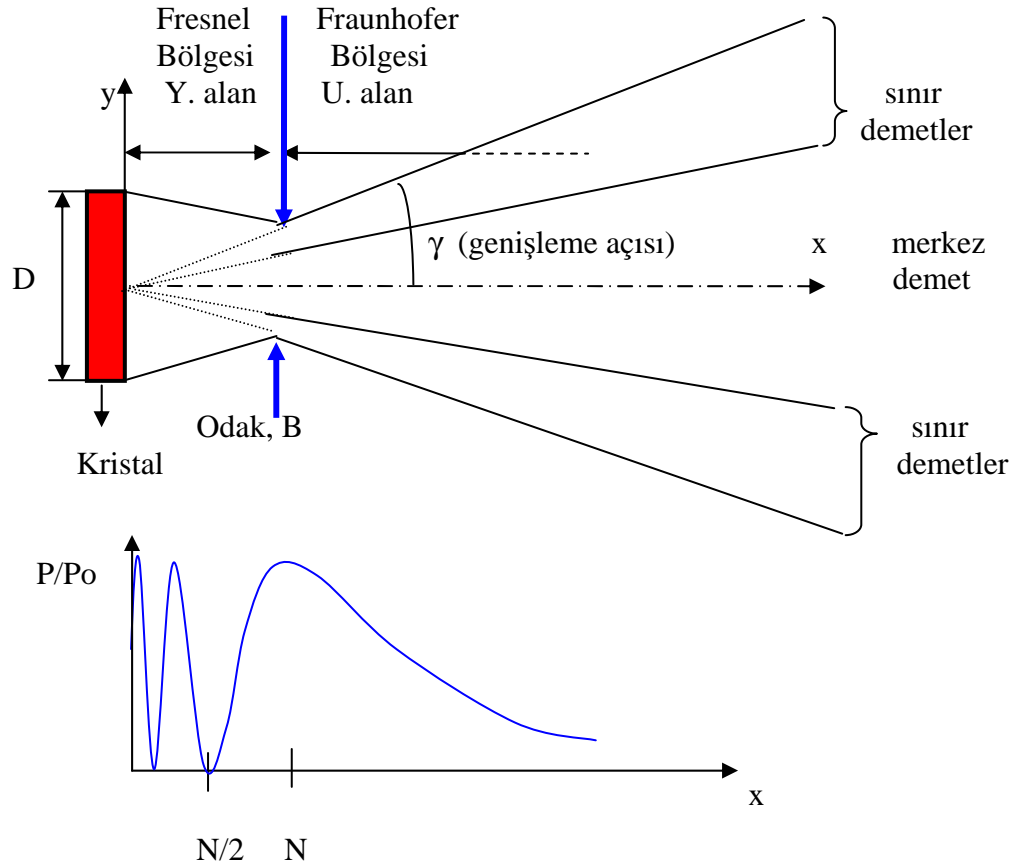
- $\alpha$ : geliş açısı
- $\beta$ : yansımaya veya kırılmaya açısı
- $V_1$ : gelen dalganın hızı
- $V_2$ : yansıyan veya kırılan dalganın hızı'dır.

### 2.2.7. Ultrasonik Demet ve Özellikleri

Ultrasonik prob ile üretilen dalgaların madde ortamında yayılmaları bir demet şeklinde olmaktadır. Ses dalgaları probdan çıktıktan sonra, yayıldıkları ortamdaki hıza, frekansa, kristal şekline ve boyutuna bağlı olarak geometrik bir şekil alırlar. Buna ses demeti denir. Ses demetinin şekli yakın alan uzunluğu, odak genişliği ve genişleme açısı ile belirlenir. Ses demetinin simetri eksenine akustik eksen veya merkez demet denir. Ses demetini sınırlayan demetlere de sınır demet denir. Ses demeti, yakın alan ve uzak alan olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Yakın alanı uzak alana birleştiren demetin dar bölgesine odak denir [4,7].

### 2.2.7.1. Yakın Alan

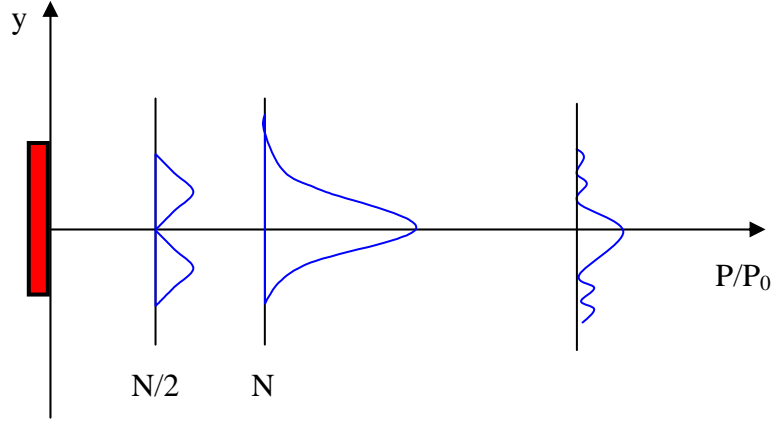
Bir ses demetinin probdan çıktuktan sonra odağa kadar biraz daralarak gittiği ve ses basıncının sürekli değiştiği bölgeye yakın alan veya Fresnel bölgesi denir. Demetin yakın alan içerisinde aynı basınçtaki noktaların oluşturduğu çizgilere izobar denir. Ultrasonik demetin merkez eksenini oluşturan akustik eksen üzerindeki ses basıncı yakın alan içerisinde karmaşık bir değişim göstermektedir. Akustik eksen üzerindeki ses basıncı, yakın alanın ilk yarısında minimumda; yakın alanın sona erdiği odak noktasında da maksimumdur. Şekil 2.12, akustik eksen üzerindeki basınç değişimini göstermektedir [6,7].



Şekil 2.12: Dairesel kesitli bir transdüserin akustik ekseninde basınç değişimi [7].

Ses demeti kesitinde akustik basınç değişimi Şekil 2.13'de gösterilmiştir.





Şekil 2.13: Ses demeti kesitinde basınç değişimi [4].

Yakın alan bölgesine giren hataların çok dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir, zira bu bölgede yansıtılan sinyallerin genliği mesafe ile önemli ölçüde değişmektedir. Yakın alan uzunluğu  $N$ , transdüser çapına ve ultrasonik dalganın yayıldığı ortamdaki dalga boyuna bağlıdır. Yakın alan uzunluğu prob çapı ve frekansın artması ile artmakta olup, yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [4,7] :

$$N = D^2 / 4 \lambda = D^2 f / 4V \quad (2.21)$$

Burada;         $N$ : Yakın alan uzaklığı  
                    $D$ : Transdüser çapı  
                    $V$ : Malzemedeki ses hızı  
                    $f$  : Frekans'tır.

#### 2.2.7.2. Uzak Alan

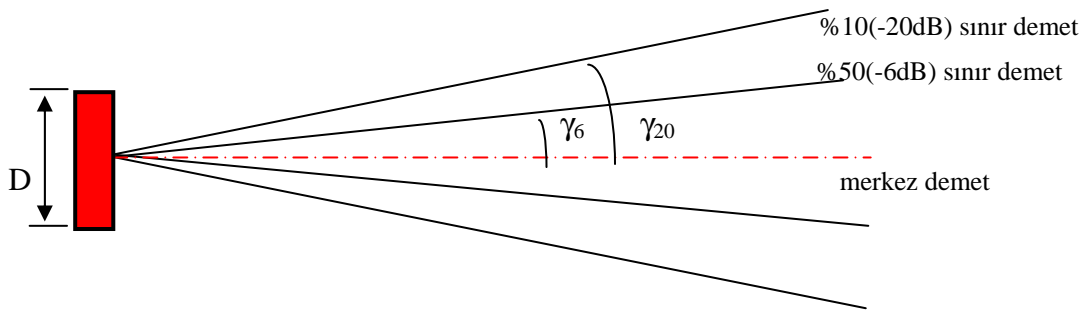
Yakın alanın sona erdiği odaktan itibaren ses demetinin genişleyerek devam ettiği bölgeye uzak alan veya Fraunhofer bölgesi denir. Uzak alanda, üç yakın alan uzunluğundaki mesafeden itibaren dalga önü küreseldir; halbuki, yakın alanda dalga önü düzlemseldir. Uzak alanda, bir yakın alan uzunluğu ile üç yakın alan uzunluğu arasındaki bölgeye geçiş bölgesi denir, zira bu aralıkta dalga önü düzlemsel şekilden küresel şekle dönüşür. Uzak alanda bütün kesitlerde ses basıncı akustik eksen üzerinde maksimumdur. Disk tipi (dairesel kesitli) transdüserler için, akustik eksen üzerinde ses basıncının, mesafe ( $a$ ) ile değişimi aşağıdaki bağıntı ile verilir [4,6]:

$$P = \{ P_0 2 \sin ( \pi / \lambda [ ( ( D/2 )^2 + a^2 )^{1/2} - a ] ) \} \quad (2.22)$$

Şekil 2.12'deki grafik yukarıdaki bağıntı ile elde edilmiştir. Bağıntıda D disk çapı,  $\lambda$  ise ortamdaki dalga boyunu ifade etmektedir.

### 2.2.7.3. Demet Genişlemesi

Ses demeti uzak alanda belli bir açı ile genişleyerek yayılır. Uzak alanda ses basıncı akustik eksen (merkez demet) üzerinde maksimum olup, ilk minimumdan geçen yan demet ile akustik eksenin belirlediği açıya demet genişleme açısı denir. Ses demetini belirleyen sınır demetler genellikle %50 (-6dB) ve %10 (-20dB) sınır demetleri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.14'de de gösterildiği gibi, %50 veya -6 dB sınır demeti, yankı tekniğinde bir nokta yansıtıcının gönderdiği yankı genliğinin akustik eksen üzerinde gönderdiği genliğe göre yarıya indiği demet demektir. %10 veya -20dB sınır demeti de benzer şekilde, genliğin onda bire indiği demet anlamına gelmektedir [4,5].



Şekil 2.14: Demet genişlemesi [5].

Demet genişleme açısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir [4] :

$$\sin \gamma_n = k_n \lambda / D \quad (2.23)$$

$$\gamma_n = \arcsin (k_n \lambda / D) \quad (2.24)$$

Burada;

- $\gamma$  : Demet genişleme açısı
- $k$  : Transdüser tipine ve genişleme açısına bağlı katsayı
- $\lambda$  : Dalga boyu
- $D$  : Disk tipi kristaller için çap
- $n$  : İlgili sınır demeti belirleyen alt indis'tir. (örneğin,  $\gamma_6$ )

### 2.2.8. Ultrasonik Dalgaların Zayıflaması

Bir algılayıcı transdüser tarafından algılanan bir ultrasonik demetin şiddeti, başlangıçta iletilen demet şiddetinden oldukça daha azdır. Ultrasonik dalgaların çeşitli etkenlerle şiddet ve enerjilerini kaybetmesine ultrasonik zayıflama denir. Demet şiddetinin kaybına neden olan önemli etkenler aşağıda açıklanmıştır [4,5,8,9]:

#### 2.2.8.1. Ultrasonik Dalgaların Saçılması

Bir malzemede ultrasonik dalgaların saçılması, o malzemenin tam olarak homojen olmamasından ileri gelmektedir. Akustik empedansı farklı iki malzeme arasındaki sınır ultrasonik dalgalar için bir inhomojenite oluşturmaktadır. Örneğin, inklüzyonlar, gözenekler ve tane sınırları malzeme içinde inhomojen ortamları oluştururlar. Demir tanelerinden ve yoğunluk ile esneklik özelliği demirden farklı olan grafit parçacıklarından oluşan dökme demir inhomojen bir malzemedir. Her tane farklı akustik empedansa sahiptir ve sonuçta saçılmaya neden olur. Farklı yönlere göre farklı ultrasonik hızlar gösteren bazı tek kristal tipi malzemelerde de saçılmaya rastlanmaktadır. Bu tip malzemelere anizotrop malzeme denir. Bir malzeme içinde her bir tane rasgele yönlenmiş ise, o malzeme farklı tip kristallerden veya fazlardan oluşmuş gibi saçılma meydana gelir ki buna anizotropinin neden olduğu saçılma denir. Bu tür malzemeler, saçılmadan dolayı sadece geri dönen ultrasonik sinyalleri zayıflatmazlar, aynı zamanda gerçek belirtileri (örneğin hata belirtileri) maskeleyen çok sayıda küçük yankılar (gürültü sinyalleri) üretirler. Ultrasonik dalgaların frekansı yükseldikçe saçılma artar.

#### 2.2.8.2. Ultrasonik Dalgaların Soğurulması

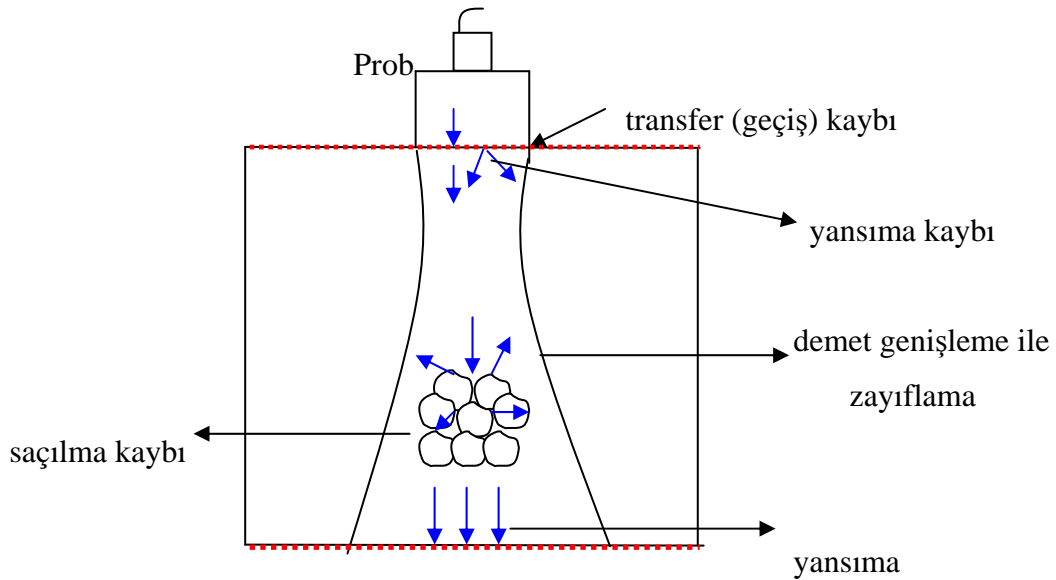
Ultrasonik dalgaların soğurulması, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi olayıdır. Herhangi bir malzemede parçacıklar malzemenin içerdiği ısıdan dolayı rasgele hareket halindedirler. Sıcaklık yükseldiğinde parçacıkların hareketleri de artar. Bir ultrasonik dalga malzeme içinde yayılırken parçacıkları uyarır. Bu parçacıklar uyarılmayan parçacıklarla çarpıştığında bunlara bir enerji transferi olur ve parçacıklar daha hızlı ve daha uzun mesafelerde titreşmeye başlar. Dalga geçtikten sonra da bu hareket devam eder; böylece, geçen dalganın bıraktığı mekanik enerji malzemede ısıya dönüşerek kaybolur. Soğurulma, frekans yükseldikçe artmaktadır. Düşük frekanslarda ilişki doğrusaldır ve zayıflama genelde soğurulmadan kaynaklanır. Frekansın yükselmesiyle, saçılma mekanizması ağır basmakta ve zayıflamada saçılmanın payı artmaktadır.

### 2.2.8.3. Temas ve Yüzey Pürüzlülüğü Kayıpları

Ultrasonik dalgaların zayıflamasına neden olan diğer olaylar, temas maddesinden ve yüzey pürüzlüğünden ileri gelen geçiş kayıplarıdır. Bir transdüser, çok düzgün yüzeyli bir parça yüzeyine bir temas sıvısı aracılığı ile temas ettirildiğinde, arka yüzeyden gelen sinyalin genliği temas maddesinin kalınlığına göre değişir.

### 2.2.8.4. Zayıflama Bağınıtları

Yukarıdaki nedenlerin dışında, yansıtıcının (süreksizliğin) yüzey pürüzlüğünden kaynaklanan saçılmalar ve demet genişlemesi de zayıflamaya neden olmaktadır. Bu durumda, bütün bu faktörlerin zayıflamaya katkıda bulunduğu unutulmamalıdır. Zayıflama katsayısı malzeme özelliklerine ve frekansa bağlıdır. Genelde, frekans yükseldikçe zayıflama artar. Sesin malzemede yayılması sırasında oluşan zayıflama kayıpları Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Sesin malzemede yayılması sırasında oluşan zayıflama kayıpları [4].

Saçılma ve soğurulma ile meydana gelen zayıflama sonucu ses basıncının azalması aşağıdaki eksponansiyel fonksiyonla ifade edilir [4,10]:

$$P = P_0 e^{-\varphi d} \quad (2.25)$$

Burada;  $P_0$ : Başlangıçtaki ses basıncı ( $d=0$ )

$P$ :  $d$  mesafesindeki ses basıncı

$d$ : Malzemede sesin aldığı yol

$\varphi$ : Zayıflama katsayısı'dır.

Yukarıdaki eşitliğin doğal logaritması alındığında aşağıdaki ifade elde edilir [4]:

$$\phi d = \ln ( P_0 / P ) \quad [ Np ] \quad ( 2.26 )$$

Buna neper [Np] olarak ultrasonik zayıflama denir. Ses zayıflaması genelde desibel (dB) birimi ile ifade edilmektedir. Yukarıdaki ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir [4,10]:

$$\phi d = 20 \log ( P_0 / P ) \quad [ dB ] \quad ( 2.27 )$$

Ses zayıflama katsayısı yukarıdaki eşitlik yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilir [4]:

$$\phi = ( 20 / d ) \log ( P_0 / P ) \quad [ dB / mm ] \quad ( 2.28 )$$

Ses basıncı yankı yüksekliği (H) ile orantılı olduğundan zayıflama katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir [4,10]:

$$\phi = ( 20 / d ) \log ( H_0 / H ) \quad [ dB / mm ] \quad ( 2.29 )$$

### 2.2.9. Prob Tipleri

Ultrasonik dalgaları üretmeye ve algılamaya yarayan düzeneğe prob denir. Bir ultrasonik cihaz ile bağlantılı olarak kullanılan prob, kendi içerisinde bazı elemanların birleşmesinden meydana gelmiştir. Bu elemanlar ve fonksiyonları aşağıda açıklanmıştır [4,5,7,11].

**a) Piezoelektrik Transdüser:** Ultrasonik enerjiyi üreten ve algılayan eleman olup, alt ve üst yüzeyleri gerilim plakalarıyla kaplanmıştır.

**b) Sönüm Bloğu:** Probtaki sönüm bloğu hemen transdüserin üzerine yerleştirilmiş olup, ayırma gücü ve duyarlık olmak üzere probun iki önemli fonksiyonunu kontrol eder.

**c) Denkleştirme Transformatörü:** Prob kablosu üzerinden transdüser ve ters yönde maksimum enerji transferi için piezoelektrik transdüserin elektrik empedansını kablonun elektrik empedansına denkleştiren elemandır.

**d) Akustik Zırh:** Çift kristalli problarda gönderici ve algılayıcı kristallerin girişim yapmasını önlemek amacıyla, ses soğurucu bir maddeden yapılmış bir tabakadır.

**e) Aşınma Tabakası:** Transdüseri aşınmaya ve dış etkilere karşı koruyan tabaka olup, sert plastik veya seramikten yapılıdır.

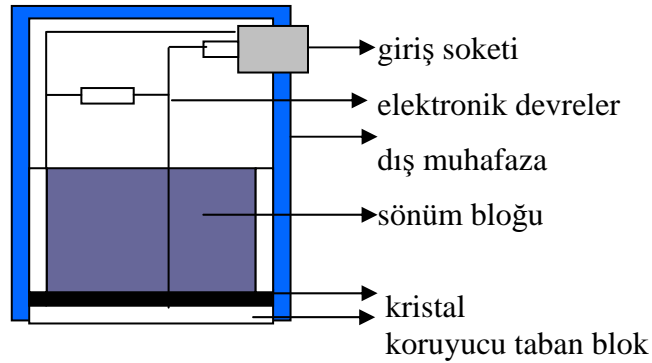
**f) Taban Bloğu:** Proba açı vermek veya ses demetini geciktirmek amacıyla, genellikle pleksiglas malzemeden yapılan bir bloktur.

g) **Dış Muhafaza:** Prob iç elamanlarını taşıyan kab olup, genellikle metalden yapılıdır.

h) **İç Dolgu:** Muhafaza kabının içinde bulunan elamanlardan kalan boşlukları doldurmak amacıyla kullanılan ve genellikle reçine türü olan maddelerdir.

#### 2.2.9.1. Tek Kristalli Normal Problar

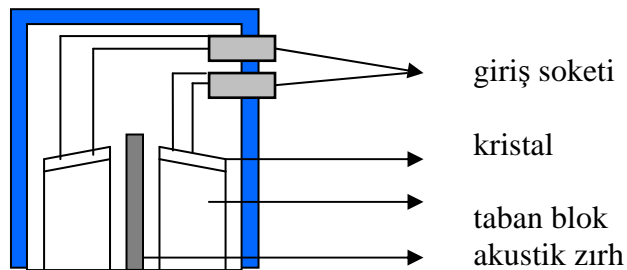
Normal problemler, genellikle boyuna dalga üretirler ve malzeme yüzeyine dik doğrultuda ses demeti gönderirler. Tek transdüserli problemlerde, transdüser hem gönderici hem algılayıcı olarak çalışır. Şekil 2.16'da normal bir prob ve iç elamanları gösterilmektedir. Transdüser cihazın gönderici (darbe) ve yükseltici devreleri ile bağlantılıdır. Bu nedenle başlangıç darbeleri uzun, dolayısıyla ölü bölgeleri büyüktür [4,7].



Şekil 2.16 : Normal prob [7].

#### 2.2.9.2. Çift Kristalli Normal Problar

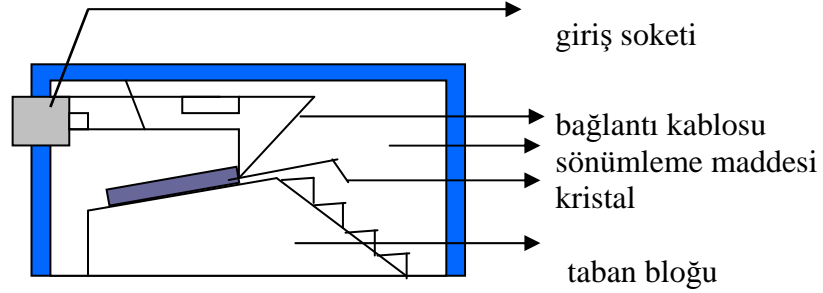
Tek kristalli normal problemlerde karşılaşılan zorlukları önlemek için çift kristalli normal problemler kullanılmaktadır. Şekil 2.17'den de görüldüğü gibi, problemler birbirinden akustik bir zırh ile ayrılmış iki ayrı transdüser içermektedir. Transdüserlerden biri cihazın gönderici devresine diğeri algılama devresine bağlıdır. Böylece, darbe devresi tarafından yükseltici devreye gönderilen başlangıç elektrik darbesi geciktirilmekte ve ölü bölge yok olmaktadır [4,7].



Şekil 2.17: Çift kristalli prob [7].

### 2.2.9.3. Açılı Problar

Açılı problarda, ultrasonik dalgaları test parçasına çeşitli açılarda iletmek için dalga kırılması ve dönüşümünden yararlanılmaktadır. Bir açılı prob ve iç elemanları, Şekil 2.18'de gösterilmiştir [4,7].



Şekil 2.18: Açılı prob [4].

Açılı prob, test parçası yüzeyine belli bir geliş açısı altında boyuna dalgalar gönderir. Bu boyuna dalgalar malzeme ortamında kırılarak enine dalgalara dönüşür. Prob ile malzeme arayüzeyinden yansıyan boyuna dalgalar probtaki sönüm bloğu tarafından yok edilir, böylece boyuna dalgaların yaratacağı rahatsız edici belirtiler önlenmiş olur. Eğer, çelik için dizayn edilmiş bir açılı prob başka malzemelerde kullanılırsa, kırılma açısında oluşacak değişiklik göz önüne alınmalıdır.  $35^{\circ}$  açılı prob, bakır ve gri dökme demirde kullanıldığında ortamda sırasıyla  $57^{\circ}$  ve  $55^{\circ}$  boyuna dalgalar da yayılacak ve bu, test işlemini zorlaştıracaktır. Bu nedenle, bu malzemelerde daha büyük açılı problar tercih edilmelidir. Ticari olarak üretilen açılı problar, çelik içinde  $35^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$  ve  $80^{\circ}$  enine dalga yayacak şekilde dizayn edilmişlerdir.

### 2.2.9.4. Prob Seçimi

Prob seçiminde; demet yönü, frekans ve kristal boyutu göz önüne alınır. Demet yönü seçiminde, önce normal veya açılı problardan birine karar verilir. Açılı prob kullanıldığında prob açısı hatadan maksimum yansıma elde edilecek şekilde seçilir; yani, beklenen hataya ses demetinin dik olarak çarpması düşünülür. Frekans seçiminde, malzeme kalınlığı ve metalurjik yapı ile dedekte edilecek en küçük hata boyutu göz önüne alınır. Mümkün mertebe yüksek frekans ile çalışmak, hem daha küçük hataların algılanmasını sağlar hem de ayırma gücünü iyileştirir. Frekans seçiminde asıl belirleyici faktör malzemenin tane boyutudur. Tane boyutu büyüdükçe, saçılma ve soğurulmayı azaltmak için düşük frekansları seçmek gerekmektedir. Ayrıca, malzeme kalınlığı arttıkça frekans düşürülmelidir. Yüksek frekans, kaba taneli malzemede saçılmaya ve ekranda gürültü veya çimlenme denilen sinyallerin oluşmasına neden olur. Sonuç

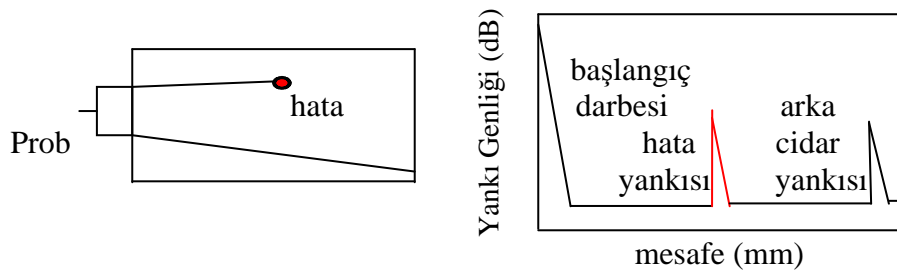
olarak, malzemenin yapısı müsaade ettiği sürece, mümkün olan en yüksek frekans kullanılmalıdır. Kristal boyutu seçiminde yakın alan uzunluğu ve eğri yüzeyli malzemelerde temas yüzdesi göz önüne alınır. Prob çapı küçüldükçe yakın alan kısalmaktadır. Yakın alan içerisinde merkez demetin ses enerjisi karmaşık bir değişim gösterdiğinden, hataların uzak alanda değerlendirilmesi arzu edilir [12].

### 2.3. ULTRASONİK TEST YÖNTEMLERİ

İki ortamın arayüzeyine gelen ultrasonik dalgaların bir kısmı geldikleri ortama yansıtılırken, diğer kısmı ikinci ortama geçerek yayılmaya devam ederler. Ultrasonik testte yansıyan dalgaların kullanıldığı yöntem darbe-yankı yöntemi, iki yüzey arasında geçiş yapan dalgaların kullanıldığı yöntemde transmisyon yöntemi denir. Malzemelerin, ultrasonik dalgalarla rezonans haline uyarılarak kontrol edildiği yöntem ise rezonans yöntemi denir [1,4,5,7].

#### 2.3.1. Darbe-Yankı Yöntemi

Malzemelerin ultrasonik testinde en çok kullanılan yöntem olup, hata yansıtıcı olarak etki etmektedir. Prensibi, prob tarafından gönderilen ses dalgalarının malzeme içinde bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır. Bu yöntemde, tek kristalli veya çift kristalli normal veya açılı prob kullanıldığı gibi, iki ayrı prob da kullanılabilir. Tek veya çift kristalli problar kullanıldığında, cihaz ekranı malzemenin test edilen konumdaki kalınlığını kapsayacak şekilde kalibrasyon yapılmalıdır. Hatanın varlığı ve konumu, arka cidar yankısından önce algılanan yankının varlığı ve konumu ile gösterilir. Bu yöntemde ölçülen büyüklüklerin sesin malzeme içinde aldığı mesafe (veya zaman) ve yankı genliğidir. Darbe-yankı yönteminin prensibi hata içeren bir parça ve ekran görüntüsü ile birlikte Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

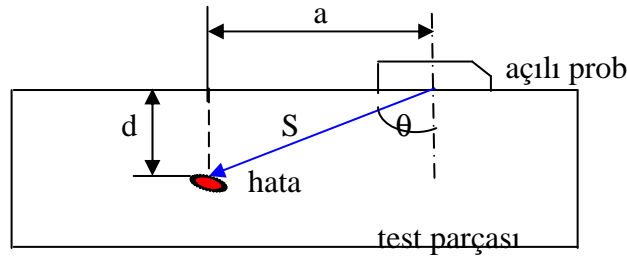


Şekil 2.19: Darbe-yankı yönteminin prensibi [5].



### 2.3.1.1. Açılı Demet Tekniği

Açılı demet tekniğinde, ultrasonik dalgalar test parçasına belli bir açı altında gönderilir. Seçilen açığa göre test parçasında oluşan dalga türü boyuna ve enine dalga karışımı, sadece enine dalga veya yüzey dalgası olabilir. Açılı demet testinde genellikle enine dalga problemleri kullanılmaktadır. Kırılma açısı  $35^{\circ}$  ile  $80^{\circ}$  arasında değişen enine dalgalar, yönü normal demet ile algılamaya müsait olmayan hataları tespit etmek için kullanılır. Açılı demet tekniği Şekil 2.20’de gösterilmiştir [4,6].



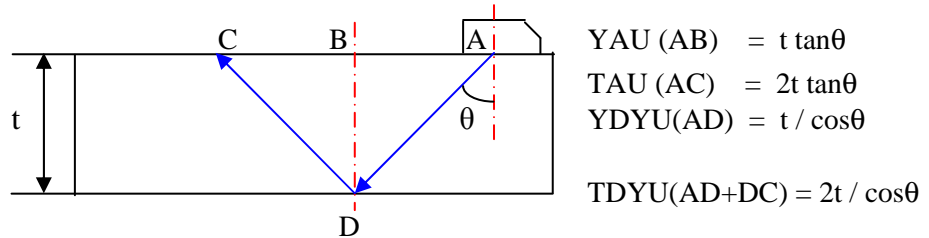
Şekil 2.20: Açılı demet tekniği [4].

Şekil 2.20’den, ses yolu (S) ve prob açısı ( $\theta$ ) yardımıyla hatanın derinliği (d) ve izdüşüm veya projeksiyon uzaklığı (a) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir [4]:

$$d = S \cos \theta \quad (2.30)$$

$$a = S \sin \theta \quad (2.31)$$

Açılı demet testinde ses adımı mesafesi ve ses demeti yolu uzunluğu, hata yerinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.21 yardımıyla, yarım adım uzunluğu (YAU), tam adım uzunluğu (TAU), yarım demet yolu uzunluğu (YDYU) ve tam demet yolu uzunluğu (TDYU) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır [4]:



Şekil 2.21: Ses adımı ve demet yolu uzunlukları [4].

### 2.3.2. Transmisyon Yöntemi

Bu yöntemde, biri gönderici diğeri algılayıcı olmak üzere iki tane prob kullanılmaktadır. Bu problemler malzemenin karşılıklı yüzeylerine ve birbirine paralel ve simetrik olacak şekilde konumlanır. Hatanın gölgeleyici olarak etki ettiği bu yöntemde, hatanın varlığı transmisyon sinyalinin genliğindeki azalma ile gösterilir. Ses demeti kesitinden daha büyük hatalarda transmisyon sinyali tamamen kaybolur [4].

Bu yöntem, zayıflamanın yüksek olduğu ve büyük hataların bulunduğu ingot ve dökümlerin testinde çok kullanılmaktadır. Yöntem, hatanın büyüklüğünü ve derinliğini vermez. Bu yöntemde ölçülen büyüklükler mesafe (veya zaman) ve geçen sesin şiddeti veya genliğidir. Yöntemin en önemli avantajları, ses tek geçiş yaptığı ve geri dönmediği için zayıflama etkisinin yarıya inmesi ve geçiş süresinden dolayı transmisyon sinyalinin diğer yanıltıcı sinyallerden kolayca ayırt edilebilmesidir [4,6].

### 2.3.3 Rezonans Yöntemi

Dışarıdan uygulanan tek bir darbenin etkisiyle serbest titreşen bir yapı rezonans frekansı ile titreşir ve titreşim sönümleninceye kadar frekans aynı kalır. Rezonansın oluşabilmesi için, test parçasının ön ve arka yüzeylerinden gelen yansımalarda büyük bir kayıp olmaması, yansımadan sonra geldikleri doğrultuda geri dönmeleri ve başka yöne saparak kaybolmamaları gerekir. Yani, test parçası paralel yüzeyli ve pürüzsüz olmalıdır. Ön ve arka yüzeylerden yansıyan dalgalar arkadan gelen yeni dalgalarla farklı fazda iseler birbirlerini zayıflatırlar, aynı fazda iseler birbirlerini kuvvetlendirirler. Kuvvetlendirme kendisini yüksek genlik ile gösterir. Bu duruma ultrasonik rezonans denir. Dalga boyu frekans ile kontrol edilebilir. Frekans kontrol fonksiyonu olan bir sistem ve bir prob kullanıldığında, rezonans sağlanıncaya kadar frekans değiştirilebilir. Rezonans oluştuğunda algılanan darbenin genliğinde yükselme olacaktır. İlk rezonans sağlayan frekansa temel frekans ( $f_0$ ) denir. Parçadaki ses hızı ( $V$ ) biliniyorsa, malzeme kalınlığı ( $t$ ) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [4,6]:

$$t = V / ( 2 f_0 ) = \lambda / 2 \quad ( 2.32 )$$

## 2.4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN ULTRASONİK MUAYENESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, kaynaklı birleştirmelerin ultrasonik yöntem ile optimum test parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar genellikle paslanmaz çelik malzemeler ve raylardaki kaynak hattı üzerinde yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Juva ve Lieto, %0,06 C, % 18 Cr, %11 Ni, %2,7 Mo içeren 2, 3, 5 ve 10 mm kalınlıklara sahip östenitik paslanmaz çelik plakaları %0,03 C, % 19 Cr, % 10 Ni, %0,8 Si, %0,6 Mn içeren çelik elektrod kullanarak alın kaynağı ile birleştirmişler ve kaynak bölgesinde yapay olarak inklüzyon, porozite ve çatlak hataları oluşturmuşlardır. Oluşturdukları yapay hataların optimum test parametrelerini, enine ve boyuna dalga üreten 2, 4, 5, 6 ve 10 MHz frekanslı ve  $45^0$ ,  $60^0$  ve  $70^0$  açılı problar kullanarak belirlemişlerdir. En iyi ölçüm sonuçlarını en az 6 MHz frekansa ve  $70^0$  açığa sahip problarla yaptıkları ölçümlerden elde etmişlerdir. İnce östenitik plakalarda ses demeti yolu kısa olduğundan, mikroyapı iri taneli olmasına rağmen yüksek frekanslı prob kullanımı önemli ölçüde dalga zayıflamasına neden olmamıştır [13].

Pelseneer ve Louis, 36 mm kalınlığında ki dikişsiz çelik boruyla (TP316), 34 mm kalınlığında çelik döküm boruyu (CF8M) birbiriyle alın kaynağıyla birleştirmişlerdir ve kaynak bölgesinde yapay hata olarak 3,4 mm çapında delik oluşturmuşlardır. Öncelikle iki farklı malzemenin boyuna dalga hızını ve zayıflama katsayısını 2 MHz frekanslı normal prob kullanarak sırasıyla; CF8M malzemede 5610 m/sn ve 0,11 dB/mm olarak, TP316 malzemede 5630 m/sn ve 0,33 dB/mm olarak ölçmüşlerdir. Kaynak bölgesinde oluşturulan yapay hatada; standart enine dalga problarla CF8M malzemedeki ölçümlerde yankı elde edememişler, TP316 malzemedeki ölçümlerde kaynak bölgesine ses dalgasının geçişinin az olmasına rağmen yankı elde etmişlerdir.  $60^0$  ve  $70^0$  açılı boyuna dalga üreten problarla, TP316 malzemedeki ölçümlerde %80-100 ekran yüksekliğinde %15-30 çimlenme etkisiyle hata yankısı elde etmelerine rağmen CF8M malzemedeki ölçümlerde görülebilir bir yankı elde edememişlerdir. Hatanın algılanmasında en iyi ölçüm sonuçları; TP316 malzemedeki ölçümlerde enine ve boyuna dalga üreten

2 ve 3 MHz frekanslı  $70^0$  açılı problemlerle, CF8M malzemedeki ölçümlerde ise boyuna dalga üreten 2 MHz frekanslı  $70^0$  açılı problemler elde edilmiştir [14].

Edelmann, Cr-Ni alaşımlı östenitik paslanmaz çelik kaynağının ultrasonik testinde ortaya çıkan temel zorlukları incelemiştir. Bunun için; %0,05 C, %18 Cr, %9 Ni içeren 70 mm kalınlığa sahip östenitik paslanmaz çelik plakaları alın kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak bölgesinde yapay hata olarak 2 mm çapında delik oluşturmuştur. Optimum test sonucuna ulaşabilmek için, boyuna dalga üreten açılı problemler kullanarak kısa ve geniş bantlı ultrasonik darbelerle test alanını sınırlandırarak sinyal/gürültü oranını olabildiğince yüksek tutmuştur. Test alanını sınırlandırmayı, büyük transdüser boyutu seçerek ve odaklayıcı yardımcı elemanlar kullanarak gerçekleştirmiştir. En iyi ölçüm sonuçlarını, 1-4 MHz frekanslı boyuna dalga üreten açılı problemlerle elde etmiştir [15].

Ekinci, nükleer güç reaktörlerinde kullanılan ve yüksek sıcaklık dayanım özelliğine sahip Nimonic 86 ve Inconel 617 nikel esaslı malzemedeki yapılmış kaynak dikişlerinin ultrasonik yöntemle test edilebilirliğini incelemiştir. Bu amaçla kaynak metali içine farklı derinliklerde açılan silindirik delik ve yüzeye açılan çentik tipindeki yapay hataların dedekte edilebilirliğini, tek ve çift kristalli boyuna dalga üreten açılı problemlerle ölçmüştür. Dedekte edilebilirliğin ölçüsü olarak yapay reflektörlerden algılanan sinyal/gürültü oranlarını kaydetmiştir. Elde edilen bulguları hata konumuna ve test frekansına göre değerlendirmiştir. Her iki malzemenin kaynak dikişindeki bütün silindirik delikleri ve Nimonic 86'daki çentikleri iyi bir sinyal/gürültü oranı ile  $S/G \geq 12$  dB olarak kaydetmiştir. Inconel 617'deki çentikleri  $6 \text{ dB} \leq S/G \leq 12 \text{ dB}$  arasında bir S/G oranı ile algılayabilmiştir. Yapılan tüm ölçümlerde, prob açısının ve frekansının etkisini açık olarak görmüştür [16].

Sarıçam ve diğerleri, sürtünme kaynaklarında karşılaşılan birleştirme hatalarını değişik tahribatsız test yöntemleriyle kontrol ederek en uygun test yöntemini araştırmışlardır. Bu amaçla birleşme hatası içeren 55 mm kalınlığında sürtünme kaynağını; Radyografi, Ultrasonik ve Manyetik Parçacık test yöntemlerini kullanarak test etmişlerdir. En uygun test tekniğinin; güvenilirlik, sonuca ulaşma hızı, maliyet ve parçada yer alacak her türlü hatayı belirleyebilecek yöntem gibi faktörler dikkate alındığında ultrasonik test tekniği olduğunu belirlemişlerdir [17].

Gür ve diğeri, kaynaklı birleştirmelerin tahribatsız yöntemlerle muayenesini incelemiştir. Test malzemesi olarak kaynaklı rayları kullanmışlardır. Kesit geometrisinin karmaşıklığı ve et kalınlıklarının çok büyük değişiklik göstermesi ray kaynaklarının tahribatsız muayenesi için uygulanabilecek yöntemleri oldukça sınırladığından ultrasonik muayene yöntemini en uygun metod olarak ele almışlardır. Yapılan testlerin prosedüründe muayeneyi; normal proba tarama , tandem tekniği ile tarama, ray tabanındaki orta bölgenin incelenmesi ve ray tabanındaki yan bölgelerin incelenmesi olarak dört bölüme ayırmışlardır. Normal proba taramada; 10-15 mm çapında ve 2-2,5 MHz frekans değerine sahip problemler, tandem tekniğiyle taramada ve ray tabanındaki orta bölgenin incelenmesinde; 2-2,5 MHz frekans değerlerinde 45° açılı problemler, ray tabanındaki yan bölgelerin incelenmesinde ise 4 MHz frekans değerinde 45° açılı uygun ölçülerde minyatür problemler kullanmışlardır. Sonuç olarak termit kaynağının kalitesini prosedürde verilen şartlara uygun olarak ultrasonik yöntemle büyük ölçüde belirlemişlerdir [18].

Sing ve Manning, nükleer güç santrallerinde ki alın kaynağıyla birleştirilmiş östenitik paslanmaz çelik boruları ultrasonik yöntemle incelemiştir. Gerçekleştirdikleri testlerde, çoğu stres korozyon çatlaklarından kaynaklanan belirtiler kaydetmişlerdir. Bu belirtileri kaynak bölgesinin geometrisinden gelen yansımalarından ayırt etmek için bilgisayar destekli bir yöntem geliştirmişlerdir [19].

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

Deneysel çalışmada; dört farklı kaynak ağzı açılarak hazırlanmış kaynaklı birleştirmeler üzerinde oluşturulan yapay hataların; farklı prob açısı, frekansı ve ölçüm konumu kullanılmasıyla yapılan ultrasonik muayenesinde en uygun test parametrelerinin saptanması amaçlanmaktadır.

#### **3.1. KAYNAK EDİLECEK MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ**

Bu çalışmada; DIN 17100 normunda belirtilen St 37-2 çeliği kullanılmıştır.

##### **3.1.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi**

Malzemenin kimyasal analizi, “ ARL-300 ” spektrometre cihazında yapılmıştır. Analiz, Argon gazı altında yüksek voltajda malzeme yüzeyinden üç farklı bölgeden ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemedен analiz için alınan parça; üzerindeki yağ, pas ve kirden arındırılmak için zımparalanmıştır. Hazırlanan numune alkolle yıkanıp sıcak hava akımında kurutularak spektrometre cihazında ölçümler yapılarak sonuç bilgisayardan alınmıştır.

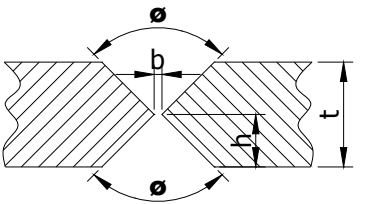
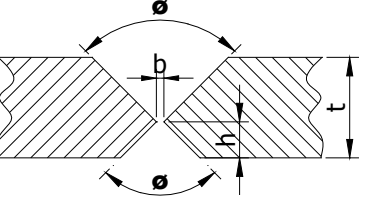
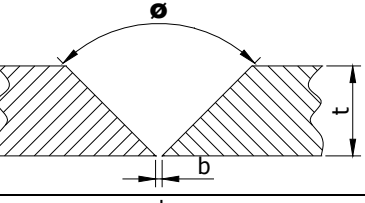
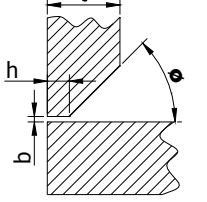
##### **3.1.2. Malzemenin Sertliği**

Malzemenin sertlik değeri; “ Zwick 3112” marka sertlik cihazı kullanılarak Brinell olarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümü sırasında numune bakalite alınarak yüzeyi parlatılmıştır. Kullanılan bilya çapı 2,5 mm, uygulanan yük 187,5 Kg ve tatbik süresi yaklaşık 15 sn'dir. Numune üzerinden üç farklı bölgeden sertlik değeri ölçülerek ortalama sertlik değeri saptanmıştır.

### 3.2. KAYNAK ÖNCESİ NUMUNE HAZIRLAMA

Deneysel çalışma için; kaynak edilmek üzere dört adet 30x100x200 mm boyutlarında parçalar plazma ile tam ortalarından kesilerek sekiz eşit parça elde edilmiştir. Parçaların kenarlarında oluşan çapaklar taş motoru ile temizlenerek açılı kesme cihazında 45° açı ile kaynak ağızları açılmıştır. Açılan kaynak ağızları X-kaynak ağızı, Y-kaynak ağızı, V-kaynak ağızı ve L-kaynak ağızı olmak üzere dört çeşittir. Açılan kaynak ağızlarının şekil ve özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir [2].

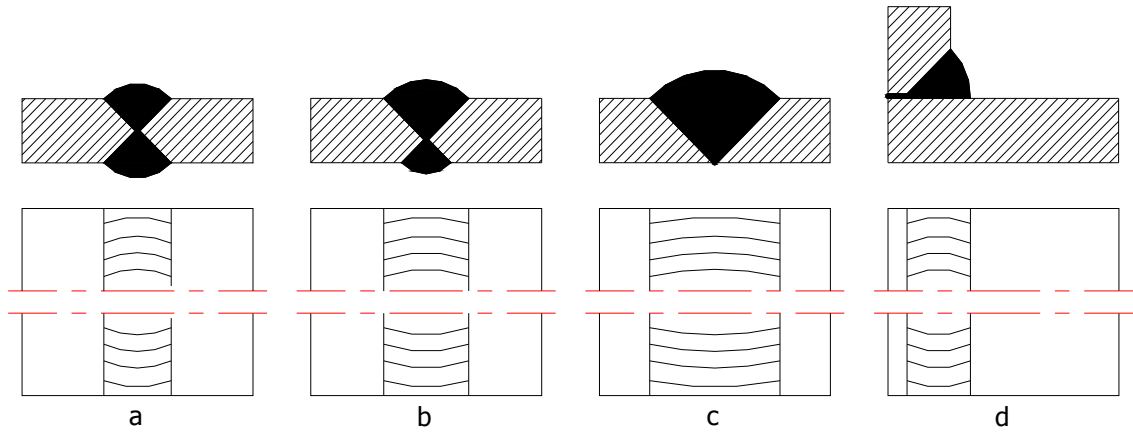
Tablo 3.1 : Hazırlanan kaynak ağızı şekilleri ve özellikleri

Kaynak Ağızı	Sembol	$\theta$	t mm	b mm	h mm	Kaynak Yapılışı	Kaynak Yöntemi
	X	90°	30	3	t/2	İki tarafтан	Elektrik Ark Kaynağı
	Y	90°	30	3	t/3	İki tarafтан	Elektrik Ark Kaynağı
	V	90°	30	3	-	İki tarafтан	Elektrik Ark Kaynağı
	L	45°	30	3	t/3	İki tarafтан	Elektrik Ark Kaynağı

### 3.3. NUMUNELERİN KAYNAK İLE BİRLEŞTİRİLMELERİ

#### 3.3.1. Kaynak Yöntemi

Uygun kaynak ağızları açılan parçalar, uygun pozisyon aparatları ile sabitlenip aralarında kaynak için gerekli olan mesafe bırakılarak kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi; Fronius marka VTU-455 model Elektrik Ark Kaynak Makinasında, Geka marka %0,08 C, %0,35 Si, %1,40 Mn içeren EV-55 tip  $\phi 4$ 'lük örtülü bazik elektrod kullanılarak yapılmıştır. Kaynak işlemi malzemenin kalınlığına uygun olarak 30 Volt gerilim ve 250 Amper akım şiddeti uygulanarak yapılmıştır. Kullanılan elektrodda ki örtü, koruyucu gaz atmosferi oluşturarak kaynak banyosunu havadaki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korur. Bu tür elektrodlar iyi aralık doldurma kabiliyetine sahiptirler. Bazik elektrodlarla yapılan kaynakta ark boyu; yanma sırasında oluşan CO<sub>2</sub> gazının banyoyu koruma görevini tam olarak yapabilmesi için kısa tutulmuştur. Elektrod tutuş açısı yaklaşık 70°-80° arasındadır. Kaynak hızı, kaynak metalini yeterince örtmesi açısından düşük tutulmuştur. Oluşan curuf tabakasının temizlenmesi için curufun tamamen katılaşması beklenerek, curuf çekiçi ve tel fırça kullanılmıştır. Yapılan kaynak işlemi ve curuf temizlemeden sonra parçaların yandan ve üstten görüntülerinin teknik resimleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Kaynak işleminden sonra parçaların teknik resimleri  
a) X – Kaynağı b) Y – Kaynağı c) V – Kaynağı d) L - Kaynağı



### 3.3.2. Kaynak Sonrası Yüzeyin Temizlenmesi

Kaynak işlemi sonrası, kaynak edilmiş birleştirmelerin yüzeyinde bulunan kaynak metali yığılması ve sıçrantılar taş motoruyla düzeltilmiştir. Bu işlemin yapılmasındaki amaç; ultrasonik yöntemle kaynak hataları dedekte edilirken probun daha rahat hareket etmesini sağlamaktır. Kaynaklı birleştirmelerin yüzeyindeki taşmalar temizlendikten sonra kalınlıkları 30 mm olan parçalardan X-kaynaklı parça 25 mm, Y-kaynaklı parça 26 mm, V-kaynaklı parça 28 mm ve L-kaynaklı parça 27 mm olarak ölçülmüş ve parçaların resimleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



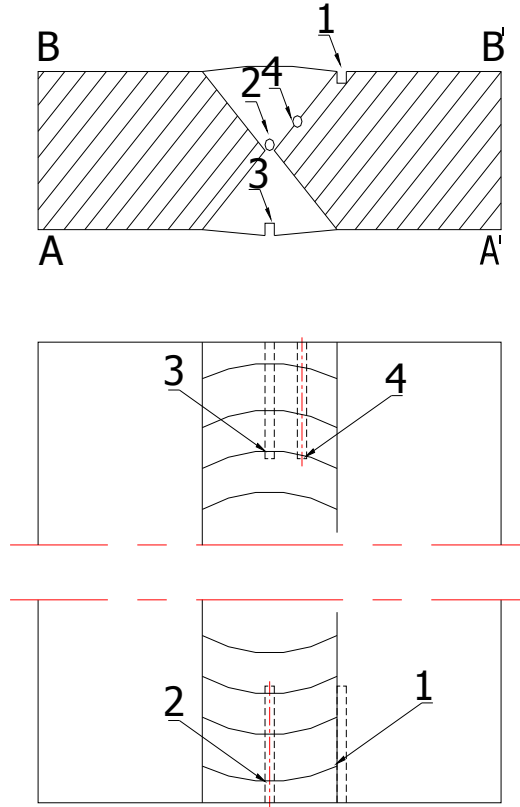
Şekil 3.2: Kaynaklı parçaların resimleri

### 3.4. KAYNAKLI NUMUNELER ÜZERİNDE YAPAY HATALARIN OLUŞTURULMASI

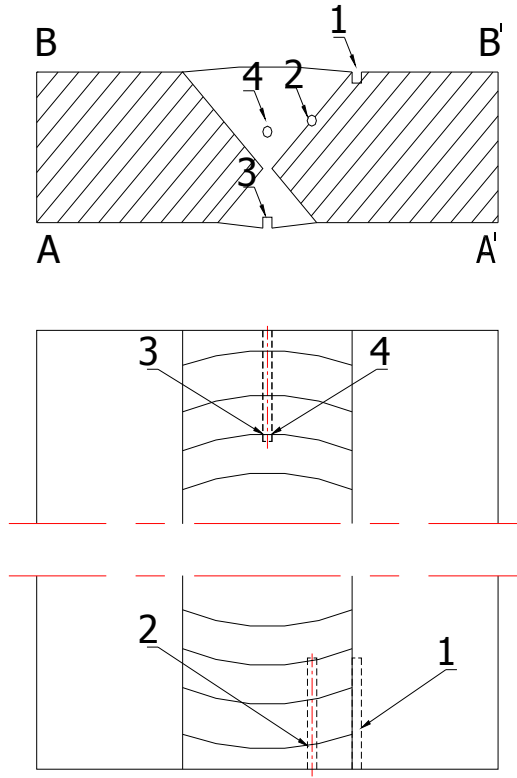
Farklı kaynak ağızları açılarak kaynak edilen numuneler üzerinde oluşturulan yapay hatalar, kaynak metali ve ITAB (ısıl etkin bölge) bölgesi üzerinde oluşturulmuştur. Bunu sağlamak amacıyla parçaların her iki tarafından da yararlanılmıştır. Oluşturulan yapay hatalar, delik ve çentik tipindedir. Yapay hataların ölçüleri Türk Standartları Enstitüsü'nün “TS EN 1712 Kaynakların Tahribatsız Muayenesi - Kaynaklı Birleştirmelerin Ultrasonik Muayenesi – Kabul Seviyeleri” adlı standartındaki kabul seviyelerine göre belirlenmiştir [20].

Delikler;  $\phi 2$ 'lik matkap ucuyla, 2 mm  $\phi$ ında ve 20 mm uzunluğunda oluşturulmuştur. Çentikler;  $\phi 100$ 'lük freze dişlisiyle, 2 mm eninde, 2 mm derinlikte ve 20 mm uzunluğunda açılmıştır.

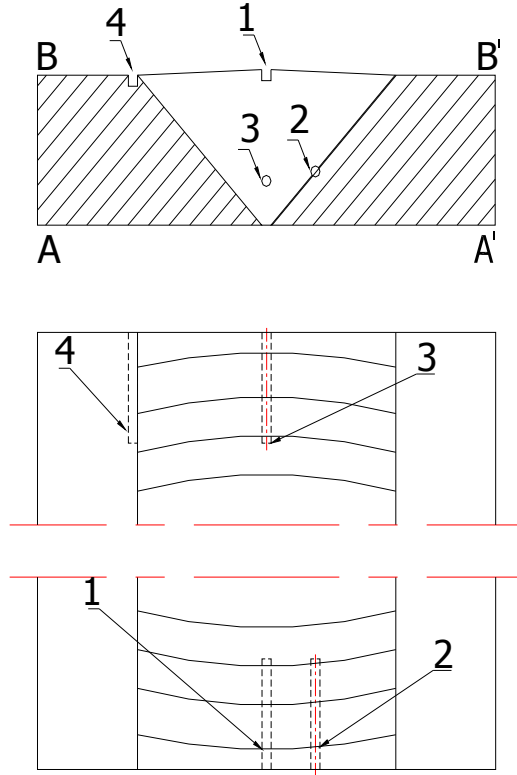
Oluşturulan yapay hatalardan delik; gaz boşluğu veya curuf kalıntısı gibi kaynak hatalarını, çentik ise kaynaktaki çatlak hatalarını simüle etmektedir. Yapay hataların oluşturulmasından sonraki teknik resimler; X-Kaynak ağzı için Şekil 3.3'de, Y-Kaynak ağzı için Şekil 3.4'de, V-Kaynak ağzı için Şekil 3.5'de ve L-Kaynak ağzı için Şekil 3.6'da verilmektedir. Ölçüm sonuçları hata numaralarına göre tablolar halinde verileceğinden, her yapay hata bir rakam ile temsil edilmiştir. Malzemenin ölçüm yapılacak olan yüzeylerine de ölçüm konumunun belirlenmesi amacıyla; X, Y ve V-tipi kaynak yapılan parçalara A, A<sup>I</sup>, B ve B<sup>I</sup> harfleri ile işaret konulmuştur. L-tipi kaynak yapılan parçaya da A ve B harfleri ile işaret konulmuştur.



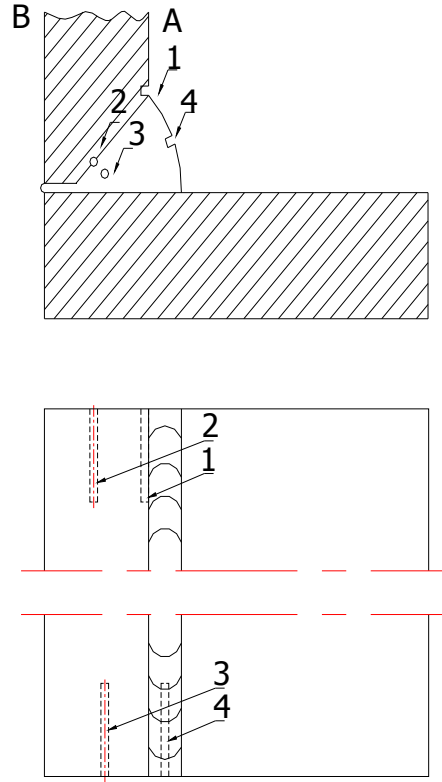
Şekil 3.3: X-Kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi.  
1-çentik, 2-delik, 3-çentik, 4-delik



Şekil 3.4: Y-Kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi  
1-çentik, 2-delik, 3-çentik, 4-delik



Şekil 3.5: V-Kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi  
1-çentik, 2-delik, 3-delik, 4-çentik



Şekil 3.6: L-Kaynağında oluşturulan yapay hataların teknik resmi  
1-çentik, 2-delik, 3-delik, 4-çentik

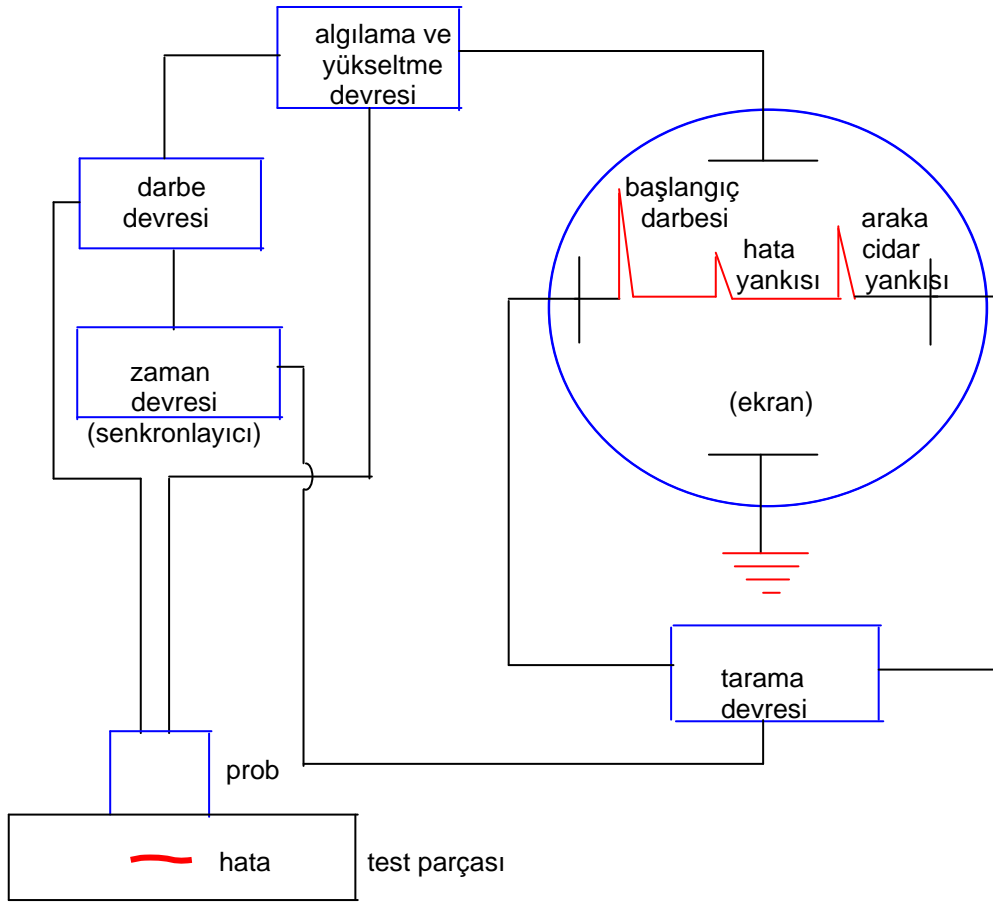
### 3.5. YAPAY HATALAR OLUŞTURULMUŞ KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER ÜZERİNDE YAPILAN ULTRASONİK ÖLÇÜMLER

Bir ultrasonik muayenenin yapılabilmesi için gerekli olan ana parçalar; ultrasonik cihaz, prob, kalibrasyon bloğu, test edilecek malzeme ve gerekli durumlarda kullanılan temas maddesidir.

#### 3.5.1. Ultrasonik Cihaz

Deneyisel çalışma sırasında; USM25-S model, Krautkramer marka sesli ve ışıklı ikaz verme özelliği olan, cihaz kazanç seviyesini 0,5 dB ve mesafe ölçümlerini 0,01 mm ölçme hassasiyetiyle yapan darbe-yankı tipi ultrasonik cihaz kullanılmıştır.

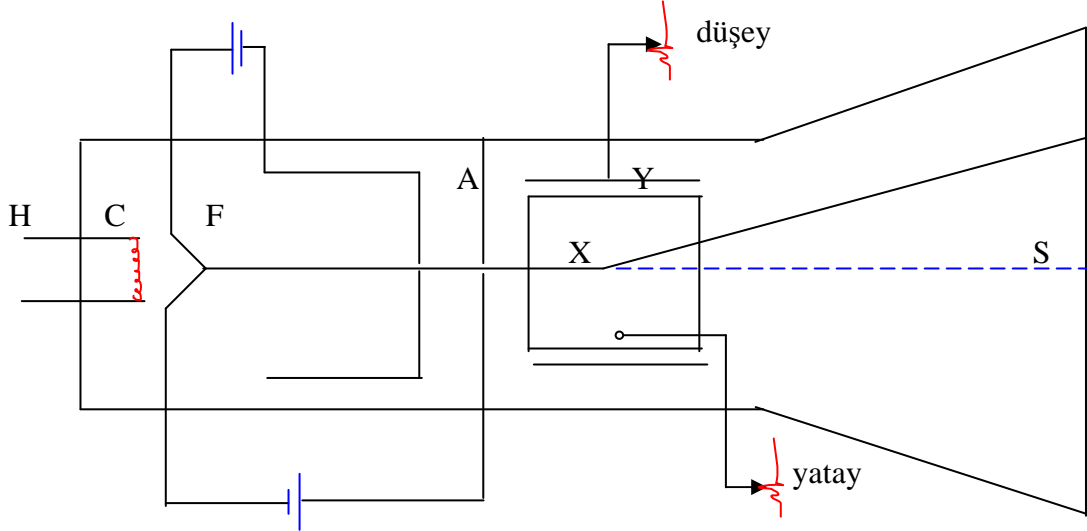
Ultrasonik cihaz esas itibariyle duyarlı olarak zaman ölçen bir osiloskoptur. Deneyisel çalışmada kullanılan darbe-yankı tipi bir ultrasonik cihazın blok diyagramı Şekil 3.7’de verilmiştir. Katod ışını tüpü, tarama devresi, darbe devresi, algılama-yükseltme devresi ve zaman devresi bir ultrasonik cihazın temel elemanlarını oluşturmaktadır.



Şekil 3.7: Bir ultrasonik cihazın temel devre elemanlarını gösteren blok diyagramı [8].

**Katod ışını tüpü veya ekran**, cihazın en uç elemanı olup, şematik olarak Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Tüpün bir ucunda, katodu (C) ısıtarak elektron üretilmesini sağlayan ısıtıcı bobinden (H) oluşan bir elektron tabancası ve bunun karşısındaki uçta ekran (S) bulunmaktadır. Elektronların zayıflamasını önlemek amacıyla tüpün içinde yüksek derecede vakum oluşturulmuştur. Katoddan çıkan elektronlar, katod (C) ve anod (A) arasına uygulanan gerilim (voltaj) ile hızlandırılır. Oluşan elektron demeti, içinde elektromagnetik alan yaratılan bir odaklama silindiri (F) aracılığı ile odaklanır ve böylece ekrana çarpan demetin kesiti nokta kadar küçülür. İç yüzeyi fosfor bileşenleri ile kaplı olan ekran, hızlandırılmış elektronların çarpması ile görünür ışık floresansı yaparak elektronları görünen ışığa dönüştürür. Görüntü kalitesi, parlak ışık noktasının netliğine (odaklanmasına), elektron demetinin şiddetine ve yatay/düşey eksenlerin doğrusallığına bağlıdır [4,8].

Elektronlar ekrana doğru hareket ederken iki saptırma plakasından (X ve Y-plakaları) geçerler. X-plakasına bir gerilim uygulandığında elektron demeti ekranda yatay doğrultuda sapar, Y-plakasına bir gerilim uygulandığında da düşey doğrultuda sapar.



Şekil 3.8 : Katod ışını tüpü (CRT) [4].

**Tarama devresi**, katod ışını tüpünün yatay saptırma plakasına (X-plakası) bir gerilim uygulayarak elektron demetinin sabit ve belirli bir hızla ekranı soldan sağa doğru taramasını sağlar. Böylece, yatay eksen (zaman eksenini) bir ışık çizgisi şeklinde görünür hale gelir. Tarama hızı, çalışma süresine (yani, plakaya uygulanan gerilimin sıfırdan maksimum değere çıkma süresine) bağlıdır. Çalıştırma süresi ne kadar kısa ise noktanın hareket hızı o kadar yüksektir. Tarama işlemi çok kısa zaman aralıklarıyla tekrarlanır. Bu sayede ekranın yatay ekseninde sürekli bir ışık çizgisi oluşur [4,8].

**Darbe devresi**, 300-1000 V arasında kısa elektrik darbeleri üreterek, bunları hem probdaki transdüser hem de yükseltme devresine uygular. Piezoelektrik transdüser bu elektrik darbesini ultrasonik titreşimlere dönüştürür. Ultrasonik dalga darbesinin frekansı piezoelektrik transdüserin kalınlığı, darbe uzunluğu ise sönümlenme derecesi ile kontrol edilir [4,8].

**Algılama-yükseltme devresi**, bir yükseltici, bir doğrultucu (rektifiye edici) ve bir zayıflatıcı içermektedir. Yükseltici devre, darbe devresinden ve probdan gelen elektrik darbelerini kuvvetlendirir. Doğrultucu, elektrik sinyallerini kolay gözlenmesi için

doğrultur. Zayıflatıcı, sinyal genliğinin istenilen şekilde değiştirilmesini sağlar. Bu amaçla kullanılan kontrol düğmesine kazanç düğmesi denir ve desibele (dB) göre kalibre edilmiştir. Yükseltici devre, darbe devresinden ve probdan gelen elektrik darbelerini kuvvetlendirerek, bunları katod ışını tüpünün düşey saptırma plakalarına gönderir. Böylece, uygulanan darbeye ve probdan dönen başlangıç darbesine veya yankılara ait ekranda düşey sinyallerin oluşması sağlanır [4,8].

**Zaman devresi (saat veya sekronlayıcı)**, tarama ve darbe devrelerini aynı anda harekete geçiren elektrik darbelerini üretir. Yani, bu devrelerin zamanlamasını ayarlar. Ekrandaki ışıklı çizginin sürekli ve parlak olması için bu darbeler tekrarlı olarak üretilir. Bu darbelerin bir saniyedeki tekrarlanma sayısına darbe tekrarlama frekansı denir [4,8].

#### *3.5.1.1. Darbe–Yankı Tipi Bir Ultrasonik Cihazın Çalışma Şekli*

Deneysel çalışmamızda kullandığımız darbe-yankı tipi ultrasonik cihazda; tarama devresinin ve darbe devresinin, zaman devresi tarafından aynı anda harekete geçirilmesiyle, hem prob ultrasonik darbe üretmeye, hem de elektron demeti katod ışını tüpünü yatay olarak taramaya başlar. Tek kristalli prob kullanıldığında, darbe devresi tarafından proba uygulanan elektrik darbesi aynı anda algılama yükseltme devresine de gönderilir ve burada yükseltilerek katod ışını tüpünün düşey saptırma plakalarına iletilir. Şekil 3.7’de gösterilen bu sinyal başlangıç darbesi olarak bilinmektedir ve aynı zamanda malzeme başlangıcını da temsil etmektedir. Probdan çıkan ultrasonik darbe parça içinde hareket ederken, elektron demeti de ekranı sürekli şekilde yatay olarak taramaya devam eder. Ultrasonik dalgalar parça içinde herhangi bir hataya çarptığında, dalgaların bir kısmı hata yüzeyinden proba doğru yansıtılır. Probdaki elektrik sinyaline dönüştürülerek, buradan algılama-yükseltme devresine ve oradan da ekrana iletilir. Bu sinyal ekranda hata yankısı olarak görülmektedir. Malzemede yayılan dalgaların diğer kısmı malzemenin arka yüzeyine ulaşır ve buradan tekrar proba geri yansıtılır. Aynı yollardan ekrana ulaşan bu sinyal arka cidar yankısı olarak gösterilmiştir.

Deneysel çalışmamızda kullanılan ultrasonik cihazın resmi; Şekil 3.9’da kullanılan farklı açılarda ve frekans değerindeki problemlerle, kalibrasyon bloğu ve kaynaklı numunelerle birlikte verilmiştir. Şekil 3.9’da, ultrasonik cihaz ekranında, açılı prob kullanıldığı için arka cidar yankısı alınmadığı sadece başlangıç darbesi ve hata yankısı alındığı görülmektedir.

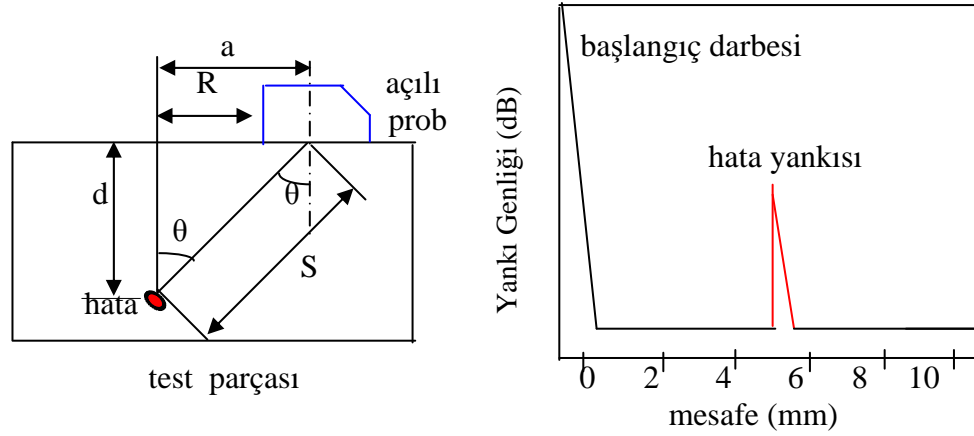


Şekil 3.9 : USM25-S model, Krautkramer marka ultrasonik cihaz

### 3.5.1.2 Görüntü (Tarama) Şekilleri

Ultrasonik yankılar, cihaz ekranında veya diğer kayıt sistemlerinde elektronik sinyallere dönüştürülmektedir. A-tarama (veya A-görüntüsü), B-tarama ve C-tarama olmak üzere üç temel gösterim şekli vardır. En çok kullanılan ve deneysel çalışmamızda da kullandığımız gösterim şekli A-taramadır. Tipik bir A-tarama gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu gösterimde, ekranın yatay eksenini kat edilen zamanı (veya mesafeyi), dikey eksenini ise yankı genliğini göstermektedir. Şekilde; ses yolu  $S$ , prob açısı  $\theta$ , izdüşüm mesafesi  $a$ , kısaltılmış izdüşüm mesafesi  $R$  ve hatanın derinliği  $d$  ile ifade edilmektedir. Yankının ekrandaki konumundan malzemenin kalınlığı veya hata derinliği, yankı genliğinden de hata boyutu tayin edilebilmektedir.





Şekil 3.10: A-tarama gösterimi

### 3.5.2. Kullanılan Problar

Deneysel çalışmamızda; kaynaklı birleştirmeler üzerinde oluşturulan yapay hatalardan her biri Şekil 3.11’de resimleri verilen enine dalga üreten altı değişik açılı proba test edilmiştir. Problar; MWB model Krautkramer marka, 8x9 mm boyutunda kristal içeren, minyatür tip açılı problardır. Kullanılan problar; MWB 45-2, MWB 60-2, MWB 70-2, MWB 45-4, MWB 60-4, MWB 70-4’tür. Prob modelinden sonra gelen rakam prob açısını, sonraki rakam ise prob frekansını ifade etmektedir.

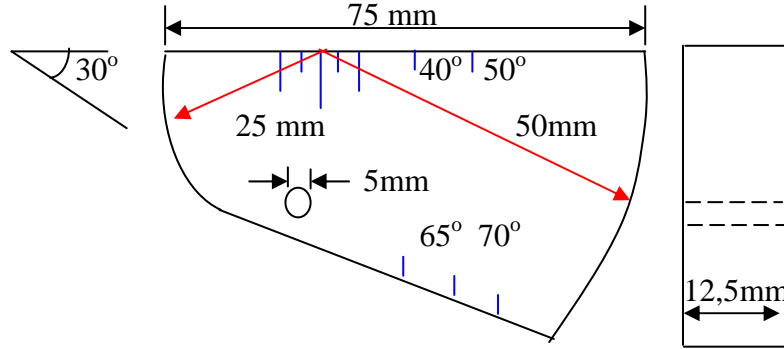


Şekil 3.11: Deneysel çalışmada kullanılan problar  
(MWB 45-2, MWB 60-2, MWB 70-2, MWB 45-4, MWB 60-4, MWB 70-4)

### 3.5.3. Kullanılan Kalibrasyon Bloğu

Kalibrasyon, ultrasonik cihaz ekranını test edilecek malzemenin belli bir kalınlığına göre ayarlayıp, ölçekli hale getirme işlemidir. Ekranın yatay skalasına göre ayarlanan bu kalınlığa test alanı denir. Kalibrasyon işlemi uluslararası kuruluşlar tarafından dizayn edilmiş özel kalibrasyon ve referans blokları ile yapılmaktadır. Kalibrasyon blokları kalibrasyondan başka, cihaz ve prob karakteristiklerinin tayininde de kullanılmaktadır. Referans bloklar ise, kalibrasyon, duyarlık ayarı ve hata değerlendirmelerinde karşılaştırma amacıyla kullanılmaktadır. Malzeme testi standartları ile uğraşan çeşitli kuruluşlar tarafından dizayn edilen ve ölçülendirilen test bloklarına standart kalibrasyon blokları denir. En çok kullanılan standart kalibrasyon blokları, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından tasarlanan ve Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından onaylanan V1 ve V2 bloklarıdır. Referans blok ve test malzemesi ile aynı ses hızı, zayıflama ve akustik empedansa sahip olması için, bu bloklar test malzemesi ile aynı veya benzer alaşım bileşimine sahip ve aynı sıcak veya soğuk işlem görmüş malzemeden hazırlanmalıdır [4,6].

Deneysel çalışmamızda kullandığımız kalibrasyon bloğu; IIW V2 kalibrasyon bloğudur. IIW V2 kalibrasyon bloğunun şekil ve ölçüleri Şekil 3.12’de gösterilmektedir [9].



Şekil 3.12: IIW V2 kalibrasyon bloğu [9].

ASTM E 164 standardında IIW blokları için UNS G 10180 gibi düşük karbonlu çelik önerilmektedir. DIN 54120 ve 54122 standardında ise, bu blokların DIN 17100’e göre üretilmiş St52-3 çeliğinden hazırlanması önerilmiştir. Hemen hemen her standart, kalibrasyon bloklarının düşük karbonlu ve ince taneli (yaklaşık 8 $\mu$ m) tavllanmış çelikten yapılmasını, akustik hızların da  $V_B = 5920 \pm 30$  m/s ve  $V_E = 3255 \pm 15$  m/s olmasını

öngörmektedir. Ayrıca, ASME, ASTM, AWS, DIN, vb. kuruluşlar tarafından dizayn edilmiş, çeşitli tip ve boyutlarda yapay hatalar içeren kalibrasyon ve referans blokları mevcuttur. IIW kalibrasyon blokları aşağıdaki amaçlar için de kullanılmaktadır [4,9]:

- Ekranın yatay ekseninin kalibrasyonu,
- Prob indeksinin (ses çıkış noktasının) tayini,
- Prob açısının kontrolü,
- Ultrasonik cihaz karakteristiklerinin (örneğin, yatay ve düşey doğrusalılık, ayırma gücü ve ölü alan) tayini.

Kalibrasyon işleminde kullanılan bazı terimler aşağıda tanımlanmıştır [6]:

**Test Alanı (TA):** Ultrasonik cihaz ekranının yatay skalasında ölçeklendirilen ve skalada görülebilen maksimum malzeme kalınlığı veya ses demeti yolu mesafesidir.

**Skala faktörü (k):** Cihaz ekranının yatay skalasında 1 bölmeye karşılık gelen kalınlık veya mesafedir. Bu faktör, test alanının skala bölme sayısına bölümüyle elde edilir ve mm/bölme olarak ifade edilir.

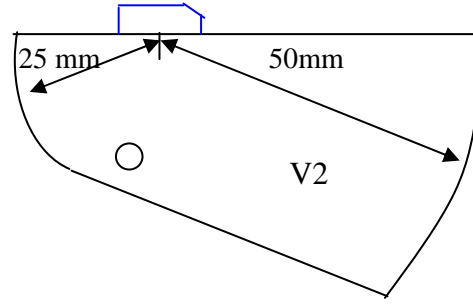
**Ses Yolu (S) veya Demet Yolu:** Ses demetinin kat ettiği yoldur. Bu mesafeyi, ses demetinin gidiş-dönüş yolu olarak algılamamak gerekir. Çünkü, kalibrasyon prob ile yansıtıcı arasındaki mesafeye göre yapılmaktadır.

**Yankı Konumu (YK):** Yankıların ekranın yatay skalası üzerinde bulunduğu konum olup, ses yolunun skala faktörüne bölünmesi ile elde edilir.

#### 3.5.3.1. Açılı Problarla Kalibrasyon

Açılı problarla ses yoluna, iz düşüm (projeksiyon) mesafesine ve kısaltılmış iz düşüm mesafesine göre olmak üzere üç ayrı şekilde kalibrasyon yapılabilmektedir [9].

Deneysel çalışmamızda açılı problarla ses yoluna göre, IIW V2 kalibrasyon bloğu kullanarak kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon işleminde, V2 bloğundaki 25 mm ve 50 mm yarıçaplı ve ortak merkezli çeyrek disklerden yararlanılmıştır. Bu disklerin dairesel çevre yüzeylerinden gelen yankılara daire veya disk yankısı (DY) denir. Kalibrasyon işlemi için; bir açılı prob ve V2 kalibrasyon bloğu kullanılarak, çelik malzeme için ekran 100 mm'lik test alanına kalibre edilmiştir. Açılı prob V2 bloğu üzerine Şekil 3.13'de gösterilen konumda, önce yarı çapı 25 mm olan daire kadranından yankı alacak şekilde temas ettirilmiştir.



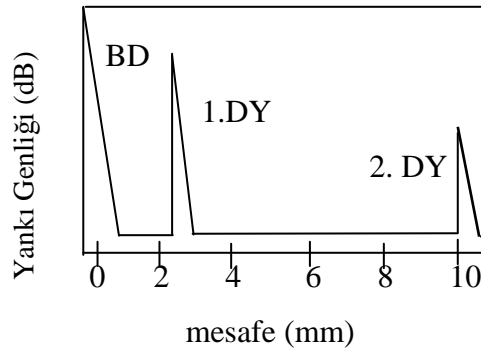
Şekil 3.13: 100 mm açılı demet kalibrasyonu için prob konumu [9].

Prob tarafından gönderilen ses demeti 25 mm yarıçaplı daire kadranından yansıdıktan sonra, demetin bir kısmı prob tarafından algılanacak (1.DY oluşacak) ve diğer kısmı da yansyarak 50 mm yarıçaplı daire kadranına yönelecektir. Büyük kadrandan proba doğru geri yansıyan demetin bir kısmı prob içine girer, ancak sönüm bloğuna çarpar ve sönümlenir. Diğer kısmı tekrar küçük kadrana doğru yansır ve buradan proba geri döner. İkinci yankılar daima 75 mm (25+50 mm) artışla tekrarlanır. Dolayısıyla, 2.DY 100 mm mesafeden algılanacaktır. Kalibrasyon tablosu Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2: 100 mm ses yoluna göre kalibrasyon tablosu

Ses yolu (S)	Skala faktörü (k)	Yankı Konumu (YK)
$S_1 = 25 \text{ mm}$	$k = TA / 10 = 100 / 10$	$YK_1 = 25 / 10 = 2,5$
$S_2 = 100 \text{ mm}$	$k = 10 \text{ mm / böl}$	$YK_2 = 100 / 10 = 10$

Cihazın paralel kaydırma ve kademesiz alan düğmeleri ile yankılar tabloda verilen konumlara getirilerek, ekran 100 mm'lik test alanı için ses yoluna göre kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyonun ekran görüntüsü Şekil 3.14'de verilmektedir.



Şekil 3.14: 100 mm ses yoluna göre kalibrasyon

Deneysel çalışmamızda açılı problemlerle ses yoluna göre kalibrasyon yapılırken, IIW V2 kalibrasyon bloğu ve cihazın ekran görüntüsünün resmi Şekil 3.15’de verilmektedir.



Şekil 3.15: IIW V2 kalibrasyon bloğu ve cihazın ekran görüntüsü

#### 3.5.4. Kullanılan Temas Maddesi

Bir sıvı veya jel şeklinde olabilen temas maddeleri, prob ve test parçası arasında kalan hava tabakasını yok etmek için kullanılır. Prob ve test parçasının akustik empedansına göre, havanın akustik empedansı çok düşük olduğu için arada kalabilecek çok ince bir hava tabakası bile ultrasonik dalgaların geçişine izin vermeyecektir. En çok kullanılan temas maddeleri sırasıyla; su, gliserin, motor yağı, gres yağı, duvar kağıdı macunu ve diğer ticari macunlardır. Deneysel çalışmada kullandığımız temas maddesi, gres yağıdır. Test parçasına uygun olan temas maddesini seçmek için, göz önüne alınması gerekli faktörler; test parçasının yüzey durumu ve geometrisi, test parçası ve temas maddesi

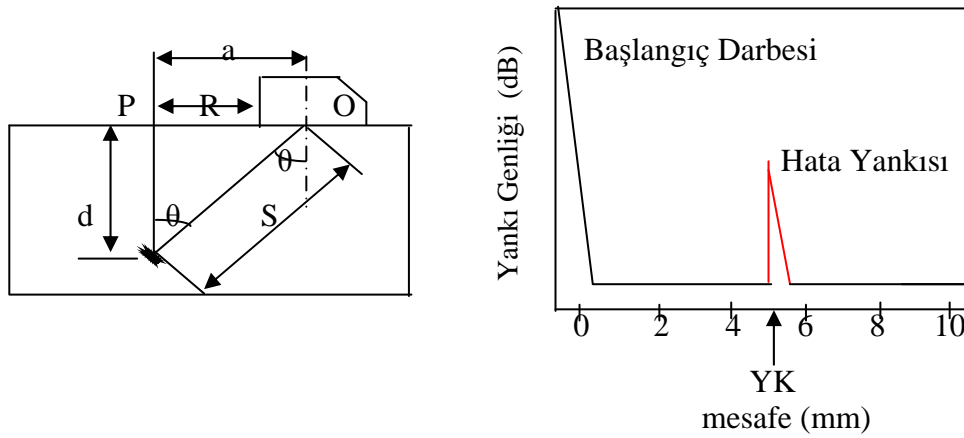
arasında oluşabilecek kimyasal reaksiyonlar, test yüzeyinin fiziksel durumu, temas maddesinin temizlenebilme özelliğidir [21].

### 3.5.5. Kaynaklı Birleştirmelerde Hataların ve Yerlerinin Belirlenmesi

Malzemede herhangi bir hata yankısı (HY) tespit edildiğinde, bu yankı önce optimize edilir, yani maksimumu tespit edilir. Maksimum yankı konumunda merkez demet hatadan yansır. Ekrandaki yankı konumu (YK), hataya kadar olan ses yolunu gösterir. Skala faktörü (k) yardımıyla ses yolu (S) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [4].

$$S = k \text{ YK} \quad (3.1)$$

Açılı prob ile hataların yerlerini belirlerken, önce hatanın izdüşüm noktası, sonra da derinliği tespit edilir. Hatadan elde edilen yankı maksimuma getirildikten sonra, eğer kalibrasyon ses yoluna göre yapılmışsa, ses yolu (S) ve prob açısı ( $\theta$ ) yardımıyla, izdüşüm mesafesi (a) ve derinlik (d), Şekil 3.16 yardımıyla aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır [5,6]:



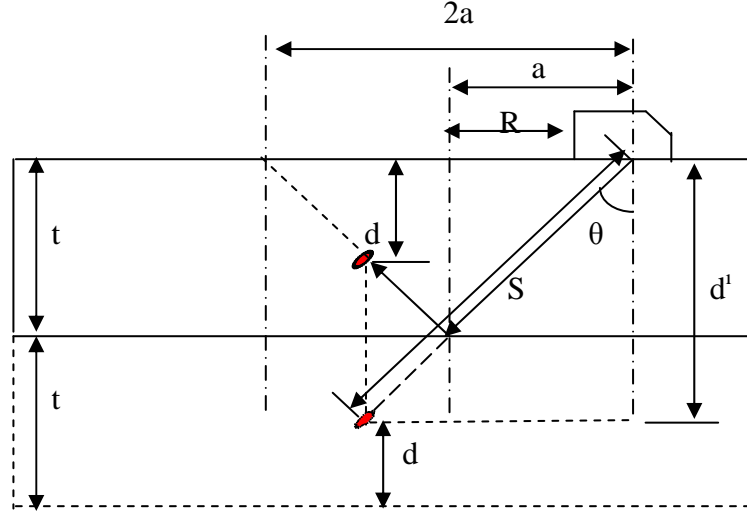
Şekil 3.16: Açılı prob ile hata yerinin belirlenmesi [5].

$$d = S \cos \theta \quad (3.2)$$

$$a = S \sin \theta \quad (3.3)$$

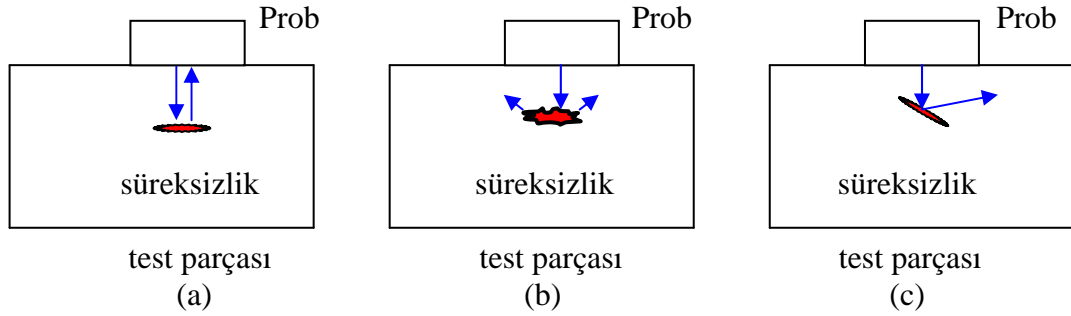
Deneysel çalışmamızda kullandığımız dijital ultrasonik cihazda, ses yolu (S), kısaltılmış izdüşüm mesafesi (R) ve derinlik (d) değerleri cihaz ekranında sayısal olarak gösterilmektedir. Eğer, hatanın izdüşüm mesafesi yarım ve tam adım mesafeleri arasında (a-2a arasında) ise, hata derinliği zahiri olmaktadır. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi parça kalınlığı t ise, gerçek derinlik d, aşağıdaki bağıntıyla bulunur [4]:

$$d = 2t - d' \quad (3.4)$$



Şekil 3.17: a-2a mesafeleri arasında hata derinliğinin belirlenmesi [4].

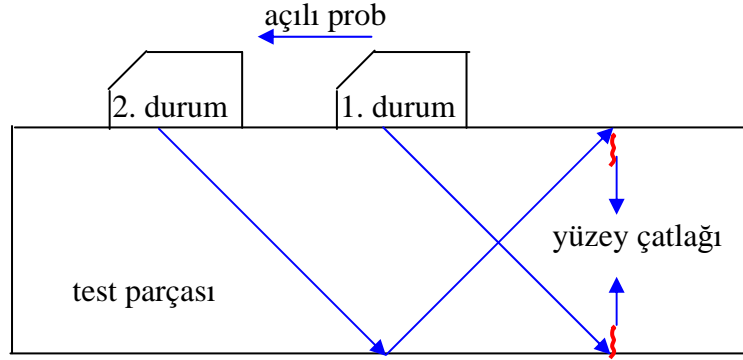
Hata üzerine dik olarak gönderilen bir ses demeti hatanın şekline, yüzey yapısına ve yönüne bağlı olarak Şekil 3.18’de gösterildiği gibi proba geri yansır [9,22].



Şekil 3.18: Hata özelliklerine göre sesin yansması [9].

Şekil 3.18-a’da ki ses demetine dik konumdaki bir hata ses demetini proba doğru geri yansıtırken, Şekil 3.18-c’de ki demete eğik konumdaki bir hata sesin başka yöne sapmasına neden olur. Şekil 3.18-b’de ki karmaşık ve pürüzlü yüzey yapısına sahip bir hata, demetin saçılmasına sebep olur ve algılanan sinyal hatanın gerçek boyutu hakkında bir fikir vermez ve hata genellikle küçük tahmin edilir. Bu durumlarda, arka cidar yankısındaki düşüşü de göz önüne almak gerekir.

Çatlaklar en iyi şekilde açılı problarla veya yüzey dalgaları ile algılanabilir. Şekil 3.19'da gösterildiği gibi, yarım (1.durum) ve tam adım (2. durum) mesafelerinden alınacak yansımalarla alt ve üst yüzeylerdeki çatlaklar tespit edilebilir [22].



Şekil 3.19: Açılı proba çatlak testi [22].

### 3.5.6. Yankıların Anlamı ve Değerlendirilmesi

Ultrasonik muayene cihazının ekranı üzerinde görülen yankılar hatanın doğrudan görüntüsü değil, sadece hatadan gelen sinyalleri içerir. Bu veriler değişik açıdan değerlendirilebilir ve bu sayede hata hakkında yorum yapma imkanına sahip olunur. Söz konusu veriler aşağıda bahsedilmiştir [5,23]:

#### 3.5.6.1. Ekranın Üzerindeki Yankının Yeri

Probun gönderdiği ses demetinin yolu üzerinde bulunan bir yansıtıcı noktadan (hatadan) alınan yankının oluşması için sesin kat ettiği yolun projeksiyonu yankının yerini verir. Bu temelde sesin yol alma süresi ve cihazın kalibrasyonuna bağlıdır.

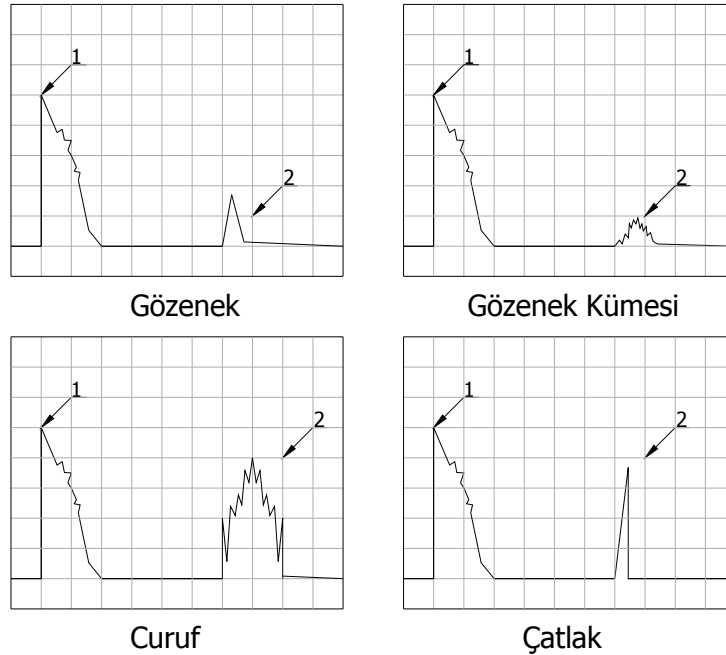
#### 3.5.6.2. Yankı Yüksekliği

Yankının yüksekliği hata boyutuna bağlı olduğu kadar diğer birçok parametreye bağlı olduğundan hata boyutunun saptanması tek başına pek uygun değildir. Ancak buna rağmen hataların kantitatif değerlendirilmesi ve yankı görüntülerinin klasifiye edilmesi amacıyla kullanılır.



### 3.5.6.3. Yankı Dinamiği

Probu hareketine bağlı olarak yankıdaki değişiklik (yükseklik ve yeri), probun ve hatanın yön karakteristiği, uzaklığı ve sesin zayıflamasına bağlıdır. Bu durum özellikle çizgisel, hacimsel ve yüzeysel görüntülerindeki farklarda bariz olarak kendini gösterir. Hata boyutları büyüdükçe hata saptama olanağı daha yüksek olacaktır. Ultrasonik muayenede en önemli problem hata boyutlarının belirlenmesi konusunda ortaya çıkmaktadır. Bu sorunun çözümlenmesinde, daha doğrusu hata boyutunun karşılaştırmalı olarak kantitatif tanımlanmasına olanak veren yöntemler geliştirilmiştir. Cihazda tespit edilen bir hatanın cinsini belirlemek ve hata hakkında fikir yürütmek oldukça zordur. Buda muhtelif hatalardan gelen yankıların şekillerini ayırt etmekle mümkün olur. Kaynaktaki çatlaklar ve bağlantı yüzeyindeki düz hatalar, dar ve yüksek yankılar verir. Curuf kalıntısından gelen yankılar, çatlak ve bağlantı yüzeylerinden gelen yankılar kadar yüksek olmakla beraber, yankı ekranının sıfır hattından itibaren bir çam ağacı gibi yükselir. Gözenekler, genellikle yuvarlaktır ve iyi bir yansıtıcı değildir. Gözeneklerin dağılımlarına göre zayıf yankılar, ekranda yan yana birbirlerinin içine geçmiş şekilde görülmektedir. Gözenekler, yankı şeklinden dolayı curuf kalıntılarında kolay ayırtedilebilirler. Kök hataları, ekranın aynı noktasında ince ve uzun bir yankı meydana getirmektedir. Şekil 3.20’de kaynak hatalarına dair bazı ultrasonik sinyal örnekleri verilmiştir.



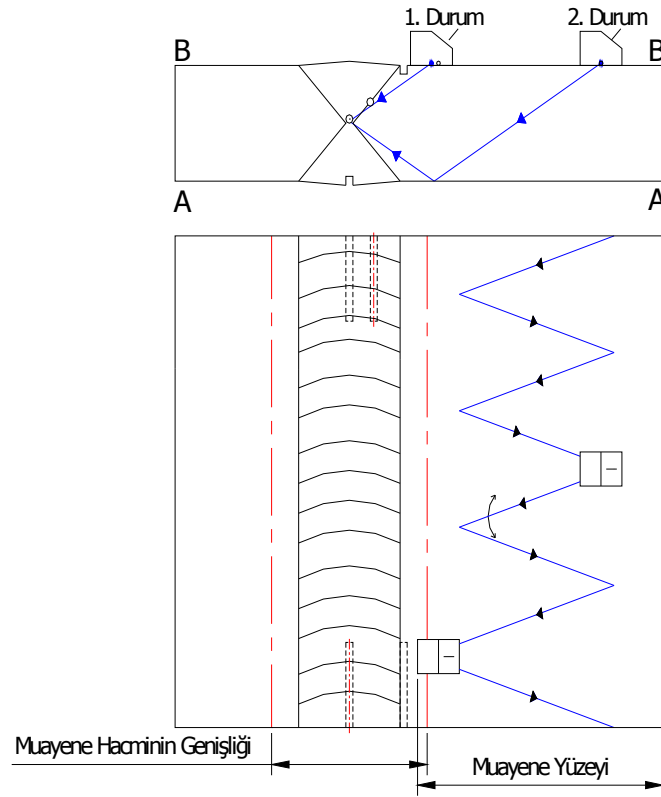
Şekil 3.20: Ultrasonik yöntemle belirlenen kaynak hatalarının test cihazındaki görüntüleri [23].

(1-Ön cidar yankısı, 2- Hata yankısı)

### 3.5.7. Ölçüm Pozisyonları

Kaynaklı parçaların yüzeyine eğik bir şekilde yollanan ses, tüm bölgeleri doğrudan tek adımla veya malzemenin arka duvar yansımasından yararlanarak çift adımda tarar. Probuun kaynak dikişi boyunca kaydırılması ile de tüm kaynak dikiş kesiti muayene edilir.

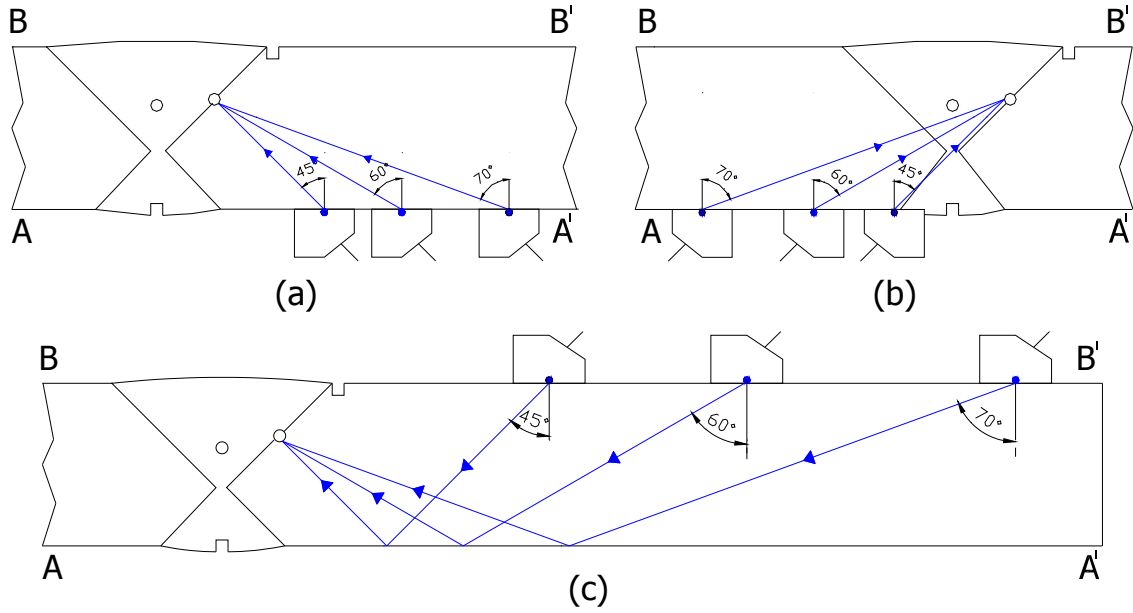
Deneysel çalışmada kullandığımız kaynaklı birleştirmelerden X-kaynak ağzı açılarak kaynaklanmış numune üzerinde MWB 60-4'lük probun hareketi ve malzeme içerisinde sesin izlediği yol Şekil 3.21'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.21: X-Kaynak ağzı açılarak kaynaklanmış numune üzerinde muayene hacminin ve probun hareketinin şematik gösterimi

Şekil 3.21'de gösterilen çalışma prensibi tüm diğer muayene edilebilir dikiş ve birleştirme şekilleri için uygulanabilir. Alın birleştirmelerinin yanı sıra bindirme birleştirmelerinin (sınırlı olarak), kaynaklanmış T-birleştirmelerinin ve boruların T-birleştirmelerinin et kalınlıkları 8 mm'den (12 mm daha iyi) büyük olduğunda ultrasonik yöntemle muayene edilebilir. Köşe kaynaklarının ultrasonik muayenesi iyi sonuç vermez [1,8].

Deneysel çalışmada; Y-kaynak ağzı, V-kaynak ağzı ve L-kaynak ağzı açılarak kaynak edilen diğer numunelerde aynı prensiple muayene edilmişlerdir. Bir hatanın belirlenebilmesi o hatanın proba gönderdiği ses miktarına bağlıdır ve birden fazla açılı ses demeti gönderilerek kontrol edilmelidir. Genel olarak bunun için;  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $70^\circ$ 'lik problemler kullanılır. Böylece uygun olmayan yansıtıcı bölgelerinde kontrol problemi çözülebilir. Şekil 3.22'de açılı problemlerle gönderilen ultrasonik ses sinyallerinin, Y-tipi kaynaklı birleştirme üzerinde delik tipi hatayı algılamasında malzeme içerisinde farklı ölçüm konumlarından ilerleyişi görülmektedir.



Şekil 3.22: Y-Kaynak ağzı açılarak kaynaklanmış numune üzerinde farklı açılı problemler ile gönderilen ultrasonik ses sinyallerinin malzeme içinde farklı ölçüm konumlarından ilerleyişi

Şekil 3.22-a'da, sesin yarım adımda kısa mesafeden ana metalden geçerek hatayı algılaması; Şekil 3.22-b'de, sesin yarım adımda kısa mesafeden kaynak metalinden geçerek hatayı algılaması; Şekil 3.22-c'de, sesin çift adımda arka cidar yansıması alınarak ana metalden geçmesiyle hatayı algılaması verilmektedir. Şekil 3.22-b'de kaynak metali içinde yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından hatayı daha zor ve yüksek kazanç seviyelerinde algılar. Şekli 3.22-c'de ses, arka cidar yansıması alınarak çift adımda hataya ulaşır ve ses yolu uzayacağından ses zayıflaması tek adımda algılamaya göre daha fazla olur. Artan prob açısıyla beraber ses yolunun uzaması da, ses zayıflamasına neden olmaktadır.

## 4. BULGULAR

Dört farklı kaynak ağızı açılarak hazırlanmış kaynaklı birleştirmeler üzerinde oluşturulan yapay hataların; farklı prob açısı, frekansı ve ölçüm konumu kullanılmasıyla yapılan ultrasonik ölçümlerinin sonuçları ve malzemenin özellikleri aşağıda verilmektedir.

### 4.1. KAYNAK EDİLECEK MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ

#### 4.1.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi

Argon gazı altında yüksek voltajda kimyasal analiz yapan ARL-300 Spektrometre cihazı kullanılarak elde edilen kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1 : Kimyasal analiz sonuçları ( Değerler ağırlıkça % olarak verilmiştir.)

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Al</b>	<b>Mn</b>
Öngörülen (max)	0,17	-	0,045	0,045	-	1,40
Bulunan	0,11	0,01	0,013	0,008	0,01	0,67

#### 4.1.2. Malzemenin Sertliği

Malzemenin sertlik değeri; “ Zwick 3112” marka sertlik cihazı kullanılarak Brinell olarak ölçülmüştür. Kullanılan bilya çapı 2,5 mm, uygulanan yük 187,5 Kg ve tatbik süresi yaklaşık 15 sn’dir. Numune üzerinden üç farklı bölgeden sertlik değeri ölçülerek ortalama sertlik değeri saptanmıştır. Öngörülen sertlik değeri 102 – 140 HB arasındadır. Ölçülen ortalama sertlik değeri 131 HB’dir.

## 4.2. KAYNAKLI NUMUNELER ÜZERİNDE YAPILAN ULTRASONİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Farklı kaynak ağzları (X-kaynak ağzı, Y-kaynak ağzı, V-kaynak ağzı ve L-kaynak ağzı) açılarak örtülü elektrod ark kaynağıyla kaynak yapılan konteynırlarda takoz malzemesi olarak kullanılan dört malzeme üzerinde yapay hatalar oluşturulmuştur. Oluşturulan yapay hataların ölçüleri ve özellikleri bölüm 3.4.'de belirtilmektedir. Yapay hatalar (delik ve çentik), kaynak malzemesi ve ITAB (ısıl etkin bölge) üzerinde oluşturulmuştur. Her parça üzerinde bu bölgelere gelmesi için iki adet delik ve iki adet çentik olmak üzere dört adet yapay hata oluşturulmuştur. Her yapay hataya "hata no" verilmiştir. Bunlar; 1, 2, 3, 4 şeklinde rakamlarla ifade edilmiştir. Malzemenin ölçüm yapılan yüzeyine de ölçüm konumunu belirlemek amacıyla harflerle işaret konulmuştur. Bunlar; A, A<sup>1</sup>, B ve B<sup>1</sup> şeklinde harflerle ifade edilmiştir. Darbe-Yankı tekniğiyle ve altı farklı prob (MWB 45-2, MWB 60-2, MWB 70-2, MWB 45-4, MWB 60-4, MWB 70-4) yapılan ölçümlerde hataların yerleri belirlenirken önce hatanın izdüşüm noktası sonrada derinliği tespit edilmiştir. Ekranın referans yüksekliği; Türk Standartları Enstitüsü'nün "TS EN 12668-3 Tahribatsız Muayene – Ultrasonik Muayene Sistemlerinin Karakterizasyonu ve Doğrulanması" adlı standartında 3. bölümdeki kabul seviyelerine göre belirlenmiştir [24]. Tüm deneysel çalışma boyunca ekranın referans yüksekliği; ekranın lineerliği açısından %40 olarak alınmıştır.

Kaynaklardaki her yapay hatanın ölçümünden elde edilen sonuçlar; Tablo 4.2 – Tablo 4.17'de verilmiştir. Tablolarda verilen hata numaraları, Şekil 3.3 – Şekil 3.6'da verilen resimlerde hataların bulunduğu yeri ve hata tipini göstermektedir. Tablolarda ki ölçüm konumu; Şekil 3.3 – Şekil 3.6'da hatanın algılandığı prob konumunu ifade etmektedir. Prob açısı ses demeti açısını; prob frekansı, probun frekansını belirtmektedir. V'de hatadan alınan optimum yankının ekranda %40 yüksekliği gösterdiği andaki genlik (kazanç) değerini vermektedir. S; ses çıkış noktasından (prob indeksinden) hataya olan ses yolu mesafesini, d; probun temas ettiği yüzeye göre hatanın derinliğini, R ise prob ön yüzeyinden hatanın projeksiyon noktasına olan mesafesini belirtmektedir. Hatadan elde edilen yankı maksimuma getirildikten sonra cihaz ekranında hatanın derinliği (d), ses yolu mesafesi (S), hatanın kısaltılmış izdüşüm mesafesi (R) ve dB olarak kazanç seviyesi (V) belirlenmiştir. Tablolarda ki; hatanın derinliği (d) ve kısaltılmış izdüşüm

mesafesi (R) hatanın bulunduğu konumu teyit etmek için kullanılmıştır. Kolay yorumlanabilirlik açısından tablolar; kaynaklardaki hata no'larına göre oluşturulmuştur. Tablolardaki deneysel çalışma esnasında bizim belirlediğimiz değişkenler; ölçüm konumu, prob açısı ve prob frekansıdır. Ekranın referans yüksekliği sabit alındığı için tablolarda belirtilmemiştir. Hatanın derinliği (d), ses yolu mesafesi (S), kısaltılmış izdüşüm mesafesi (R) ve kazanç seviyesi (V) her ölçüm için değişken değerler olup cihaz ekranından sayısal olarak okunup tablolara aktarılmıştır.

Tablo 4.2 : X – Kaynağında “1 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekans (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
1	B <sup>I</sup>	45°	4	82,5	72,5	1,03	36,95
1	B	45°	4	87	71,86	1,19	38,26
1	A	45°	4	80	35,10	22,20	30,50
1	A <sup>I</sup>	45°	4	73	32,36	22,83	8,84
1	A <sup>I</sup>	60°	4	75	50,84	22,56	30,05
1	A	60°	4	82	51,74	22,11	30,80
1	B	60°	4	84	93,56	1,81	69,45
1	B <sup>I</sup>	60°	4	83,5	91,50	1,37	68,56
1	B	70°	4	-	-	-	-
1	B <sup>I</sup>	70°	4	-	-	-	-
1	A <sup>I</sup>	70°	4	69	72,05	23,75	53,94
1	A	70°	4	76	69,75	22,45	55,86
1	B <sup>I</sup>	45°	2	43,5	66,8	0,75	35,24
1	A	45°	2	39,5	34,95	22,50	31,05
1	B	45°	2	52,5	70	1,09	37
1	A <sup>I</sup>	45°	2	34	34,05	23,9	12,08
1	A	60°	2	50,5	50	23,68	30,08
1	A <sup>I</sup>	60°	2	44,5	45,87	22,20	26,48
1	B	60°	2	60,5	93,59	1,18	69,06
1	B <sup>I</sup>	60°	2	60	92,34	1,81	67,97
1	A	70°	2	58	69,95	23,92	52,73
1	A <sup>I</sup>	70°	2	52	71,03	23,69	53,75
1	B	70°	2	-	-	-	-
1	B <sup>I</sup>	70°	2	-	-	-	-

Tablo 4.2’de X-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde;  $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, hata algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tek adımda kısa mesafeden ölçümlerde hata algılanmıştır. A<sup>I</sup> ölçüm konumundan hata; A ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından çift adımda arka cidar yansıması alınarak ( $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle ölçümler hariç) hata algılanmıştır. B<sup>I</sup> ölçüm konumundan hata; B ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.3 : X – Kaynağında “2 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
2	B	45°	4	72	16	10,66	-3,22
2	B <sup>I</sup>	45°	4	76	52,52	10,85	23,14
2	A	45°	4	70,5	14,69	11,31	-1,86
2	B <sup>I</sup>	45°	4	71	16,80	11,40	-1,30
2	A <sup>I</sup>	60°	4	74	27,47	12,45	11,86
2	B <sup>I</sup>	60°	4	78	71,55	12,21	47,96
2	B	60°	4	73	22,39	11,18	5,39
2	B <sup>I</sup>	70°	4	83,5	36,38	12,43	20,18
2	B	70°	4	83	33,22	10,48	13,46
2	A	70°	4	82,5	36,25	12,39	20,05
2	A <sup>I</sup>	45°	2	32	15,36	10,86	-1,12
2	A	45°	2	30,5	14,55	10,28	-1,69
2	B	45°	2	30	15,20	10,74	-1,24
2	B	45°	2	50	46,21	12,30	20,68
2	A <sup>I</sup>	60°	2	37	26,51	12,25	10,96
2	A <sup>I</sup>	60°	2	50	74,83	10,57	52,81
2	B	60°	2	41	23,4	11,70	8,27
2	B	60°	2	67	72,57	11,69	50,85
2	A	70°	2	45,5	31,05	10,61	16,16
2	A <sup>I</sup>	70°	2	43,5	33,96	11,61	18,92
2	B	70°	2	43,5	34,62	9,78	13,88
2	B <sup>I</sup>	70°	2	42	33,69	11,52	18,65

Tablo 4.3’de X-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle, arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.4 : X – Kaynağında “3 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
3	A <sup>I</sup>	45°	4	77,5	69,53	1,17	35,18
3	B	45°	4	66	36,7	22,01	11,96
3	B <sup>I</sup>	45°	4	67	35,40	23,40	11,42
3	A	45°	4	76	68,40	1,95	33,50
3	B	60°	4	71	45,95	22,77	25,8
3	B <sup>I</sup>	60°	4	73	50,2	22,87	29,48
3	A	60°	4	82	93,57	1,96	67,95
3	A <sup>I</sup>	60°	4	82,5	94,48	1,25	70,26
3	A	70°	4	-	-	-	-
3	A <sup>I</sup>	70°	4	-	-	-	-
3	B	70°	4	74	70,17	24	51,94
3	B <sup>I</sup>	70°	4	72,5	71,06	24,29	52,77
3	A	45°	2	38	67,57	1,99	33,97
3	A <sup>I</sup>	45°	2	41	66,18	1,18	34,80
3	B	45°	2	32,5	31,80	22,48	10,48
3	B <sup>I</sup>	45°	2	32,5	33,12	23,42	11,42
3	A <sup>I</sup>	60°	2	54,5	93,58	1,19	69,04
3	A	60°	2	53,5	92,07	1,94	67,74
3	B <sup>I</sup>	60°	2	45,5	46,99	23,49	28,69
3	B	60°	2	45	45	22,05	26,20
3	B	70°	2	59	65,97	23,30	49
3	B <sup>I</sup>	70°	2	58	73,13	22,97	55,72
3	A	70°	2	-	-	-	-
3	A <sup>I</sup>	70°	2	-	-	-	-



Tablo 4.4’de X-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 3 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, hata algılanamamıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tek adımda kısa mesafeden ölçümlerde hata algılanmıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından çift adımda arka cidar yansıması alınarak (70<sup>0</sup> açılı 2 ve 4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle ölçümler hariç) hata algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.5 : X – Kaynağında “4 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
4	A <sup>I</sup>	45°	4	65,5	16,12	14,22	0,23
4	A <sup>I</sup>	45°	4	75	49,20	13,19	20,79
4	B <sup>I</sup>	45°	4	66,5	12,05	8,95	-2,85
4	A	45°	4	67	14,86	12,56	-2,46
4	B <sup>I</sup>	60°	4	53	19,20	9,56	2,62
4	B <sup>I</sup>	60°	4	76	74	10,93	50,16
4	B	60°	4	69	21,70	10,89	4,71
4	A <sup>I</sup>	70°	4	70,5	37,85	12,84	21,74
4	A	70°	4	71	42,76	14,68	26,36
4	A	45°	2	37	16,57	12,30	-0,67
4	A <sup>I</sup>	45°	2	35	16,70	12,75	-0,25
4	B <sup>I</sup>	45°	2	30,5	11,53	8,15	-3,83
4	B <sup>I</sup>	45°	2	38	48,85	9,44	22,54
4	A <sup>I</sup>	60°	2	42	26,38	13,18	10,85
4	A <sup>I</sup>	60°	2	51,5	60,65	13,66	39,52
4	B <sup>I</sup>	60°	2	37,5	18,63	9,81	4,14
4	A <sup>I</sup>	70°	2	47	37,06	12,67	21,82
4	A	70°	2	50,5	43,76	13,62	27,36
4	B	70°	2	45,5	28,21	9,54	13,51
4	B <sup>I</sup>	70°	2	42	28,48	9,74	13,51

Tablo 4.5’de X-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 4 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problarla arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Hata, A<sup>1</sup> ve B<sup>1</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerlerinde problarla daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problarla 4 MHz’lik problara göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.6 : Y – Kaynağında “1 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
1	A <sup>1</sup>	45°	4	70	36,54	25,83	11,85
1	A	45°	4	81	36,85	25,93	11,70
1	B	45°	4	86	70,80	1,48	37,05
1	B <sup>1</sup>	45°	4	79	71,61	1,35	36,63
1	B	60°	4	87	106,7	0,75	80,05
1	B <sup>1</sup>	60°	4	85	108,95	1,05	82,06
1	A <sup>1</sup>	60°	4	78	55,42	24,28	33,98
1	A	60°	4	84	55,32	24,32	33,72
1	A <sup>1</sup>	70°	4	78,5	79,56	24,77	60,75
1	A	70°	4	82,5	81	24,27	62,14
1	B	70°	4	-	-	-	-
1	B <sup>1</sup>	70°	4	-	-	-	-
1	B <sup>1</sup>	45°	2	45,5	69,71	1,96	37,29
1	B	45°	2	55	71,05	1,85	36,95
1	A <sup>1</sup>	45°	2	38,5	35,74	23,86	11,74
1	A	45°	2	46	35,92	24,10	11,96
1	A <sup>1</sup>	60°	2	59	50	24,7	30,80
1	B <sup>1</sup>	60°	2	63	105,10	1,56	83,10
1	A	60°	2	63	54,22	24,87	34,96
1	B	60°	2	64,5	105,7	0,66	79,22
1	A	70°	2	66	72,97	24,91	55,47
1	A <sup>1</sup>	70°	2	60	78,54	25,13	60,8
1	B	70°	2	-	-	-	-
1	B <sup>1</sup>	70°	2	-	-	-	-

Tablo 4.6’da Y-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde;  $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, hata algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tek adımda kısa mesafeden ölçümlerde hata algılanmıştır. A<sup>I</sup> ölçüm konumundan hata; A ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından çift adımda arka cidar yansıması alınarak ( $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle ölçümler hariç) hata algılanmıştır. B<sup>I</sup> ölçüm konumundan hata; B ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.7 : Y – Kaynağında “2 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
2	A <sup>I</sup>	45°	4	69	20,48	14,48	0,48
2	A	45°	4	79,5	50,13	14,54	21,44
2	B <sup>I</sup>	60°	4	71	23,05	11,52	8,95
2	B <sup>I</sup>	60°	4	82,5	80,16	11,91	55,42
2	B	60°	4	75	27,10	13,05	11,05
2	B	60°	4	85	80,36	11,42	55,61
2	B	70°	4	80,5	31,30	10,71	15,45
2	B <sup>I</sup>	70°	4	78,5	30,86	10,46	15,41
2	A	70°	4	81,5	32,36	12,13	16,59
2	B <sup>I</sup>	45°	2	43	52,82	11,83	25,35
2	A <sup>I</sup>	45°	2	35	17,80	12,63	0,64
2	B	45°	2	55	53,48	12,17	25,82
2	A <sup>I</sup>	60°	2	46,5	25,24	13,62	9,86
2	A	60°	2	50	32,61	14,30	16,25
2	B <sup>I</sup>	60°	2	46	21,51	10,75	8,64
2	B	60°	2	50	26,05	12,02	10,57
2	A	70°	2	56,5	29,57	13,20	12,53
2	A <sup>I</sup>	70°	2	48,5	28,78	12,16	13,16
2	B	70°	2	54,5	31,65	10,82	16,75
2	B <sup>I</sup>	70°	2	47,5	30,24	10,33	15,4

Tablo 4.7’de Y-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problarla arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Hata, A<sup>1</sup> ve B<sup>1</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerlerinde problarla daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problarla 4 MHz’lik problara göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.8 : Y – Kaynağında “3 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
3	A <sup>1</sup>	45°	4	77	70,08	1,05	36,97
3	A	45°	4	76	70,25	1,20	37,81
3	B	45°	4	72,5	34,97	24,72	10,73
3	B <sup>1</sup>	45°	4	72	34,05	23,95	11,05
3	B	60°	4	76	47,56	23,53	26,75
3	B <sup>1</sup>	60°	4	77	53,61	25,17	32,43
3	A	60°	4	87	99,18	1,65	71,90
3	A <sup>1</sup>	60°	4	85	100,03	1,96	72,04
3	A	70°	4	-	-	-	-
3	A <sup>1</sup>	70°	4	-	-	-	-
3	B	70°	4	77,5	76,31	25,89	57,71
3	B <sup>1</sup>	70°	4	79	79,33	24,85	60,54
3	A <sup>1</sup>	45°	2	39,5	69,29	2,02	36,96
3	A	45°	2	40,5	71,05	1,05	37,36
3	B <sup>1</sup>	45°	2	36,5	33,44	23,67	11,35
3	B	45°	2	38	34,25	24,22	12,23
3	A	60°	2	57	99,56	1,52	70,85
3	B	60°	2	52	48,05	22,95	26,81
3	A <sup>1</sup>	60°	2	58	101,05	1,82	72,25
3	B <sup>1</sup>	60°	2	53	50	24,81	30,99
3	A	70°	2	-	-	-	-
3	A <sup>1</sup>	70°	2	-	-	-	-
3	B	70°	2	61,5	71,71	24,52	54,39
3	B <sup>1</sup>	70°	2	59,5	75,89	25,94	58,58

Tablo 4.8’de Y-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 3 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde;  $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından, hata algılanamamıştır. B ve  $B^I$  ölçüm konumlarından tek adımda kısa mesafeden ölçümlerde hata algılanmıştır. A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından çift adımda arka cidar yansıması alınarak ( $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle ölçümler hariç) hata algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.9 : Y – Kaynağında “4 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
4	A	$45^0$	4	78	49,81	16,05	22,81
4	A	$45^0$	4	69	21,36	14,69	1,62
4	$A^I$	$45^0$	4	68	20,81	15,84	2,86
4	B	$60^0$	4	54	19,95	11,97	3,28
4	B	$60^0$	4	84	80,64	11,66	55,83
4	$B^I$	$60^0$	4	54	20	11,05	3,32
4	A	$70^0$	4	63	42,96	15,69	26,36
4	$A^I$	$70^0$	4	61	44,26	15,13	27,59
4	B	$70^0$	4	60	36,73	12,50	20,52
4	A	$45^0$	2	47,5	47,11	16,67	21,48
4	$A^I$	$45^0$	2	38	20,13	14,51	1,52
4	B	$45^0$	2	30	11,05	11,81	-4,17
4	$B^I$	$45^0$	2	28,5	10,18	11,19	-4,28
4	A	$60^0$	2	48,5	27,54	14,78	11,87
4	A	$60^0$	2	59	75,27	14,35	53,19
4	$B^I$	$60^0$	2	43	18,36	11,18	3,91
4	$B^I$	$60^0$	2	58	72,75	12,61	51
4	B	$60^0$	2	56	70,88	12,54	49,39
4	A	$70^0$	2	52	41,84	14,96	25,36
4	$A^I$	$70^0$	2	54,5	43,69	15,47	27,03
4	B	$70^0$	2	53	37,46	12,86	21,05
4	$B^I$	$70^0$	2	54	35,44	12,11	20,30

Tablo 4.9’da Y-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 4 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.10 : V – Kaynağında “1 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
1	B <sup>I</sup>	45°	4	69,5	81,68	1,76	43,75
1	A <sup>I</sup>	45°	4	52	41,46	26,66	15,32
1	A	45°	4	52,5	42,81	26,05	16,25
1	B	45°	4	69	79,10	1,95	41,89
1	A	60°	4	58	55,59	27,78	34,12
1	A <sup>I</sup>	60°	4	58,5	55,43	27,71	34,01
1	B	60°	4	68	111,05	1,25	84,83
1	B <sup>I</sup>	60°	4	69	110,80	1,32	85,91
1	A <sup>I</sup>	70°	4	61	79,20	27,08	60,43
1	A	70°	4	63,5	84,57	27,05	65,47
1	B	70°	4	-	-	-	-
1	B <sup>I</sup>	70°	4	-	-	-	-
1	A	45°	2	35	36	25,45	13,45
1	A <sup>I</sup>	45°	2	33	36,31	25,68	13,68
1	B	45°	2	42	75,15	1,13	41,14
1	B <sup>I</sup>	45°	2	40	75,68	1,46	41,52
1	A	60°	2	48,5	55,83	27,91	36,36
1	A <sup>I</sup>	60°	2	49,5	54,45	27,12	35,16
1	B	60°	2	61	110,01	0,91	83,38
1	B <sup>I</sup>	60°	2	58,5	111,05	1,13	84,46
1	A <sup>I</sup>	70°	2	59	74,25	25,39	56,78
1	A	70°	2	59	81,36	27,82	63,45
1	B	70°	2	-	-	-	-
1	B <sup>I</sup>	70°	2	-	-	-	-

Tablo 4.10’da V-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, hata algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm problemler belli bir açı ve frekans değeri için karşılaştırıldığında tek adımda kısa mesafeden hata algılanmış ve birbirine yakın sonuçlar alınmıştır. Hata, A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarına göre tüm açı ve frekans değerlerinde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.11 : V – Kaynağında “2 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
2	B <sup>I</sup>	45°	4	52	28,47	20,12	6,13
2	B <sup>I</sup>	45°	4	59	50,22	20,47	21,51
2	A	45°	4	61	69,05	7,82	36,95
2	B <sup>I</sup>	60°	4	52,5	38,42	19,21	19,27
2	B <sup>I</sup>	60°	4	62	69,58	21,20	4 6,25
2	A <sup>I</sup>	60°	4	48	14,52	8,01	-0,41
2	A <sup>I</sup>	60°	4	67,5	92,27	9,84	65,91
2	A <sup>I</sup>	70°	4	53,5	28,62	9,78	12,89
2	A	70°	4	54,5	23,69	8,10	8,25
2	B <sup>I</sup>	70°	4	60,5	54,47	18,62	37,19
2	A <sup>I</sup>	45°	2	32	10,05	6,52	-1,05
2	A	45°	2	44	68,80	7,32	36,65
2	B	45°	2	38	25,76	18,22	6,22
2	B <sup>I</sup>	45°	2	35	24,70	18,47	5,47
2	A	60°	2	35	14,09	7,04	0,20
2	A <sup>I</sup>	60°	2	34,5	13,45	7,72	-0,33
2	B	60°	2	43	39,06	19,52	21,83
2	B <sup>I</sup>	60°	2	41	40	19,39	21,06
2	A <sup>I</sup>	70°	2	42,5	24,39	7,97	11,5
2	A	70°	2	49	23,92	7,95	8,35
2	B <sup>I</sup>	70°	2	53	65,05	21,24	48,12
2	B	70°	2	57	62,72	21,45	45,95

Tablo 4.11’de V-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Hata, A<sup>I</sup> ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.12 : V – Kaynağında “3 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
3	B	45°	4	62	27,30	19,30	5,30
3	A	45°	4	40	9,82	6,95	-7,03
3	A <sup>I</sup>	45°	4	64	67,68	7,12	33,96
3	A <sup>I</sup>	45°	4	40,5	10,20	7,62	-6,25
3	B <sup>I</sup>	60°	4	43,5	44,85	21,42	24,84
3	B	60°	4	42	46,20	21,10	26,01
3	A <sup>I</sup>	60°	4	40,5	11,52	5,96	-2,01
3	B <sup>I</sup>	70°	4	62	53,42	18,21	36,20
3	B	70°	4	55	52,05	18,79	34,90
3	A <sup>I</sup>	70°	4	44,5	24,87	7,50	9,37
3	A	70°	4	42,5	23,28	7,96	7,87
3	A	45°	2	31,5	9,69	7,59	-7,32
3	A <sup>I</sup>	45°	2	29,5	10,40	7,15	-6,62
3	B	45°	2	38	42,46	21,98	18
3	B	60°	2	41	37,15	19,57	21,18
3	B <sup>I</sup>	60°	2	40,5	38,30	19,15	21,48
3	A <sup>I</sup>	60°	2	32	10,45	5,22	-2,93
3	A <sup>I</sup>	70°	2	42,5	18,12	6,19	4,02
3	B <sup>I</sup>	70°	2	47,5	72,50	20,47	37,97
3	B	70°	2	47	71,25	20,99	38,5



Tablo 4.12’de V-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 3 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; tüm ölçüm konumlarından doğrudan demetle arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarındaki hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.13 : V – Kaynağında “4 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
4	A	45°	4	54	39,72	27,80	14,18
4	B	45°	4	66	80	0,32	42,31
4	B <sup>I</sup>	45°	4	67	81,10	0,95	45,36
4	A <sup>I</sup>	45°	4	61	39,89	26,45	14,96
4	B	60°	4	-	-	-	-
4	A	60°	4	55,5	55,30	27,64	33,30
4	B <sup>I</sup>	60°	4	68	108,15	1,45	83,25
4	A <sup>I</sup>	60°	4	56	54,30	27,15	36,05
4	A	70°	4	57,5	82,31	26,70	66,17
4	A <sup>I</sup>	70°	4	59	82,98	27,59	63,98
4	B	70°	4	-	-	-	-
4	B <sup>I</sup>	70°	4	-	-	-	-
4	A	45°	2	35	36,87	26,07	14,07
4	A <sup>I</sup>	45°	2	39	37,71	26,66	14,67
4	B	45°	2	41,5	74,75	1,92	40,85
4	B <sup>I</sup>	45°	2	50	81,05	1,31	45,31
4	B <sup>I</sup>	60°	2	58	109,1	1,38	82,55
4	A	60°	2	47,5	48,54	25,31	30,12
4	A <sup>I</sup>	60°	2	49,5	54,30	27,15	35,05
4	B	60°	2	-	-	-	-
4	A	70°	2	61,5	80	26,79	60,62
4	A <sup>I</sup>	70°	2	64,5	80,86	27,65	62,98
4	B	70°	2	-	-	-	-
4	B <sup>I</sup>	70°	2	-	-	-	-

Tablo 4.13’de V-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 4 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından ve 60<sup>0</sup> açılı 2 ve 4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle B ölçüm konumundan, hata algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm problemlerde tek adımda kısa mesafeden ölçümlerde hata algılanmıştır. Hata, A ölçüm konumundan, A<sup>I</sup> ölçüm konumuna göre tüm açı ve frekans değerlerinde problemlerle daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. 45<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından ve 60<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle B<sup>I</sup> ölçüm konumundan çift adımda arka cidar yansıması alınarak hata algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.14 : L – Kaynağında “1 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
1	B	45°	4	70	37,14	25,72	12,26
1	A	45°	4	77,5	71,81	1,20	36,78
1	B	60°	4	72	51,92	25,95	30,80
1	A	60°	4	-	-	-	-
1	B	70°	4	77,5	80	24,73	60,90
1	A	70°	4	-	-	-	-
1	A	45°	2	46,5	71,76	1,24	38,74
1	B	45°	2	37	34	24,04	12,05
1	A	60°	2	-	-	-	-
1	B	60°	2	51	49,75	24,87	31,08
1	A	70°	2	-	-	-	-
1	B	70°	2	56,5	75,83	25,93	58,26

Tablo 4.14’de L-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; A ölçüm konumundan, 60<sup>0</sup> ve 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerlerindeki problemlerle ölçümlerde hata algılanamamıştır. B ölçüm konumundan tüm açı ve frekanslarda tek adımda kısa mesafeden hata algılanmıştır. A ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı problemlerin tüm frekans değerlerinde çift adımda arka cidar yansıması alınarak hata algılanmıştır.

Tablo 4.15 : L – Kaynağında “2 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
2	A	45°	4	62	21,25	15,03	1,03
2	A	45°	4	78	52,13	15,12	22,86
2	B	45°	4	61	20,27	14,32	0,33
2	B	60°	4	63	32,88	14,43	14,48
2	B	60°	4	81	72,20	14,89	48,54
2	A	60°	4	81,5	77,7	13,14	53,28
2	A	70°	4	71	41,04	14,03	24,56
2	B	70°	4	70	33,36	12,05	17,61
2	A	45°	2	39,5	19,20	13,57	1,58
2	A	45°	2	43	50	15,63	23,36
2	B	45°	2	37	19,51	12,37	0,36
2	B	45°	2	44	52,81	14,65	25,33
2	A	60°	2	56,5	80	13,26	56,81
2	B	60°	2	41	32,6	12,29	14,10
2	B	60°	2	54	69,93	13,02	46,82
2	A	70°	2	51,5	43,18	14,75	27,57
2	B	70°	2	47	33,85	12,57	18,81

Tablo 4.15’de L-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulan 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; A ve B konumlarından doğrudan demetle arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.16 : L – Kaynağında “3 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
3	A	45°	4	77,5	56,09	13,30	25,65
3	A	45°	4	73	19,82	13,20	1,85
3	B	45°	4	71	17,43	12,31	-1,66
3	B	60°	4	74,5	28,59	14,30	10,76
3	A	60°	4	74	26,82	13,40	9,20
3	A	60°	4	79	71,75	16,11	48,15
3	A	70°	4	76,5	42,24	14,44	25,70
3	B	70°	4	75	39,24	13,41	22,88
3	A	45°	2	40,5	16,05	13,30	0,68
3	B	45°	2	39,5	17,25	12,19	0,20
3	B	45°	2	50,5	55,47	12,76	27,22
3	A	60°	2	52	75,75	14,11	53,61
3	B	60°	2	43	27,01	13,50	11,40
3	B	60°	2	51	75,08	14,45	53,01
3	A	70°	2	55	46,75	15,40	28,34
3	B	70°	2	47	39,9	13,64	24,50

Tablo 4.16’da L-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 3 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; A ve B konumlarından doğrudan demetle arka cidar yansıması almadan hata algılanmıştır. Belirli açı ve frekans değerlerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problemlerle 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

Tablo 4.17 : L – Kaynağında “4 nolu hata’dan” elde edilen ultrasonik ölçüm sonuçları

Hata No	Ölçüm Konumu	Prob Açısı	Prob Frekansı (MHz)	V (dB)	Değerlendirme		
					S (mm)	d (mm)	R (mm)
4	A	45°	4	76	70,83	1,90	36,08
4	B	45°	4	66	32,96	23,30	9,31
4	A	60°	4	82	104,4	0,22	76,46
4	B	60°	4	70,5	50,94	25,46	30,10
4	A	70°	4	-	-	-	-
4	B	70°	4	77	72	24,67	53,80
4	A	45°	2	48	72,90	0,39	39,59
4	B	45°	2	39	35,97	25,15	13,15
4	A	60°	2	55	105,10	0,85	75,96
4	B	60°	2	43	47,30	25,65	28,98
4	A	70°	2	-	-	-	-
4	B	70°	2	50,5	73,94	25,08	55,90

Tablo 4.17’de L-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulan 4 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde; A ölçüm konumundan 70° açılı 2 ve 4 MHz frekans değerlerindeki problarla ölçümlerde hata algılanamamıştır. B ölçüm konumundan tüm açı ve frekanslarda tek adımda kısa mesafeden hata algılanmıştır. A ölçüm konumundan (70° açılı problemlerin tüm frekans değerleri hariç) çift adımda arka cidar yansıması alınarak hata algılanmıştır. Tüm ölçüm konumlarında ve prob açılarında hata, 2 MHz’lik problarla 4 MHz’lik problemlere göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tablo 4.2’de X-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından yarım adımdan en kısa mesafeden ölçüm alınmıştır. A<sup>I</sup> ölçüm konumundan; 45<sup>0</sup>, 60<sup>0</sup> ve 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle ölçüm sonuçlarında; 60<sup>0</sup> ve 70<sup>0</sup> açılı problemlerin tüm frekans değerlerindeki ölçümlerde, ses yolunun uzamasıyla ses zayıflaması meydana geldiğinden hata daha yüksek kazanç seviyesiyle algılanmıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm problemlerle ve B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Hata; A<sup>I</sup> ölçüm konumundan, A ölçüm konumuna göre tüm problemlerle ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; A<sup>I</sup> ölçüm konumundan ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A ölçüm konumundan ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Aynı durum; 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle hatanın, B<sup>I</sup> ölçüm konumundan B ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanması için de geçerlidir. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle ölçümlerde hata, çift adımda arka cidar yansıması alınarak algılanmıştır. Aynı konumlardan 70<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle hata, ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda en kısa mesafeden arka cidar yansıması olmadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı, köşe yansımasının maksimum olduğu ve en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu A<sup>I</sup> ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde probla ölçümdür.

Tablo 4.3’de X-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; hata, tüm konumlardan belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması almadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre ana metal ile kaynak metali arasındaki metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarını artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, B<sup>I</sup> ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde probla, B ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemlerle ve A<sup>I</sup> ölçüm konumundan 60<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde probla yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarındaki ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tüm ölçüm konumlarından yarım adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde probla ölçümdür.

Tablo 4.4’de X-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 3 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; hata, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle tek adımda, arka cidar yansıması almadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekansa sahip problemlerle çift adımda arka cidar yansıması alınarak hata  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre ana metal ile kaynak metali arasındaki metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 70<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle hata, ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından

tüm açılarda, A ve A<sup>1</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı problemlerle ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, köşe yansımasının maksimum olduğu, en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu B veya B<sup>1</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekansa sahip problemlerle ölçümdür.

Tablo 4.5’de X-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 4 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; tüm ölçüm konumlarından hata, tüm problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması yaptırmadan algılanmıştır. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, A<sup>1</sup> ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde ve 60<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemlerle, B<sup>1</sup> ölçüm konumundan 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde ve 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Hata; A<sup>1</sup> ve B<sup>1</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerinde problemlerle ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; A<sup>1</sup> ve B<sup>1</sup> ölçüm konumlarından ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A ve B ölçüm konumlarından ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Bu durum, A ve A<sup>1</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 70<sup>0</sup> açılı 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarında ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; yarım adımda arka cidar yansıması almadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı ve en düşük kazanç



seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu  $A^I$  ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.6'da Y-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından yarım adımdan en kısa mesafeden ölçüm alınmıştır.  $A^I$  ölçüm konumundan,  $45^0$ ,  $60^0$  ve  $70^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle ölçüm sonuçlarında;  $60^0$  ve  $70^0$  açılı problemlerin tüm frekans değerlerinde ölçümlerde, ses yolunun uzamasıyla ses zayıflaması meydana geldiğinden hata daha yüksek kazanç seviyesiyle algılanmıştır. A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından tüm problemlerle ve B ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $45^0$  ve  $60^0$  açılı tüm problemlerle ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Hata;  $A^I$  ölçüm konumundan, A ölçüm konumuna göre tüm problemlerde ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü;  $A^I$  ölçüm konumundan ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A ölçüm konumundan ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Aynı durum;  $45^0$  ve  $60^0$  açılı tüm problemlerle hatanın,  $B^I$  ölçüm konumundan B ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanması içinde geçerlidir. B ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $45^0$  ve  $60^0$  açılı tüm problemlerle ölçümlerde hata, çift adımda arka cidar yansıması alınarak algılanmıştır. Aynı konumlardan  $70^0$  açılı tüm problemlerle hata, ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda en kısa mesafeden arka cidar yansıması olmadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı, köşe yansımasının maksimum olduğu ve en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu  $A^I$  ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.7'de Y-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre;

tüm ölçüm konumlarından hata, tüm problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması olmadan algılanmıştır. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Hata; A<sup>I</sup> ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerinde proba ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; A<sup>I</sup> ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A ve B ölçüm konumlarından ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Bu durum, A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde proba, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde proba ve tüm ölçüm konumlarından 70<sup>0</sup>-60<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarındaki ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; yarım adımda arka cidar yansıması alınmadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı ve en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu A<sup>I</sup> ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.8'de Y-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 3 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; hata, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle tek adımda, arka cidar yansıması alınmadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı 2 ve 4 MHz frekans değerinde problemlerle çift adımda arka cidar yansıması alınarak hata  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre ana metal ile kaynak metali arasındaki metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 70<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle hata,

ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm açılarda, A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı problemlerle ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, köşe yansımasının maksimum olduğu, en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu B veya B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemler ölçümdür.

Tablo 4.9'da Y-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 4 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; hata, tüm konumlardan belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması almadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre ana metal ile kaynak metali arasındaki metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, A ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde problemler, B ölçüm konumundan 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde problemler, A ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 60<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemler yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarında ölçümlerde; 2 MHz frekans değerinde problemlerle 4 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; frekansın yükselmesiyle saçılma mekanizması ağır basmakta ve yükselen frekansla ses zayıflamasında saçılmanın payı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinde daha az ses zayıflaması olduğundan hata daha düşük kazanç değerlerinde algılanır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tüm ölçüm konumlarından yarım adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemler ölçümdür.

Tablo 4.10'da V-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması almadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre ana metal ile kaynak metali arasındaki metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. Hata, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı tüm frekans değerinde problemlerle arka cidar yansıması alınarak çift adımda  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarına göre hata, arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığından ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 70<sup>0</sup> açılı tüm problemlerle hata, ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm problemlerle, B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı tüm frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde problemler ölçümdür.

Tablo 4.11'de V-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; tüm ölçüm konumlarından hata, tüm problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması olmadan algılanmıştır. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, B<sup>I</sup> ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> ve 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde problemlerle ve A<sup>I</sup> ölçüm konumundan 60<sup>0</sup> açılı 4 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Hata; A<sup>I</sup> ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından, A ve B ölçüm konumlarına göre belirli açı ve frekans değerinde problemlerle ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde

algılanmıştır. Çünkü;  $A^I$  ve  $B^I$  ölçüm konumlarından ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A ve B ölçüm konumlarından ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Bu durum, tüm ölçüm konumlarından  $60^0$  ve  $70^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde problemlerle, B ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde prob, A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından  $70^0$  açılı 4 MHz frekans değerinde proba yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarında ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; yarım adımda arka cidar yansıması almadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı ve en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu  $A^I$  ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.12'de V-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 3 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; hata, tüm konumlardan belirli açı ve frekans değerinde problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması almadan  $\pm 2$  dB sınırları içerisinde aynı hassasiyetlerde algılanmıştır. Kazanç değerlerindeki bu farklılıklar, kaynağın konumuna göre metalurjik yapı farklılığı, ölçüm konumlarının farklılığı, temas etkisi veya ölçüm hatasından ileri gelmektedir. Arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum,  $A^I$  ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 4 MHz frekans değerinde proba yapılan ölçümlerde görülmektedir. Hata; A ve  $A^I$  ölçüm konumlarından, B ve  $B^I$  ölçüm konumlarına göre, ses yolunun daha kısa olması ve kaynak metalinde daha az yol almasından dolayı daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum, B ve  $B^I$  ölçüm konumlarından  $70^0$  açılı 4 MHz frekans değerinde proba yapılan ölçümlerde görülmektedir. Tüm ölçüm konumlarından belirli prob açılarında ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından

dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; yarım adımda arka cidar yansıması almadan ve en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde probla ölçümdür.

Tablo 4.13’de V-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 4 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tek adımda en kısa mesafeden ölçüm alınmıştır. Hata; A ölçüm konumundan, A<sup>I</sup> ölçüm konumuna göre tüm problarda ölçümlerde daha düşük kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Çünkü; A ölçüm konumundan ses demeti ana malzeme ortamından yayılarak, A<sup>I</sup> ölçüm konumundan ise kaynak metali içinde yayılarak hataya ulaşmaktadır. Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında yayılan ses daha fazla zayıflamaya maruz kalacağından, hata yüksek kazanç seviyelerinde algılanır. Aynı durum; 45<sup>0</sup> açılı tüm problarla hatanın, B ölçüm konumundan B<sup>I</sup> ölçüm konumuna göre daha düşük kazanç seviyelerinde algılanması içinde geçerlidir. B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı tüm problarla ölçümlerde hata, çift adımda arka cidar yansıması alınarak algılanmıştır. B<sup>I</sup> ölçüm konumundan 70<sup>0</sup> açılı tüm problarla ve B ölçüm konumundan 60<sup>0</sup> açılı tüm problarla hata, ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. B ölçüm konumundan 70<sup>0</sup> açılı tüm problarla hata tarama yüzeyinin yeterli olmamasından dolayı algılanamamıştır. A ve A<sup>I</sup> ölçüm konumlarından tüm prob açılarında ve B ve B<sup>I</sup> ölçüm konumlarından 45<sup>0</sup> açılı tüm problarla ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problarla 2 MHz frekans değerinde problara göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, ses demetinin ana malzeme ortamında yayıldığı ve en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu A ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı 2 MHz frekans değerinde probla ölçümdür.

Tablo 4.14’de L-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 1 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; B ölçüm konumundan tek adımdan en kısa mesafeden hata algılanmıştır. A ölçüm konumundan 45<sup>0</sup> açılı tüm problarla ölçümlerde hata, çift

adımda arka cidar yansıması alınarak algılanmıştır. Aynı konumdan hata;  $60^0$  ve  $70^0$  açılı tüm problemlerle ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. Her iki ölçüm konumundan ses demeti ana malzeme ortamında yayılarak hataya ulaşmasına rağmen, A ölçüm konumundan arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığından ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. B ölçüm konumundan tüm prob açıları ve A ölçüm konumundan  $45^0$  açılı tüm problemlerle ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu B ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.15’de L-kaynağında ITAB bölgesinde oluşturulmuş 2 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve B ölçüm konumlarından hata, tüm problemlerle doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması olmadan algılanmıştır.  $45^0$  ve  $60^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle, arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum; B ölçüm konumundan  $60^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle, A ölçüm konumundan  $45^0$  açılı ve 2-4 MHz frekans değerinde problemlerle yapılan ölçümlerde görülmektedir. Her iki ölçüm konumundanda belirli prob açıları ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problemlerle 2 MHz frekans değerinde problemlere göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılanmanın mümkün olduğu B ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.16'da L-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 3 nolu delik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; A ve B ölçüm konumlarından hata, tüm problarla doğrudan demetle yarım adımda, arka cidar yansıması almadan algılanmıştır.  $45^0$  ve  $60^0$  açılı 2-4 MHz frekans değerinde problarla, arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarının artması ve arka cidar yansıma kayıplarından hata, daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Bu durum; A ölçüm konumundan  $45^0$  ve  $60^0$  açılı 4 MHz frekans değerinde problarla, B ölçüm konumundan  $45^0$  ve  $60^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde problarla yapılan ölçümlerde görülmektedir. Her iki ölçüm konumundan belirli prob açılarında ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problarla 2 MHz frekans değerinde problara göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu B ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.

Tablo 4.17'de L-kaynağında kaynak bölgesinde oluşturulmuş 4 nolu yüzeye açık çentik tipi hatanın ultrasonik yöntemle belirlenmesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; B ölçüm konumundan tek adımdan en kısa mesafeden hata algılanmıştır. A ölçüm konumundan  $45^0$  ve  $60^0$  açılı tüm problarla ölçümlerde hata, arka cidar yansıması alınarak çift adımda ölçüm yapıldığında; ses yolu mesafesinin uzamasıyla ses kayıplarını artması ve arka cidar yansıma kayıplarından daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Aynı konumdan hata;  $70^0$  açılı tüm problarla ses yolunun uzayıp sesi zayıflatmasından dolayı algılanamamıştır. B ölçüm konumundan tüm prob açılarında ve A ölçüm konumundan  $45^0$  ve  $60^0$  açılı tüm problarla ölçümlerde; 4 MHz frekans değerinde problarla 2 MHz frekans değerinde problara göre hata, frekansın yükselip saçılma mekanizmasının ağır basarak ses zayıflamasında saçılmanın payını arttırmasından dolayı daha yüksek kazanç seviyelerinde algılanmıştır. Sonuç olarak; en optimum şekilde hatanın algılandığı durum; tek adımda arka cidar yansıması almadan, en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu B ölçüm konumundan  $45^0$  açılı 2 MHz frekans değerinde proba ölçümdür.



Literatürde; St 37-2 çeliğinin kaynak bölgesindeki hatalarının ultrasonik yöntemle muayenesinde, optimum test parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar genellikle; paslanmaz çelik malzeme ve raylarda ki kaynak hatalarının ultrasonik yöntemle optimum test parametrelerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Kaynak bölgesinde yapay hata oluşturularak yapılan literatürdeki çalışmalarda da; hataların optimum test parametrelerinin belirlenmesinde prob açısının, frekansının ve ölçüm konumunun önemi açık bir şekilde ortaya konmuştur [13,14,15,16,18].

### **Sonuçları genel olarak özetlersek;**

- Kaynak dikişi gibi karmaşık bir yapı ortamında, frekansın oldukça ağırlıklı bir faktör olduğu ortaya çıkmaktadır. Yüksek frekansın, kaynak bölgesinden daha çok etkilenip ses zayıflamasını arttırdığı ve hataların yüksek kazanç seviyelerinde algılandığı görülmektedir.
- Hataların kısa mesafeden tek adımda algılanması, ses yolunun kısaldığı ve ses zayıflamasının minimuma inmesi ve arka cidar yansıma kayıplarının olmamasından dolayı daha avantajlıdır. Daha düşük kazanç seviyelerinde optimum algılanabilirlik elde edilir. Bu durum ölçüm konumlarının doğru seçilmesiyle sağlanmaktadır.
- Hatalar, ses demetinin ana malzeme ortamından, kaynak metali içinden veya her ikisini de içeren bölgelerden yayılmasıyla algılanır. Kaynak metali içinden yayılan ses, kaynak yapısının karmaşıklığından dolayı daha fazla zayıflamaya maruz kalarak, hatayı yüksek kazanç seviyelerinde algılamaya neden olur.
- Hatalar belli bir prob açısı, frekansı ve ölçüm konumundan daha düşük veya daha yüksek cihaz kazancıyla algılanabilir. Düşük cihaz kazancıyla hataların algılanması o hatanın kolay ve daha güvenilir test edilebilirliğini göstermektedir. Kazanç seviyesini yükselterek bir hatanın algılanması, cihazda gürültü seviyesini de attıracağından yüksek kazanç ile oluşan gürültü ile hata sinyallerini birbirinden ayırt etmek zorlaşacak hatta gürültü sinyali hata sinyali

olarak yanlış bir şekilde yorumlanabilecektir. Dolayısıyla, ultrasonikte en güvenilir test optimum parametreler kullanılarak en düşük kazanç seviyesinde yapılan ölçümlerdir.

- Kaynak ağızı açısına bağlı olarak  $45^0$ ,  $60^0$  veya  $70^0$  açılı bir prob seçilmelidir. Açı seçiminde, ses demetinin iki metal sınırına dik olarak gelmesi göz önüne alınmalıdır. Kullanılacak prob sayısı kaynağın şekline ve algılanacak hata tipine bağlıdır.
- Bu çalışmada; herbir hata tipi ve konumu için en uygun prob frekansı, demet açısı ve prob konumu gibi test parametreleri açıklanarak, bu hataların optimum ultrasonik test şartları belirlenmiştir. Buna göre oluşturulan tüm yapay hataların algılanmasında en iyi sonuçlar, 2 MHz frekans ve  $45^0$  açı değerine sahip probta elde edilmiştir. Hatanın algılanabildiği en iyi ölçüm konumu, ses demetini arka cidardan yansıtmadan, en kısa mesafede tek adımda ve ses demetinin ana malzeme oramında yayıldığı, en düşük kazanç seviyelerinde algılamanın mümkün olduğu ölçüm konumu olarak bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

1. ORTADOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, 2000, Tahribatsız Muayene, *ODTÜ Kaynak Teknolojileri ve Tahribatsız Muayene Araştırma-Uygulama Merkezi, Mercedes-Benz Türk A.Ş., İSTANBUL*, 28-32.
2. OĞUZ, B., 1986, Ark Kaynağı, *Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., İstanbul*, 366-375.
3. YÜKLER, İ., ÇATALGÖZ, Z., 1995, Kaynak Hataları ve Kaynak Kalitesi, *İmalat Mühendisleri Seminer Notu, Ülker Fabrikası, İstanbul*, 6-20.
4. EKİNCİ, Ş., YILDIRIM, A., SARIÇAM, S., Ocak 2004, Ultrasonik Test Seviyesi I., *Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, İstanbul*, 22-79, 134-139.
5. DAHMEN, K., Çevirmen ANIK, S., 1969, Ultrasonik Malzeme Muayenesinin Esasları, *Ultrasound-Krautkramer, Köln, Oerlikon*, 45-66.
6. EKİNCİ, Ş., YILDIRIM, A., SARIÇAM, S., Ekim 2005, Ultrasonik Test Seviyesi II., *Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, İstanbul*, 124-139.
7. AKAN, I., 1985, Ultrasonic Examination, *ÇANEM, Ankara, Turkey*, 2-11.
8. TÜRKOĞLU, C., GÜNDOĞDU, M., 2004, Tahribatsız Muayene ve Ultrasonik Test Yöntemleri, *Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, 32-37.
9. HALL, H., 1982, Handbook On The Ultrasonic Examination Of Welds, *The International Institute Of Welding, England, Cambirge CB1*, 11-20, 25-26, 35-44.
10. CRACKNELL, I.P., 1980, Ultrasonics, *Wykeham Publications London Ltd., London and Basingstoke*, 38-41.
11. GINZEL, E., 1998, Weld Inspection Of Ultrasonic Inpection 2-Training for Nondestructive Testing (online), *Materials Research Institute on NDT.net, Ontario, Canada*, <http://www.mri.on.ca>, [Ziyaret Tarihi:20/Haziran/2005].

12. Metalurji Mühendisleri Odası, 1997, Tahribatsız Muayene Kurs Programı Notları, *TMMOB*, Türkiye.
13. JUVA, A., LIETO, J., 1976, The Ultrasonic Examination Of Thin Austenitic Staninless Steel Butt-Welds, *Metals Laboratory Technical Research Centre Of Finland*, 22, 191-19.
14. PELSENEER, J.P., LOUIS, G., 1974, Ultrasonic Testing Of Austenitic Steel Castings and Welds, *British Journal Of NDT*, 107-113.
15. EDELMANN, X., September 1979, The Practical Application Of Ultrasonic Testing Of Austenitic Weld Joints, *Materials Evaluation*, 47-51.
16. EKİNCİ, S., 2001, Nikel Esaslı Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik Yöntemle Test Edilebilirliği, *Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi*, 19-20 Ekim 2001.
17. SARIÇAM, S., KURTCEPE, T., BİNGÖLDAĞ, M., 2005, NDT Yöntemleri ile Sürtünme Kaynaklarındaki Birleşme Hatalarının Belirlenmesi, *12. Metalurji Malzeme Kongresi ve Fuarı*, İstanbul, CNR.
18. GÜR, H., 1996, Kaynaklı Birleştirmelerin Tahribatsız Yöntemlerle Muayenesi, *Gedik Eğitim Vakfı Uluslararası Kaynak Teknolojisi'96 Sempozyum Bildirileri*, 326-333.
19. SINGH, G.P., MANNING R.C., December 1983, Discrimination Of Ultrasonic Indications From Austenitic Stainless-Steel Pipe Welds, *NDT International Vol.16*, 325-329.
20. Türk Standartları Enstitüsü, 1996, TS EN 1712 Kaynakların Tahribatsız Muayenesi – Kaynaklı Birleştirmelerin Ultrasonik Muayenesi – Kabul Seviyeleri, Ankara, Bölüm, 3-5.
21. TOPUZ, A., 1993, Tahribatsız Muayeneler, *Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi*, İstanbul, Sayı: 281.
22. EKİNCİ, Ş., 1992, Tahribatsız Testle ilgili Üretim İşlemleri ve Hataların Oluş Nedenleri, *Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 11-13.
23. KAYALI, E.S., ERUSLU, N., ÜRGEN, M., Hasar Analizi Seminer Notları, *TMMOB*, İstanbul, Türkiye.
24. Türk Standartları Enstitüsü, 1996, TS EN 12668-3 Tahribatsız Muayene – Ultrasonik Muayene Sistemlerinin Karakterizasyonu ve Doğrulama, Ankara, Bölüm, 3.
25. MIHOVSKI, M., 1996, Nondestructive Investigation Of Austenitic Welded Joints, *Gedik Eğitim Vakfı Uluslararası Kaynak Teknolojilesi'96 Sempozyum Bildirileri*, İstanbul, 309-315.

26. CORSEPIUS, H.N., Ultraschallprüfungen an Austenitischen Schweißverbindungen, *Krautkramer GMBH*, Köln, SD227, 21-39.
27. MUNIKOTI, V., BREKOW, G., TESSORO, U., 2004, Ultrasonic Testing For Transverse Discontinuities in Dissimilar Welds, *Materials Evaluation*, 1148-1153.
28. HMBLE, J.H., 1962, Principle and Practise Of Non-Destructive Testing, *Heywood Company LTD*, London, 137-170.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nuray Beköz, 1979 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 1997 yılında İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nda Makine Bölümü'nde ön lisans eğitimine başladı. Ön lisans eğitimini 1999 yılında tamamlayıp, aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2006 yılı başından itibaren aynı kurumda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı.