

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU AKSLARININ KONVENSİYONEL VE
FAZ DİZİ (PHASED ARRAY) ULTRASONİK
MUAYENE YÖNTEMİ İLE MUAYENESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhan EMRE

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yıldız YARALI ÖZBEK

Eylül 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİRYOLU AKSLARININ KONVENSİYONEL VE
FAZ DİZİ (PHASED ARRAY) ULTRASONİK
MUAYENE YÖNTEMİ İLE MUAYENESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhan EMRE

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Yıldız YARALI ÖZBEK

Bu tez 28.09.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr.Öğr.Üyesi
Yıldız YARALI ÖZBEK
Jüri Başkanı**

**Doc.Dr.
Mediha İPEK
Üye**

**Dr.Öğr.Üyesi
Miraç ALAF
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Serhan EMRE

03.09.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın planlamasından yazılmasına kadar tüm aşamalarda yardımlarını esirgemeyen, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Yıldız YARALI ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarında büyük katkılarından dolayı değerli çalışma arkadaşlarım Türkiye Vagon San.A.Ş. Kalite ve Standardizasyon Daire Başkanlığı personellerine ve ayrıca benden hiç bir zaman desteğini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ULTRASONİK MUAYENE YÖNTEMİ.....	3
2.1. Ultrasonik Muayenenin Temel Prensipleri	3
2.2. Muayene Sistemi	4
2.2.1. Giriş	4
2.2.2. Bağlantı kablosu	5
2.2.3. Prop.....	5
2.3. Muayene Sistemi Özelliklerinin Kontrolü.....	10
2.3.1. Ultrasonik cihaz kontrolleri	10
2.3.2. Prop açısı	12
2.3.3. Fiziksel durum ve genel görünüm	13
2.3.4. Duyarlılık ve sinyal/gürültü oranı	13
2.4. Mesafe ve Büyüklük Kuralları.....	14
2.4.1. Yansıtıcıların kristale olan uzaklığı ile yankı yüksekliği arasındaki bağıntı	14

2.4.2. Arka duvar	16
2.4.3. Disk şeklinde yansıtıcılar	16
2.4.4. Yandan açılmış delik	18
2.4.5. Küresel yansıtıcı	18
2.5. Yansıtıcı Konumunun Belirlenmesi	19
2.5.1. Normal propla yapılan konumlandırma.....	19
2.5.2. Açılı proplarla yapılan konumlandırma.....	19
2.6. Yankı Dinamiği İle Yansıtıcı Büyüklüğünün Hesaplanması	20
2.7. Sesin Yayınım Kuralları	22
2.8. Salınım ve Dalga Fiziği	24
2.8.1. Salınım.....	24
2.8.2. Dalga tipleri	25
2.9. Ultrasonik Muayene Yöntemi Bileşenleri	27
2.10. Ses Alanı.....	28
 BÖLÜM 3.	
PHASED ARRAY YÖNTEMİ.....	30
3.1. Phased Array Ultrasonik Teknolojisinin Temel Prensipleri.....	30
3.1.1. Tarihsel gelişim ve endüstriyel gereksinimler.....	30
3.1.2. Genel prensipler.....	31
3.2. Odak Kanunu	38
3.3. Temel Tarama ve Görüntüleme	43
3.4. Phased Array Teknolojisinin Sınırlamaları ve Geliştirilmesi.....	47
3.5. Tarama Örnekleri ve Ultrasonik Görünümler.....	48
3.5.1. Tarama örnekleri.....	48
3.5.2. Ultrasonik görünümler.....	57
 BÖLÜM 4.	
DEMİRYOLU AKSLARININ MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ	70
4.1. Manyetik Parçacık Muayenesinin Temel Prensipleri	70
4.2. Fiziksel Prensipler	71
4.2.1. Elementer mıknatıslar.....	71

4.2.2. Akım tipleri ve derinlik etkisi.....	72
4.2.3. Elektrik akımının manyetik etkisi	73
4.3. Dairesel Mıknatıslandırma.....	76
4.4. Boyuna Mıknatıslandırma	77
 BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	78
5.1. Amaç.....	78
5.2. Kalibrasyon Aksının Hazırlanması.....	78
5.3. Kalibrasyon Aksının Konvensiyonel Ultrasonik Muayenesi	79
5.3.1. Ultrasonik muayenede prop frekansının etkisi	80
5.3.2. Temas ortamı	83
5.3.3. Yüzey hazırlama	83
5.3.4. 0° prop ile ultrasonik muayene.....	83
5.3.5. 30° prop ile ultrasonik muayene.....	85
5.3.6. 45° prop ile ultrasonik muayene.....	86
5.3.7. 60° prop ile ultrasonik muayene.....	87
5.4. Aksın phased array yöntemi ile muayenesi	88
5.4.1. Aksın muayene bölgelerinin belirlenmesi	89
5.4.2. Kalibrasyon aksı muayene raporu	91
5.4.3. Aksın muayene edilmesi.....	91
5.5. Tespit Edilen Kusurun Manyetik Parçacık Muayenesi ile Doğrulanması	94
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
6.1. Sonuçlar	98
6.2. Öneriler	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

UT	: Ultrasonik muayene
RF	: Radyo frekansı
YAD	: Yandan açılmış delik
EY	: Ekran yüksekliği
DŞY	: Disk şeklinde yansıtıcı
PA	: Phased array
DDF	: Dinamik odaklama
TOFD	: Time of flight defraction
MT	: Manyetik parçacık muayenesi
UV	: Ultraviyole

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Ultrasonik muayenede hata tespiti. (www.nde-ed.org, Erişim Tarihi:02.01.2018)	4
Şekil 2.2. Normal ve RF gösterimler.	6
Şekil 2.3. Bir yankının zaman aralığını ölçmek için kullanılan düzenek.....	8
Şekil 2.4. Frekans spektrumu.	9
Şekil 2.5. Ses demeti açılımı	15
Şekil 2.6. Arka duvardan alınan çoklu yansımalarla bağlı olarak ses alanının çapı.....	16
Şekil 2.7.Disk şeklinde yansıtıcının ve kristalin ses alanı.	17
Şekil 2.8. Ses demeti içindeki yandan açılmış delik.	18
Şekil 2.9. Normal propla alınan yankı görüntülerinin yorumlanması için yardımcı yöntemler (örneğin, eksenel tarama ve ikincil yankılar).	19
Şekil 2.10. Açılı prop konumları ve ekran görüntüleri.	20
Şekil 2.11. Normal prop kullanılarak yarı değer uzunluğunun ve yarı değer genişliğinin saptanması.	21
Şekil 2.12. Açılı prop kullanılarak yarı değer uzunluğunun saptanması.	22
Şekil 2.13. Salınımın gösterilmesi.	24
Şekil 2.14. Salınım süresi.....	25
Şekil 2.15. Boyuna dalga.(Olympus, Ultrasonic flaw detection tutorial, 2-3 wavepropagation, 2010)	26
Şekil 2.16. Enine dalga. (Olympus, Ultrasonic flaw detection tutorial, 2-3 wavepropagation, 2010)	27
Şekil 2.17. Ultrasonik muayene cihazının şematik gösterimi.	27
Şekil 2.18. Tek kristalli normal bir probun yapısı.(http://www.sdindt.com, Erişim Tarihi:10.01.2018).....	28
Şekil 2.19. Ses alanının yapısı.	29

Şekil 3.1. Phased array teknolojisinin bir incelemede uygulama örneği. (Olympus,2007).....	32
Şekil 3.2. Çok sayıda elementin farklı zaman aralığında ateşlenmesiyle oluşan ses dalgası formu (Olympus, 2007).....	33
Şekil 3.3. 7,5 MHz 12 elementli lineer prop ile 40° açı ile bir cam blokta foto-elastik ses dalgalarının görüntüsü. (Ginzel, 2004).....	33
Şekil 3.4. Normal (a) ve açılı (b) ses dalgası için odak prensibi. (Olympus, 2007).....	35
Şekil 3.5. 0° açıda lineer tarama prensibi. (Olympus, 2007)	36
Şekil 3.6. 64 elementli 10 MHz propla lineer taramada korozyon hatalarının 3 boyutlu görüntüsü. (Olympus, 2007).....	36
Şekil 3.7. Bir dövme parçada 15° lineer tarama ile çatlak kontrolü, f=5 MHz, n=32, p=1.0 mm. (Olympus, 2007)	37
Şekil 3.8. Sol: Sektörel taramanın prensibi. Sağ: Bir grup stres-korozyon çatlaklarını tespit eden sektörel tarama görüntüsü örneği (tarama aralığı: 33°-58°). (Olympus, 2007)	37
Şekil 3.9. Sol: Dinamik odaklamanın prensibi. Orta: 12 MHz frekansta dinamik odaklama ile yorulma çatlaklarının görüntüsü. Sağ: Makrografik karşılaştırma. (Olympus, 2007)	38
Şekil 3.10. 90° (-45° ila 45°) süpürme aralığı için gecikme değeri ve şekli örneği. (Olympus, 2007).....	39
Şekil 3.11. 32 elementli lineer dizi probu için 15 mm, 30 mm ve 60 mm odak mesafeleri için gecikme değerleri (solda) ve tarama prensibi (sağda). (Olympus, 2007).....	40
Şekil 3.12. Aynı odak derinliği için element boyutuyla gecikme zamanının değişimi. (Olympus, 2007)	40
Şekil 3.13. Sol: Takozsuz bir prop için element konumu ve odak mesafesine bir örnek (15° ila 60° boyuna dalgalar. Sağ: Oluşan açı ile gecikme bağımlılığı örneği. (Olympus, 2007)	41
Şekil 3.14. Üç yandan açılmış delik tespiti için gecikme değeri ve şekli örneği. 16 elementli prop 37° Plexyglas takoz kullanılmıştır. (Olympus, 2007).....	42

Şekil 3.15. 37° Plexyglas takoz üzerinde kırılma açısına ve element pozisyonuna gecikme zamanı örneği. (Olympus, 2007)	42
Şekil 3.16. Termal yorulma çatlaklarının belirlenmesi ve verilerin 3-boyutlu görüntülenmesi. (Olympus, 2007)	43
Şekil 3.17. Birleştirilmiş verileri kullanarak suni kusurların ileri görüntülenmesi: kusurlar ve tarama alanı (üstte), birleştirilmiş B-tarama ekranı (altta). (Olympus, 2007)	44
Şekil 3.18. Boyuna dalga (1) ve kesme dalgalarının (2) kombinasyonunu kullanarak kusurların saptanması ve boyutlandırılması. (Olympus, 2007)	45
Şekil 3.19. Küresel hataların birbirinden ayrılması (çözünürlük) (a) C-tarama, (b) B-tarama, (Olympus, 2007)	45
Şekil 3.20. Sektörel tarama ile karmaşık bir kesitte yakınlaştırılarak gelişmiş veri analizi örneği. (Ciorau, 2005)	46
Şekil 3.21. Küresel bir parça üzerinde yandan açılmış deliklerin 3-boyutlu görselleştirme örneği. (Reilly, 2006)	48
Şekil 3.22. Konvansiyonel ultrasonik tarama (sol) ve lineer tarama (sağ). (Olympus, 2007)	50
Şekil 3.23. Lineer tarama için tipik çift açılı doğrusal tarama modeli.	50
Şekil 3.24. Prop kalibrasyonunda lineer tarama örneği. (Olympus, 2007)	51
Şekil 3.25. Çift yönlü (sol) ve tek yönlü (sağ) tarama. (Olympus, 2007)	51
Şekil 3.26. Açılı çift yönlü tarama örneği. Sol: karmaşık bir kesitte tarama modeli. Sağ: prop yörüngesi (kırmızı çizgi) (Olympus, 2007)	52
Şekil 3.27. Silindir parçalarda helezonik tarama muayenesi. (Kırmızı çizgi tarama yoludur.) (Olympus, 2007)	53
Şekil 3.28. Spiral yüzey tarama modeli. (Olympus, 2007)	54
Şekil 3.29. Tarama ve indeks eksenini ile ilgili prop konumu ve sinyal yönü. (Olympus, 2007)	54
Şekil 3.30. Sinyal yönü kombinasyonları. (Olympus, 2007)	55
Şekil 3.31. Elektronik sinyal tarama prensibi.(Parça ve prop sabit) (Olympus, 2007)	56

Şekil 3.32. Kaynak muayenesinde elektronik ve lineer tarama prensibi. (Olympus, 2007).....	56
Şekil 3.33. Muayene parçası çevrilerek sinyal rotasyonu yoluyla helezonik tarama prensibi. (Olympus, 2007)	57
Şekil 3.34. B-tarama ve S-tarama için zaman esaslı tarama örnekleri. (Olympus, 2007).....	57
Şekil 3.35. Ultrasonik görünüm (B-tarama, C-tarama ve D-tarama) (Olympus, 2007).....	58
Şekil 3.36. A-tarama görünümü. Sol:RF sinyali, Sağ: Doğrultulmuş sinyal. (Olympus, 2007).....	59
Şekil 3.37. Renk kodlu bir B-tarama görüntüsü oluşturmak için kullanılan renk kodlu A-tarama sinyalinin görünümü. (Olympus, 2007)	59
Şekil 3.38. Yorulma çatlaklarının muayenesinde farklı renk paleti seçeneklerine örnekler. (R/D Tech,2003).....	60
Şekil 3.39. RF sinyal genliklerinin gri tonlama seviyesinde kodlanması. (Olympus, 2007).....	60
Şekil 3.40. Düzeltilmemiş (sol) ve düzeltilmiş (sağ) B-tarama görüntüleri. (Olympus, 2007).....	61
Şekil 3.41. C-tarama görüntüsü örneği. (Olympus, 2007)	62
Şekil 3.42. D-tarama görüntüsü örneği. (Olympus, 2007).....	63
Şekil 3.43. Çatlak tespiti ve boyutlandırılması için S-tarama örneği (solda) ve izometrik görünümü (sağda). (Olympus, 2007)	64
Şekil 3.44. S-tarama örneği (solda) ve aynı çatlakın düzeltilmemiş sektörel taraması (sağda). (Olympus, 2007).....	64
Şekil 3.45. İki farklı yatay değer için (uçuş zamanı ve derinliği) 12 mm'lik çatlak boyutlandırılması. (Olympus, 2007).....	65
Şekil 3.46. Yandan açılmış delikleri tespit etmek için hacim düzeltmeli (solda) ve gerçek derinlikte (sağda) S-tarama örnekleri. (Olympus, 2007).....	65
Şekil 3.47. Polar görünüm örneği. (Olympus, 2007)	66
Şekil 3.48. Bir boru hattında çok kanallı bant grafiği görüntüsü. (Olympus, 2007).....	67

Şekil 3.49. Düşük frekanslı phased array propları ile kaynak muayenesi için dört görünümlü analiz düzeni. (Olympus, 2007).....	68
Şekil 3.50. Arka (D) ve yan (B) görünümünün tek düzlem izdüşümü. (Olympus, 2007).....	68
Şekil 3.51. Arka (D) ve yan (B) görünümünün ile bağlantılı projeksiyon görünümü. (Olympus, 2007)	69
Şekil 3.52. Üst (a), yan (b) , arka (c), dalga formu (d) ve TOFD (e) görünümü. (Olympus, 2007)	69
Şekil 4.1. Manyetik parçacık muayenesinde alan çizgilerinin ilerleyişi. (Sector Cert,2009)	71
Şekil 4.2. Mıknatıslandırılmış ve mıknatıslandırılmamış muayene parçasında elementer mıknatıslar. (Sector Cert, 2009).....	72
Şekil 4.3. Doğrusal ve değişken alan mıknatıslandırılması. (Sector Cert, 2009)	73
Şekil 4.4. Düz bir iletkenin etrafındaki manyetik alan. (Sector Cert, 2009).....	74
Şekil 4.5. İletken döngüde manyetik alan oluşumu. (Sector Cert, 2009).....	75
Şekil 4.6. Dairesel mıknatıslandırma. (Sector Cert, 2009)	76
Şekil 4.7. El manyeti ile mıknatıslandırma. (Sector Cert, 2009)	77
Şekil 5.1. Aks üzerinde oluşturulan 3 mm derinliğindeki hatalar.....	79
Şekil 5.2. Aks üzerinde hataların konumları.....	79
Şekil 5.3. 45° 1 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.	81
Şekil 5.4. 45° 2 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.	81
Şekil 5.5. 45° 3 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.	82
Şekil 5.6. 45° 4 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.	82
Şekil 5.7. 0° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.	83
Şekil 5.8. 0° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.	84
Şekil 5.9. 30° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.	85
Şekil 5.10. 30° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.	85
Şekil 5.11. 45° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.	86
Şekil 5.12. 45° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.	86
Şekil 5.13. 60° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.	87
Şekil 5.14. 60° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.	88

Şekil 5.15. Birinci sektörel tarama bölgesi.	89
Şekil 5.16. İkinci sektörel tarama bölgesi.	89
Şekil 5.17. Üçüncü sektörel tarama bölgesi.	90
Şekil 5.18. Dördüncü sektörel tarama bölgesi.	90
Şekil 5.19. Beşinci sektörel tarama bölgesi.	90
Şekil 5.20. Kalibrasyon aksı phased array muayene raporu.	91
Şekil 5.21. Aksın muayenesi.....	92
Şekil 5.22. Aks muayene raporu.	93
Şekil 5.23. Manyetik parçacık muayene tezgahı.....	94
Şekil 5.24.UV ışığın aks üzerine yansıyan UV-A şiddetinin ölçümü.....	95
Şekil 5.25. Aks üzerinden geçen teğetsel alan kuvvetinin ölçümü.	96
Şekil 5.26. MTU blok ile flor ışımalı tespit sıvısının performansının doğrulanması.	97
Şekil 5.27. Aksın UV ışık altında manyetik parçacık görüntüsü.	97

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Kazanç doğrusallığı için kabul sınırları.....	12
Tablo 2.2. Desibel cetvelde rakamsal değerler	23
Tablo 3.1. Phased array ultrasonik teknolojisinin sınırlamaları.....	47
Tablo 3.2. Otomatik ve yarı otomatik tarama örnekleri için muayeneler.	49
Tablo 3.3. Muayene sırası muayene parçası tarayıcı ve sinyal bağıllığı.....	55

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, aks, ultrasonik, phased, ndt

Demiryolu taşımacılığının güvenlik felsefesi açısından, dinamik yük altında çalışan aksların düzenli muayenesinde hasara yol açacak korozyon çukurları ve yorulma çatlakların tespiti önemlidir. Alınması gereken kalite kontrol önlemleri, düzenli tahribatsız test kontrol yöntemleri ile güvenlik seviyesi geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada demiryolu akslarının ultrasonik testi için gelişmiş ultrasonik muayene yöntemi olan phased array yönteminin konvensiyonel ultrasonik muayene yöntemine karşı avantajları nicel olarak incelenmiştir.

USING CONVENTIONAL ULTRASONIC TESTING AND PHASED ARRAY METHOD FOR NONDESTRUCTIVE TESTING OF RAILWAY AXLES

SUMMARY

Keywords: Railway, axle, ultrasonic, phased, ndt

For the safety assessment of railway transportation with regular inspection of the axles working under dynamic loads, detection of corrosion pits and fatigue cracks which lead to damage is important. Quality control measures should be taken, with regular non-destructive testing methods are being developed safety level. In this study, the advantages of phased array method which is for advanced ultrasonic test of railway axles over conventional ultrasonic test method, quantitatively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemizde hat iyileştirme ve yeni hat inşaatı ile hızlı tren işletmeciliğine geçilmektedir. Güvenilir işletim şüphesiz her işletmenin hedeflerinin başında gelir. Güvenilir işletimin şartları ise uygun mamulün (ray, araç) tedarik edilmesi, montaj kalitesinin temini ve işletim sırasında vasıflı personel ve uygun teçhizatla bakım ve bu kapsamda tedarik ve işletimde ray ve araçlarda gerekli tahribatsız muayene faaliyetlerinin gerçekleştirilmesidir.

Yeni ve iyileştirilmiş tahribatsız muayene denetim metotları araç erişiminde düşük etkiyle güvenli hizmet şartlarını garantilemek adına aksların hizmetinde denetime olanak vermelidir. Aks üzerindeki kesit değişim yerleri, özellikle aks ve tekerlek arasındaki geçiş bölgesi çatlamaya karşı görece çok daha zayıftır. Tüm bunlara ek olarak, dolu aksın toplam hacmi de test edilmelidir.

Bu çalışmada demiryolu aksı konvansiyonel ultrasonik muayene yöntemi ve phased array yöntemi ile muayene edilmiştir. Ultrasonik muayene yöntemi malzemenin hacimsel olarak incelenebildiği, hataların türünün, boyutunun ve konumunun tespit edilebildiği bir yöntemdir. Phased array yöntemi de aynı prensipte çalışıyor olsa da, bu yöntemde gönderilen ses dalgalarının şeklini ve yönünü kontrol eden bilgisayar yazılımları kullanılarak hataların daha hassas belirlenmesini sağlayan dinamik odaklama ve gerçek zamanlı görüntüleme mümkün olmaktadır. Phased array propları birbirinden bağımsız olarak görev yapan çok sayıda elementten oluşur. Phased array yönteminin en önemli özelliği bu bağımsız elementlerin yazılım kontrolü ile uyarılmasıdır.

Bu çalışmanın amacında aks üzerindeki tekerlek ve fren sistemi sökülmeden aksın tamamının muayene edilmesi esas alınmıştır.

Bu amaçta aynı noktaları yapılan muayeneler ile konvansiyonel ultrasonik muayene ve phased array muayenesi sonuçları karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

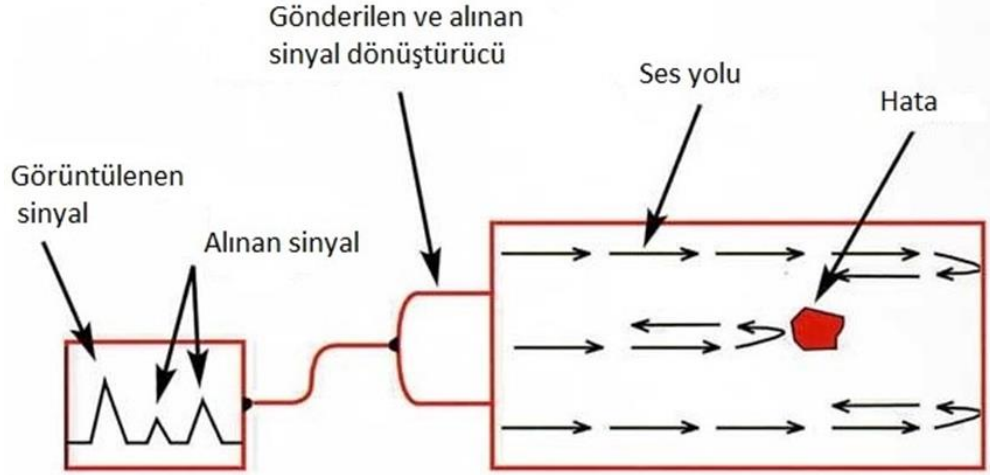


BÖLÜM 2. ULTRASONİK MUAYENE YÖNTEMİ

2.1. Ultrasonik Muayenenin Temel Prensibi

Tahribatsız muayene konusunun dallarından biri olan ultrasonik muayene; malzemelerin analiz uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip çok yönlü bir muayene yöntemidir. Ultrasonik muayene malzeme içerisindeki hataların ve hata bölgesinin yerinin tespit edilmesinde, ayrıca bunların akustik olarak ekrana aktarılmasıyla bu hataların değerlendirilmesinde, parçaların kalınlık ölçümünde kullanıldığı gibi, yüksek frekanslı ses dalgalarıyla katı ve sıvıların temel mekanik, yapısal ve bileşim özelliklerinin ölçümünde de kullanılabilir.

Ultrasonik muayene cihazında kısa darbe süreli yüksek bir gerilim oluşturulur, bu gerilim probun kristalinde insan kulağının işitm sınırı dışında >16.000 Hz'lik bir mekanik salınıma neden olur. Bu salınım muayene parçasında ses dalgalı şekilde yayılır. Ses dalgası sınır yüzeyden yansır ve aynı yolda kristle geri döner. Alınan ses dalgası cihaz ekranında görünür hale getirilir. Bu şekilde gönderilen darbe ve belirli bir ses mesafesindeki yansıtıcıdan alınan yankı ile cihazın doğru olarak ayarlanması mümkün olur. Konumlandırma için formül veya diğer yardımcılar kullanılarak muayene parçasındaki yansıtıcının yeri tespit edilebilir.



Şekil 2.1. Ultrasonik muayenede hata tespiti. (www.nde-ed.org, Erişim Tarihi:02.01.2018)

2.2. Muayene Sistemi

2.2.1. Giriş

Muayene sistemi esas olarak prob, bağlantı kablosu ve ultrasonik test cihazından oluşur. Ultrasonik test cihazı ise bir darbe üretici, bir ekran (CRT veya sıvı kristal), ve elde edilen yankıların kontrol edilebildiği ayar düğmeleri içerir. Normal olarak bu cihazlar sadece A-taraması (scan) denilen yankı görüntüsünü gösteren cihazlardır. Ama son zamanlardaki gelişmelerle B-taraması, C-taraması ve D-taraması gösteren cihazlar da geliştirilmiştir. Yapılacak çalışmanın gereklerine göre uygun cihaz seçimi yapılır. Ayrıca yeni cihazlar saptanan hatanın derinliğini ve izdüşüm mesafesini de hesaplayıp ekranda göstermektedir.

Ultrasonik test cihazında elde edilen belirtinin parlaklık, netlik gibi konulardaki optik kalitesi sadece cihaza bağlıdır. Çıkış yankısı şiddeti, güçlendiricinin band genişliği, eğik seviyesi ve kazanç ayarı ile yankının ekrandaki yüksekliği etkilenir. Yankının yatay yöndeki konumu ise paralel kaydırma ve ara açma düğmeleri ile ayarlanır. Eğer cihazdaki ayarlar değiştirilmek istenirse cihaz yeniden kalibre edilmelidir.

2.2.2. Bağlantı kablosu

Elektrik darbesi bağlantı kablosu ile taşınır. Bu işlem hemen hemen ışık hızında olduğundan kablo boyunun kalibrasyon üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Ama yankı yüksekliği kablodan kabloya değişebilir çünkü gönderilen ve geri alınan elektrik darbesi kablonun kalitesine ve boyuna bağlı olarak az veya çok zayıflayabilir. Bu nedenle muayene sırasında herhangi bir nedenle prop kablosu değiştirilecek olursa duyarlılık ayarı kontrol edilmelidir. Ayrıca yanıtıcı sonuçlara sebebiyet verebileceği için sönümlendirici tarzındaki ara bağlantı elemanları değiştirilmemeli veya çıkartılmamalıdır.

2.2.3. Prop

Yankı konumu proptaki elektrik darbesi ile ses darbesi arasındaki gecikme farkından ve geciktirme bloğu yüzünden değişebilir. Kavisli yüzeylerde kullanılan adapte edilmiş prop tabanları da geciktirme bloğudur ve bir test için sürekli aynı adaptör kullanılmalıdır.

Proben verimliliği elektrik darbesinin ses darbesine çevrilmesi ve ses darbesinin elektrik darbesine çevrilmesi sırasında ekrandaki yankının yüksekliğini etkiler. Ayrıca geciktirme bloğu ve koruyucu folyo da yankı yüksekliğini etkileyen faktörlerdir.

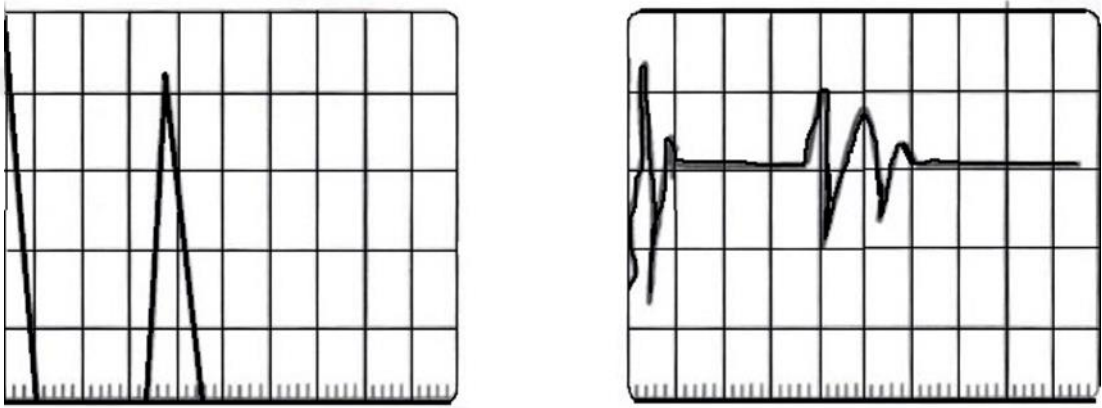
Bunlardan başka prop değişimi de mesafe ve duyarlık kalibrasyonunu etkiler bu nedenle bir muayene sisteminde prop değiştirildi ise bütün kalibrasyonlar kontrol edilmelidir. Bir probun ürettiği frekans kristalinin kalınlığına bağlıdır.

$$d = \frac{c}{2.f} \quad (2.1)$$

Burada C kristaldeki ses hızı, D kristalin kalınlığı ve f de üretilen frekanstır. Test frekansı da kullanılan proba (proben kristalinin kalınlığına) bağlıdır. Muayene parçası kristali bir miktar sönümleyeceği için frekans bir miktar etkilenebilir.

Kristalin bir tarafına büyük bir sönümleyici blok yapıştırılmıştır ve o yüzey hemen hemen sabit kalır.

Serbest kalan diğer yüzey ise titreşir. Böylece ses muayene parçası içine daha iyi iletilebilir. Kristalin kalınlığı ürettiği dalganın dalga boyunun yarısı kadardır. Frekans kesin olarak sadece laboratuvar koşullarında özel ölçüm teknikleri ile belirlenebilir. Ama yaklaşık olarak frekans ölçümü yapmak istenirse RF-gösterimi olan bir ultrasonik test cihazı kullanılabilir. Bu gösterim şekli Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Normal ve RF gösterimler.

RF gösterimde cihaz $SB = 100$ mm olacak şekilde kalibre edilmişse dalga boyu okunabilir. Burada cihaz gidiş-dönüş ses yoluna kalibre edilmiş olduğu için ses iki kat mesafe katetmektedir. Bu durumda ekrandaki iki dalga boyu muayene parçası içinde tek dalga boyuna karşılık gelmektedir.

Böylece $f = c / \lambda$ formülünden frekans hesaplanabilir. Bu işlem yeterince tatmin edici bir sonuç verebilir. Muayeneyi yapan kişi frekansı deliştiremez, frekans probun tasarımına bağlıdır.

2.2.3.1. Yakın ve uzak ayırım gücü

Tek kristalli problarda yakın ayırım gücü kötüdür. Mod selektör anahtarı darbe/yankı konumunda iken göndericinin çıkışı ile yükselticinin girişi birbirine doğrudan

bağlıdır. Bu nedenle çıkış (başlangıç) darbesi yükselticiyi aşırı yükler ve bu yükleme de belirli bir süre devam eder. Bu süre çıkış yankısının ekranda görünme süresine göre daha uzundur. Bu durumun iki etkisi vardır:

- a) Çıkış yankısı ekranda görülmediği sürece hiçbir yankı tanımlanamaz ve konumu belirlenemez. Bu nedenle yansıtıcı konumu da saptanamaz.
- b) Ayrıca yükseltici elektriksel olarak aşırı yüklenir ve bu durum çıkış darbesinden sonra da etkisini bir süre daha devam ettirir. Bu zaman sürecinde yankı yüksekliği değerlendirmesi yapmak mümkün değildir.

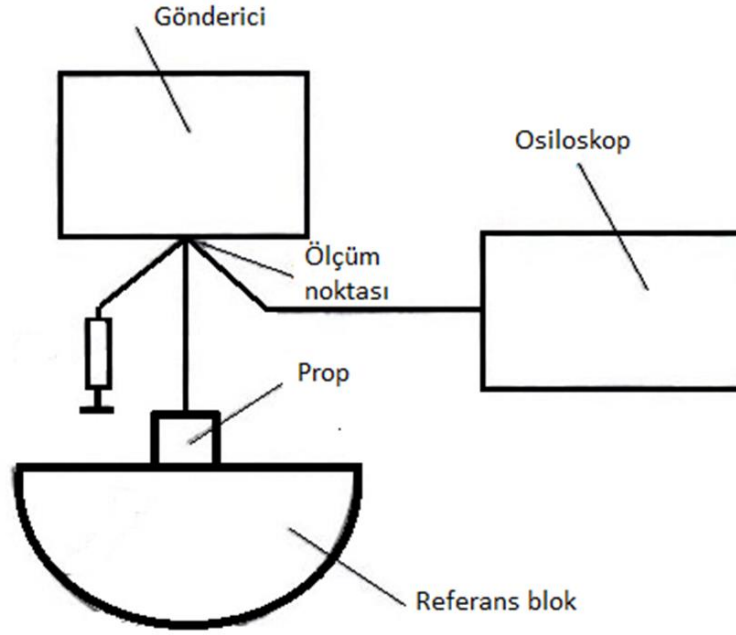
Uzak ayırım gücü ekranda gözlenen yankıların genişliklerine bağlıdır. Yanyana çok yakın iki yankıdan ikinci yankının sol ayak noktası açık bir şekilde tespit edilebilir olmalıdır. Çelik malzemede elde edilen yankı genişliği ses yolu olarak hesaplanıp uzak ayırım gücü saptanabilir.

2.2.3.2. Fiziksel özellikler

Prop, doğru markalama yapıp yapılmadığı , montajın uygun olup olmadığı ve o andaki veya daha sonraki güvenilirliğini olumsuz etkileyebilecek türden fiziksel bir hasar bulunup bulunmadığı bakımından dışından muayene edilmelidir. Doğrudan temas proplarının temas yüzeyleri ayrıca düzgünlük açısından da bir cetvel ve sentiller kullanılarak kontrol edilmelidir.

2.2.3.3. Radyo frekansı darbe şekli

Yankının genişliği ve darbe süresi, doğrudan temas probuyla Şekil 2.3.'deki gibi bir düzenek, kullanılarak belirlenebilir. Tek kristalli doğrudan temas probu için, yarıçapı yakın alan uzunlunun 1,5 katından büyük olan bir yarım silindirden alınan yankı kullanılır.



Şekil 2.3. Bir yankının zaman aralığını ölçmek için kullanılan düzenek.

Darbe üreticinin ayarları kaydedilmesi ve gönderici darbenin zirveden zirveye genişliği ölçülmelidir. Göndericiden alınan darbenin şeklinin çizdirilmesi tavsiye edilir. Darbe şeklinin çizdirildiği dökümanın da bu deney sonuçları arasında yer alması tercih edilmelidir.

Darbe süresinin, imalatçının şartnamesind belirtilen süreye göre $\pm\%10$ 'dan fazla değişmemesi gerekir.

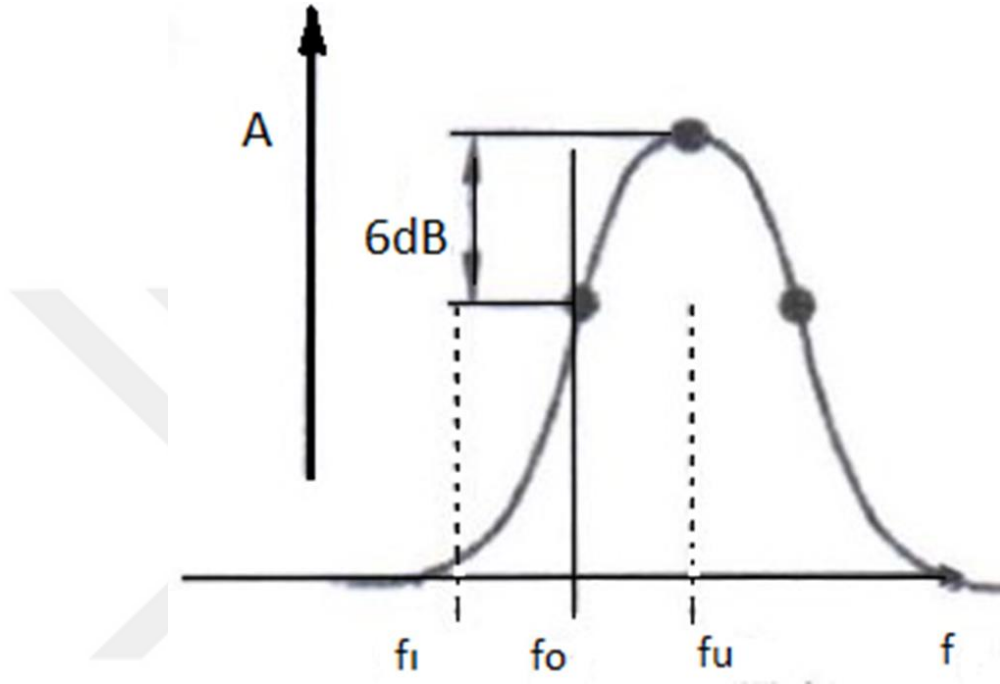
2.2.3.4. Darbe spektrumu ve bant genişliği

Yansıtıcıdan gelen yankı eşik içine alınır ve bir spektrum analizörü veya ayırık Fourier dönüşümü kullanılarak frekans spektrumu elde edilir.

Probun tabanından, üzerindeki kılıfından, sönümletici bloktan vb. gelen pürüzlü küçük gürültü yankıları, referans bloktan alınan yankı ile birlikte değerlendirilmemelidir. Eşiğin genişliği, darbe süresinin en az iki katı olmalı ve darbenin en yüksek olduğu yerde ortalananmalıdır. Yankı genişliğinin 6 dB düştüğü

noktalardaki alt ve üst frekanslar ölçülmelidir. Frekanslar kullanılarak orta (merkez) frekans aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$f_o = \sqrt{f_u \times f_l} \quad (2.2)$$



Şekil 2.4. Frekans spektrumu.

Bant genişliği:

$$\Delta f = f_u - f_l \quad (2.3)$$

Göreceli bant genişliği yüzde olarak:

$$\Delta f_{reel} = \left(\frac{\Delta f}{f_o} \times 100 \right) \quad (2.4)$$

formülleri ile hesaplanır.

Prop verilerinde belirtilen değere göre orta frekanstaki değişme $\pm\%10$ 'dan fazla olmamalıdır. Maksimum genlikten 6 dB aşağıdaki bant genişliği anma değerinin

$\pm\%15$ sınırları içerisinde olmalıdır. f_i ve f_u değerleri arasındaki spektrumda birden fazla tepe noktası varsa, yanyana iki tepe ve çukur arasındaki genlik farkı 3 dB'i aşmamalıdır.

Göreceli bant genişliği $\%100$ 'ü aşan geniş bantlı proplarda, alt frekans $f_i + \%10$ 'dan yüksek, üst frekans $f_u - \%10$ 'dan düşük olmamalıdır.

2.3. Muayene Sistemi Özelliklerinin Kontrolü

Güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edebilmek için, muayene sisteminin özellikleri belirli zaman aralıklarıyla kontrol edilmelidir.

2.3.1. Ultrasonik cihaz kontrolleri

2.3.1.1. Zaman eksenini doğrusalılığı (Yatay doğrusalılık)

Bu kontrol standart kalibrasyon blokları kullanılarak normal propla veya açılı propla yapılır. Doğrusalılık kontrolü, en azından muayene sırasında kullanılacak zaman eksenini aralığını kapsayacak şekilde yapılmalıdır.

Prop kalibrasyon bloğu üzerine konur. Sonuncu arka cidar veya disk şeklindeki yansıtıcı yankısının ses mesafesi, kontrol edilmesi istenen uzunluğa eşit veya bundan daha büyük olmalıdır. Zaman eksenini birinci ve altıncı arka duvar yankıları, birinci ve sonuncu skala taksimatına çakışacak şekilde seçilir. Doğrusalılık kontrolü kalan diğer dört yankı ile yapılır. Arka cidar yankıları sırayla yaklaşık olarak $\%80$ EY'ne getirilir. Her yankının konumu ilgili skala taksimatı ile çakışmalıdır. İdeal konumlardan, tanımlanmış tolerans sınırları içinde bir sapma olup olmadığına bakılır. Doğrusalılıktan sapma ektan genişliğinin $\pm\%2$ 'sinden fazla olmamalıdır.

2.3.1.2. Cihaz kazancının doğrusallığı (Düşey doğrusallık)

Bu kontrol, cihaz kazancının doğrusallığını etkileyen iki parametrenin (yükselticinin doğrusallığı ve kalibre edilmiş kazanç kontrolünün doğruluğu) bileşik etkisini ortaya çıkartır. Bu muayene için herhangi bir standard kalibrasyon bloğu kullanılabilir. Kontrol sırasında tercihen, muayene için kullanılacak propla çalışılır. Kontrol için cihaz ayarlanır (frekans, aralık, darbe enerjisi, vb.), takip eden muayene sırasında kullanılacak ayarların yapırması şart değildir. Bastırma ve "swept" kazanç kontrolleri devre dışı bırakılmalıdır.

Prop bir kalibrasyon bloğu üzerine küçük bir yansıtıcıdan (örneğin kalibrasyon bloğundaki 5 mm'lik YAD) bir yansıma sinyali alacak şekilde yerleştirilir. Bu sinyal %80 EY'ne ayarlanır ve ekran yüksekliği dB olarak not edilir. Kazanç 2 dB artırılır ve sinyalin tam ekran yüksekliğine (%100 EY) gelip gelmediğine bakılır. Kazanç değeri 2dB düşürülüp önceki konuma getirilir daha sonra 6dB daha düşürülür. Bu durumda sinyal yüksekliğinin yaklaşık olarak %40 EY olması gerekir. Bunu takiben kazanç değeri üç defa daha 6'sae dB daha azaltılır ve yankı yüksekliklerinin sırayla %20, %10 ve %5 EY'ne düşüp düşmediği gözlenir.

5 mm'lik YAD'ten alınan yankı	%80 EY
+2 dB	%100 EY
-2 dB	%80 EY
-6 dB	%40 EY
-6 dB	%20 EY
-6 dB	%10 EY
-6 dB	%5 EY

Kabul edilebilir olması için sinyal yüksekliklerinin Tablo 2.1.'deki sınırlar içinde olması gerekir.

Tablo 2.1. Kazanç doğrusallığı için kabul sınırları.

Harici sönümletici ayarı (dB)	Ekranda hedeflenen genlik (% EY)	Kabul edilebilir genlik (%EY)
1	90	88-92
2	80	Referans seviyesi
4	64	
6	50	48-52
8	40	38-42
12	25	23-27
14	20	18-22
20	10	8-12
26	5	3-7

Prop kalibrasyon bloğu üzerinde, disk kesitinden bir sinyal alabilecek şekilde uygun bir konuma yerleştirilir. Prop öne arkaya gezdirilerek sinyalin en yüksek olduğu konum bulunur. Bu işlem yapılırken prop hareketinin kalibrasyon bloğunun yanına paralel olması gereklidir. Genlik en yüksek noktaya ulaştığında, gerçek prop indeksi kontrol bloğu üzerindeki yiv veya çentiğe (disk kesitinin geometrik merkezi) karşılık gelmektedir.

Prop indeksi ölçümü ± 1 mm sınırları içinde tekrarlanabilir olmalıdır. Eğer ölçülen prop indeksi konumu ile probun kenarlarındaki işaret arası fark 1 mm'den daha fazla ise yeni konum probun kenarına işaretlenir ve kaydedilir, sonraki prop kontrollerinde ve hata konumlandırma işlemlerinde yeni yer kullanılır.

Tolerans uygulamaya bağlıdır ancak hata konumlandırmada doğru sonuçlar için prop indeksinin ± 1 mm hassasiyetle bilinmesi gereklidir.

2.3.2. Prop açısı

Prop kalibrasyon bloğu üzerine seçilen delikten bir sinyal alacak şekilde yerleştirilir. Sinyal genliğinin en yüksek olduğu yerde kalibrasyon bloğu üzerinde işaretlenmiş ölçekten, prop indeksinin karşılık geldiği noktadan prop açısı doğrudan okunabilir.

Yukarıda anlatılan şekilde yapılan ölçümlerde ölçüm hassasiyeti yaklaşık olarak $\pm 1,5^\circ$ 'dir. Probun geçmişi bilinmedikçe önceden işaretlenmiş prop açıları esas alınmalıdır. Bu konu özellikle 70° veya daha yüksek açılı proplar veya aşınmış

proplar için önemlidir. Yeni ölçülen prop açısının prop üzerine işaretlenmesi ve sonraki kontrollerde kaaynak oluşturmaları açısından kaydedilmesi önerilir. Toleranslar uygulamalara bağlıdır ancak $\pm 2^\circ$ içerisinde olması önerilir.

Kontrol sıklığı prop tabanının kullanımında ötürü ve tarama yüzeyinin pürüzlülüğünden kaynaklanan aşınma hızına bağlıdır. Sürekli kullanımdaki bir prop için bu kontrol en azından birkaç saatte bir yapılmalıdır. Prop sürekli kullanımda değilse günlük kontrol yeterlidir.

2.3.3. Fiziksel durum ve genel görünüm

Ultrasonik cihazın, propların, kabloların ve kalibrasyon bloklarının dış görünümü gözle muayene edilerek, sistemin o andaki çalışmasını veya ilerideki güvenilirliği olumsuz etkileyebilecek herhangi bir fiziksel hasar veya aşınma olup olmadığına bakılır. Özellikle probun yüzeyi fiziksel hasar veya aşınma için iyice muayene edilir. Prop farlı bileşenlerden oluşuyorsa her bir bileşen için de ayrı ayrı kontrol edilmesi gereklidir. Elektriksel temasın düzgün olup olmadığına bakılmalıdır.

2.3.4. Duyarlılık ve sinyal/gürültü oranı

Bu kontrollerin amacı operatöre bileşik cihazda performanstaki bozulmayı kolayca tespit etme yolunu göstermektedir. Kullanıcı tarafından belli bir ultrasonik muayene cihazı ve prop için ölçülen sinyal/gürültü oranı bazal değerlerle karşılaştırılır. Kalibrasyon bloğundaki 5 mm YAD bu kontrol için kullanılabilir. Kontrol sırasında, bazal ölçümlerin yapıldığı sırada kullanılan frekans, darbe enerjisi, bastırma, darbe tekrar frekansı, aralık ayarı gibi cihaz kontrolleri kullanılmalıdır. Kalibre edilmemiş kazanç kontrolleri en yüksek değere getirilir veya daha önceden belirlenmiş konumlara ayarlanır.

Kullanılan kablonun tipi ve uzunluğu bazal ölçümlerde kullanılanla aynı olmalıdır. Ontrolü izleyen muayene sırasında aynı ultrasonik muayene cihazı ayarları kullanılmalıdır.

Prop seçilen kalibrasyon bloğu üzerine konur ve konumu duyarlılık ayarı için seçilen YAD'ten alınan sinyal en yüksek noktaya gelecek şekilde ayarlanır. Kalibrasyonu yapılmış dB ayarı ile bu sinyalin yüksekliği %20 EY'ne getirilir ve kazanç değeri not edilir. Prob muayene bloğunun üzerinden kaldırılır ve prob yüzeyindeki yağ silinerek temizlenir. Daha sonra prob yan konur ve kazanç değeri, toplam sistem gürültüsü %20 EY'ne ulaşacak şekilde artırılır ve yeni kazanç değeri not edilir.

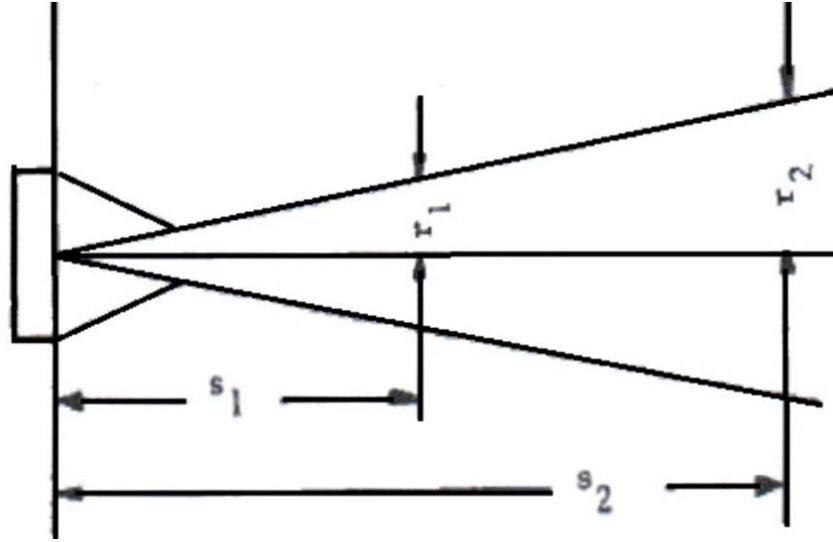
Birinci kazanç ölçümü probun ve ultrasonik muayene cihazının duyarlılığının kontrolünü sağlar ve birinci ile ikinci ölçüm sonuçları arasındaki fark (dB) ise sinyal/gürültü oranını verir. Her durum için bu parametreler bazar ölçümler için seçilen aralıkta kontrol edilir.

Kullanıcı tarafından ölçülen duyarlılık ve sinyal/gürültü oranı kullanılan prop ve cihaz için bazal ölçümlere göre 6 dB sınırları içinde olmalıdır.

2.4. Mesafe ve Büyüklük Kuralları

2.4.1. Yansıtıcıların kristale olan uzaklığı ile yankı yüksekliği arasındaki bağıntı

Ses mesafesi arttıkça, ses enerjisi daha büyük bir alana yayılmakta ve ses basıncı düşmektedir.



Şekil 2.5. Ses demeti açılımı

Ses enerjisi, ses basıncının dolayısıyla yankı yüksekliğinin karesiyle orantılıdır.

$$H \approx \sqrt{E} \cdot A \quad (2.5)$$

Burada H:yankı yüksekliği, E:ses enerjisi, A:ses demetinin kesit alanıdır. Kristale uygulanan elektrik akımı sabit olduğu için ses enerjisi de sabit olacaktır. Etkili bir değişken olmadığı için dikkate alınmayabilir. Böylece;

$$H \approx 1\sqrt{A} \quad (2.6)$$

$$A = \pi r^2 \quad (2.7)$$

Uzak alanda aşağıdaki ilişki geçerlidir:

$$S_1/S_2 = r_1/r_2 \quad (2.8)$$

Dolayısıyla aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$H \approx 1/s \quad (2.9)$$

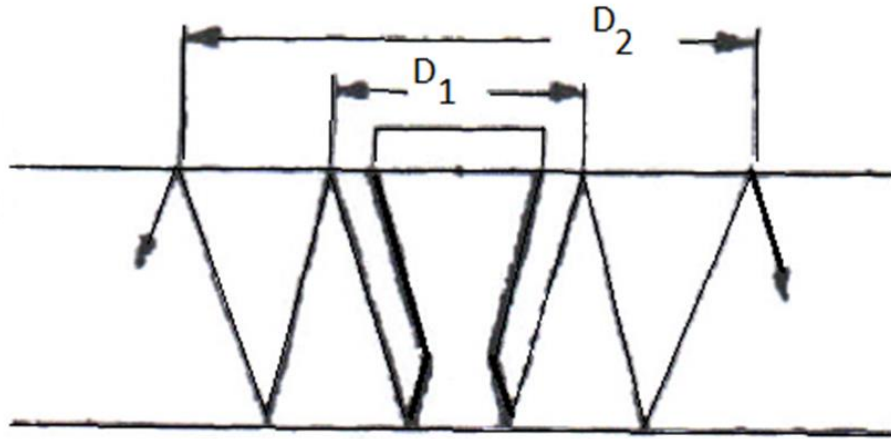
2.4.2. Arka duvar

Arka duvar, ön yüzeye paralel ve ses demeti çapından daha büyük olan düzlem olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, gelen ve yansıyan ses demetinin açılma açıları aynıdır. Yankı yükseklikleri ses mesafesiyle ters orantılıdır.

$$H_2/H_1 = s_1/s_2 \quad (2.10)$$

$s_2 = 2s_1$ ise aşağıdaki bağıntı elde edilir:

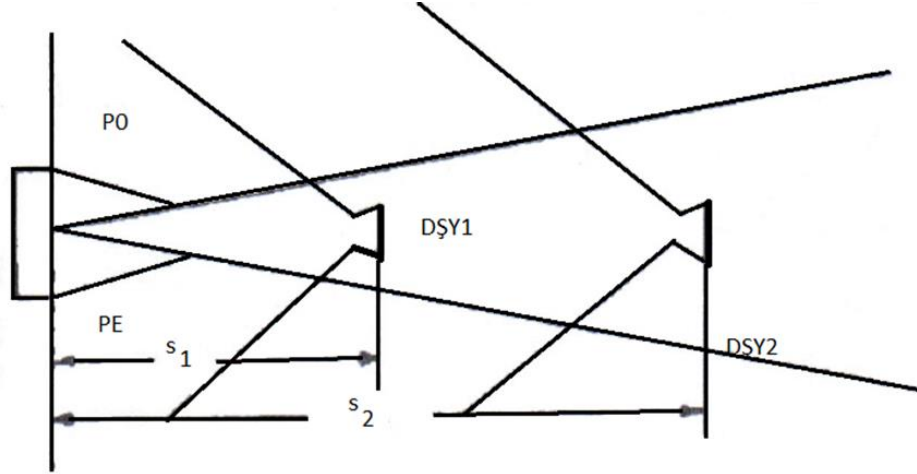
$$\Delta H = 20 \log 1/2 = -6dB \quad (2.11)$$



Şekil 2.6. Arka duvardan alınan çoklu yansımalarla ilgili olarak ses alanının çapı.

2.4.3. Disk şeklinde yansıtıcılar

Disk şeklinde bir yansıtıcıdan yansıyan sesin alanı kristan tarafından üretilen sesin alanına benzer. Yani yakın alan uzunluğu ve açılma açısı D ve λ 'ya bağlıdır.



Şekil 2.7. Disk şeklinde yansıtıcının ve kristalin ses alanı.

Uzak alanda ses basıncı ses yolu mesafesiyle ters orantılı olarak azalır. Kristalin yüzeyindeki ses basıncı P_0 ise disk şeklinde yansıtıcıdaki (DŞY₁)

$$P_{DŞY_1} \approx \left(\frac{1}{s_1}\right) \times P_0 \quad (2.12)$$

Geriye dönüş yolunda da aynı bağıntı geçerlidir. Bu nedenle, kristal tarafından algılanan ses basıncı P_r aşağıdakine eşit olur:

$$P_r \approx \left(\frac{1}{s_1}\right) \times P_{DŞY_1} \quad (2.13)$$

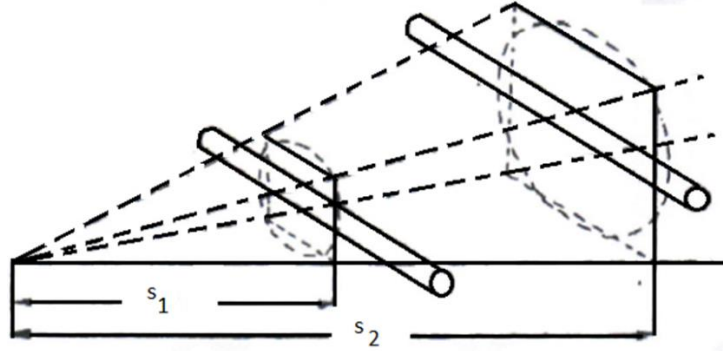
Ses mesafeleri farklı fakat büyüklükleri aynı iki disk şeklinde yansıtıcıdan gelen yankıların yüksekliklerini aşağıdaki bağıntıyı kullanarak karşılaştırabiliriz:

$$H_2/H_1 = \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 \quad (2.14)$$

$s_2=2s_1$ ise

$$\Delta H = 20 \log 1/4 = -12dB \quad (2.15)$$

2.4.4. Yandan açılmış delik



Şekil 2.8. Ses demeti içindeki yandan açılmış delik.

Yandan açılmış bir delikten yansıyan ses enerjisi, deliğin silindirik yüzey alanı üzerinde dağılır. Yandan açılmış deliğin uzunluğu (L), ses alanının çapından büyük olmalıdır.

$$A_{\text{silindir}} = 2 \times \pi \times r \times L \quad (2.16)$$

$$H = 1/\sqrt{s} \quad (2.17)$$

Büyüklikleri aynı fakat ses mesafeleri farklı olan iki delikten gelen yankıların karşılaştırmasını aşağıdaki denklemlerle yapabiliriz:

$$H_2/H_1 = s_1/s_2 \quad (2.18)$$

$s_2=2s_1$ olursa;

$$\Delta H = 20 \log H_2/H_1 = 20 \log \left(\frac{1}{2} \times \sqrt{2} \right) = -9dB \quad (2.19)$$

2.4.5. Küresel yansıtıcı

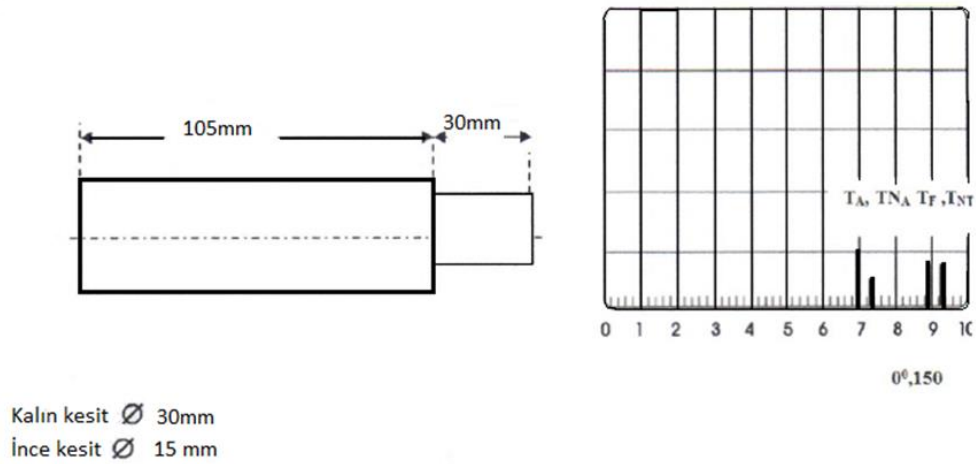
Alan ile çap arasındaki fonksiyonel ilişkiden dolayı, bir küresel yansıtıcı için ses mesafesi kuralı, disk şeklinde yansıtıcınıninkiyle aynıdır. Alan kürenin çapının karesiyle doğru orantılıdır.

2.5. Yansıtıcı Konumunun Belirlenmesi

Ultrasonik muayenede en önemli husus, hataları bulmak, konumunu belirlemek, tiplerini ve boyutlarını saptamaktır.

2.5.1. Normal propla yapılan konumlandırma

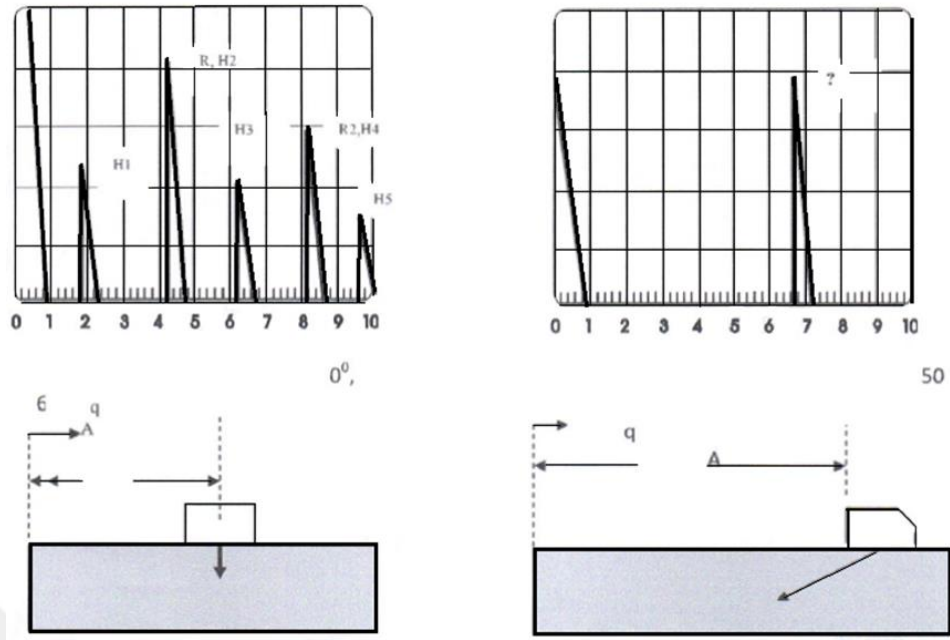
Parçanın geometrisinden kaynaklanan form yankılarını süreksizlik yankılarından ayırmak muayeneyi yapan kişinin işidir. Bazı durumlarda parça geometrisi çok basit bile olsa buna karar vermek zor olabilir. Bu nedenle, parça geometrisinden kaynaklanabilecek belirtilerin önceden hesaplanması gereklidir. Daha sonra bu belirtilerin konumları ekranda işaretlenerek çalışma kolaylaştırılabilir.



Şekil 2.9. Normal propla alınan yankı görüntülerinin yorumlanması için yardımcı yöntemler (örneğin, eksenel tarama ve ikincil yankılar).

2.5.2. Açılı proplarla yapılan konumlandırma

Açılı proplarla yapılan muayenelerde süreksizliklerin konumlandırılması normal propla yapılan muayeneye göre daha zordur.



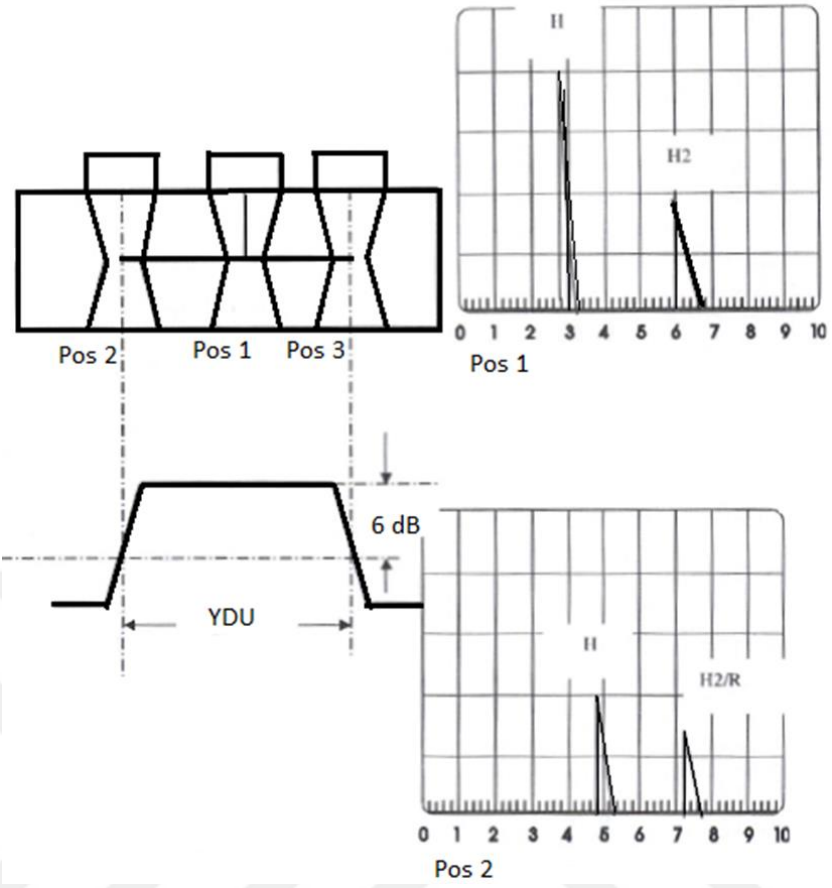
Şekil 2.10. Açılı prop konumları ve ekran görüntüleri.

Genellikle normal propla yapılan muayenede, prop ve yankı konumlarından hareketle ekran görüntülerini değerlendirmek kolaydır. Oysa açılı propla yapılan taramada yankıların değerlendirilmesi birtakım hesaplamalar yapmadan hemen hemen mümkün değildir. Muayene edilen parça hakkında hemen bir fikir edinmek ve hesaplamaları azaltmak açısından bazı yardımcı bilgilere başvurmak gereklidir.

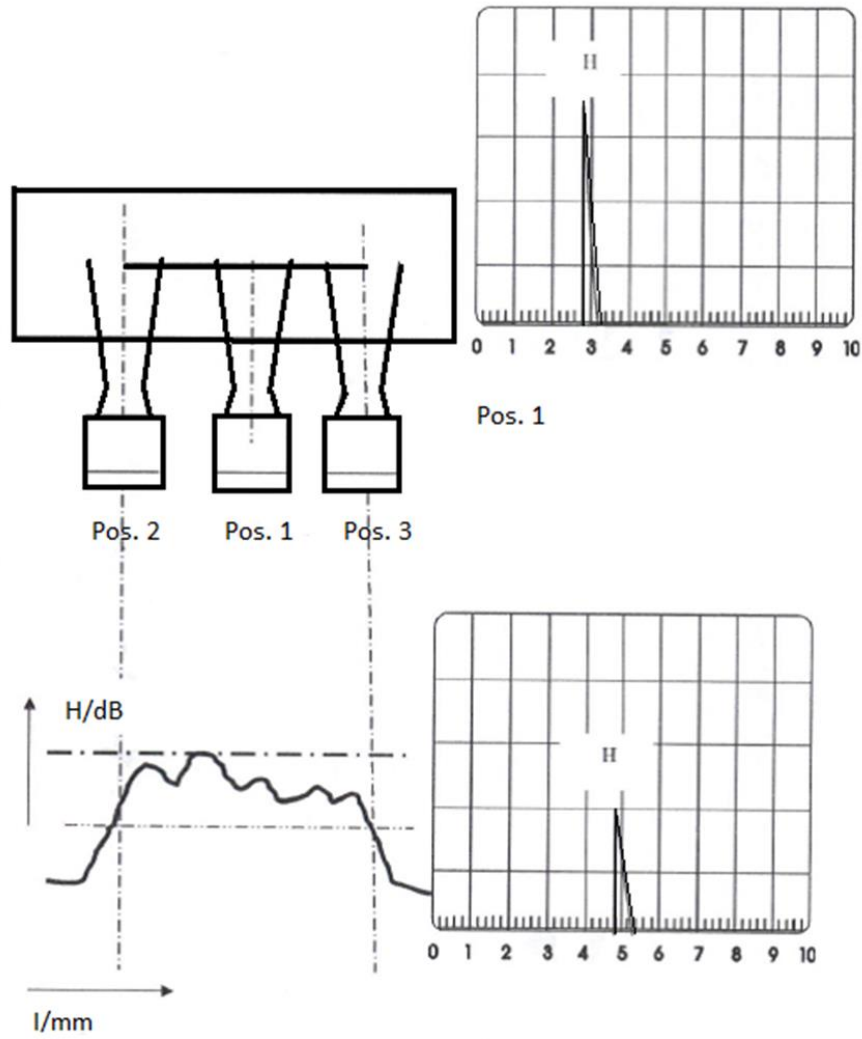
2.6. Yankı Dinamiği İle Yansıtıcı Büyüklüğünün Hesaplanması

Genel ultrasonik teknikleri kullanılarak hataların büyüklüklerinin belirlenmesi için sınırlı imkanlar mevcuttur. Yankı yüksekliğini etkileyen üç etken vardır:

- Çapma açısı, 0° olmalıdır
- Hatanın şekli, çoğu durumda bilinmez
- Hatanın yüzey kalitesi yansıtma özelliğini etkiler



Şekil 2.11. Normal prop kullanılarak yarı değer uzunluğunun ve yarı değer genişliğinin saptanması.



Şekil 2.12. Açılı prop kullanılarak yarı değer uzunluğunun saptanması.

Yankı dinamiği metotları, probun hareketi esnasında sesin gidiş/geliş süresi ve yankı yüksekliği değişiminin gözlenmesi esasına dayanır. Bu metotlardan biri yarı değer metodudur.

2.7. Sesin Yayınım Kuralları

Ultrasonik muayene sırasında değerlendirilmesi gereken yankılar arasında büyük farklılıklar mevcuttur. 10.000 faktöre varan hatta gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki daha fazla yankı yükseklikleri farkı ekran üzerinde görülebilmelidir. Ekranların küçük olması nedeniyle yankılar arasındaki küçük farklılıklar lineer bir dağılım ile yeteri belirginlikte ayıramazlar. 50 mm ekran yüksekliğinde ve 10.000

faktöre varan yankı yüksekliği farkı için yapılan dağılımda, 2 faktörlük sinyal değişimi ancak 0,01 mm'lik yankı yüksekliği değişimi gösterecektir.

Bunun için ekranın dikey doğrusallığı, küçük yankı yüksekliklerinin daha sık, büyük yankılar birbirinden daha aralıklı olacak şekilde kaydırılarak düzenlenmiştir. Ekran bu şekilde toplam yankı yüksekliği aralığının gösterebileceği bir kesiti içerir. Ekran aralığındaki konum bir yükseltici (kazanç ayarı) ile seçilir, genellikle bir kalibrasyon yansıtıcısından alınan yankı belirli bir ekran yüksekliğine ayarlanır.

Kazanç, işi elle yapabilecek rakamlarla mümkün kılacak bir logaritmik ceyvel ile çalışır. Burada decibel (dB) ölçekli standart sönümlene cetveli kullanılır, bu nedenle kazanç ayarlayıcı sıkça dB-ayarlayıcı olarak da anılır. Aşağıda verilen formüller ve ilgili tablolar, fark yükseltgeç (ΔV) dB olarak iki yansıtıcının yankı yüksekliği oranı arasındaki bağıntıyı tanımlamaktadırlar.

$$\Delta V = 20 \cdot \log \frac{H_2}{H_1} \quad (2.20)$$

ΔV =Fark kazanç

H_1 =Çıkan yankı yüksekliği (%EY)

H_2 =Yeni yankı yüksekliği (%EY)

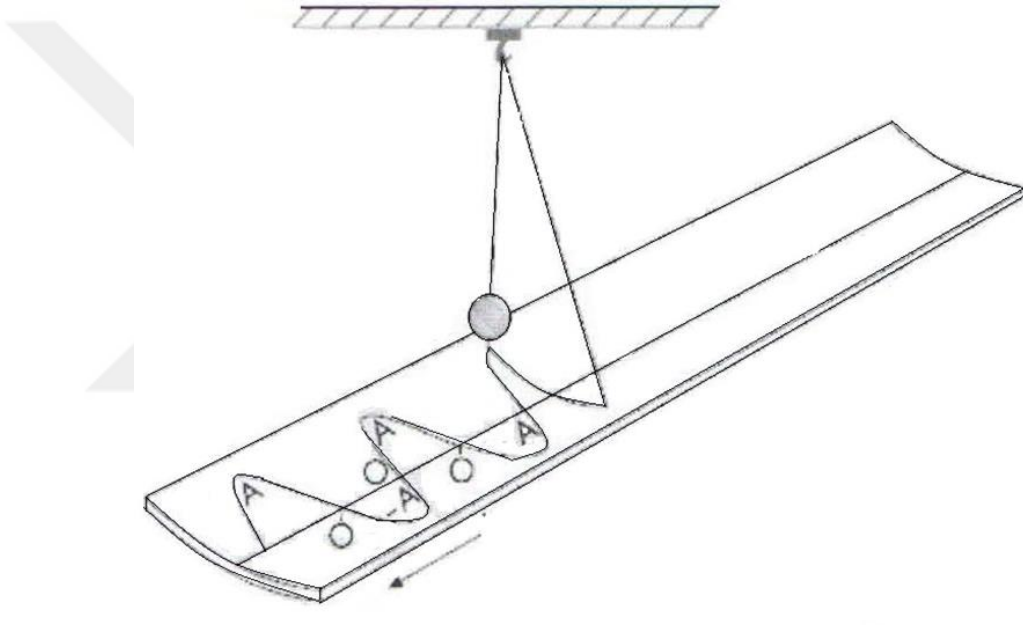
Tablo 2.2. Desibel cetvelde rakamsal değerler

Yankı Yükseklik Oranı $\frac{H_2}{H_1}$	Kazanç Farkı ΔV (dB)
Faktör 0,5	-6 dB
Faktör 2	+6 dB
Faktör 0,25	-12 dB
Faktör 4	+12 dB
Faktör 0,2	-14 dB
Faktör 5	+14 dB
Faktör 0,1	-20 dB
Faktör 10	+20 dB

2.8. Salınım ve Dalga Fiziği

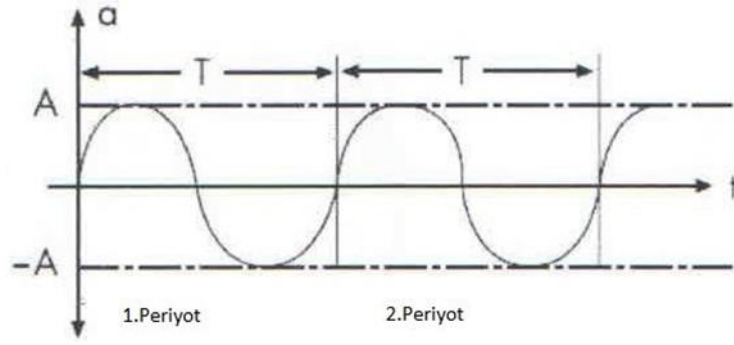
2.8.1. Salınım

Günlük hayatta salınımın pek çok türüyle karşılaşılır. Sarkacın salınımı basit bir salınım örneğidir. Herhangi bir ağırlık iple asıldığında ilk hareketten sonra sarkaç verilen hareket enerjisi havanın direnciyle tükenene kadar iler geri salınır. Dolayısıyla salınım kararlı halden bir yana ve diğer yana olan periyodik bir harekettir. Şekil 2.13.'de salınım hareketi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Salınımın gösterilmesi.

Sapma, duruş halinden belirli bir noktaya kadar olan mesafeyi verir. Duruş halinden maksimum sapma genlik olarak tanımlanır. Salınım süresi T (s) tam bir salınım periyodu için geçen süredir. Salınım süresinden frekans tanımlanabilir. Frekans denildiğinde birim zamanda (örneğin saniyede) oluşan salınım sayısı anlaşılmalıdır.



Şekil 2.14. Salınım süresi.

Ultrasonik muayenede frekans Megahertz aralığındadır, doğrudan temas yönteminde frekans 1-5 MHz, daldırma tekniğinde 25 MHz'e kadar yüksek frekanslar kullanılır.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.21)$$

f=Frekans(Hz)

T=Salınım süresi(s)

2.8.2. Dalga tipleri

Ses malzemede boyuna ve enine dalgalar halinde yayılır. Boyuna dalga vakum hariç her ortamda, enine dalga ise katı ortamda yayılır. Sesin yayılma hızı (c) malzeme cinsine ve dalga tipine bağlıdır. Ses hızı ve frekans arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur;

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2.22)$$

$$c = \lambda \times f \quad (2.23)$$

Bu bağıntıda c; ses hızı (m/sn), f; frekans (1/sn), λ ; dalga boyu (mm)'dur.

Ses dalgaları malzemeden geçerken tane sınırları ve safsızlıklar nedeniyle az veya çok zayıflarlar. Ses malzeme içerisinde bir ses demeti halinde ilerler, ses demetinde

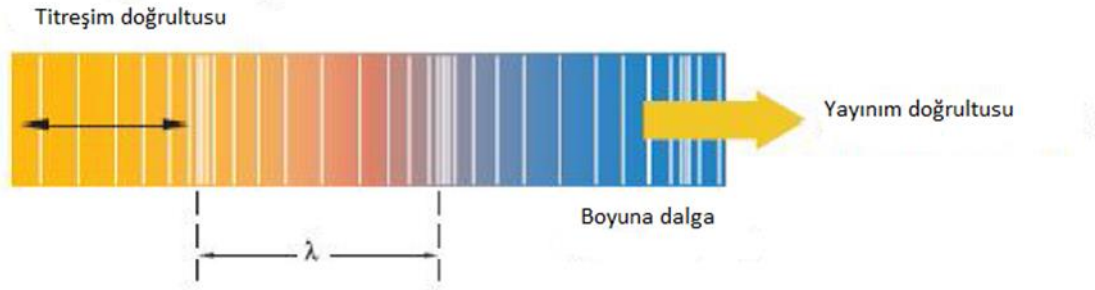
artan mesafe veya derinlik ile sesin basıncında ya da şiddetinde hangi azalmanın olacağı mesafenin karesi kuralı ile açıklanır.

Kazanç değeri ve aynı zamanda ses zayıflaması bir oranla desibel olarak aşağıdaki bağıntılar ile verilir.

$$\alpha = \frac{20 \cdot \log(A_2/A_1)}{s_2 - s_1} \quad (2.24)$$

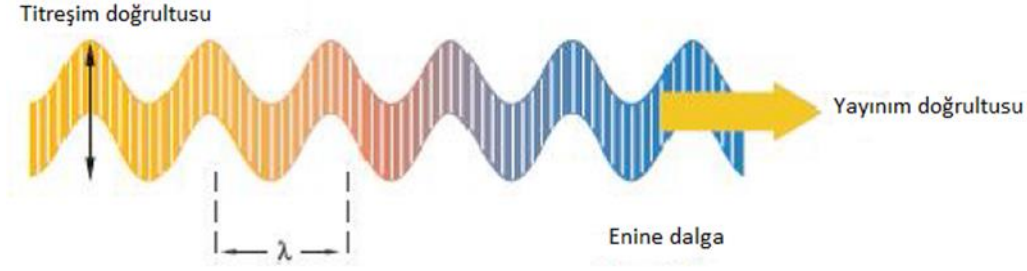
Burada A2 ve A1 sesin genliğini göstermektedir.

Ses mesafesi s_1 'den s_2 'ye doğru değişirse ses genliğindeki zayıflama (α) aşağıdaki gibi belirlenir. Örnek olarak genlik (yankı yüksekliği) yarıya düşerse s_1 mesafesinden s_2 mesafesine doğru ses zayıflaması 6 dB olur. Ultrasonik muayenede temel olarak enine ve boyuna olmak üzere iki çeşit dalga tipi vardır. Boyuna dalgalarda yayılım doğrultusu ile titreşim doğrultusu Şekil 2.15.'de görüldüğü gibi aynıdır.



Şekil 2.15. Boyuna dalga.(Olympus, Ultrasonic flaw detection tutorial, 2-3 wavepropagation, 2010)

Enine dalgalarda yayılım doğrultusu ile titreşim doğrultusu Şekil 2.16.'da görüldüğü gibi birbirine diktir.

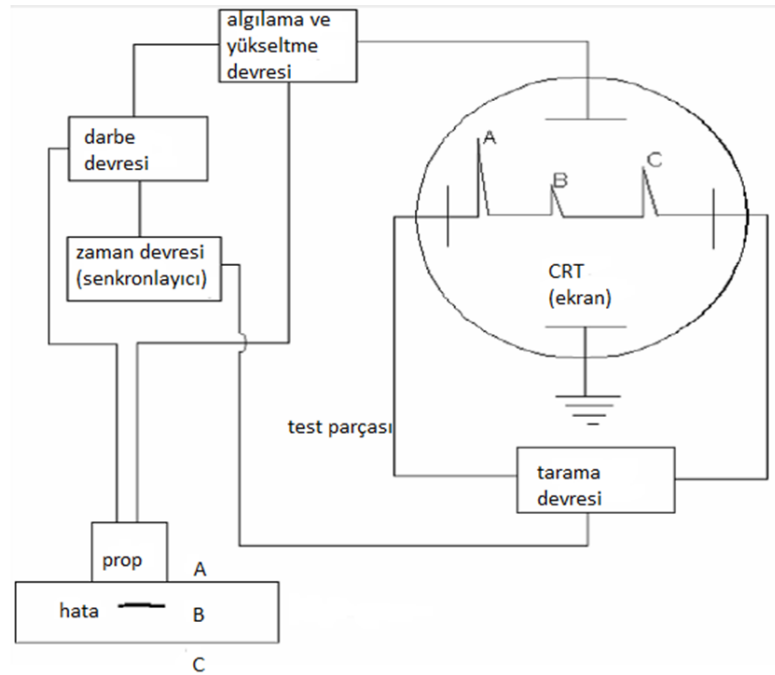


Şekil 2.16. Enine dalga (Olympus, Ultrasonic flaw detection tutorial, 2-3 wavepropagation, 2010).

Sınırlı yayılma ortamlarında enine ve boyuna dalgaların kombinasyonu olan Rayleigh Dalgası (Yüzey Dalgası), Lamb Dalgası (Platten Dalgası) gibi birçok dalga tipi de meydana gelir.

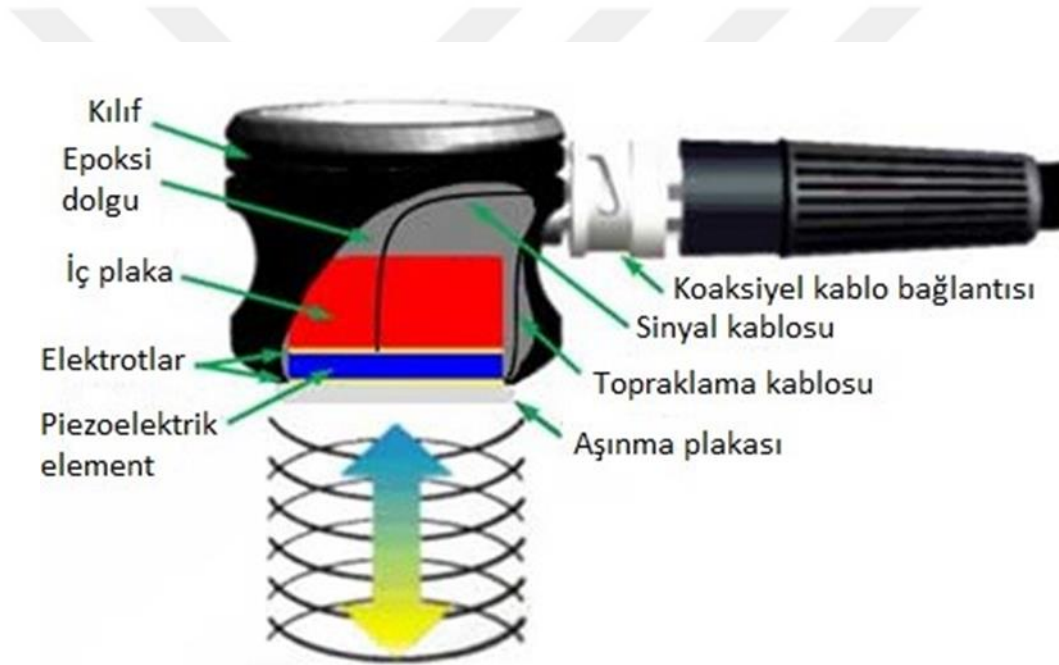
2.9. Ultrasonik Muayene Yöntemi Bileşenleri

Ultrasonik muayene cihazı, esas itibarıyla duyarlı olarak zaman ölçen bir osiloskoptur. Darbe - yankı tipi bir ultrasonik cihazın blok diyagramı Şekil 2.17.'de verilmiştir. Katot ışını tüpü (CRT veya ekran), tarama devresi, darbe devresi, algılama-yükseltme devresi, zaman devresi ve prob bir ultrasonik cihazın temel elemanlarını oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.17. Ultrasonik muayene cihazının şematik gösterimi.

Dalga üretiminde piezoelektrik olayından faydalanılır. Piezoelektrik malzemesine dış etki ile basınç uygulanarak deforme edilirse yüzeylerinde elektriksel yük oluşur. Eğer basınç kuvvetinin yönü değiştirilerek çekme kuvveti uygulanırsa yüzeylerdeki elektrik yüklerinin işareti değişir. Bu olay tersinirdir ve piezoelektrik elemanın iki yüzeyine elektrod yerleştirilerek elektrik yükü uygulanırsa kristalin şekli değişir. Kristale uygulanan elektrik yükü sürekli değiştirilirse piezoelektrik malzemede titreşim oluşturulur. Elektrik yükü ile mekanik basınç birbirleri ile orantılıdır. Piezoelektrik özelliğe sahip birçok malzeme bulunmaktadır. En çok kuvars ve lityum sülfat gibi doğal malzemeler ve baryum titanat ve polisitalinkeramik gibi yapay malzemeler kullanılır.



Şekil 2.18. Tek kristalli normal bir probun yapısı (<http://www.sdindt.com>, Erişim Tarihi:10.01.2018).

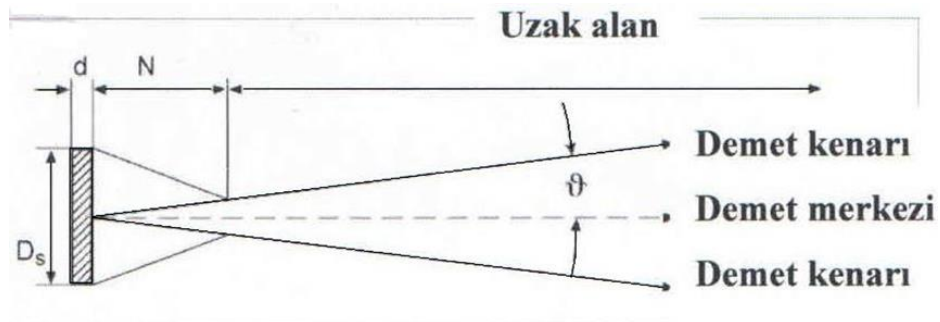
2.10. Ses Alanı

Ses, kristalin yüzeyinin birçok noktadan muayene parçasına küresel formda gönderilir. Küresel dalgalar birbirine çarpar, bu etkileşim nedeniyle (interferenz) demet haline gelirler ve yönlendirilir. Kristalin altında, kümelenmenin gerçekleştiği alana yakın alan denir. İnterferenz (dalgalardan birbiri üzerine binmesi) nedeniyle

maksimum ve minimum ses basınçları ortaya çıkar; bu durum azalan veya artan genlikte yankıların oluşmasına veya dalgaların tamamen yutulmasına sebep olur. Yakın alanda kabul edilebilir bir muayene ancak şartlara bağlı olarak mümkündür.

Yakın alanın sınırı sesin çok güçlü bir şekilde kümелendiği ve ses basıncının çok büyük (odak alanı) olduğu ses alanı bölgesidir. Yakın alan bitiş sınırından itibaren ses demeti far şeklinde açılır. Bu alana uzak alan denir. Ses, uzak alanda bir noktadan çıkan ışınım veya dalga gibi hareket eder. Birim alan başına düşen ses basıncı, kat edilen yolla azalır, yani yansıtıcı kristalden ne kadar uzaksa yankı yüksekliği de o kadar düşük olur. Uzak alanı tam olarak tanımlayabilmek için deney veya koni yayılım doğrultusunda dik olarak izlenmelidir. Ortada ses basıncı daima büyük bir değerdedir, buna demet merkezi denir. Demet merkezinden kenarlara doğru ses basıncı hiçbir şekilde yok olmadan azalır. Bu durumda demet merkezinin yarısı büyüklüğünde ses basıncına sahip noktaların oluşturduğu eğriye demet kenarı denir. Demet merkezi ile demet kenarı arasındaki açıya açınım açısı denir. Prop verilerinden (kristal çapı D_s ne anma frekansı f_N) ve muayene parçasının ses hızı c 'den istifade edilerek probun ses alanı için yakın alan boyu N ve açılım açısı θ ile hesaplanabilir ve gösterilebilir.

$$N = \frac{D_s^2 \cdot f}{4 \cdot c} \quad (2.25)$$



Şekil 2.19. Ses alanının yapısı.

BÖLÜM 3. PHASED ARRAY YÖNTEMİ

3.1. Phased Array Ultrasonik Teknolojisinin Temel Prensipleri

3.1.1. Tarihsel gelişim ve endüstriyel gereksinimler

Endüstriyel alanda phased array teknolojisini gelişimi ve uygulanması 21. Yüzyılın başlarında olgunluğa ulaşmıştır. Phased array teknolojisi tıp alanından sonra 1980 yılında endüstriyel sektörde kullanılmaya başlandı. 1980'lerin ortalarında piezokompozit malzemeler geliştirildi ve kompleks şekilli phased array propları üretildi (Oakley, 1991).

1990'lı yılların başında phased array teknolojisi yeni bir NDT (Tahribatsız muayene) yöntemi olarak kabul gördü ve mühendisler için eğitim klavuzları hazırlandı. İlk uygulamaların çoğunluğu nükleer basınçlı kaplar, büyük dövme miller ve düşük basınçlı türbin parçaları üzerinde gerçekleştirildi.

1990'ların sonlarına kadar phased array teknolojisinde mikroelektronik, bilgisayar gücünün kullanımıyla simülasyon paketleri farklı prop dizaynları aşamalı olarak gelişim gösterdi. Bilgisayar kapasitelerinin artmasıyla fonksiyonel phased array yazılımları gelişim gösterdi.

Tahribatsız muayene için phased array teknolojisini gelişimi ile genel ve spesifik inceleme avantajları:

- Kurulum ve muayene süresinin azaltılması (artan verimlilik)
- Tarama duyarlılığının artması (güvenirlilik)
- Erişimi güç olan yüksek sıcaklık reaktörlerine erişim artışı

- Daha az radyasyona maruz kalma
- Nicel ve kolay anlaşılır raporlama avantajı
- Sabit konumdaki prop ile farklı derinlik ve yönlerdeki çatlakların tespit edilebilirliği
- Geliştirilmiş sinyal gürültü oranı ve boyutlandırma kapasitesi
- Karmaşık geometriye sahip bileşenlerdeki hataların tespiti ve boyutlandırılması
- Hata oryantasyonundan bağımsız olarak algılama, boyutlandırma ve konumlandırmada artan duyarlılık.

Diğer endüstriler (havacılık, savunma, petrokimya, imalat gibi) kendi sektörüne özel iyileştirmelere ihtiyaç duyuyordu. Phased Array teknolojisi ile bütün bu gereksinimlerin birçoğu sağlanmış oldu (Erhard, 2002).

- Hız: Phased array teknolojisi elektronik taramaya olanak tanır buda eşdeğer konvensiyonel ultrasonik yöntemle göre daha hızlı tarama sağlar.
- Esneklik: Tek bir phased array probu konvensiyonel ultrasonik probunun aksine geniş bir aralıkta inceleme yapılmasını sağlar.
- Elektronik kalibrasyon: Kalibrasyon doğrulanmış parametre setleri ile sadece bir dosya yükleyerek gerçekleştirilebilir.
- Küçük prop ölçüleri.
- Kompleks inceleme: Geometrik olarak karmaşık malzemelerin muayenesine olanak tanır.
- Güvenilir hata tespiti: Hata tespiti olasılığı odaklanmış ses dalgaların duyarlılığı ile artar.
- Görüntüleme: Phased array S-Tarama gibi görüntüleme teknikleriyle daha kolay yorum ve analiz yapılmasını sağlar.

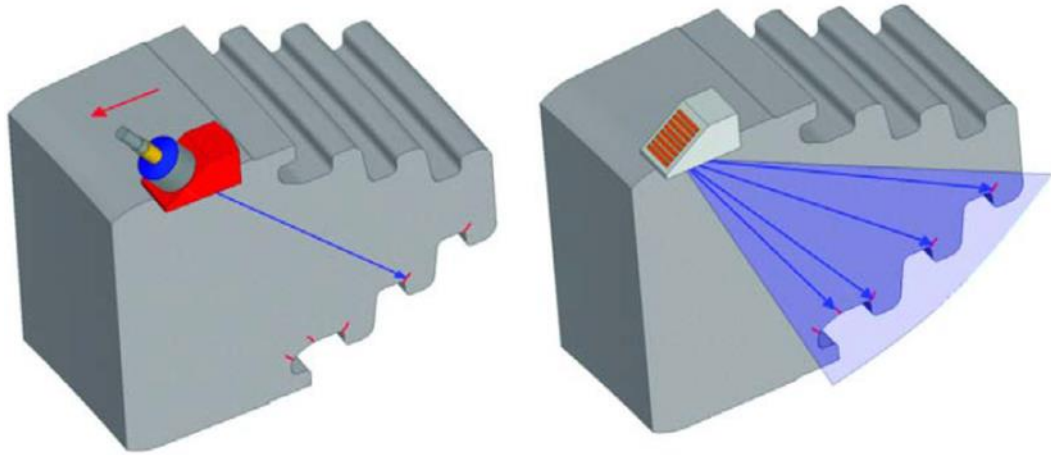
3.1.2. Genel prensipler

Ultrasonik ses dalgaları piezokristal elementin elektrik voltajı ile uyarılmasıyla elastik bir ortamda yayılan mekanik titreşimlerdir. Ultrasonik dalgaların tipik

frekansları 0,1 MHz ile 50 MHz arasındadır. Çoğu endüstriyel uygulamada 0,5 MHz ile 15 MHz frekans aralığındaki proplar kullanılır.

Konvensiyonel ultrasonik incelemelerde farklı açılarda monokristal proplar kullanılır. Bazı durumlarda ölü bölgeyi azaltmak için çift elementli proplar veya odaklanmış monokristaller kullanılabilir. Her durumda ultrasonik alan bir akustik ekseninde ve tek bir kırılma açısı ile yayılır.

Tek açılı tarama yönteminde farklı yönlere yönelmiş kusurların algılama ve boyutlama yeteneği sınırlıdır. Standartlara göre iyi bir inceleme yapılabilmesi için genellikle algılama olasılığını arttırmak için 10-15° farklı açıda ilave bir tarama yapılır. Muayene parçasının karmaşık bir geometriye ve büyük bir kalınlığa sahip olması muayene sorunlarını daha da artırır. Bazı muayenelerin odaklanmış çoklu elementli proplarla yapılması gerekli olabilir (Bkz. Şekil 3.1.).

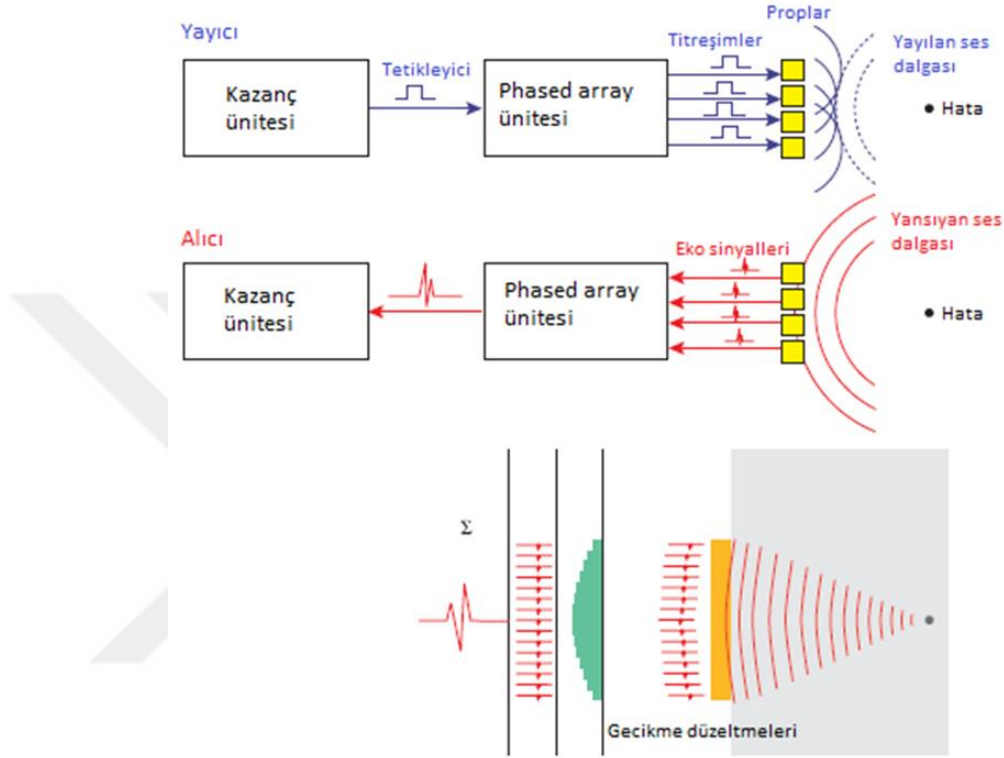


Şekil 3.1. Phased array teknolojisinin bir incelemede uygulama örneği (Olympus,2007).

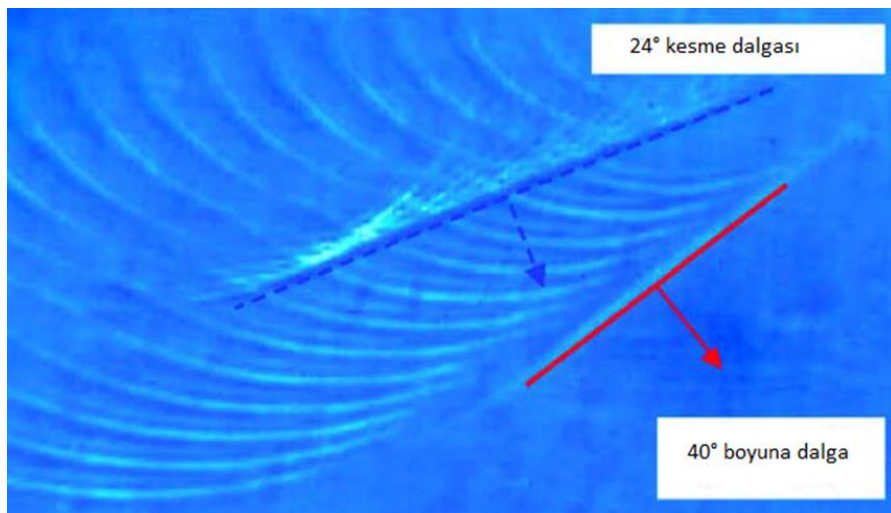
Solda tek açılı monokristal prop ile muayenede farklı açılarda muayene ve prop hareketi gerektirir. Sağda phased array probu ile prop hareketi olmaksızın muayene parçasının uygun bölgelerine inceleme sağlanır.

Bir monoblok kristalin birçok özdeş parçacığa kesildiğini varsayarsak her küçük element silindirik ses dalgasının kaynağı olarak düşünülür. Her elementin

oluşturduğu ses dalgası birbiriyle etkileşime girerek genel bir ses dalgası oluşturur. Her elementin ses dalgası belli zaman aralıklarıyla ateşlenir ve senkronize bir genlik oluşturur. Bu sayede yönlendirilebilir ve odaklanabilir ses dalgası üretilebilir. Phased array probundan gönderilen ve alınan sinyaller Şekil 3.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çok sayıda elementin farklı zaman aralığında ateşlenmesiyle oluşan ses dalgası formu (Olympus,2007).



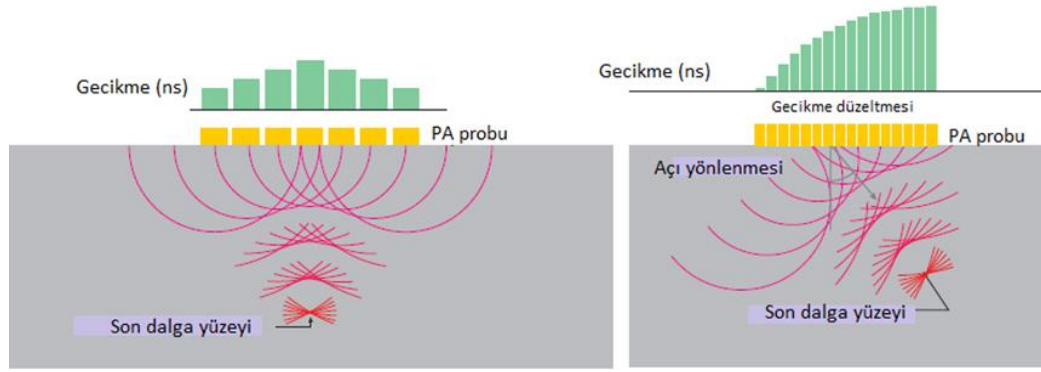
Şekil 3.3. 7,5 MHz 12 elementli lineer prop ile 40° açı ile bir cam blokta foto-elastik ses dalgalarının görüntüsü (Ginzel, 2004).

Phased array teknolojisinin temel prensibi bilgisayar yazılımları sayesinde bağımsız değişkenlerin (genlik ve gecikme) çok elementli proplarla kontrol edilebilmesidir. Bu yazılımlar sayesinde prop elementleri uyarılarak açı, odak mesafesi gibi parametrelerde değişiklik yapılabilir.

Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi çoklu ses dalgalarının faz olarak bir bileşen oluşturmaları için aynı yayının zamanına sahip olmaları gereklidir. Bu bileşik ses dalgası ancak farklı ve eşgüdümlü zamanlarda aktif prop elementlerinin ateşlenmesi ile sağlanabilir. Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi farklı prop elementlerinin farklı zamanda ateşlenmesi ile ses dalgasının yayının açısı değiştirilebilir. Ortaya çıkan bileşen istenilen açı ve odak noktasından gelen yankıyı vurgulayan ve diğer noktalardan çıkan çeşitli yankıları azaltan bir A-taramasıdır.

Sonuç olarak, sinyaller elementlerin farklı zamanlarda tetiklenmesiyle oluşur sonrasında odak kanununa göre yayınır. Bireysel elementlerden gelen tüm sinyaller daha sonra toplanarak alıcı cihaza gönderilen tek bir ultrasonik ses dalgası oluştururlar. Normal ve açısal ses dalgası için odak prensibi Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

İletim sırasında prop elementleri aşamalı olarak tetiklenir. Daha sonra sintonik odak kanununda tanımlanan önceden programlanmış bir genişlik ve zaman gecikmesi ile yüksek voltajlı bir dalgaya dönüştürülür. Her bir element alıcı olarak tek bir sinyal alır. Çoklu elemanlı sinyaller belirli bir açıya ve belirli bir derinliğe odaklanmış yeni bir dalga oluşturur. Ses dalgası konvansiyonel ultrasonik muayenede olduğu gibi yansıyarak geri döner.

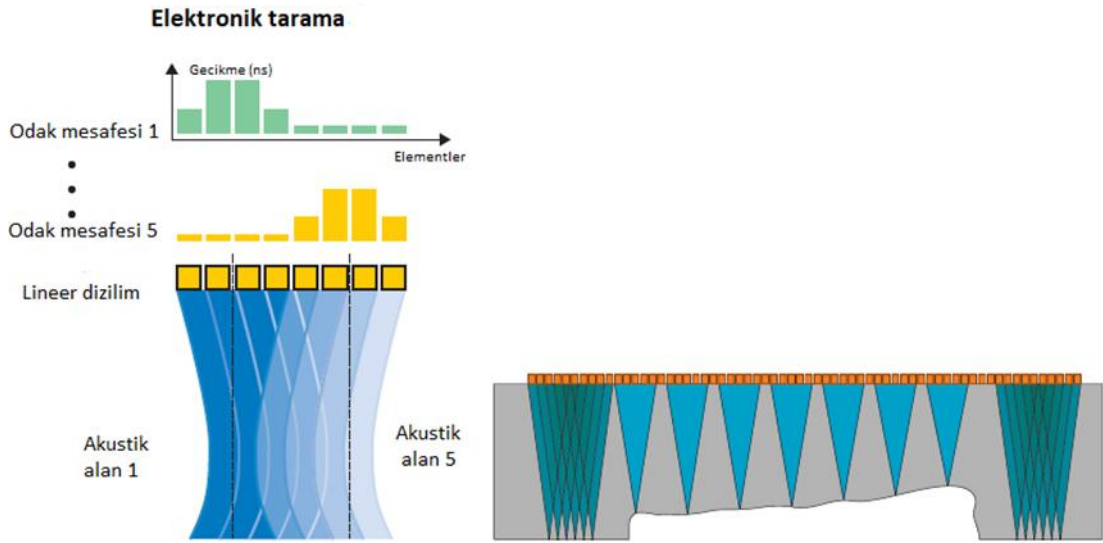


Şekil 3.4. Normal (a) ve açılı (b) ses dalgası için odak prensibi (Olympus, 2007).

Her elementin tetiklenme zamanı dalga tipi, kırılma açısı ve odak derinliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Phased array yönteminde ultrasonik kanunları değişmez bu yöntem sadece ses dalgası üretme ve alma prensibine dayanır.

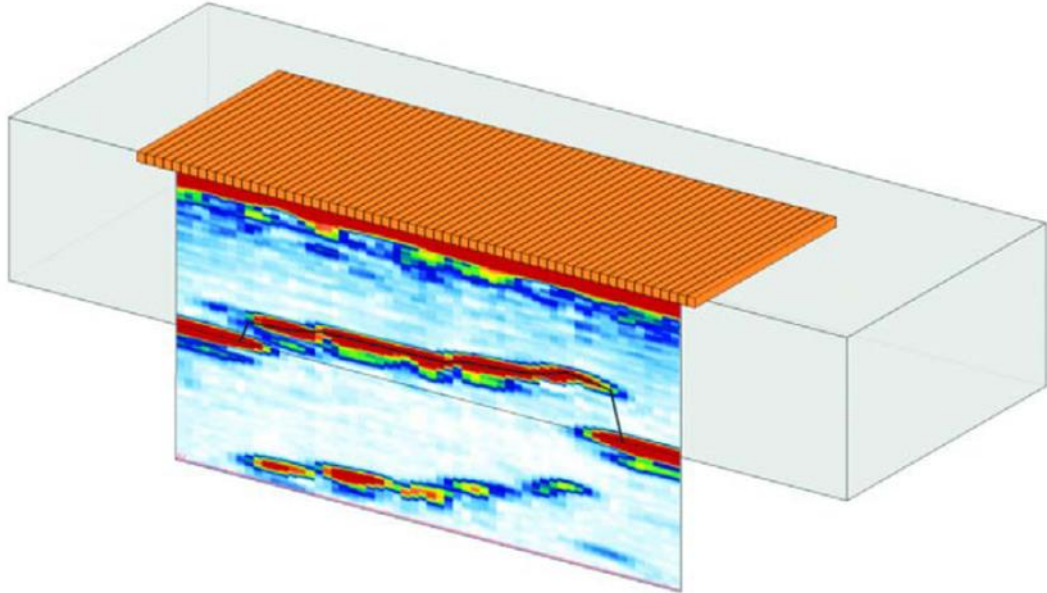
Üç ana bilgisayar kontrollü tarama modeli vardır:

Elektronik tarama (E-tarama olarak gösterilir ve genellikle lineer tarama olarak adlandırılır) bir grup aktif elementin aynı odak kanununda farklı zamanlarda tetiklenmesine bağlıdır (Şekil 3.5.). Tarama bir grup aktif elementin farklı zamanlarda tetiklenmesiyle sabit bir açı boyunca ya da kaynak muayenesinde TOFD yöntemi ile gerçekleştirilir. Açılı bir takoz kullanılırsa odak kanununa göre farklı zaman gecikmeleri takoz içerisinde telafi edilir. Lineer taramada doğrudan temaslı doğrusal dizi proplar da kullanılabilir. Bu yöntem kaynakta yan duvar ergime hatalarını tespit etmek için çok faydalıdır (Şekil 3.7.).

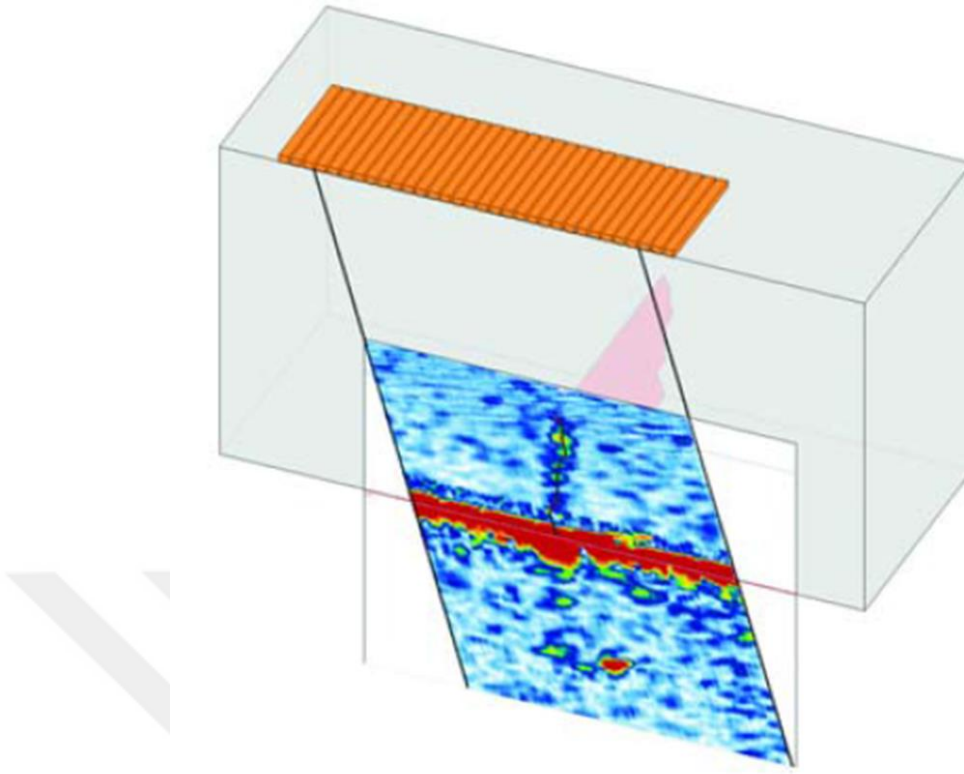


Şekil 3.5. 0° açıda lineer tarama prensibi (Olympus, 2007).

Bu durumda sanal prop açıklığı dört elementten oluşmaktadır. Odak mesafesi 1 iken 1-4 element aktif odak mesafesi 5'e çıktığında 5-8 element aktif olarak tetiklenir. Sağ: 0° açıda lineer tarama ile korozyon haritalama şeması.

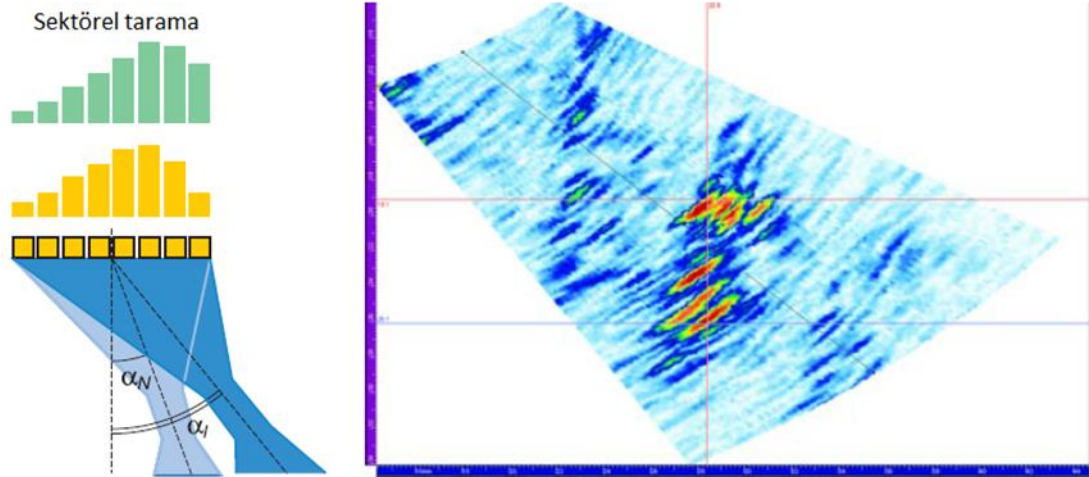


Şekil 3.6. 64 elementli 10 MHz propla lineer taramada korozyon hatalarının 3 boyutlu görüntüsü (Olympus, 2007).



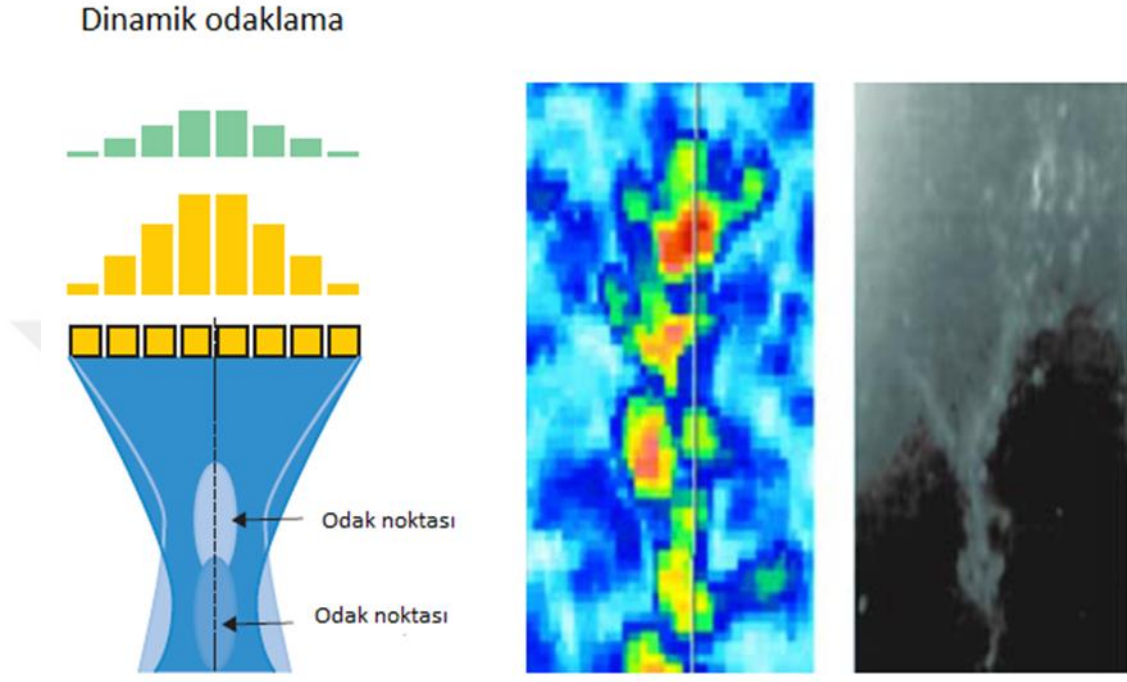
Şekil 3.7. Bir dövme parçada 15° lineer tarama ile çatlak kontrolü, $f=5$ MHz, $n=32$, $p=1.0$ mm (Olympus, 2007).

Sektörel Tarama (S-tarama): Tarama alanı elementlerin farklı zamanlarda ateşlenmesi sağlanarak açısal bir aralık boyunca süpürülür. Farklı odak mesafesine sahip farklı tarama aralıkları eklenebilir, tarama aralığının farklı açısal değerleri tanımlanabilir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Sol: Sektörel taramanın prensibi. Sağ: Bir grup stres-korozyon çatlaklarını tespit eden sektörel tarama görüntüsü örneği (tarama aralığı: 33°-58°) (Olympus, 2007).

Dinamik odaklama (DDF): Tarama farklı odak derinlikleri ile gerçekleştirilir (Şekil 3.9.). Uygulamada odaklanan darbe farklı derinliklerde programlanan mesafelere tekrar odaklanarak tarama sağlanır.



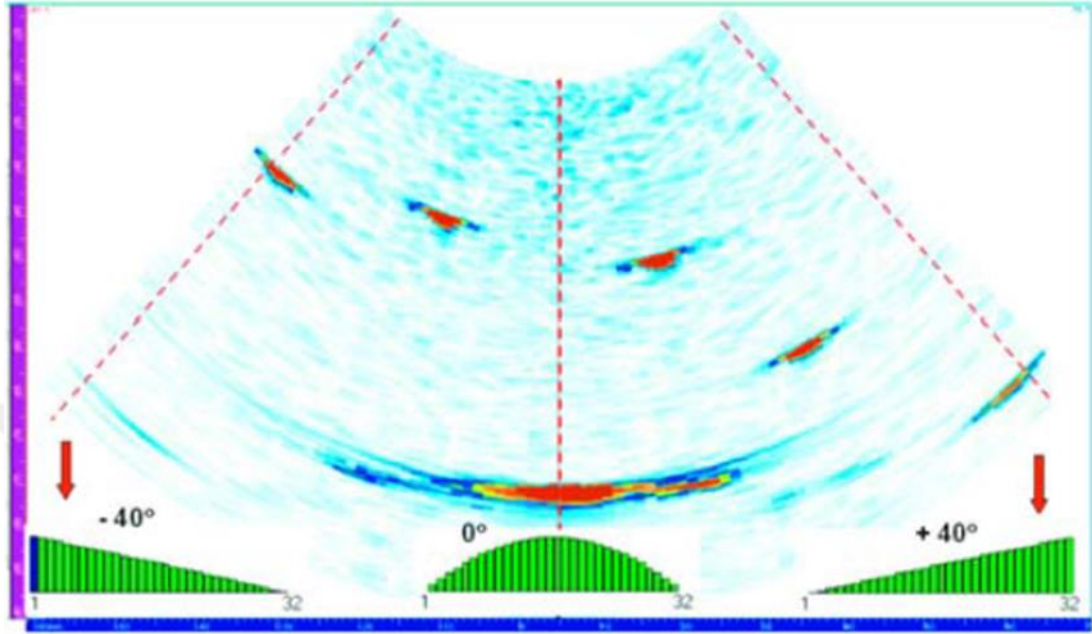
Şekil 3.9. Sol: Dinamik odaklamanın prensibi. Orta: 12 MHz frekansta dinamik odaklama ile yorulma çatlaklarının görüntüsü. Sağ: Makrografik karşılaştırma (Olympus, 2007).

3.2. Odak Kanunu

Ses dalgalarını muayene parçasının istenen bölümünde odaklamak için tarama probunun her bir elementi bilgisayar kontrolü ile bir odak kanunu kullanarak sırayla ateşlenir. Odak kanunu basitçe ateşlenecek elemanlar ve zaman gecikmelerine bağlıdır. Her bir elementin zaman gecikmesi muayene konfigürasyonuna, tarama açısı, takoz, prop tipi gibi faktörlere bağlıdır.

Şekil 3.10.'da uzunlamasına üretilen 32 elementli bir doğrusal dizi probu için nanosaniye cinsinden zaman gecikme değerlerine bir örnek gösterilmiştir. Bu şekilde yandan açılmış deliklerin tespiti hem negatif (sol) hem de pozitif (sağ) açılarla

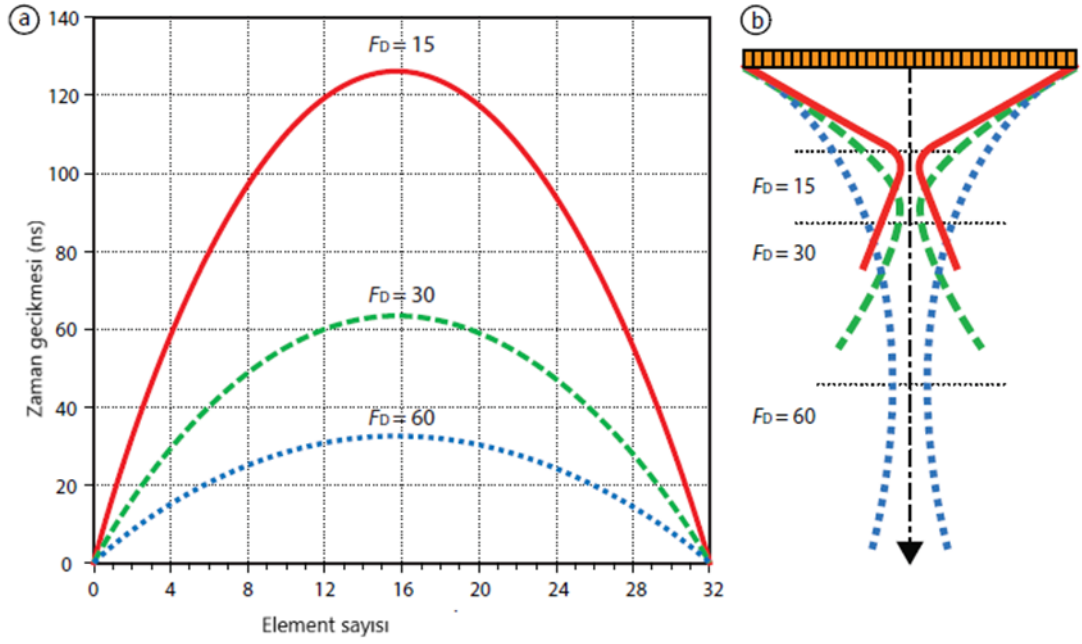
gerçekleştirilir. Her elementin gecikme değeri şeklin alt kısmında gösterildiği gibi açıyla değişir.



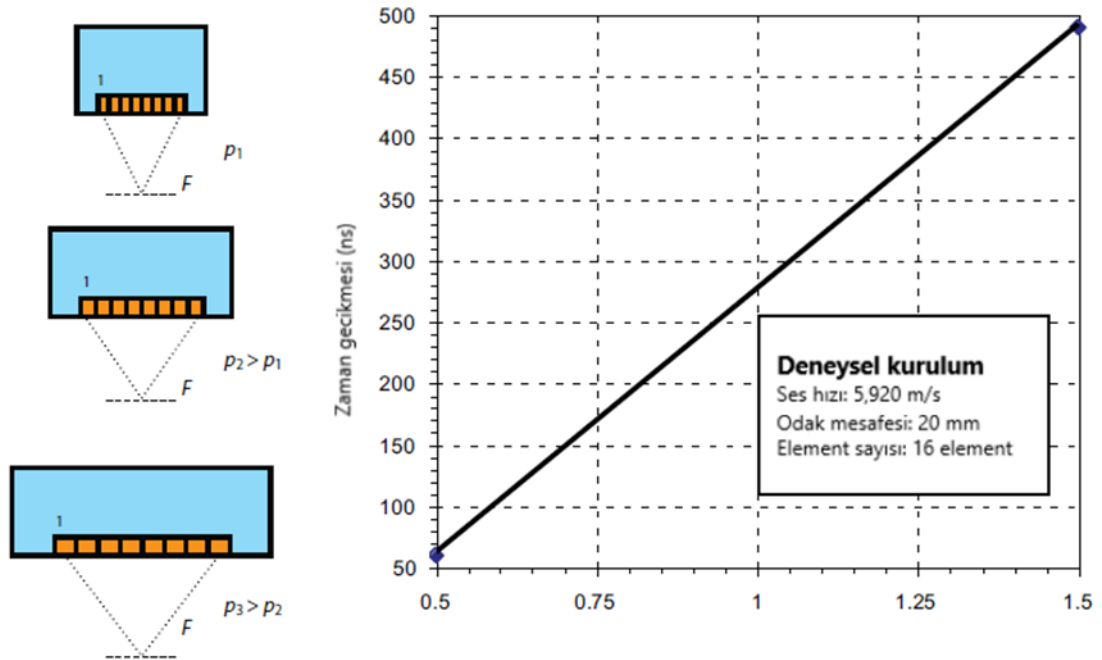
Şekil 3.10. 90° (-45° ila 45°) süpürme aralığı için gecikme değeri ve şekli örneği. (Olympus, 2007)

Doğrusal faz dizi probu 32 elementli olup yandan açılmış delikleri tespit etmek için uzunlamasına dalgalar üretmek üzere programlanmıştır. Probun takozu yoktur ve test parçası ile doğrudan temas halindedir.

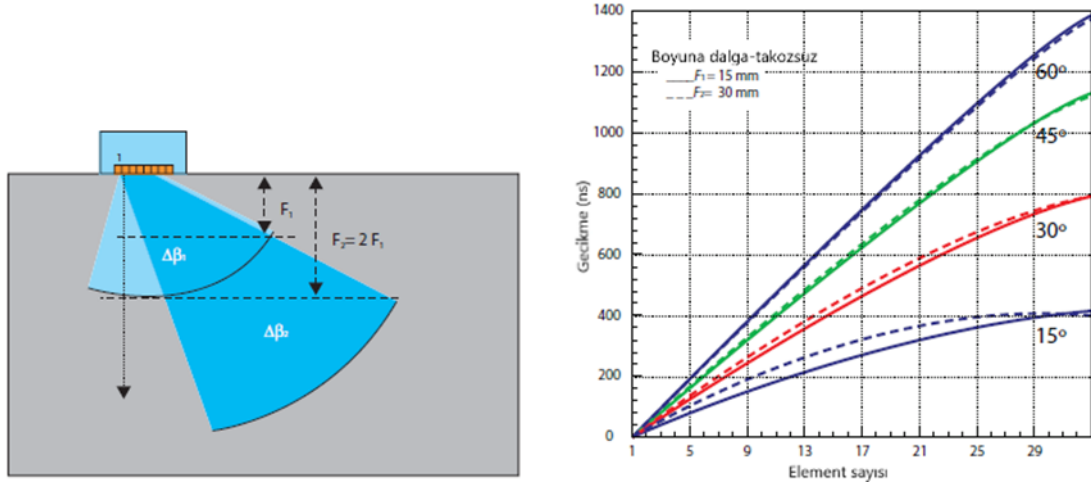
Odak kanunu gecikmesi derinlik odaklaması için parabolik bir şekle sahiptir ve gecikme probun kenarından merkeze doğru artar. Odak mesafesi yarıya düştüğünde gecikme iki katına çıkacaktır (Şekil 3.11.). Element aralığı arttığında ateşleme zamanlaması doğrusal bir artış gösterir (Şekil 3.12.). Takoz olamayan bir sektörel tarama için elementler arasındaki gecikme aktif açıklıktaki elementin konumuna ve oluşturulan açığa bağlıdır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.11. 32 elementli lineer dizi probu için 15 mm, 30 mm ve 60 mm odak mesafeleri için gecikme değerleri (solda) ve tarama prensibi (sağda) (Olympus, 2007).



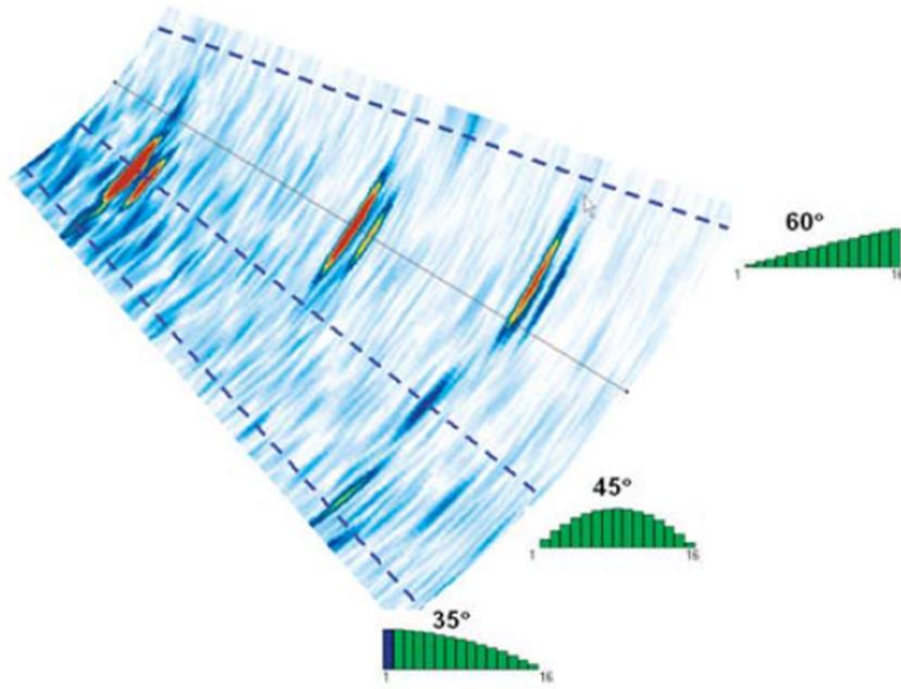
Şekil 3.12. Aynı odak derinliği için element boyutuyla gecikme zamanının değişimi (Olympus, 2007).



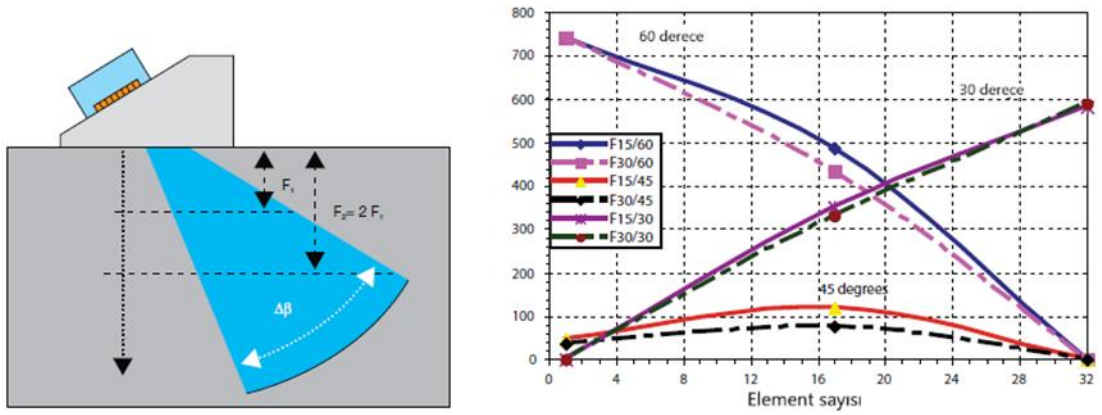
Şekil 3.13. Sol: Takozsuz bir prop için element konumu ve odak mesafesine bir örnek (15° ila 60° boyuna dalgalar. Sağ: Oluşan açı ile gecikme bağımlılığı örneği (Olympus, 2007).

Phased array probu bir takoz üzerindeyse gecikme zamanı da takoz geometrisine, hızına ve kırılma açısına bağlıdır (Şekil 3.14.).

Gecikme zamanının Snell yasasına göre parabolik bir şekli vardır (45° için Şekil 3.15.). Snell yasası tarafından sağlanan doğal açıdan daha küçük açılar için element ateşleme gecikmesi arkadan probun önüne doğru artar. Doğal açıdan daha büyük açılar için arka elementlerde gecikme daha yüksektir çünkü ön elementler tarafından üretilen ses dalgası daha uzun sürer bu sebeple ön elementler daha önce ateşlenmelidir.



Şekil 3.14. Üç yandan açılmış delik tespiti için gecikme değeri ve şekli örneği. 16 elementli prop 37° Plexyglas takoz kullanılmıştır (Olympus, 2007).



Şekil 3.15. 37° Plexyglas takoz üzerinde kırılma açısına ve element pozisyonuna gecikme zamanı örneği (Olympus, 2007).

Yukarıda bahsedilen tüm durumlarda her bir elementin gecikme zamanı doğru bir şekilde kontrol edilmelidir. Minimum gecikme artışı, aşağıdaki orana göre kullanılabilen maksimum prop frekansını belirler:

$$\Delta t_{delay} \frac{n}{f_c} \quad (3.1)$$

Burada;

n: Element sayısı

f_c : frekans (MHz)

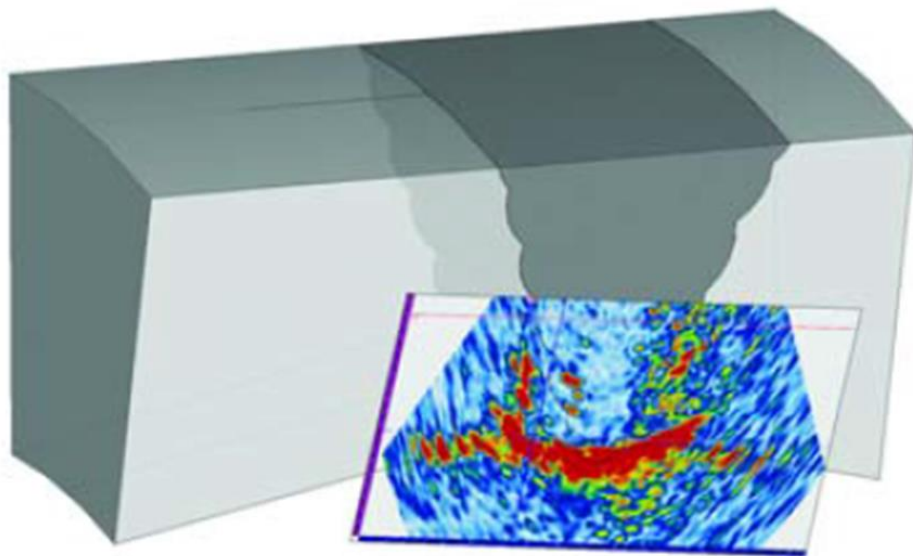
Gecikme toleransları donanıma bağı olarak 0,5 ns ile 2 ns arasındadır.

Diğer faz dizi propları için (örneğin matris veya konik) gecikme yasası değerleri için gelişmiş similasyon gereklidir.

3.3. Temel Tarama ve Görüntüleme

Mekanik bir tarama sırasında veriler enkoder pozisyonuna dayanarak toplanır. Veriler yorumlama için farklı görünümde görüntülenir. Tipik olarak phased array probunun her bir elementi için farklı açılar, uçuş süresi ve gecikme zamanı ile birden fazla A-taramaları kullanılır.

Belli bir prop pozisyonunda ateşlenen A-taramaların toplam sayısına ait gerçek zamanlı veriler S-tarama veya B-tarama şeklinde görüntülenir. Hem S-tarama hem de B-tarama tüm açılar ve konumlarda bulunan elementlerin verilerinin bileşimiyle genel bir görüntü ve hızlı tarama bilgisi sağlar (Şekil 3.16.).

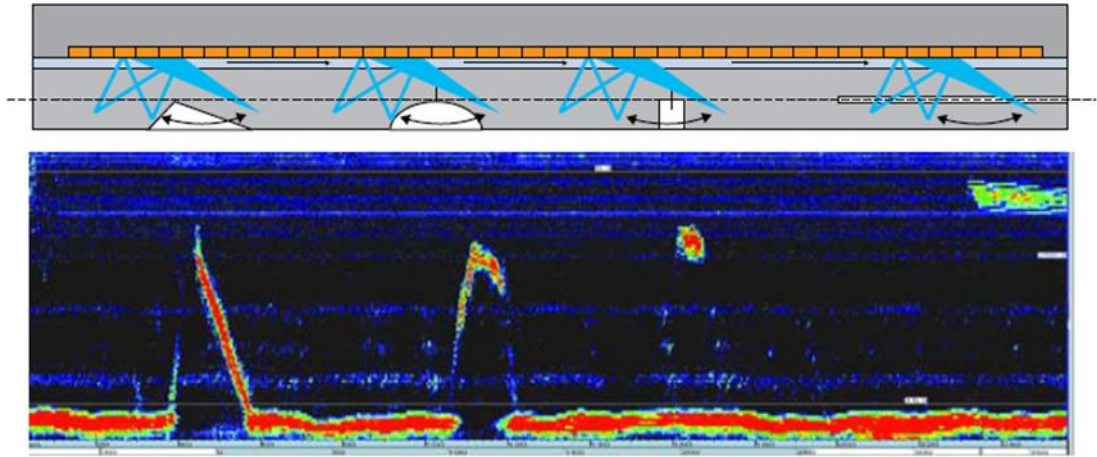


Şekil 3.16. Termal yorulma çatlaklarının belirlenmesi ve verilerin 3-boyutlu görüntülenmesi (Olympus, 2007).

Düzeltilmiş S-tarama verilerinin 2-boyutlu verileri ultrasonik sonuçlarının yorumlanmasını ve analizini basitleştirir. S-tarama aşağıdaki avantajları sunar:

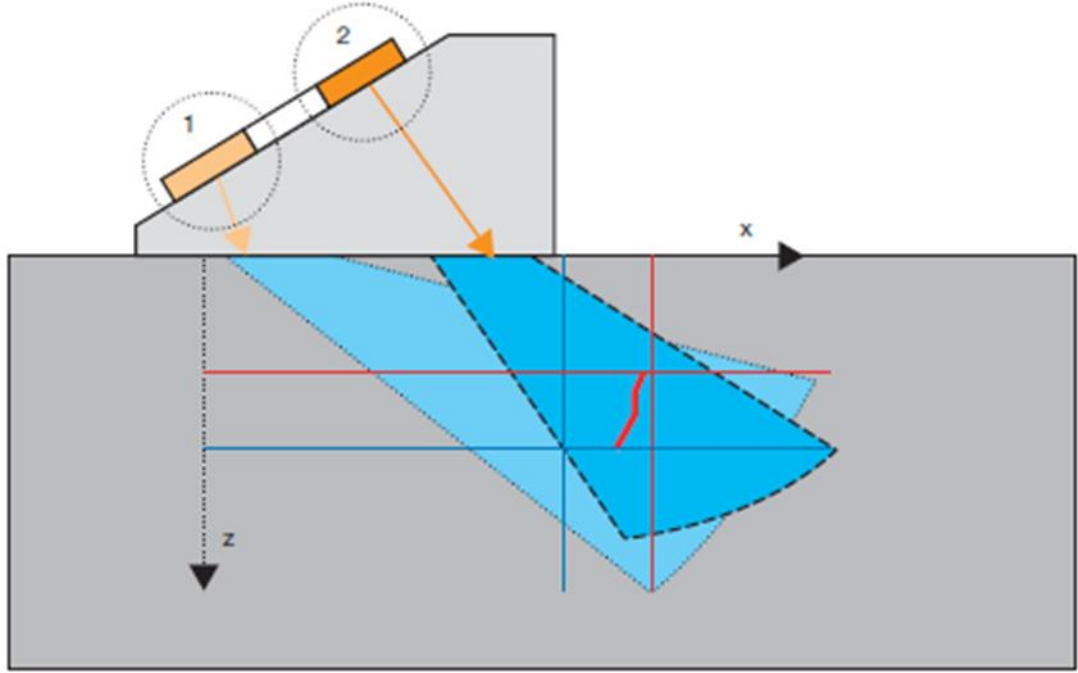
- Tarama sırasında gerçek zamanlı ekran görüntüsü
- Doğru derinlik gösterimi
- 2-boyutlu hacimsel inceleme

Gelişmiş görüntüleme prop hareketi sırasında çok açılı tarama ile lineer ve sektörel tarama kombinasyonu kullanılarak sağlanır. S-tarama görüntüleri diğer tarama görüntülerinin kombinasyonu ile hata görüntüleme ve tanıma imkanı sağlar. Şekil 3.17. birden fazla açı ve konumun birleşmesinden sonra suni kusurların saptanması ve kusur boyutlarının B-tarama verileri arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.



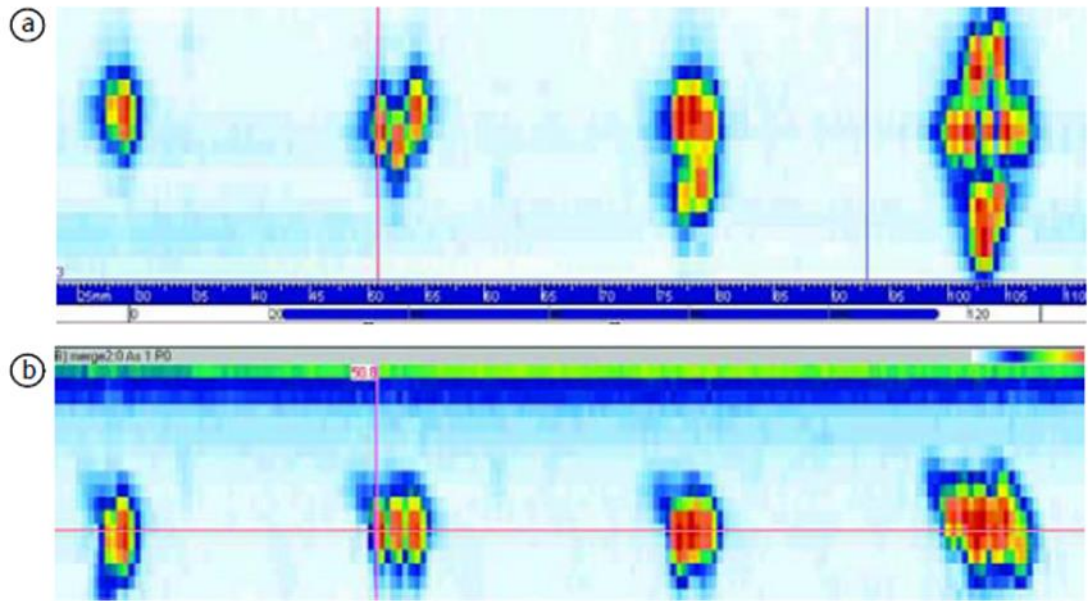
Şekil 3.17. Birleştirilmiş verileri kullanarak suni kusurların ileri görüntülenmesi: kusurlar ve tarama alanı (üstte), birleştirilmiş B-tarama ekranı (altta) (Olympus, 2007).

Boyuna dalga ve kesme dalgaları kombinasyonu az prop hareketi ile algılama ve boyutlandırma için çok yararlı olabilir (Şekil 3.18.). Bu taramada aktif açıklık algılama ve boyutlandırma açılarını optimize etmek için taşınabilir.



Şekil 3.18. Boyuna dalga (1) ve kesme dalgalarının (2) kombinasyonunu kullanarak kusurların saptanması ve boyutlandırılması (Olympus, 2007).

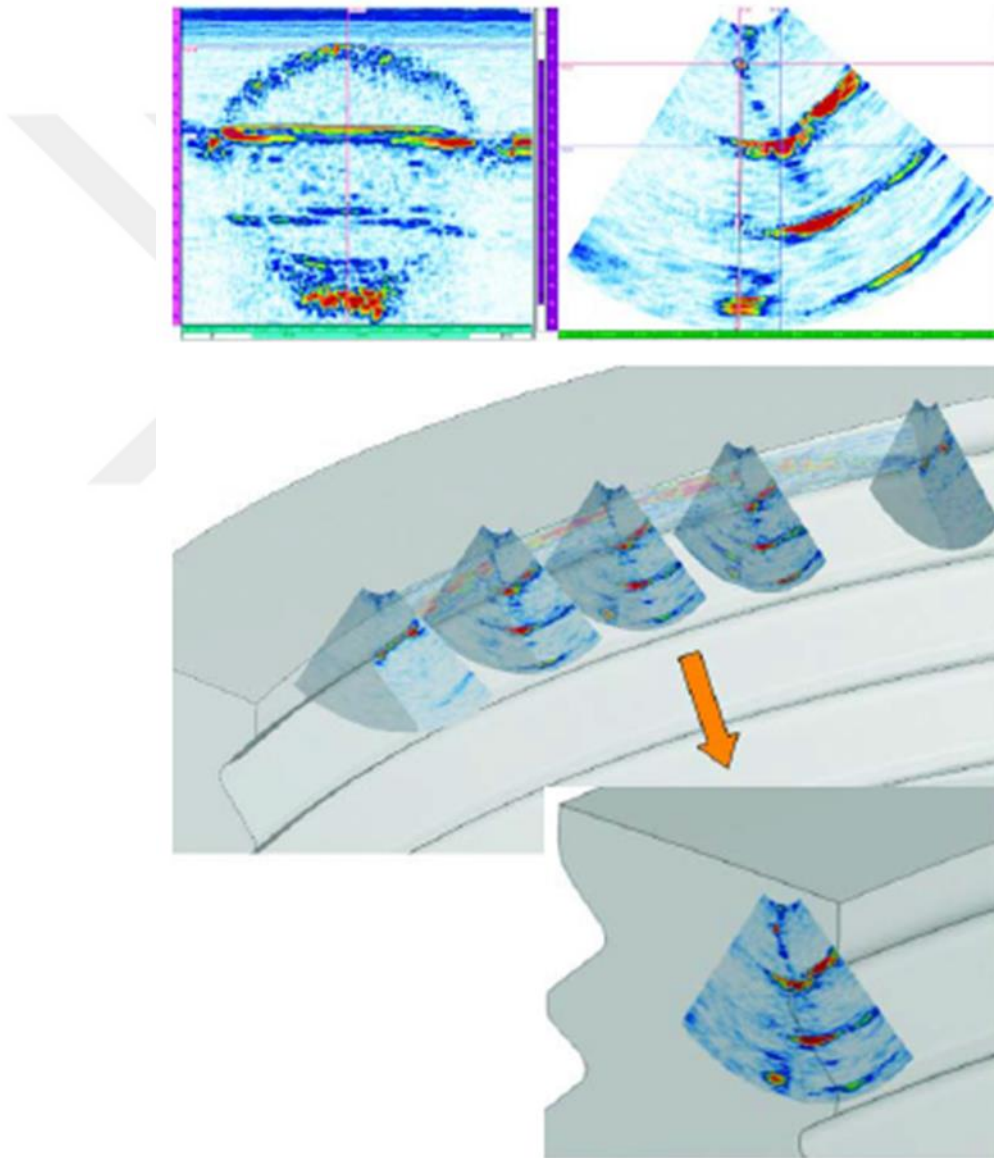
Silindirik, elips veya küresel odaklı dalgalar daha iyi bir sinyal-gürültü oranına (çözünürlük kabiliyeti) ve farklı dalgalardan gelen daha dar bir yayılıma sahiptir. Şekil 3.19. küresel hataların silindirik odaklı bir dalga ile ayrımını göstermektedir.



Şekil 3.19. Küresel hataların birbirinden ayrılması (çözünürlük) (a) C-tarama, (b) B-tarama (Olympus, 2007).

Gerçek zamanlı taramada prop hareketi ile kusur tespiti 3-boyutlu bir görüntülemeye birleştirilebilir (Şekil 3.20.). Bu yöntem şu avantajları sağlar:

- Yüksek çözünürlük
- Kusur konumu
- Doğru kusur şekli görüntülenmesi
- Operatörler ve müşteriler için yüksek kaliteli raporlar
- Kusur tespiti ve boyutlandırma için çok yönlü görselleştirme.



Şekil 3.20. Sektörel tarama ile karmaşık bir kesitte yakınlştırılarak gelişmiş veri analizi örneği (Ciorau, 2005).

3.4. Phased Array Teknolojisinin Sınırlamaları ve Geliştirilmesi

Phased array teknolojinin belirtilen sayısız avantajlarının yanı sıra bu teknolojinin uygulanmasını sınırlayabilecek belirli sorunlar Tablo 3.1.'de listelenmiştir (Gros, 2002).

Tablo 3.1. Phased array ultrasonik teknolojinin sınırlamaları

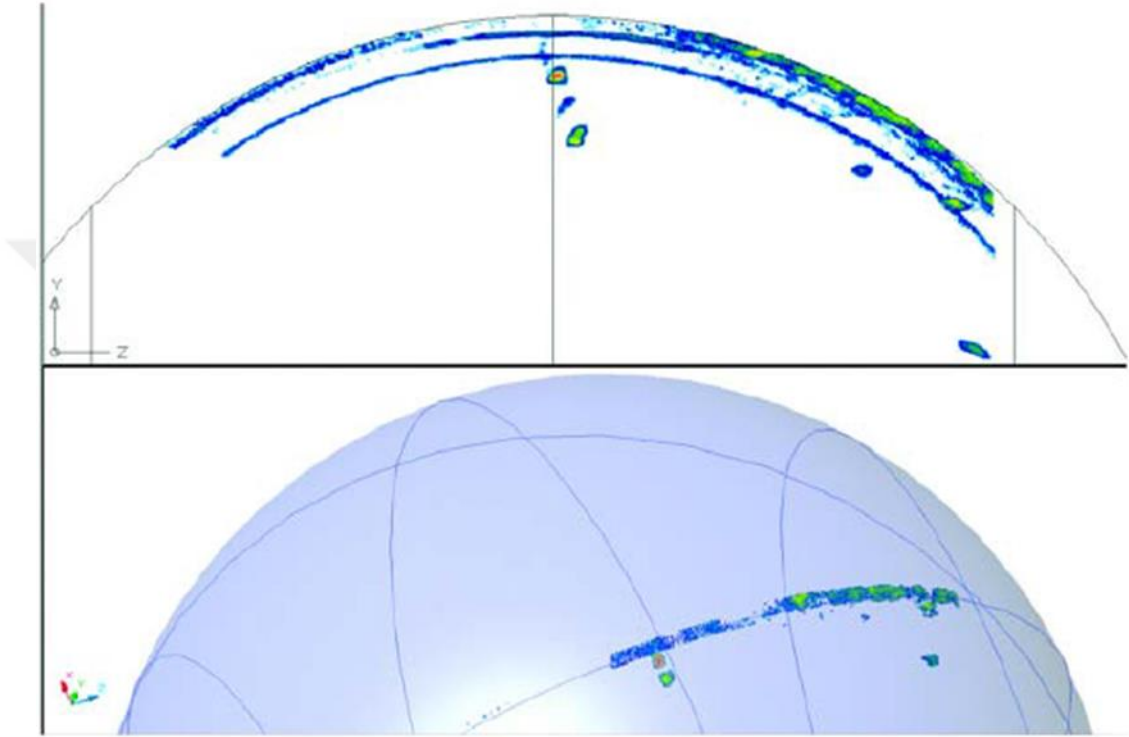
Sorunlar	Ayrıntılar
Pahalı ekipmanlar	Ekipmanlar konvensiyonel ultrasonik ekipmanlarından 10-20 kat daha pahalıdır.
Propalar pahalı ve teslimat süreleri uzundur	Similasyon ihtiyacı Konvensiyonel UT proplarından 12-20 kat pahalı ücretler
Gelişmiş ultrasonik bilgisi olan yetenekli operatörler	Disiplinli bir teknik, ultrasonik, mekanik ve bilgisayar becerileri Büyük ölçekli muayenelerde insan gücü Phased array temel eğitimi
Kalibrasyon çok kompleks ve uzun zaman harcıyor	Prop ve sistem için birden fazla kalibrasyon gerekli Periyodik ve rutin fonksiyon kontrolleri uzun zaman harcıyor
Veri analizi ve çizimi uzun zaman harcıyor	Hata analizlerinin fazlalığı yorumlama ve analiz sürelerini uzatıyor Birden fazla A-taramaya bağlı sayısız sinyaller analiz ve işleme gerektiriyor
Yöntem standardı olmaması	Phased array teknolojinin karmaşıklığı nedeniyle mevcut standartlara entegre edilmesi zordur Phased array standardı mevcut değildir Prosedürler çok spesifik

TOFD metoduyla karşılaştırıldığında phased array yöntemi aşağıdaki özellikleri nedeniyle avantaj sağlamaktadır:

- Geleneksel ultrasonlara benzer bir darbe-tankı tekniğinin kullanılması
- Odaklanmış ses dalgalarının gelişmiş bir sinyal-gürültü oranı ile kullanılması
- 2-boyutlu ve 3-boyutlu veri çizimi ile prop hareketi direk olarak tarama verileri ile bağlantılıdır
- Sektörel tarama verileri operatörler tarafından kolaylıkla anlaşılır
- Diğer görüntüleme tekniklerine nazaran S-tarama ve E-tarama görüntüleri güçlü bir görüntüleme aracı sunar.

- Tek bir kurulumda farklı inceleme konfigürasyonlarının birleştirilmesi incelenmesi zor bileşenlerin analizini kolaylaştırır.

Şekil 3.21. kusurların 3-boyutlu görüntülenmesiyle phased array teknolojisinin gelecekteki potansiyelinin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 3.21. Küresel bir parça üzerinde yandan açılmış deliklerin 3-boyutlu görselleştirme örneği (Reilly, 2006).

3.5. Tarama Örnekleri ve Ultrasonik Görünümler

Bu bölümde Phased Array sistemlerinde kullanılan analiz modları ve tipik ultrasonik veri görüntüleri açıklanmıştır.

3.5.1. Tarama örnekleri

Güvenilir hata tespiti ve boyutlandırma tarama modelleri ve tarayıcı ile Phased Array sinyali arasındaki özel işlevsel kombinasyonlara dayanır.

Muayene;

- Otomatik: Prop otomatik bir tahrik ünitesi tarafından taşınır.
- Yarı otomatik: Prop el ile hareket ettirilir ancak hareket ve veri kodlanır.
- Manuel: Prop el ile hareket ettirilir, veriler edinme zamanı dikkate alınarak kaydedilir veya kaydedilmez.

Prop Tablo 3.2.'de verilen muayene sıralarından herhangi birinde hareket ettirilebilir.

Tablo 3.2. Otomatik ve yarı otomatik tarama örnekleri için muayeneler.

Tarama örnekleri	Tarama ekseni sayısı	Açıklama
Lineer	1	Tüm veriler tek bir aksinel geçişte kaydedilir (Şekil 2.1.).
Çift yönlü	2	Veriler her iki tarama yönünde de kaydedilir (Şekil 2.4.).
Tek yönlü	2	Tarama verileri yalnız bir tarama eksenini boyunca kaydedilir, prop her tarama eksenini boyunca ileri geri hareket ettirilir (Şekil 2.4.).
Eğik/Açılı	2	Tarama eksenine göre açılı bir ana tarama doğrultusuna sahip yek yönlü veya çift yönlü taramalardır (Şekil 2.5.).
Helezonik	1	Tarama helezonik bir yönde silindirik boyunca gerçekleştirilir (Şekil 2.6.).
Spiral	1	Tarama dairesel bir yüzeyde spiral bir yol boyunca gerçekleştirilir (Şekil 2.7.).
Özel	1-6	Kompleks malzemeler için kullanılır.

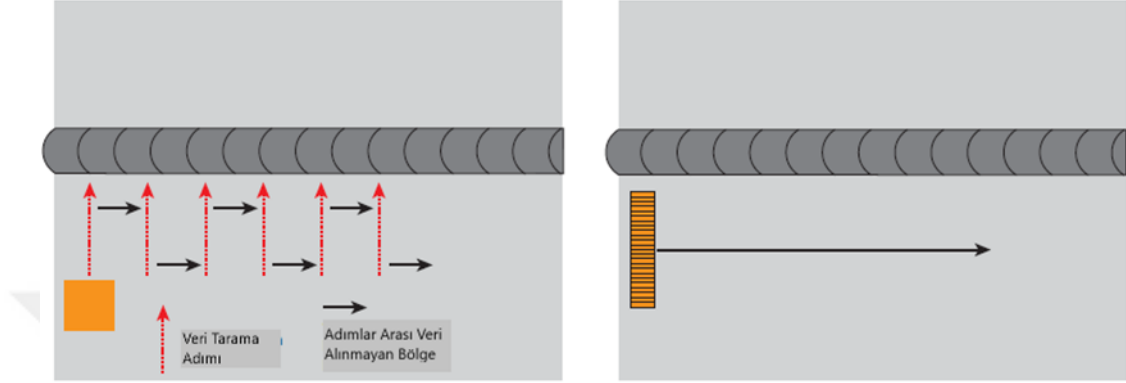
3.5.1.1. Lineer (doğrusal) tarama

Lineer tarama veri konumunu belirlemek için yalnız bir konum enkoderi kullanılan bir tarama dizisidir.

Lineer tarama tek boyutludur ve doğrusal bir yol boyunca ilerlemektedir. Sağlanması gereken tek ayar tarama hızıdır ve veriler arasındaki boşluk tarayıcı ve enkoder çözünürlüğüne bağlıdır.

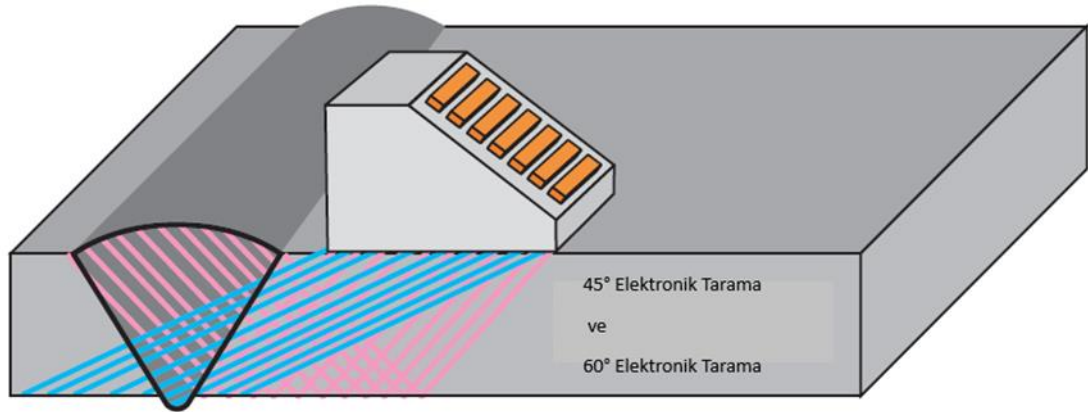
Lineer taramalar kaynak muayeneleri ve korozyon haritalandırma gibi uygulamalar için sıklıkla kullanılır. Lineer taramalar eşdeğer konvensiyonel ultrasonik tarama metodlarından genellikle daha hızlıdır.

Şekil 3.22. tipik bir ultrasonik taramayı (sol) ve eşdeğer bir lineer taramayı (sağ) göstermektedir. Lineer tarama, tarama yönünü değiştirdiği bölgelerde zaman açısından tasarruf sağlar çünkü phased array probu element dizileri mekanik tarayıcıların hareket edebileceğinden çok daha hızlı darbeler gönderir.



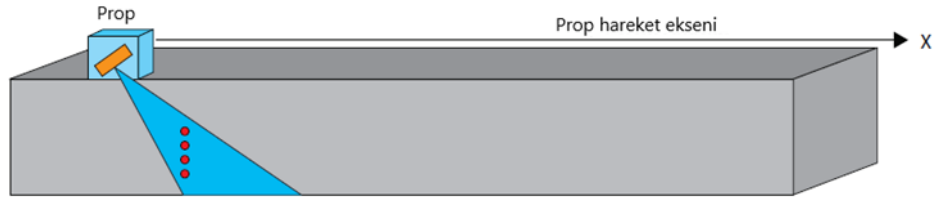
Şekil 3.22. Konvansiyonel ultrasonik tarama (sol) ve lineer tarama (sağ). (Olympus, 2007)

Lineer tarama esnasında phased array probu elektronik tarama, S-tarama ya da çoklu tarama sinyalleri yayar. Kurulum ve cihaz özelliklerine bağlı olarak birden fazla tarama yapılabilir. Örneğin Şekil 3.23. iki açıdaki elektronik tarama örneklerini göstermektedir. Bu taramalarda çoklu S-taramaları ve kombinasyonları mümkündür.



Şekil 3.23. Lineer tarama için tipik çift açılı doğrusal tarama modeli.

Lineer taramalar yandan açılmış delikli bir kalibrasyon bloğunda prop kalibrasyonu için uygundur (Şekil 3.24.).



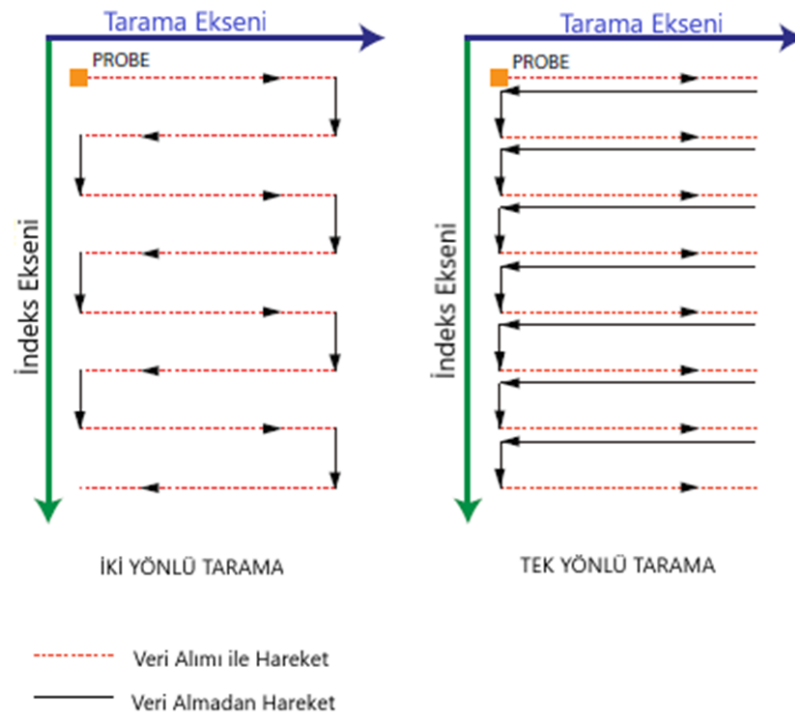
Şekil 3.24. Prop kalibrasyonunda lineer tarama örneği. (Olympus, 2007)

3.5.1.2. Çift yönlü tarama

Çift yönlü bir taramada veri toplama işlemi hem ileri hem de hem de tarama eksenini boyunca geriye doğru sağlanır (Şekil 3.25.).

3.5.1.3. Tek yönlü tarama

Tek yönlü taramada veri toplama işlemi yalnızca bir tarama eksenini boyunca gerçekleştirilir. Tarayıcı daha sonra başka bir eksene yönlendirilir. Kırmızı çizgi tarama eksenini temsil eder (Şekil 3.25.).

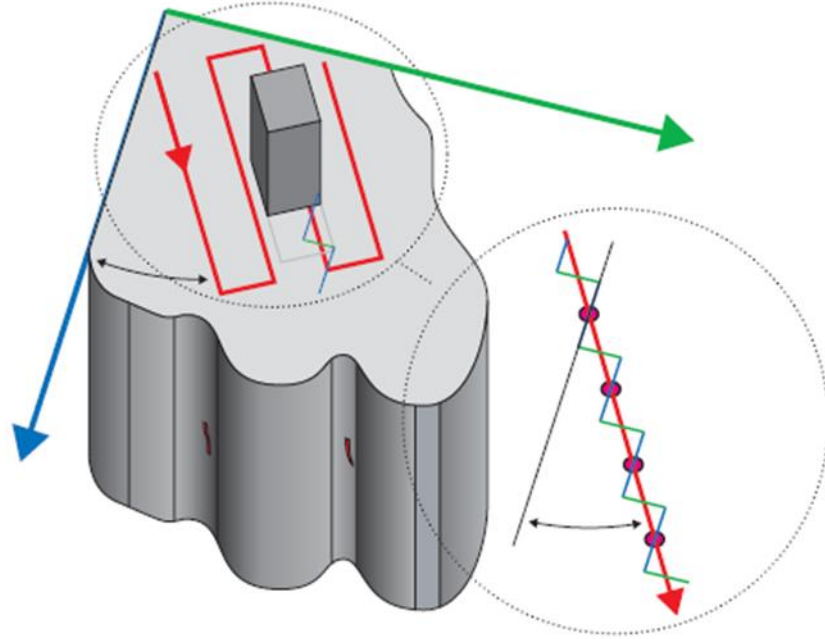


Şekil 3.25. Çift yönlü (sol) ve tek yönlü (sağ) tarama (Olympus, 2007).

3.5.1.4. Eğik/açılı tarama

Açılı tarama standart iki yönlü tarama dizisinden türetilmiştir. Bu tarama, yazılım tarafından ses dalgalarının tarama eksenini boyunca eğilmesine olanak tanır. Bu açı mekanik tarama ekseninden farklıdır. Şekil 3.26. tarama yörüngesine karşılık olarak gerçek prop hareketini göstermektedir.

Açılı tarama prop muayene parçasında tarama eksenine yerleştirilemediğinde veya hata yönünün optimum algılama ve boyutlandırma için özel bir tarama eksenini çizilmesi gereken durumlarda kullanılır. Muayene parçasının yönlendirilmesine uygun bir tarama eksenini seçildiğinde pahalı prop değişiklikleri ortadan kaldırılarak hata analizi kolaylaştırılır.

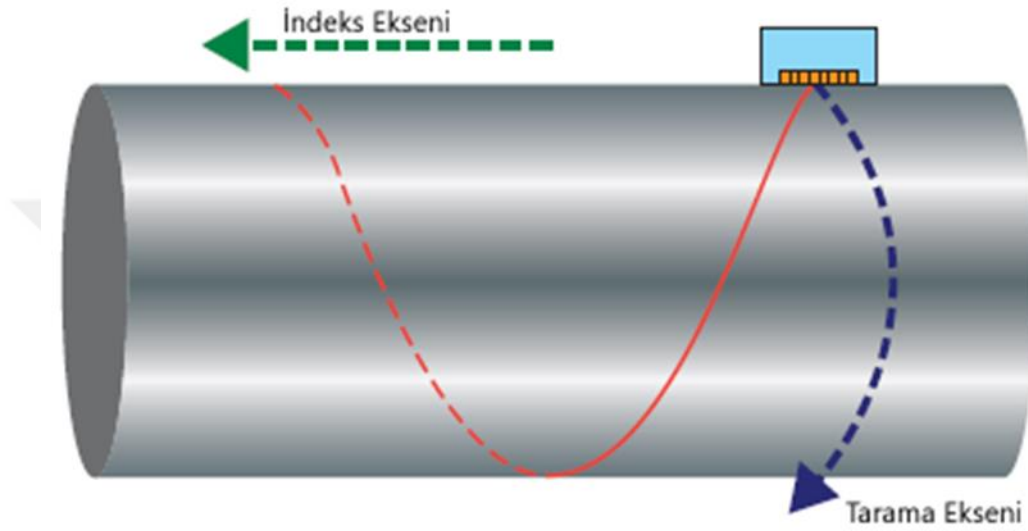


Şekil 3.26. Açılı çift yönlü tarama örneği. Sol: karmaşık bir kesitte tarama modeli. Sağ: prop yörüngesi (kırmızı çizgi) (Olympus, 2007).

3.5.1.5. Helezonik tarama

Helezonik tarama silindirik yüzeyleri incelemek için kullanılır. Prop silindir çevresinde helezonik bir hareket gerçekleştirir.

Tarama sırasını iki bağımsız enkoder kontrol eder. Tarama eksenini enkoderi silindir etrafında sürekli dönüşü kontrol ederken endeks eksenini enkoderi silindirin yüzeyi boyunca sürekli hareketi kontrol eder. Silindir etrafındaki her dönüşten sonra tarama eksenini enkoderi sıfır konuma sıfırlamak için bir senkronizasyon sinyali kullanır. Bu iki hareketin kombinasyonu helezonik tarama modelini oluşturur (Şekil 3.27.).

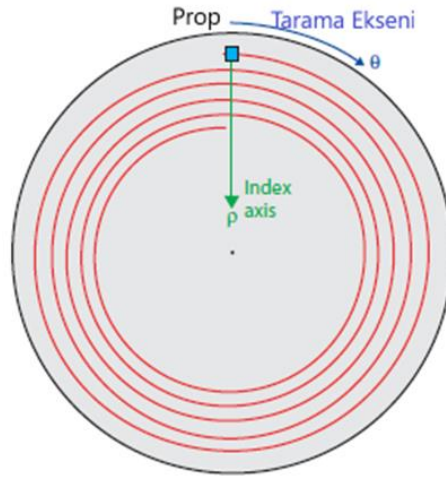


Şekil 3.27. Silindir parçalarda helezonik tarama muayenesi. (Kırmızı çizgi tarama yoludur) (Olympus, 2007).

Helezonik taramalar büyük boruların ve tüplerin hacimsel muayenesinde kullanılır. Uygulamada helezonik taramalar muayene parçasını döndürerek veya probu hareket ettirerek gerçekleştirilir.

3.5.1.6. Spiral tarama

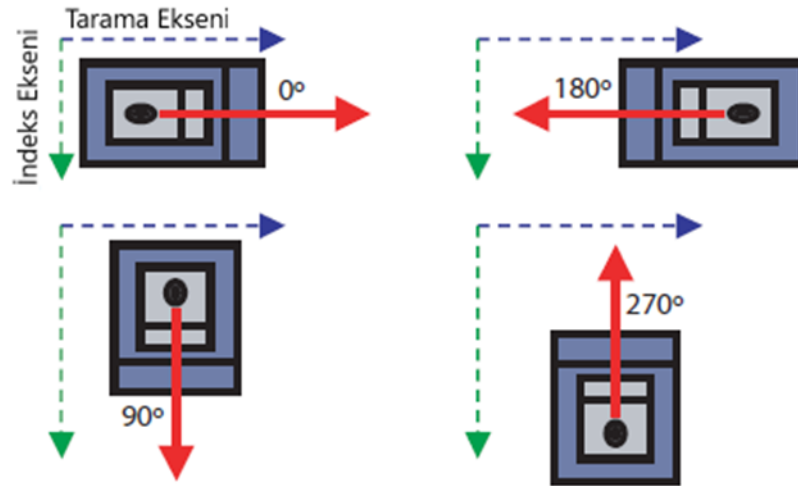
Spiral tarama diskler gibi dairesel yüzeyleri incelemek için uygulanır. Muayene mekanizması dairesel yüzey üzerinde spiral bir hareket ile gerçekleştirilir (Şekil 3.28.). İki bağımsız enkoder tarama yolunu kontrol eder. Tarama eksenini enkoderi yüzey merkezi çevresinde sürekli dönüşte teta açısını (θ) kontrol ederken endeks eksenini enkoderi yarıçap boyunca sürekli harekette yarıçap pozisyonunu (ρ) kontrol eder. Her dönüşten sonra tarama eksen kodlayıcısını sıfırlamak için bir sinyal kullanır.



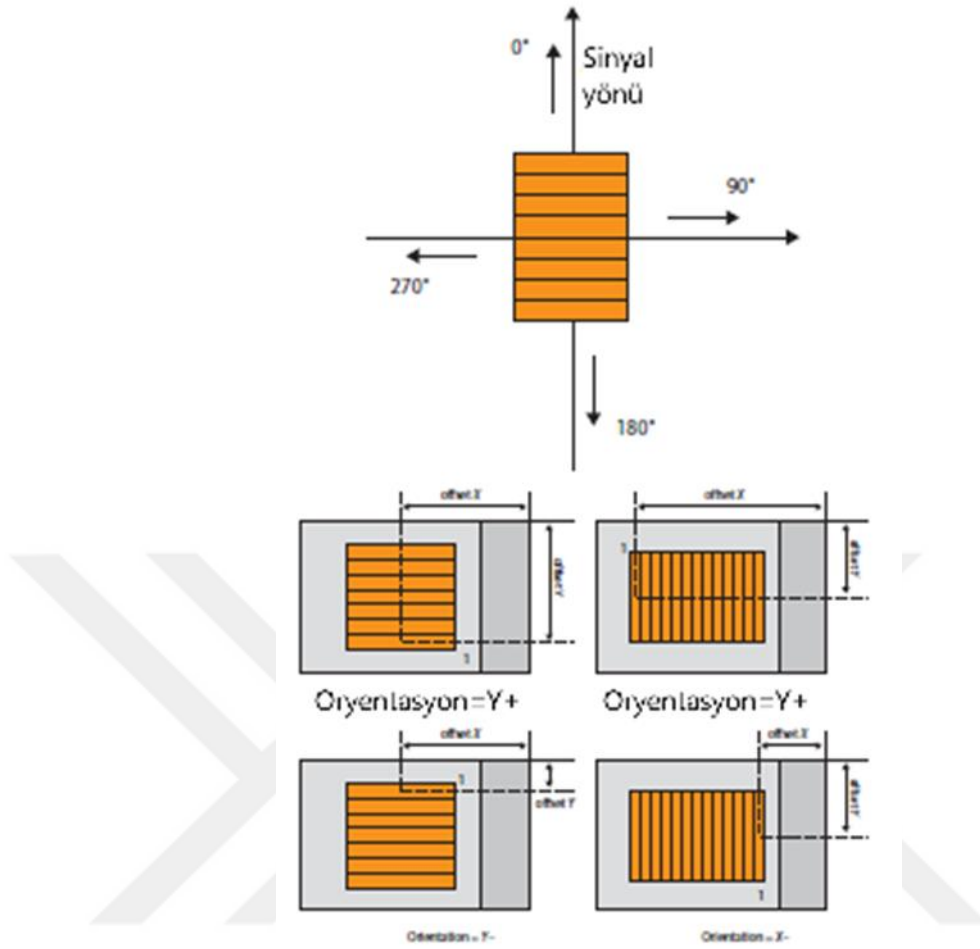
Şekil 3.28. Spiral yüzey tarama modeli (Olympus, 2007).

3.5.1.7. Sinyal yönleri

Phased array probunun sinyal yönü tarama ve indeks eksenleri yönlerinden farklı bir yöne sahip olabilir. Bu yönlerin tanımları ve açı değerleri Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.'da gösterildiği gibi bir phased array cihazına ve yazılım seçeneklerine bağlıdır. Bu yönler prop sapma açısı olarak tanımlanır.



Şekil 3.29. Tarama ve indeks eksenleri ile ilgili prop konumu ve sinyal yönü (Olympus, 2007).



Şekil 3.30. Sinyal yönü kombinasyonları (Olympus, 2007).

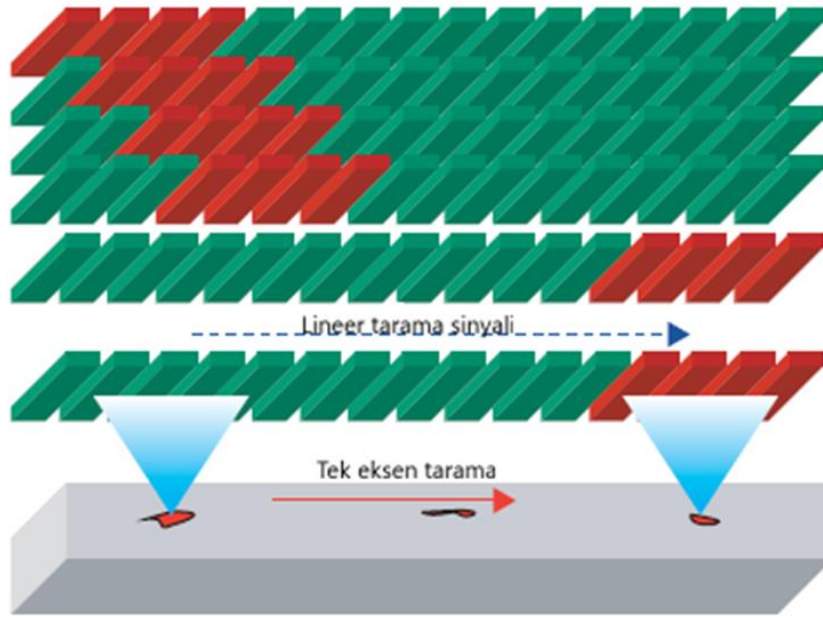
Muayene yüzeyinin sınırlamaları ve bulgular arasındaki boşluk ultrasonik verilerin piksel boyutunu (çözünürlük) belirler.

3.5.1.8. Diğer tarama modelleri

Muayene parçası, prop hareketi ve sinyal yönü aşağıdaki kombinasyonların herhangi biri için tarama modelleri oluşturabilir.

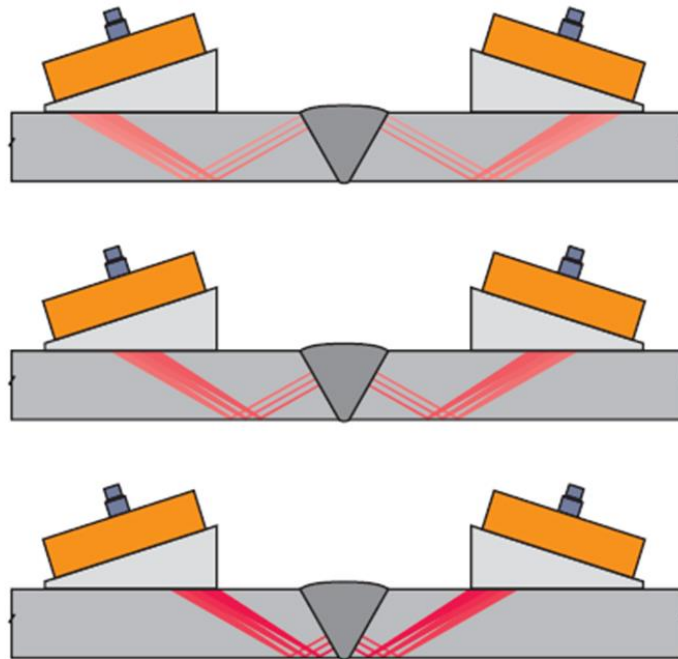
Tablo 3.3. Muayene sırası muayene parçası tarayıcı ve sinyal bağılılığı.

Muayene Parçası	Tarayıcı	Sinyal	Muayene
Sabit	Sabit	Lineer (Hareketli)	Lineer Tarama
Sabit	İndeks eksen	Lineer (Rotasyonlu)	Helezonik Tarama
Hareketli	Sabit	Lineer (Rotasyonlu)	Helezonik Tarama
Sabit	Tarama eksen	Lineer (90° açılı)	Tek Boyutlu Tarama

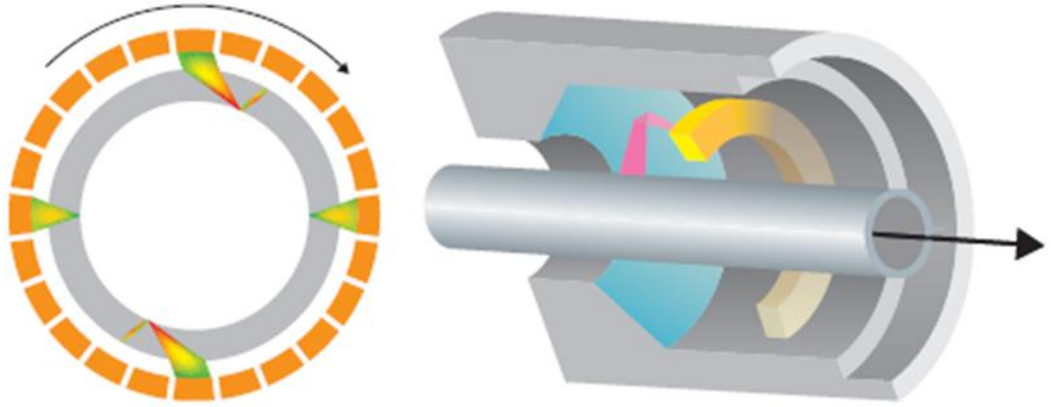


Şekil 3.31. Elektronik sinyal tarama prensibi (Parça ve prop sabit) (Olympus, 2007).

Kaynak muayenelerinde prop indeksi (konvensiyonel UT) phased array probu element dizileri tarafından elektronik olarak yok edilir. Bu sayede muayene hızı ve güvenilirliği artmaktadır. Bu tarz muayenelerde takozlar genellikle aşınmayı azaltmak ve sinyal açılarını optimize etmek için kullanılır (Şekil 3.32.).



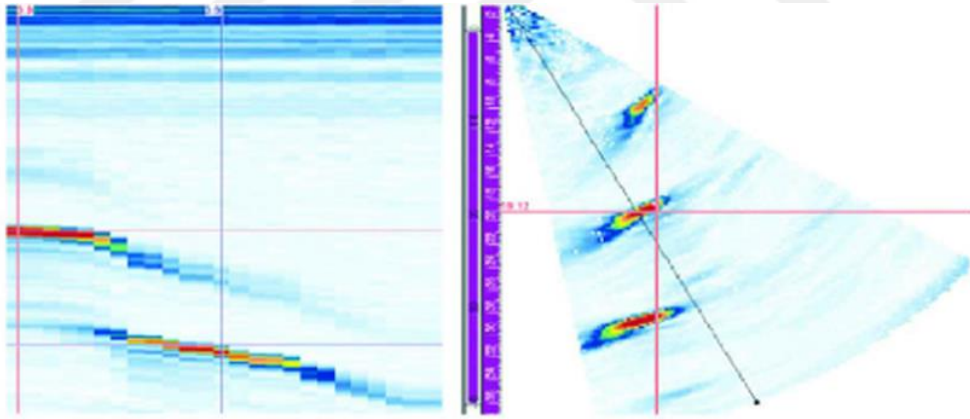
Şekil 3.32. Kaynak muayenesinde elektronik ve lineer tarama prensibi (Olympus, 2007).



Şekil 3.33. Muayene parçası çevrilerek sinyal rotasyonu yoluyla helezonik tarama prensibi (Olympus, 2007).

3.5.1.9. Zaman esaslı tarama

Enkoder zamana dayalı ayarlanırsa sinyal verileri tarama süresine (saniye) göre gösterilir (Şekil 3.34.). Bu tarz taramalar hata tespiti ve boyutlandırma için kullanılır ancak hata çizimi için kullanılmamalıdır.



Şekil 3.34. B-tarama ve S-tarama için zaman esaslı tarama örnekleri (Olympus, 2007).

3.5.2. Ultrasonik görüntümler

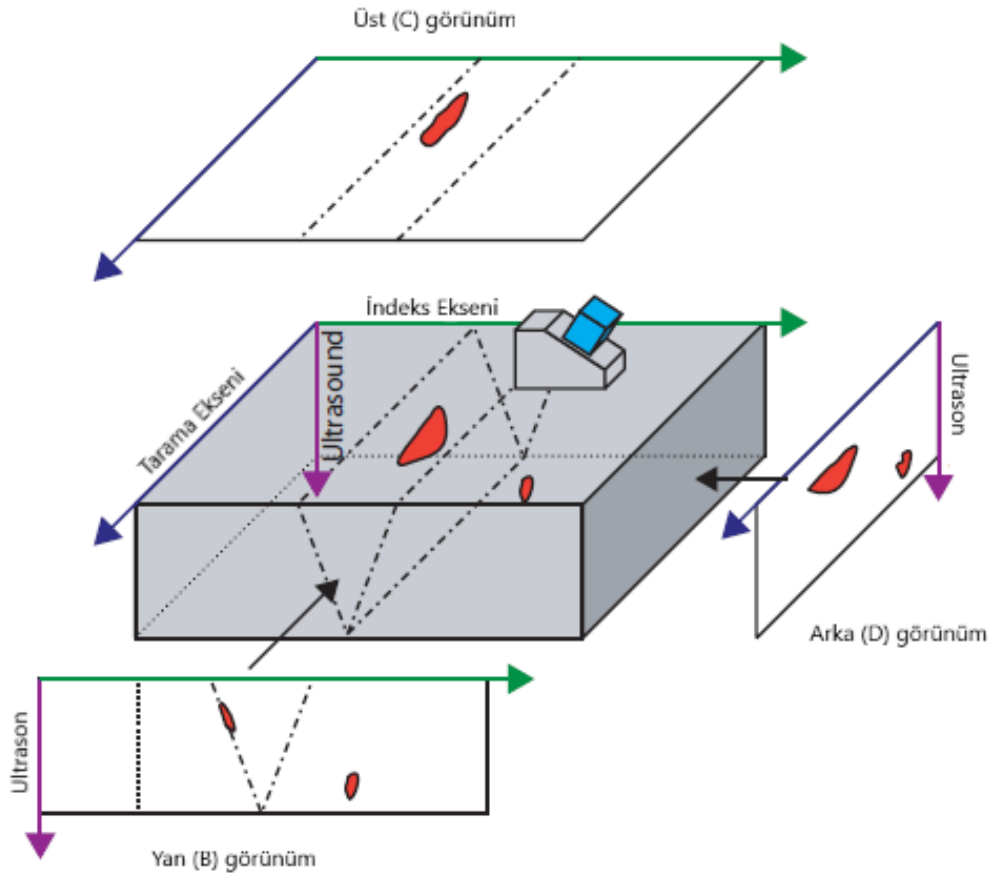
Ultrasonik görüntüler, ses yolu ve tarama parametreleri tarafından tanımlanan görüntülerdir. Bir teknik çizimin 2-boyutlu projeksiyonlarına ait en önemli görüntüler Şekil 3.35.'de sunulmuştur. Bu görüntüler C-tarama, B-tarama ve D-tarama olarak üst, yan ve arka görüntümleri yansıtır.

Eğer prop açısı 0° (veya 180°) ise yan görünüm B-tarama, arka görünüm D-tarama olur ve bunun tersi de geçerlidir. B-taraması derinlik ve prop hareket eksenleri ile tanımlanır. D-taraması ise derinlik ve elektronik tarama eksenini tarafından tanımlanır.

Temel ultrasonik görüntümler;

- A-tarama
- B-tarama
- C-tarama
- D-tarama
- S-tarama
- Polar görünüm
- Bant grafiği (genlik ve/veya konum)
- TOFD görüntüsü (B-taramanın özel ölçekli uygulaması)

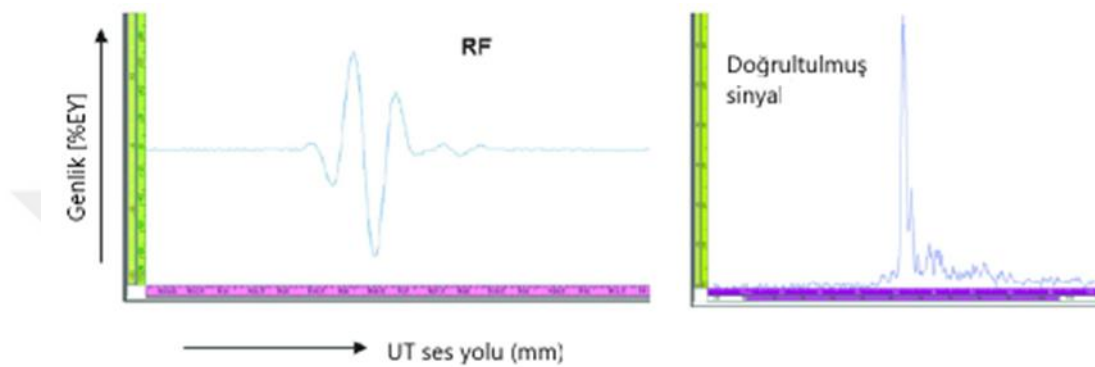
Bu görüntülerin üst, yan, arka veya üst, yan, TOFD gibi kombinasyonları da vardır.



Şekil 3.35. Ultrasonik görüntümler (B-tarama, C-tarama ve D-tarama) (Olympus, 2007).

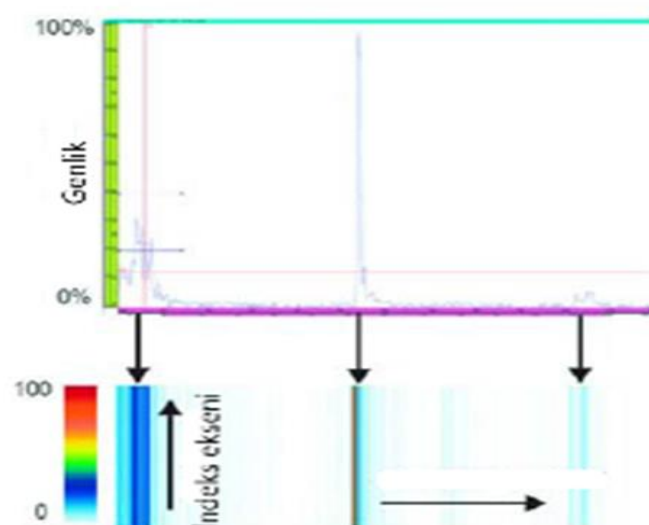
3.5.2.1. A-tarama

A-tarama, ultrasonik titreşimlerin genliği (% ekran yüksekliği) ve ultrasonik ses yoluna karşı alınan uçuş zamanının (mikrosaniye) bir göstereimidir. A-taraması RF (radyo frekansı) veya iki kutuplu doğrultulmuş sinyal olarak gösterilebilir (Şekil 3.36.).

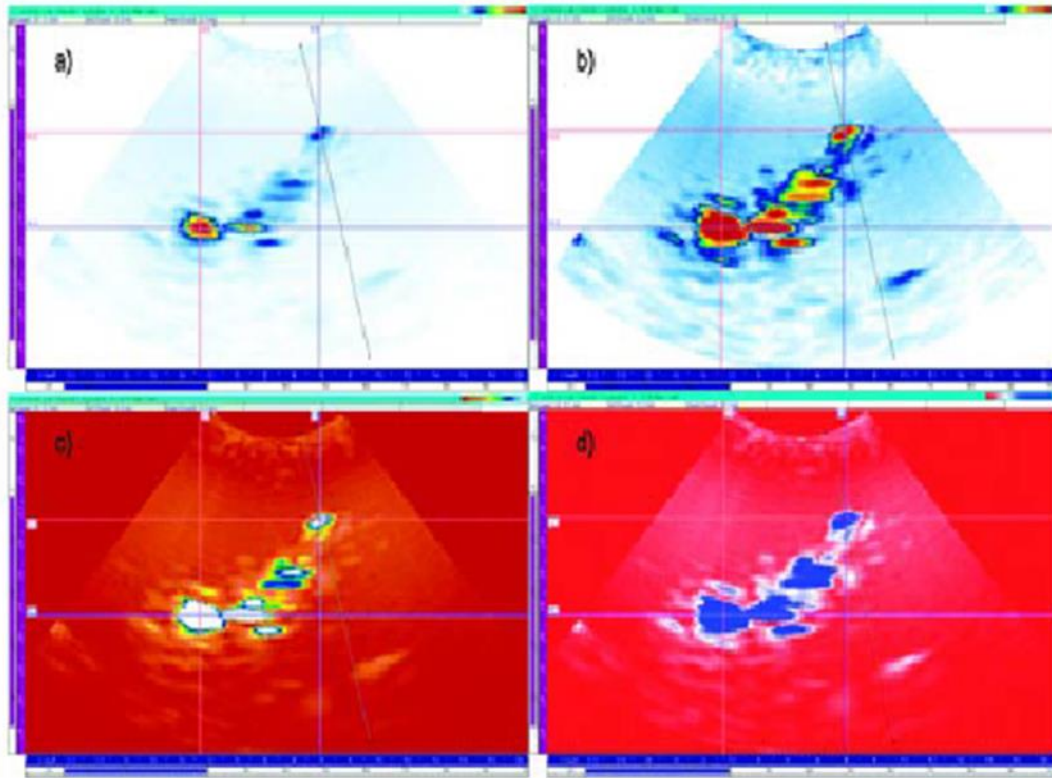


Şekil 3.36. A-tarama görünümü. Sol:RF sinyali, Sağ: Doğrultulmuş sinyal (Olympus, 2007).

Doğrultulmuş A-tarama sinyal genliğinin renk kodlaması prop hareket koordinatlarını farklı genliklerde farklı renk tonlarıyla ultrasonik verilerle görüntülemeyi sağlar (Şekil 3.37.). Renk skalası isteğe bağlı renkler kullanılarak özelleştirilebilir (Şekil 3.38.).

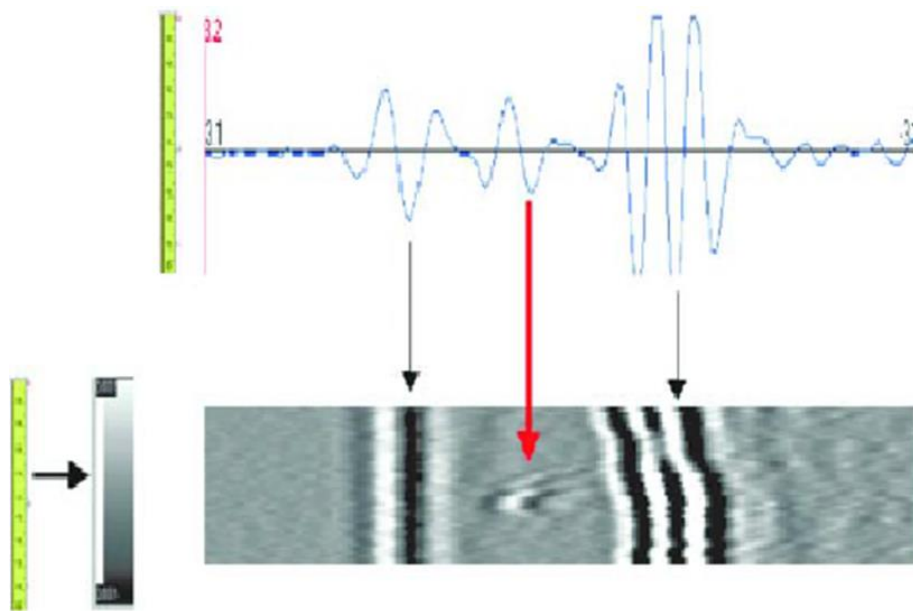


Şekil 3.37. Renk kodlu bir B-tarama görüntüsü oluşturmak için kullanılan renk kodlu A-tarama sinyalinin görünümü (Olympus, 2007).



Şekil 3.38. Yorulma çatlaklarının muayenesinde farklı renk paleti seçeneklerine örnekler (R/D Tech,2003).

RF ekranlı ultrasonik veriler genellikle siyah ve beyaz sınırları içerisinde (-%100 ila %100) gri tonlarında piksel olarak kodlanır. Gri tonlarında genlik kodlaması TOFD kurulumları ve veri analizinde kullanılır (Şekil 3.40.).



Şekil 3.39. RF sinyal genliklerinin gri tonlama seviyesinde kodlanması (Olympus, 2007).

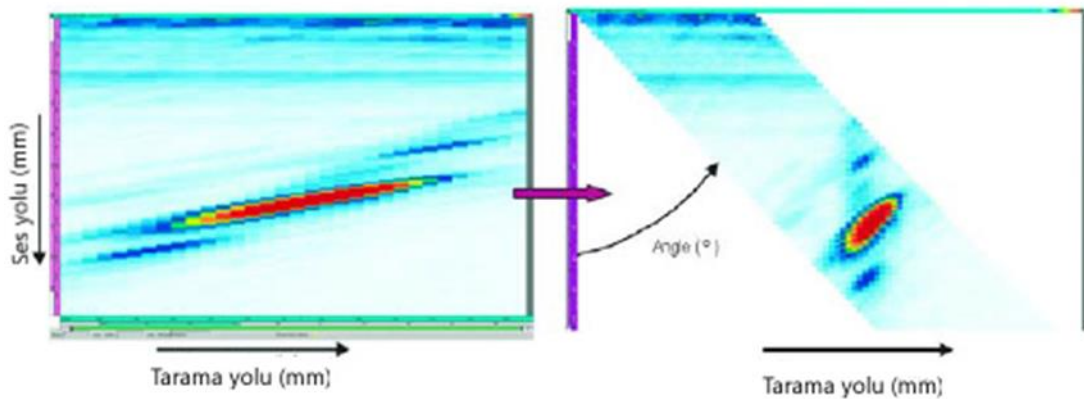
3.5.2.2. B-tarama

B-tarama kaydedilmiş ultrasonik verilerin 2-boyutlu görünümüdür. Genellikle yatay eksen tarama konumu, dikey eksen ise ses yolu veya zamanı gösterir ve gerekli durumlarda bu veriler ters çevrilebilir. Veri edinimi anındaki enkoder konumu verilerin konumunu gösterir. Esasen B-tarama birçok A-tarama dizisinden meydana gelir. Her A-tarama verisi bir enkoder/zaman konumu ile temsil edilir. B-tarama görünümünde A-taramaların sayısı aşağıdaki formülle verilir:

$$N_{A-tarama} = \frac{Tarama\ uzunlu\u{g}u(mm)}{Tarama\ \c{oz}u\u{m}u\u{r}lu\u{g}u\ (mm)} \quad (3.2)$$

A-tarama sinyal genliklerinin renk paleti kullanılarak renk kodlaması yapılabilir. Bu sayede üstüste gelen A-taramalarından alınan görüntü B-taraması olarak adlandırılır. Bu sayede sinyal yayılımı ve diğer faktörlerden dolayı bozulan kusur boyutu B-tarama görüntüsü ile netleştirilir. Yine de kusur boyutunun tam boyutlandırılması için deneyim gereklidir.

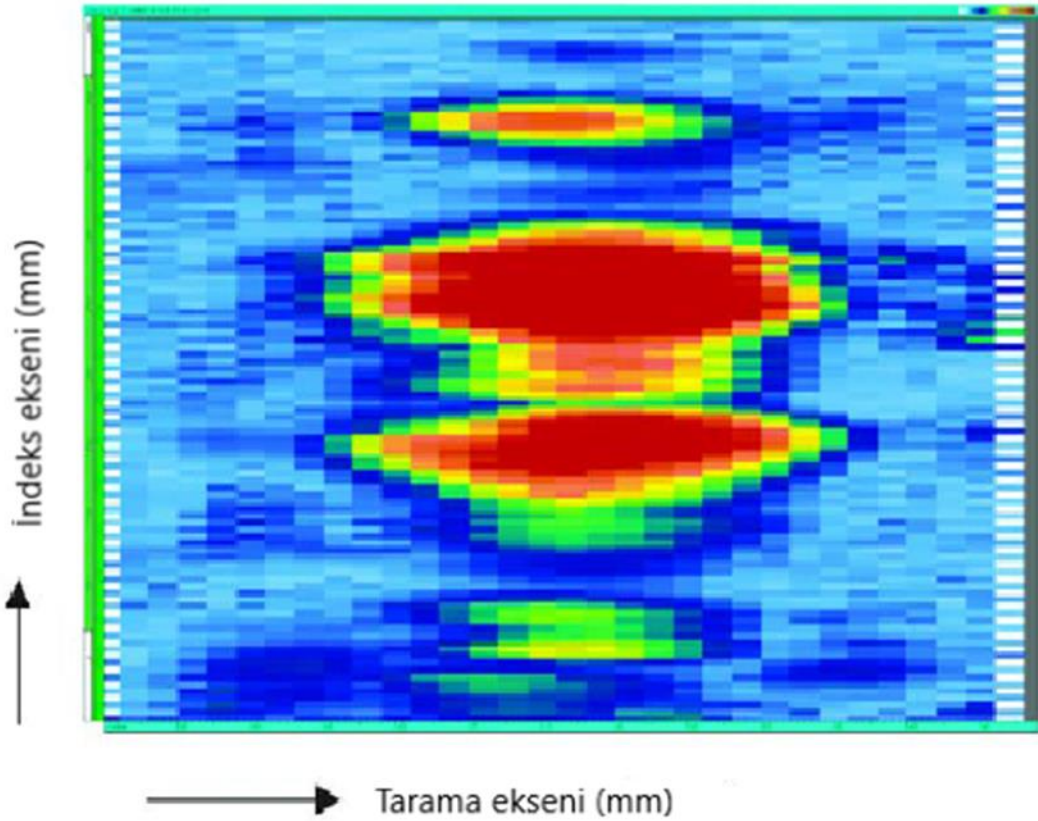
Kırılma açısı ve ses yolu gecikmesi düzeltildiğinde B-taraması, yatay eksende tarama uzunluğu ve dikey eksende derinlik ile muayene parçasının yan görünümünü temsil edecektir (Şekil 3.41. sağ).



Şekil 3.40. Düzeltilmemiş (sol) ve düzeltilmiş (sağ) B-tarama görüntüleri (Olympus, 2007).

3.5.2.3. C-tarama

C-tarama muayene parçasının üst veya plan görünümü olarak edinilen ultrasonik verilerin 2-boyutlu görünümüdür. Eksenlerden biri tarama diğeri indeks eksenidir. Konvensiyonel ultrasonik sistemlerde her iki eksen de mekanik olarak veri işler, phased array sistemlerinde bir eksen mekanikken diğeri elektrondur. Görüntülenen bulguların konumu veri alımı sırasındaki enkoderin konumu tarafından sağlanır. C-tarama görüntülerine teknik olarak her nokta için yalnızca maksimum genlik yansıtılır (Şekil 3.42.).

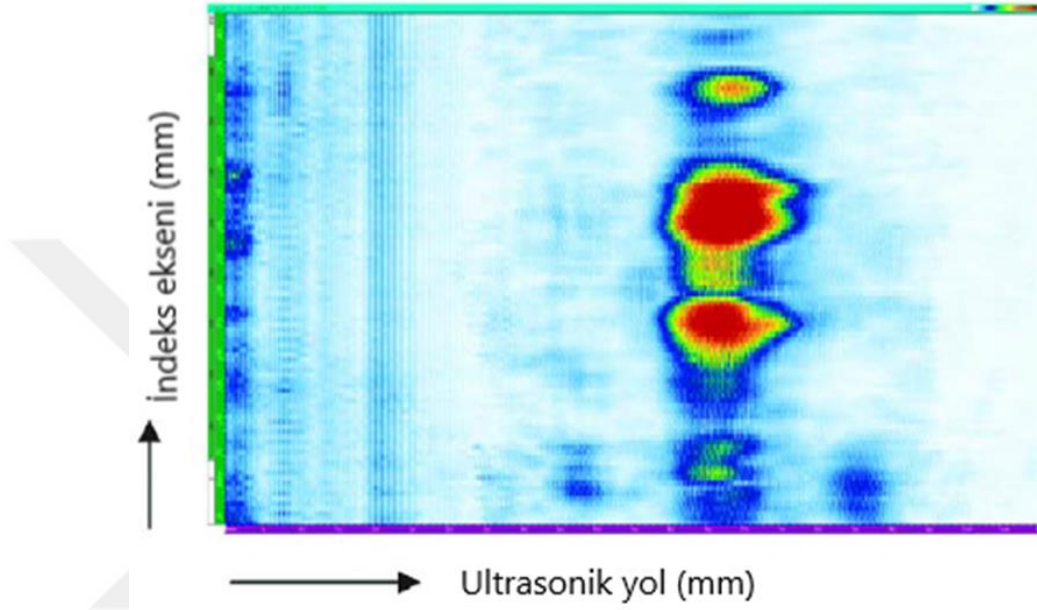


Şekil 3.41. C-tarama görüntüsü örneği (Olympus, 2007).

3.5.2.4. D-tarama

D-tarama ultrasonik verilerin 2-boyutlu grafiklendirilmesi ile B-taramasına benzer ancak B-taramanın dik açılı görünümüdür. B-taramasına yandan görünüm dersek D-

taraması arkadan görünüm olarak tanımlanır. Hem B-taramaları hem de D-taramaları önceden tanımlanmış derinlik sınırlarında verileri gösterir. Eksenlerden biri indeks eksen iken diğeri ses yoludur (Şekil 3.43.). B-tarama zamana karşı tarama eksenini konumunu görüntülerken D-tarama zamana karşı indeks eksenini konumunu görüntüler.



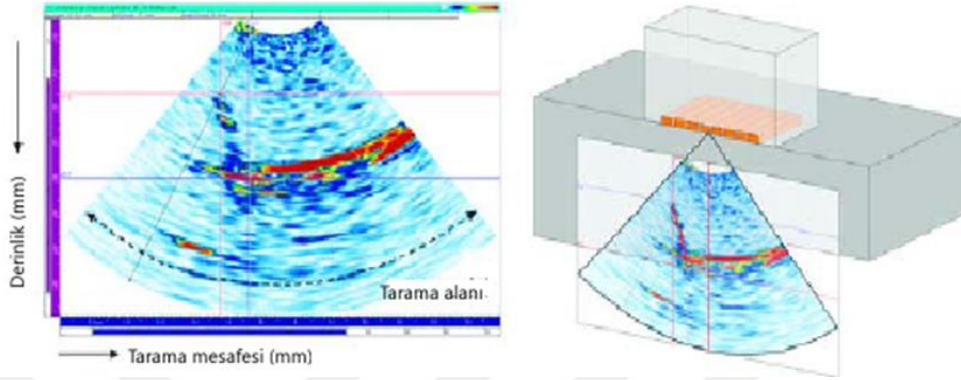
Şekil 3.42. D-tarama görüntüsü örneği. (Olympus, 2007)

Ses yolu açısı gecikme için düzeltilirse dikey eksen derinliği simgeler. D-tarama görünümü genellikle kaynak muayenelerinde kullanılır.

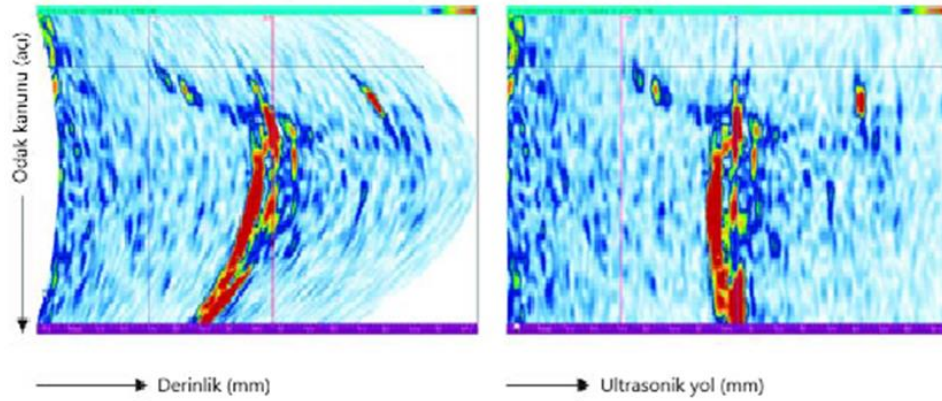
3.5.2.5. S-tarama

S-tarama (sektörel tarama) gecikme ve tarama açısı düzeltilmiş belli bir kanaldaki tüm A-taramalarının 2-boyutlu görüntüsünü temsil eder. Tipik bir S-tarama aynı odak mesafesi ve elementleri kullanarak çeşitli açı aralıklarında çalışır. Yatay eksen düzeltilmiş bir görüntü için çıkış noktasından projeksiyon mesafesine (muayene parçası genişliği) karşılık gelirken, dikey eksen derinliğe karşılık gelir (Şekil 3.44.).

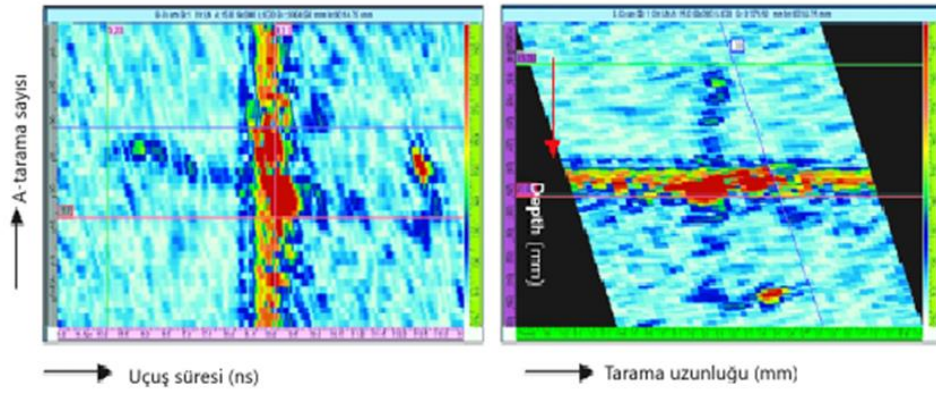
S-taramalar yazılım seçeneklerine ve odak kanununa bağlı olarak farklı şekillere ve farklı eksen değerlerine sahip olabilir. Farklı S-tarama görüntülerine ait örnekler Şekil 3.45. ile Şekil 3.46.’da gösterilmiştir.



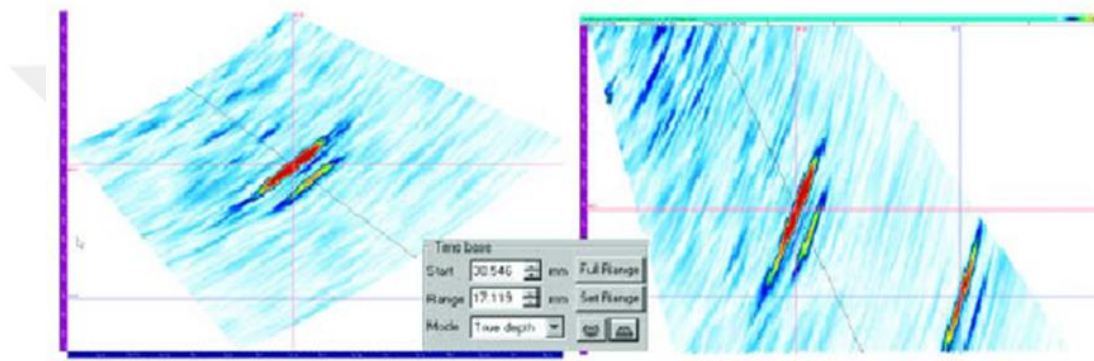
Şekil 3.43. Çatlak tespiti ve boyutlandırılması için S-tarama örneği (solda) ve izometrik görünümü (sağda) (Olympus, 2007).



Şekil 3.44. S-tarama örneği (solda) ve aynı çatlakın düzeltilmemiş sektörel taraması (sağda) (Olympus, 2007).



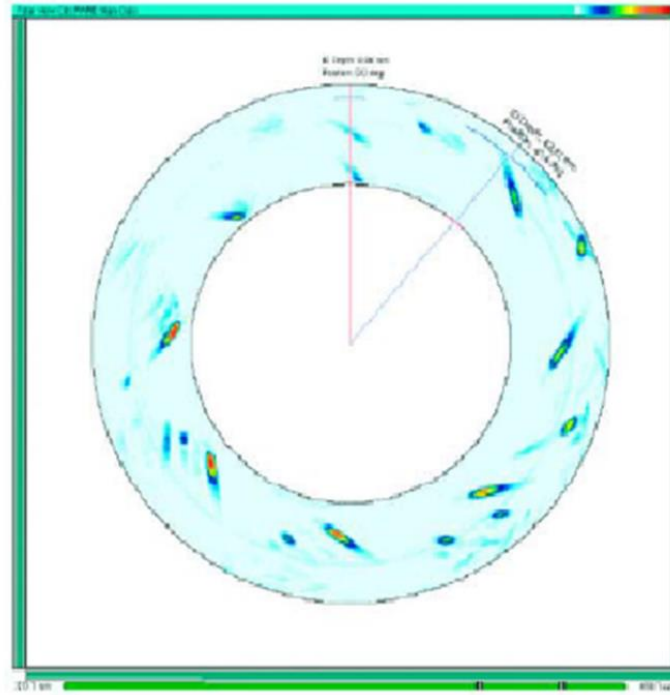
Şekil 3.45. İki farklı yatay değer için (uçuş zamanı ve derinliği) 12 mm'lik çatlakın boyutlandırılması (Olympus, 2007).



Şekil 3.46. Yandan açılmış delikleri tespit etmek için hacim düzeltilmeli (solda) ve gerçek derinlikte (sağda) S-tarama örnekleri (Olympus, 2007).

3.5.2.6. Polar görüntüleme

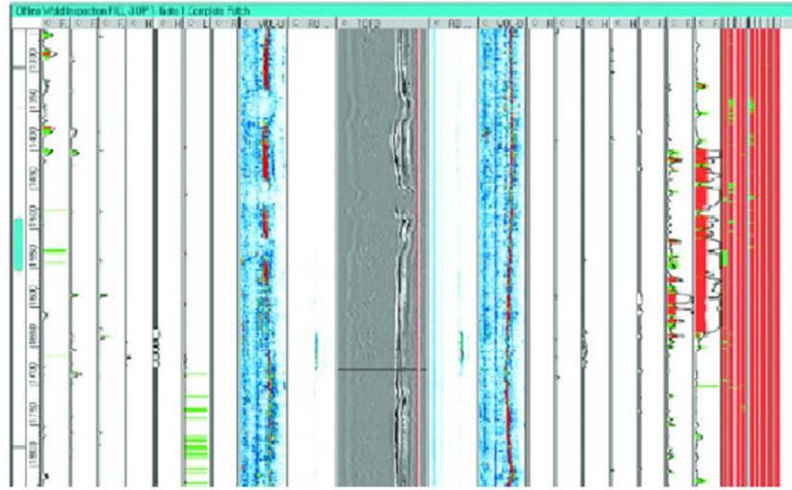
Polar görüntüleme silindirik parçaların muayenesinden elde edilen verilerin görüntülenmesini sağlayan 2-boyutlu bir görünümdür. 2-boyutlu numune çizimiyle kullanıldığında kusur yerinin tespit edilmesini sağlar.



Şekil 3.47. Polar görünüm örneği (Olympus, 2007).

3.5.2.7. Bant grafikleri

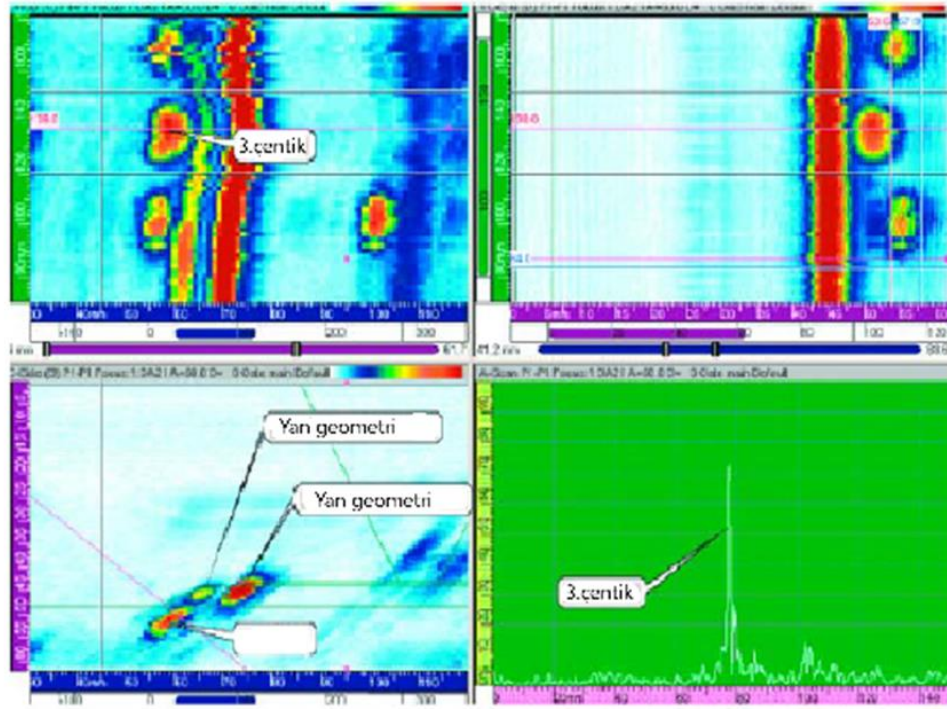
Bant grafiği genellikle tek bir kanal için zamanın fonksiyonu olarak tepe sinyal genliğinin görüntülenmesidir. Bazı şerit grafiklerine uçuş zamanı gibi diğer veriler de dahil edilmiştir. Genellikle bant grafikleri birden fazla kanal kullanır ve her bir kaynağın belirli bölgelerdeki verilerini görüntüler (Şekil 3.49.).



Şekil 3.48. Bir boru hattında çok kanallı bant grafiği görüntüsü (Olympus, 2007).

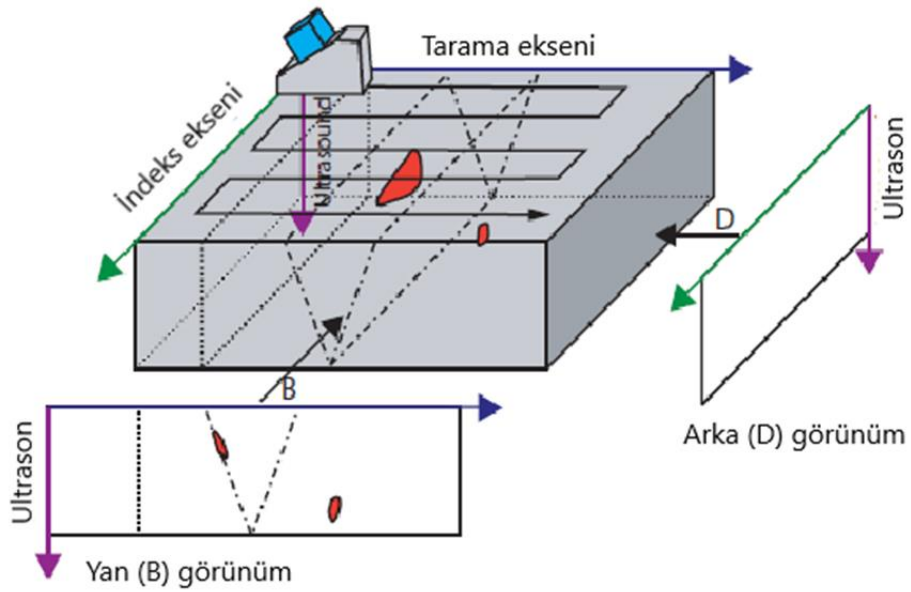
3.5.2.8. Çoklu görüntülemeler

Çoklu görünümeler farklı düzenlerde görüntülenebilir (Şekil 3.50.). Bu tür görüntülemeler Şekil 3.49.’daki bant grafiğinden farklı olarak tam dalga yakalama özelliği gerektirir. Belirli özellikler ve grup bilgileri her görünümle ilişkilendirilir.

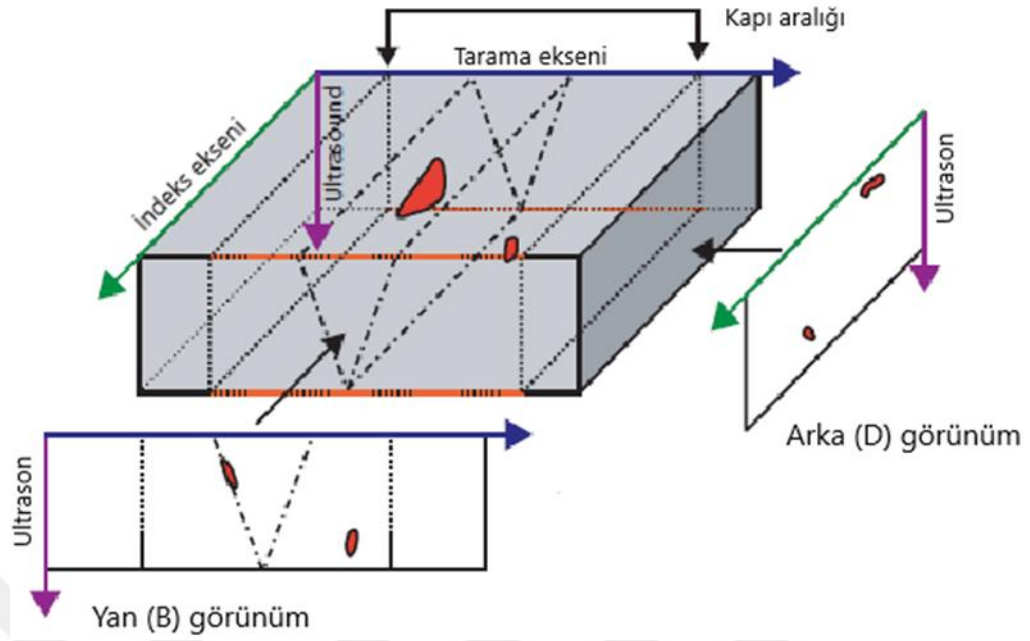


Şekil 3.49. Düşük frekanslı phased array propları ile kaynak muayenesi için dört görünümlü analiz düzeni (Olympus, 2007).

Gösterimler kapı seçimi kullanılarak tek bir düzlem veya hacim projeksiyonu olarak görüntülenebilir.

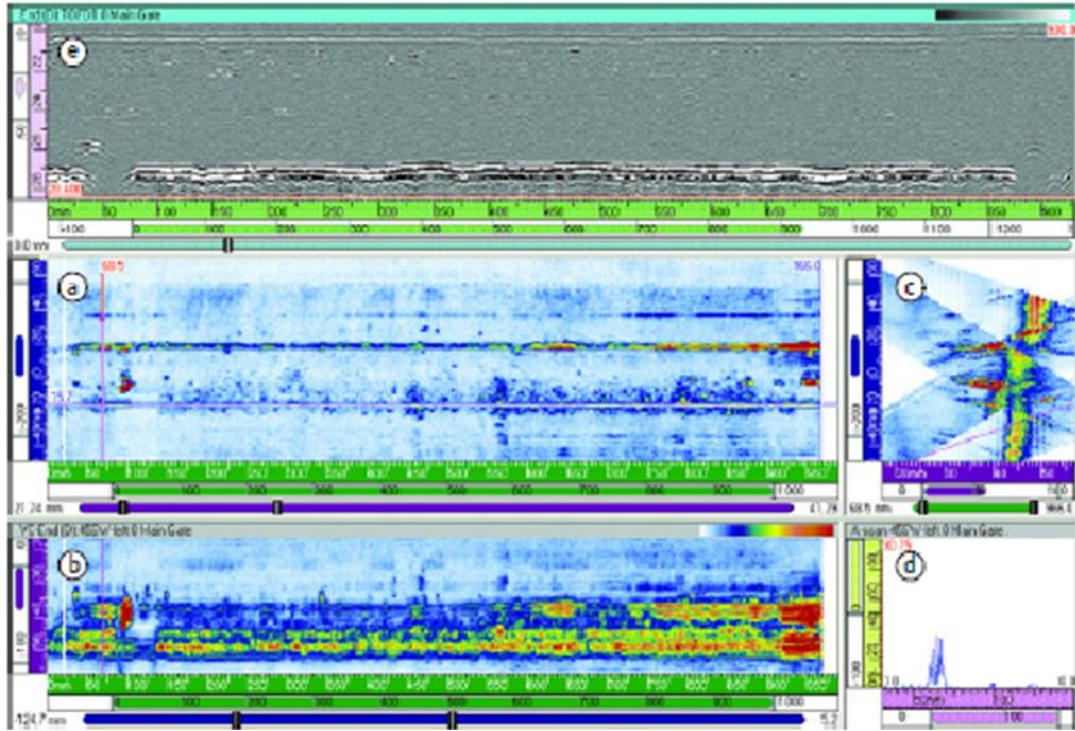


Şekil 3.50. Arka (D) ve yan (B) görünümünün tek düzlem izdüşümü (Olympus, 2007).



Şekil 3.51. Arka (D) ve yan (B) görünümleri ile bağlantılı projeksiyon görünüşleri (Olympus, 2007).

Kaynak muayeneleri için TOFD ve phased array ultrasonik verilerinin kombinasyonu tek bir düzenekte görüntülenebilir (Şekil 3.53.).



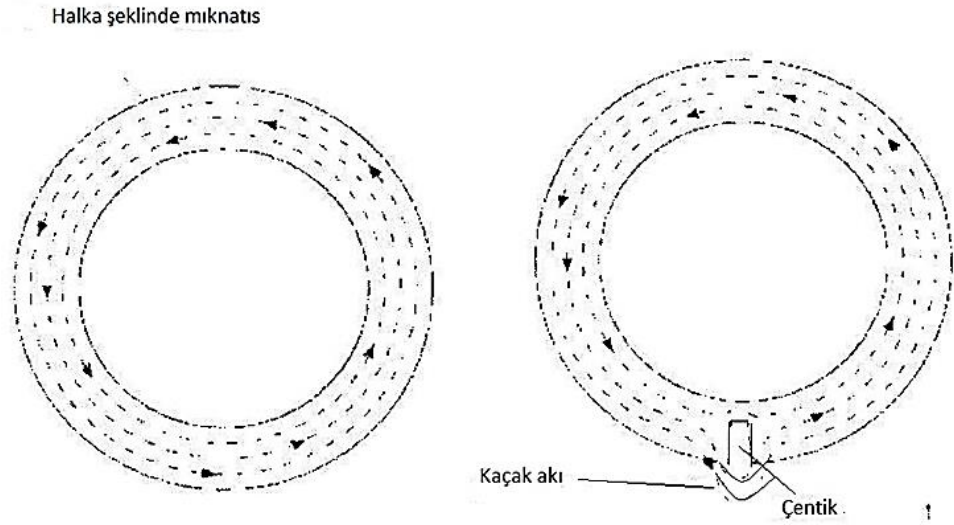
Şekil 3.52. Üst (a), yan (b) , arka (c), dalga formu (d) ve TOFD (e) görünüşleri (Olympus, 2007).

BÖLÜM 4. DEMİRYOLU AKSLARININ MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ

4.1. Manyetik Parçacık Muayenesinin Temel Prensipleri

Günlük hayattaki örneklerden mıknatısların nasıl bir etki yarattığı bilinmektedir. Yüzeye temas etmeden manyetik etkilerle çekim kuvveti oluştururlar. Manyetik kuvvet bir yüzey üzerine serpilen küçük demir tozlarının mıknatısın etki alanında oluşturduğu alan çizgileri boyunca konumlanmasıyla görülür hale getirilebilir. Bu alan çizgilerinin bütününe manyetik alan denir.

Manyetik parçacıkla muayenenin uygulama alanı karbon çelikleri, bazı nikel ve kobalt alaşımları gibi mıknatıslanabilen malzemelerle sınırlıdır. Bu alaşımlar manyetik alanı kuvvetlice içine alırlar veya manyetik alan çizgileri için havaya göre çok geçirgendirler. Bu özelliğe "manyetik geçirgenlik", bu tip alaşımlara da ferromanyetik malzemeler denir. Ferromanyetik muayene parçalarında manyetik parçacıkla muayene sırasında bütün kesiti manyetik olarak doyuran yüksek bir manyetik akı indüklenir. Eğer manyetik akı çatlak gibi yerel bir kesit azalmasıyla bozulursa o zaman manyetik akı çatlak üzerinden (havadan) geçer. Bu "kaçak akı" küçük ferromanyetik toz parçacıklarıyla görülür hale getirilir (Şekil 4.1.)

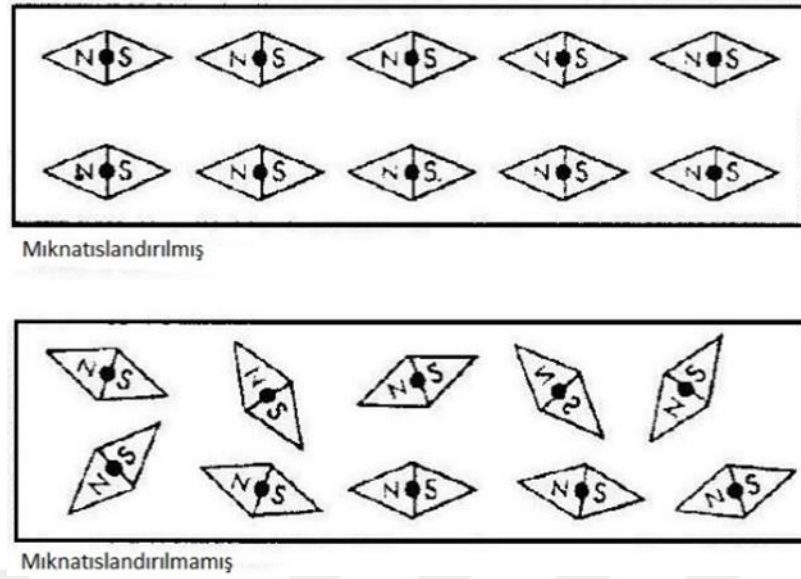


Şekil 4.1. Manyetik parçacık muayenesinde alan çizgilerinin ilerleyişi (Sector Cert,2009).

4.2. Fiziksel Prensipler

4.2.1. Elementer mıknatıslar

Ferromanyetik malzemeler çok küçük mıknatıs iğnelerden oluşmuş gibi düşünülebilir (Elementer mıknatıslar). Mıknatıslanmamış durumda bütün iğneler farklı yönlerde düzensiz olarak hizalanır ve herhangi bir dış manyetik kuvvet algılanamaz. Mıknatıslanmış durumda ise bütün mıknatıs iğneler bir yöne hizalanır. Eğer bu yönlendirme dışarıdan etkiyen manyetik alan kaldırıldığında olduğu gibi kalırsa "artık mıknatıslık"dan bahsedilir ve malzeme sürekli mıknatıs olarak adlandırılır (Şekil 4.2.)



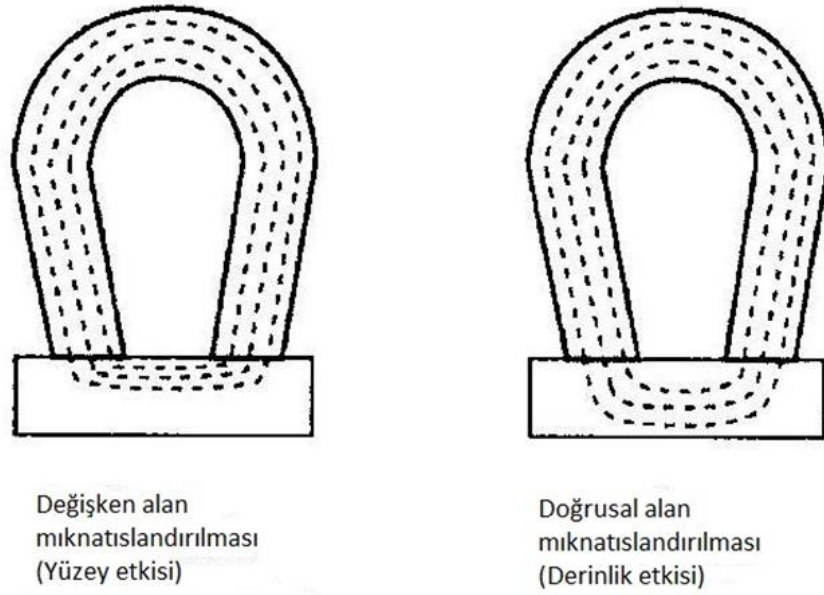
Şekil 4.2. Mıknatıslandırılmış ve mıknatıslandırılmamış muayene parçasında elementer mıknatıslar (Sector Cert, 2009).

4.2.2. Akım tipleri ve derinlik etkisi

Manyetik alanlar elektrik akımıyla oluşturulmaktadır. Akım tipleri bilindiği üzere iki tiptir:

- Doğru akım
- Alternatif akım

Alternatif akım saniyede birkaç kez yönünü ve şiddetini değiştirirken doğru akım değiştirmez. Alternatif akımın manyetik etkisi çok ince bir yüzey tabakasında yaklaşık 2 mm kalınlığa kadar oluşur. Fakat alternatif akım karmaşık yüzeylere daha iyi adapte olur. Doğru akımın 5-10 mm gibi belirli bir derinlik etkisi vardır, fakat özellikle kesit değişimlerinde geometri belirtileri oluşturmaya meyillidir (Şekil 4.3.)



Şekil 4.3. Doğrusal ve değişken alan mıknatıslandırılması (Sector Cert, 2009).

4.2.3. Elektrik akımının manyetik etkisi

Elektrik akımını bir iletkeninden geçerse manyetik alan oluşur. Manyetik akı ve elektrik akımını davranışı birbirine terstir. Eğer elektrik akımını doğru bir hat halinde geçerse oluşturduğu manyetik akı etrafında dairesel şekilde oluşur.

Bunun tam tersi durumda: eğer elektrik akımını dairesel şekilde veya bir bobin üzerinde spiral şekilde geçerse manyetik akı merkezden düz bir şekilde boylamasına geçer.

Manyetik akı şiddeti ile elektrik akım şiddeti arasındaki ilişki şöyledir: Akım şiddeti ne kadar büyükse, manyetik akı şiddeti de o kadar büyük olur. Örnek olarak düz iletken ve bir bobindeki durum verilmiştir.

Düz iletken: Düz bir iletkenin etrafındaki manyetik alan şiddeti, iletkeninden geçen akım şiddeti ne kadar yüksekse ve iletkenin merkezine olan mesafe ne kadar azsa o kadar yüksek olur.

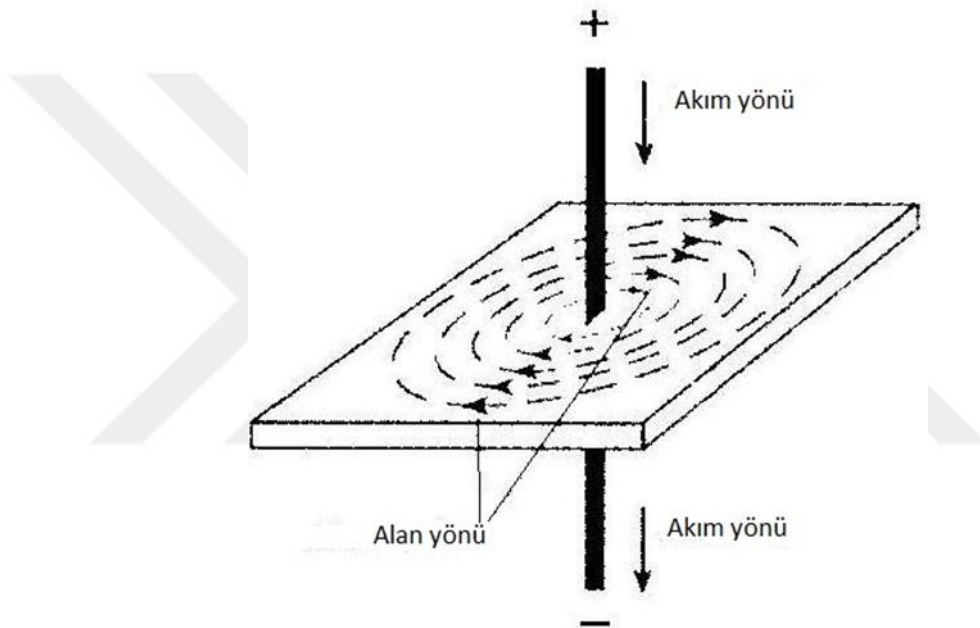
$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (4.1)$$

H =Alan şiddeti (kA/m)

I =Elektrik akımı (A)

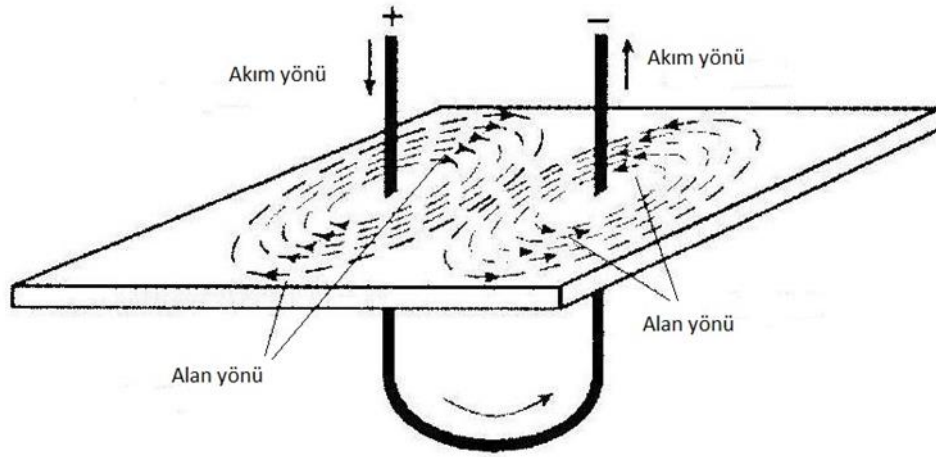
r =Ölçüm noktasının merkeze uzaklığı

Bu formülden alan şiddetinin mesafe başına ölçülebileceği görülmektedir. Alan şiddetinin birimi santimetre başına Amper (A/cm) veya metre başına kilo amperdir (kA/m).



Şekil 4.4. Düz bir iletkenin etrafındaki manyetik alan (Sector Cert, 2009).

Artarda sırlanmış iletken döngü (sarı) ile bir bobin elde edilir. İletkenin yakınında dairesel alan elde edilir. İletkenden uzaklaştıkça alanlar birbiri üzerine biner. Bobinin eksenine yönünde ilerleyen ortak bir alan meydana gelir. Sonuçta alan çizgileri bobin içerisinde birbirine paralel ilerler. Boylamasına manyetik alan elde edilir. Alan çizgileri bobinin dışında çubuk mıknatısındaki gibi davranır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.5. İletken döngüde manyetik alan oluşumu (Sector Cert, 2009).

Bobinin içinde alan şiddeti akım şiddetine, sarı m sayısına ve bobin uzunluğuna bağlıdır. Bobin içindeki alan şiddeti H, akım şiddeti I, sarım sayısı N arttıkça ve bobin uzunluğu i veya bobin çapı azaldıkça artar.

$$H = \frac{I \cdot n}{l} \quad (4.2)$$

H=Alan şiddeti (kA/m)

I=Elektrik akımı (A)

n=Sarım sayısı

l=Bobin uzunluğu (mm)

Esas olarak iki tip manyetik alan vardır:

- Boyuna
- Dairesel

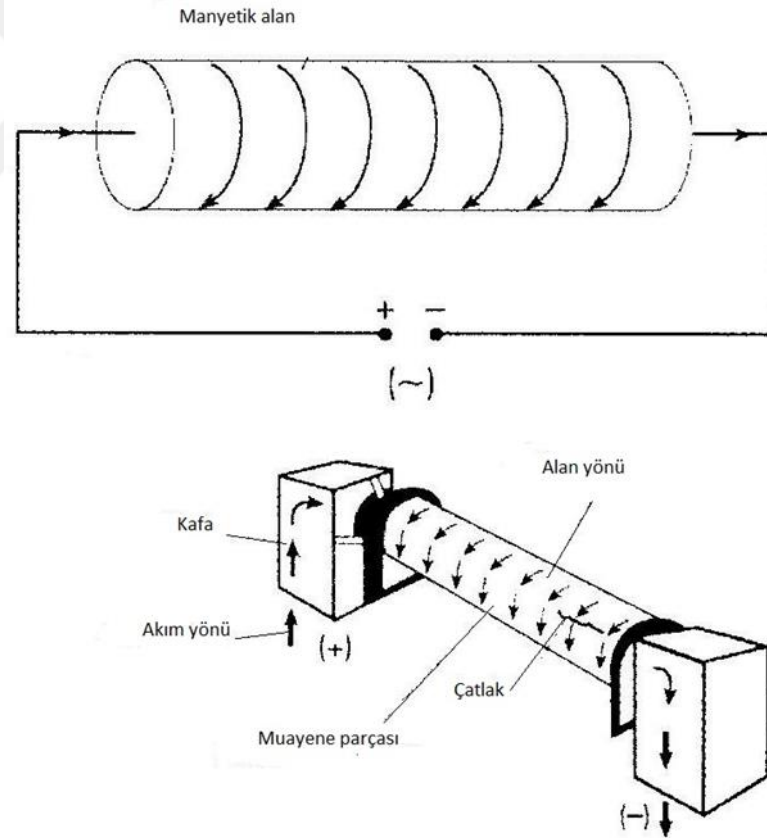
Manyetik parçacık muayenesinde kullanılan tüm teknikler bu iki temel formdan türetilir.

4.3. Dairesel Mıknatıslandırma

Muayene parçası mıknatıslama cihazının kutupları arasına sıkıca temas sağlanacak şekilde yerleştirilir. Bu şekilde parçadan elektrik akımı geçirilir. Muayene parçasının kendisi bir iletken olur ve etrafında dairesel manyetik alan meydana gelir. Parçanın eksenî yönündeki süreksizlikler tespit edilebilir.

Süreksizliklerin tespit edilebilmesi için parçada yeterli alan çizgisi yoğunluğu olması gerekir yani uygun mıknatıslandırma akımının verilmesi gerekir.

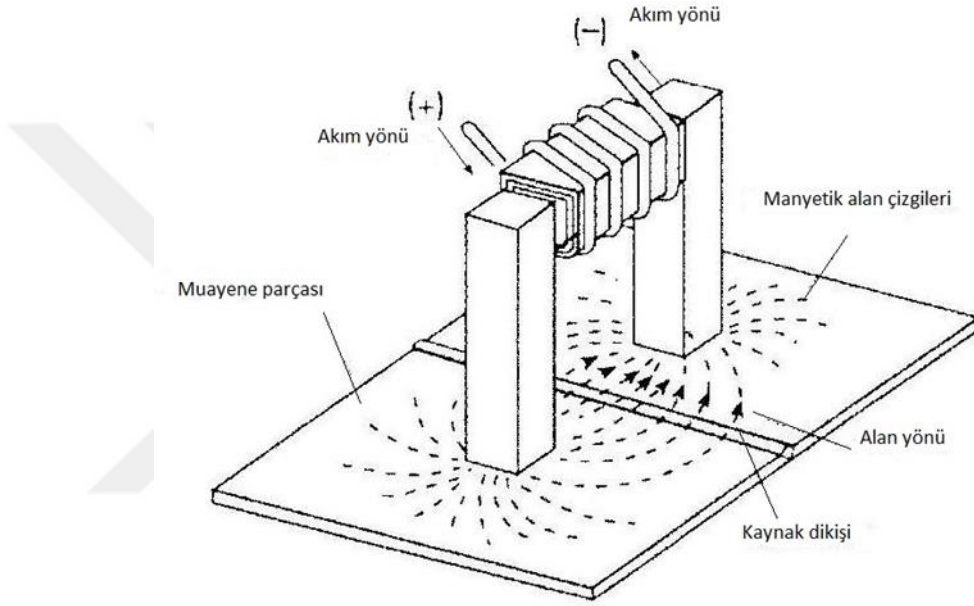
Ferromanyetik olmayan düz iletkenlerden akım geçince, alan şiddeti geçen akıma ve iletken çapına bağlıdır (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Dairesel mıknatıslandırma (Sector Cert, 2009).

4.4. Boyuna Mıknatıslandırma

Büyük ve uzun olmayan muayene parçalar bölge bölge mıknatıslandırılabilir (kısmi mıknatıslandırma). Bu iş yüzeye oluşturulan el manyetleriyle gerçekleştirilir. Akım muayene parçasından geçmez el manyetinin sarımından geçer. EI manyetinin ayakları arasından sarım tarafından üretilen ring şeklindeki manyetik alan geçer (Sector Cert, 2009).



Şekil 4.7. EI manyeti ile mıknatıslandırma (Sector Cert, 2009).

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Amaç

Bu çalışmada demiryolunda yolcu taşımacılığında kullanılan araçların akslarının tahribatsız muayenesi amacıyla kullanılan ultrasonik muayene ve phased array muayenesi ile tahribatsız muayene yapılmış, muayene sonuçları karşılıklı olarak incelenmiştir.

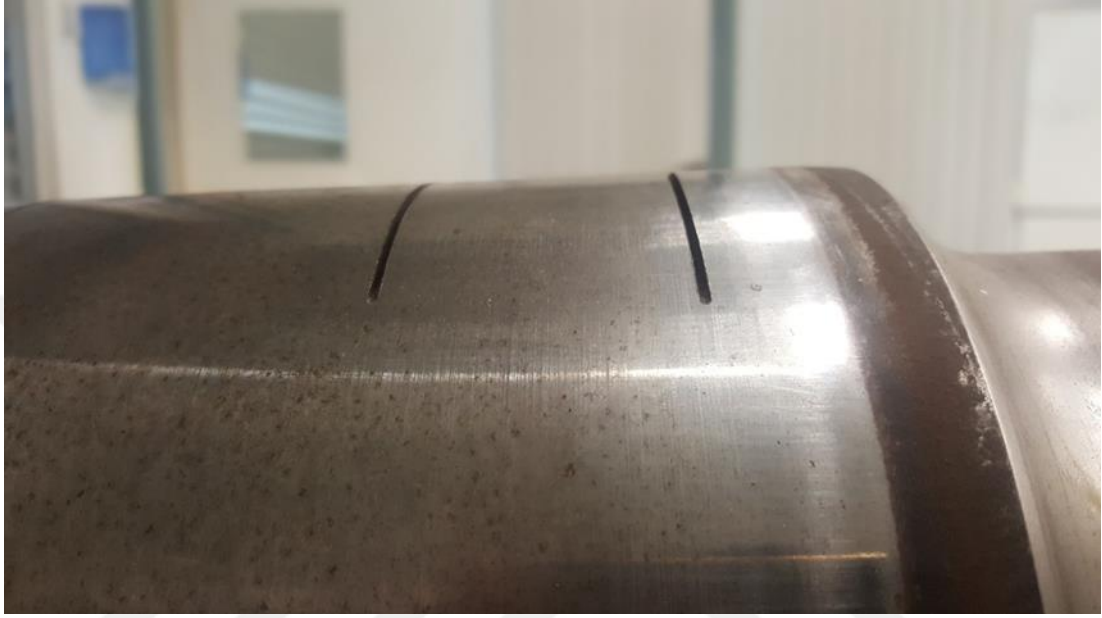
5.2. Kalibrasyon Aksının Hazırlanması

Ultrasonik muayenede uygulanan teknikler üç parametre dikkate alınarak sınıflandırılabilir. Bunlar; ölçülmek istenen fiziksel büyüklük (genlik, faz, zaman), ses üretim şekli (sürekli, darbe) ve süreksizliklerin etki şekli (yansıtıcı, gölgeleyici, ses üretici) olarak yapılabilir. Muayene tekniği bu parametreler göz önüne alınarak seçilir.

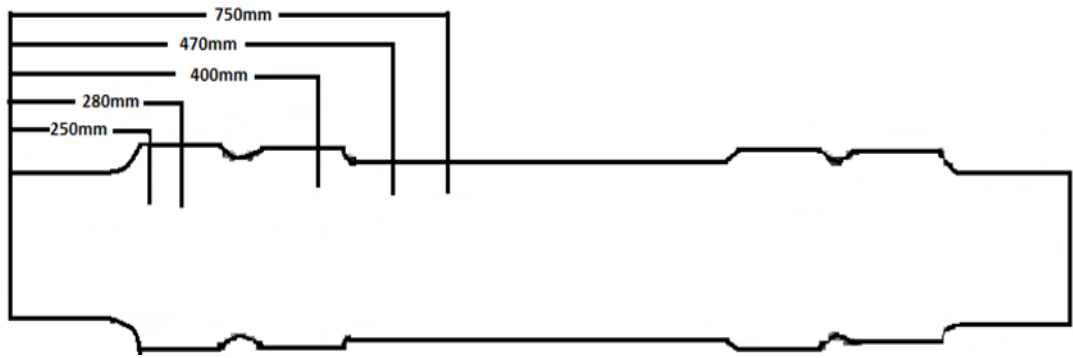
Darbe yankı yöntemi, malzemelerin ultrasonik muayenesinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, prob tarafından yayılan ses dalgalarının malzeme içindeki süreksizliğe çarpıp geri yansıyarak tekrar proba ulaşması esasına dayanır. Bu yöntemde ölçülen büyüklükler ses basıncı genliği ve darbenin girdap dönüş süresi olup süreksizlik bir yansıtıcı olarak etki eder.

Bu çalışmada da demiryolu aksı ultrasonik muayenesinde darbe yankı yöntemi uygulanmıştır.

Konvensiyonel ultrasonik muayene ve phased array yönteminin hataların tespit edilmesi ve ayırt edilebilirliği yönünden karşılaştırılması amacıyla aks üzerinde Şekil 5.2.'de görülen farklı çap ve mesafe bölgelerinde Şekil 5.1.'de görülen 3 mm derinliğinde çentikler açılarak suni hatalar oluşturulmuştur.



Şekil 5.1. Aks üzerinde oluşturulan 3 mm derinliğindeki hatalar.



Şekil 5.2. Aks üzerinde hataların konumları.

5.3. Kalibrasyon Aksının Konvensiyonel Ultrasonik Muayenesi

Ultrasonik muayene, muayene parçası içerisinde ultrasonik dalgaların yayılmasına ve gönderilen sinyalin herhangi bir yüzeyden veya süreksizlikten yansıyan veya kırılıma uğrayan sinyalin izlenmesine dayanır.

Çalışmamızda elle doğrudan temas tekniği kullanılarak ultrasonik inceleme yapılmıştır.

Muayene Starmans DIO 1000 ultrasonik muayene cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Muayene öncesi cihaz tüm performans deneylerine tabi tutulmuştur. 0°, 30°, 45° ve 60° farklı açılarda muayene aksı taranarak elde edilen tarama görüntüleri karşılaştırılmıştır (TS EN 12668-1).

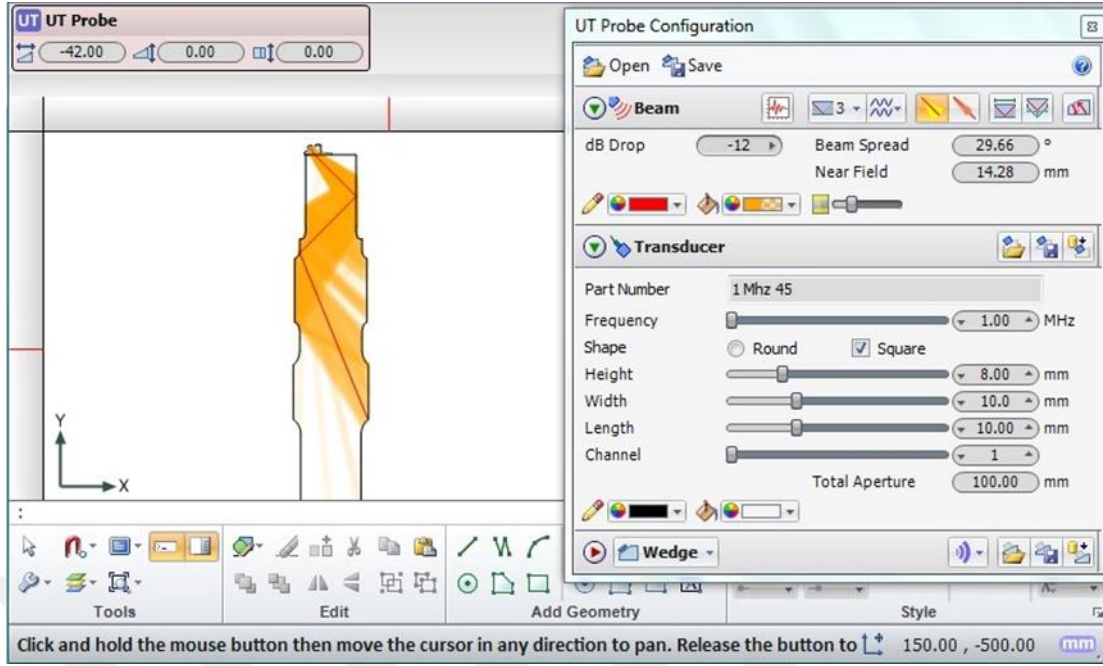
5.3.1. Ultrasonik muayenede prop frekansının etkisi

Prop seçimi muayenin amacına ve referans standard veya şartnameye bağlıdır. Seçim;

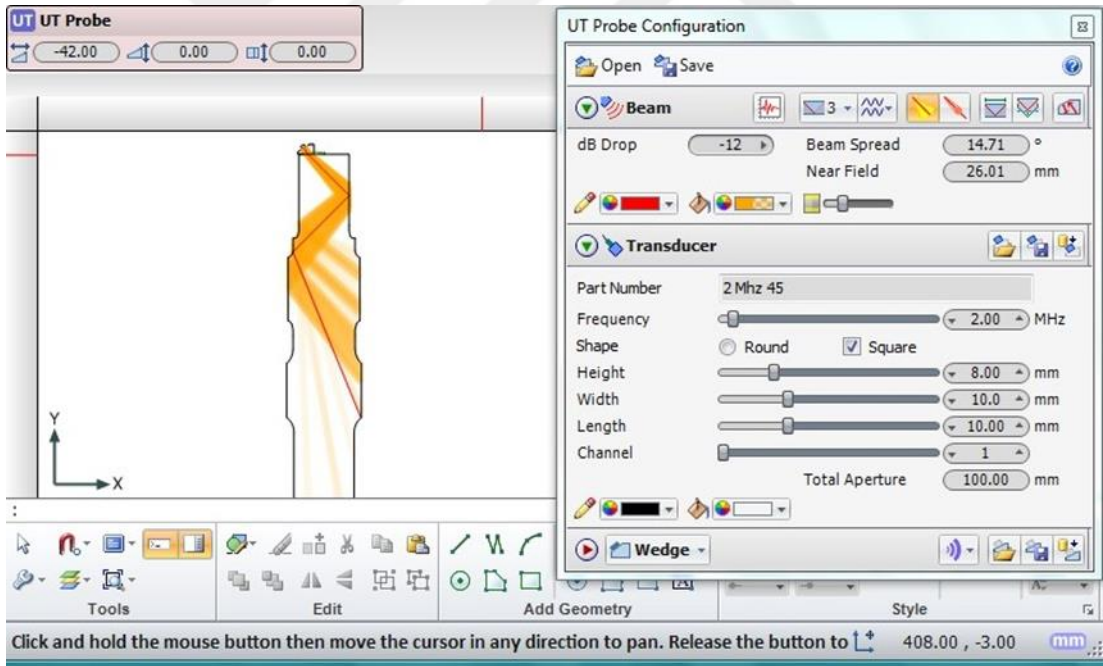
- Malzemenin kalınlığına, şekline ve yüzey durumuna,
- Muayene edilecek malzemenin çeşidine ve metalurjik durumuna,
- Tespit edilecek süreksizliklerin tipine, konumuna ve yönelmesine bağlıdır.

Frekans seçimi malzemedeki ses zayıflamasını ve kusurların yansıtma özelliklerini dikkate almalıdır. Şekil 5.3., 5.4., 5.5. ve 5.6.'da görüldüğü üzere frekans arttıkça ayırma gücü artar, fakat ses dalgaları daha fazla zayıflatılır (veya iç yapıdan kaynaklanan sahte sinyalleri daha büyüktür). Bu sebeple frekans seçimi belirtilen bu iki faktör arasında bir dengeleme gerektirir.

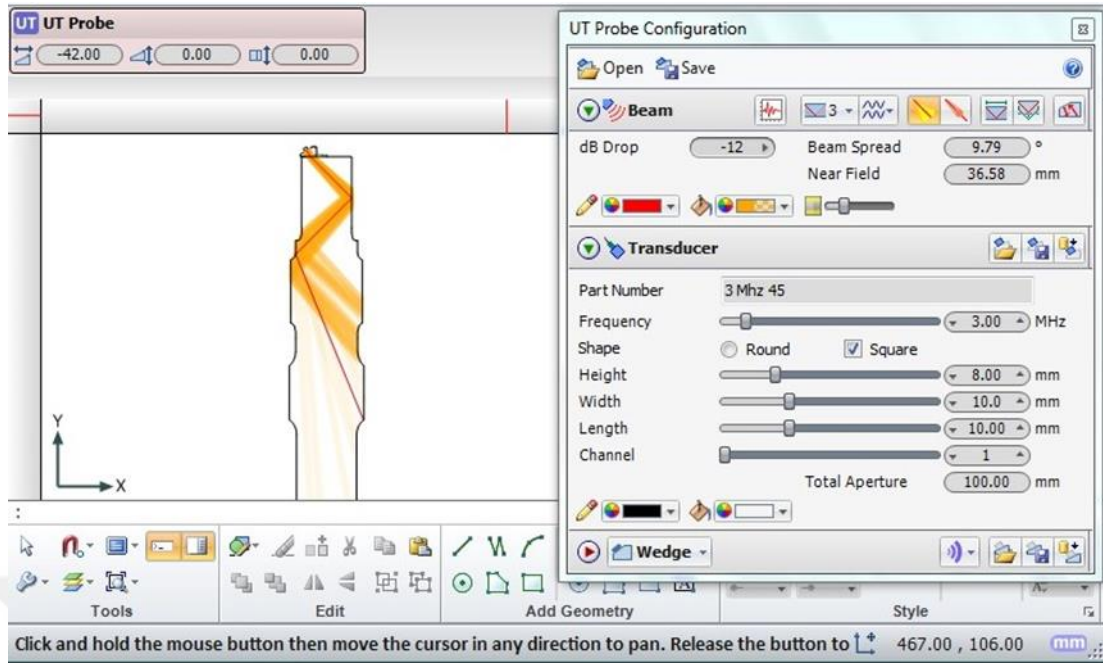
Ultrasonik muayenede prop frekansı genel olarak muayene hassasiyeti ile ters orantılıdır. Bu dezavantaja rağmen muayenede ses dalgasının nüfuziyeti ancak düşük frekanslar kullanarak mümkündür ki büyük malzemelerin ultrasonik muayenesinde muayene alanının tamamına ses dalgasının nüfuziyetini sağlamak amacıyla düşük frekanslı propların kullanımı tercih edilir. Ultrasonik muayenelerin büyük bir kısmı 1 MHz ile 10 MHz arasındaki frekans değerleri ile yapılır.



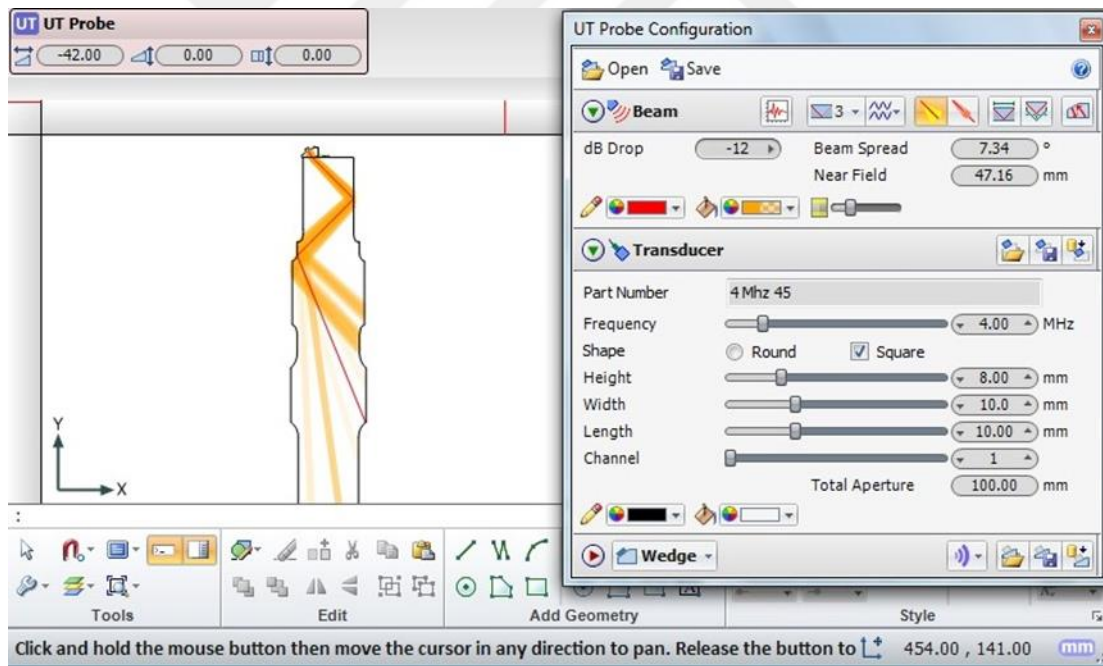
Şekil 5.3 .45° 1 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.



Şekil 5.4. 45° 2 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.



Şekil 5.5. 45° 3 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.



Şekil 5.6. 45° 4 Mhz prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü.

Düşük frekanslı prop ile muayenede ses demetinin daha geniş açıda yayıldığı ancak muayene bölgesine daha derin nüfuz ettiği görülmektedir. Frekans yükseldikçe ses demeti açılım açısı düşmekte yani hasasiyet artmakta ancak nüfuziyetin düştüğü görülmektedir.

5.3.2. Temas ortamı

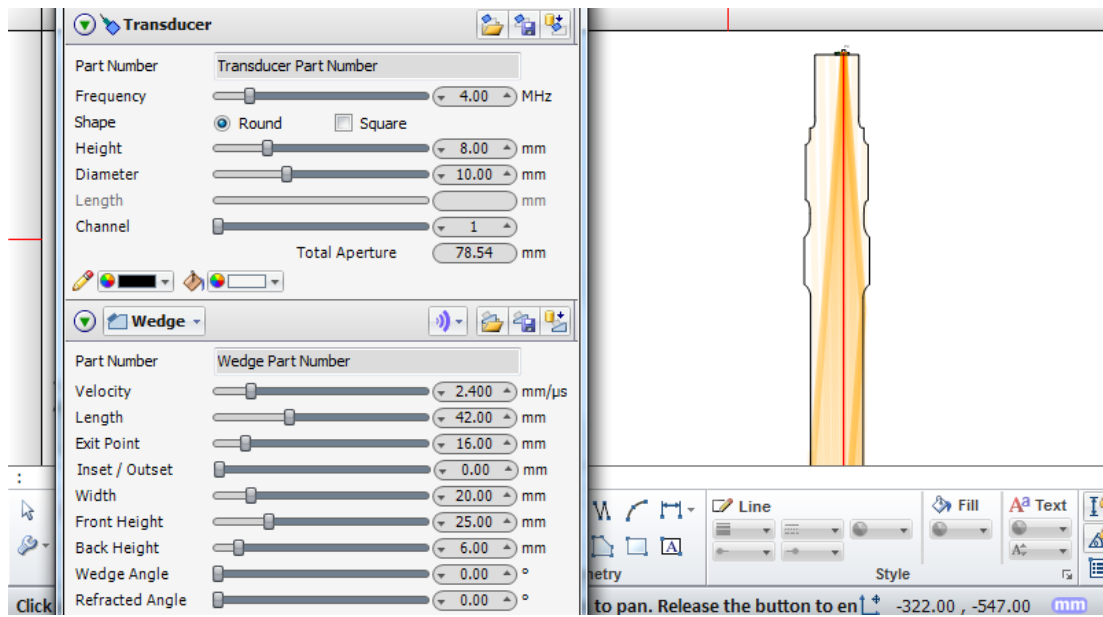
Muayenede kullanılacak temas ortamı tipleri muayene edilecek malzeme ile uyumlu olmalıdır. Genellikle bir kimyasal madde (ısıtıcı, antifriz, korozyon önleyici) ihtiva eden su, temas pastası, yağ, gres, su ihtiva eden seluloz pasta kullanılabilir (TS EN ISO 16810).

Çalışmamızda kalibrasyon ve muayene boyunda aynı özelliklerde ısıtma özelliği oda sıcaklığına uygun yağ kullanılmıştır.

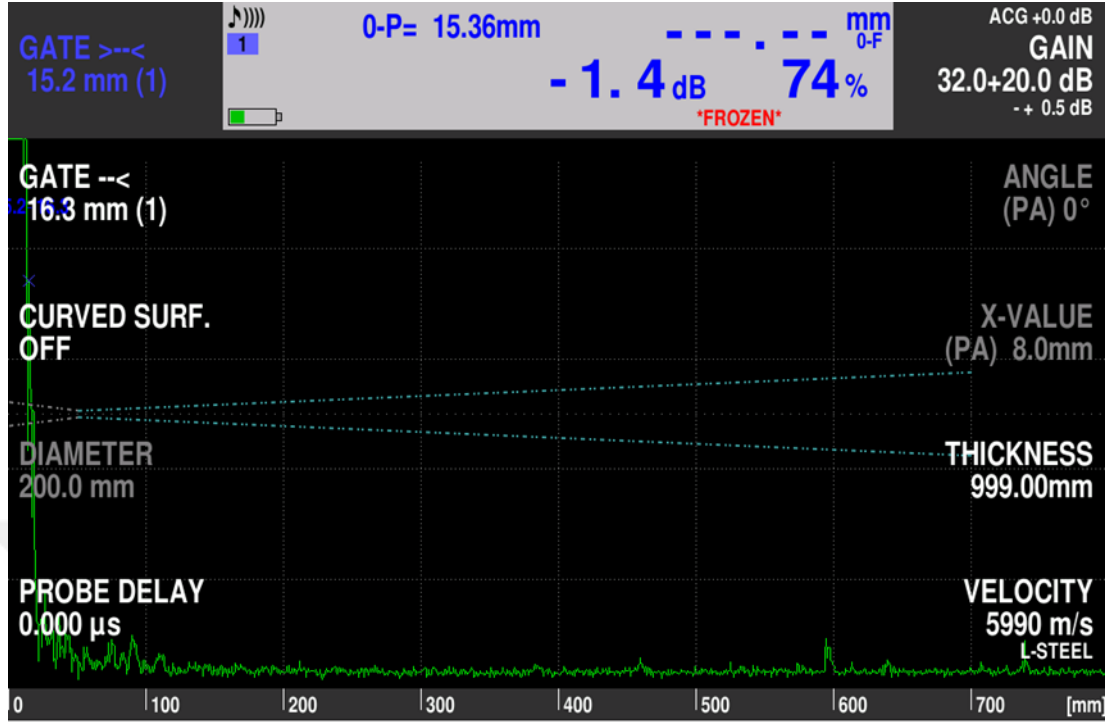
5.3.3. Yüzey hazırlama

Taranacak aks yüzeyi muayeneyi olumsuz yönde etkileyebilecek kir, tufal vb. arındırılarak uygun akustik temas sağlanmıştır. Prop tabanının muayene parçasında iyi ve düzenli bir akustik temas ve sabit bir demet açısı sağlamak için prop tabanının yüzeye adaptasyonu sağlanmıştır (TS EN ISO 16811).

5.3.4. 0° prop ile ultrasonik muayene



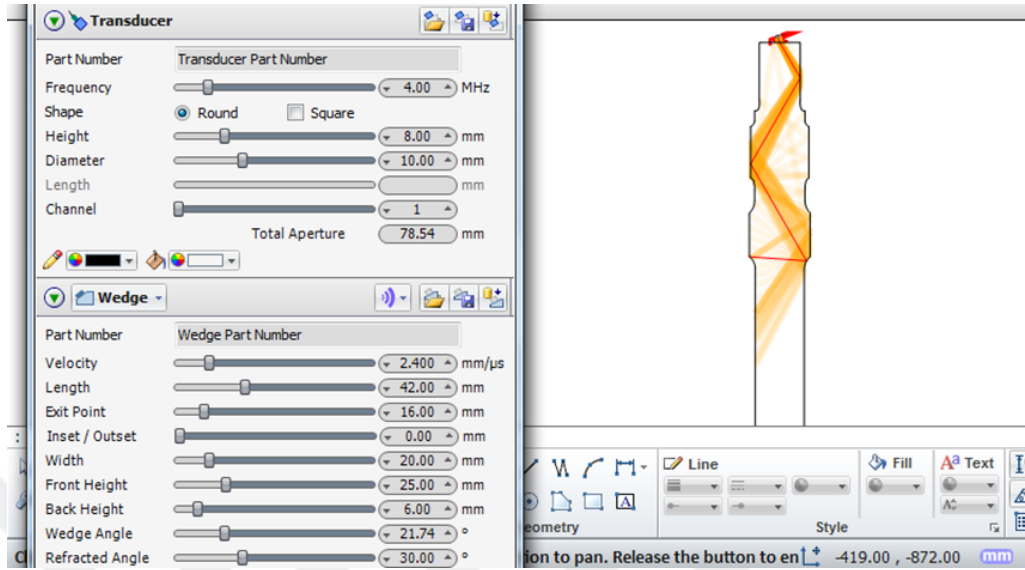
Şekil 5.7. 0° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.



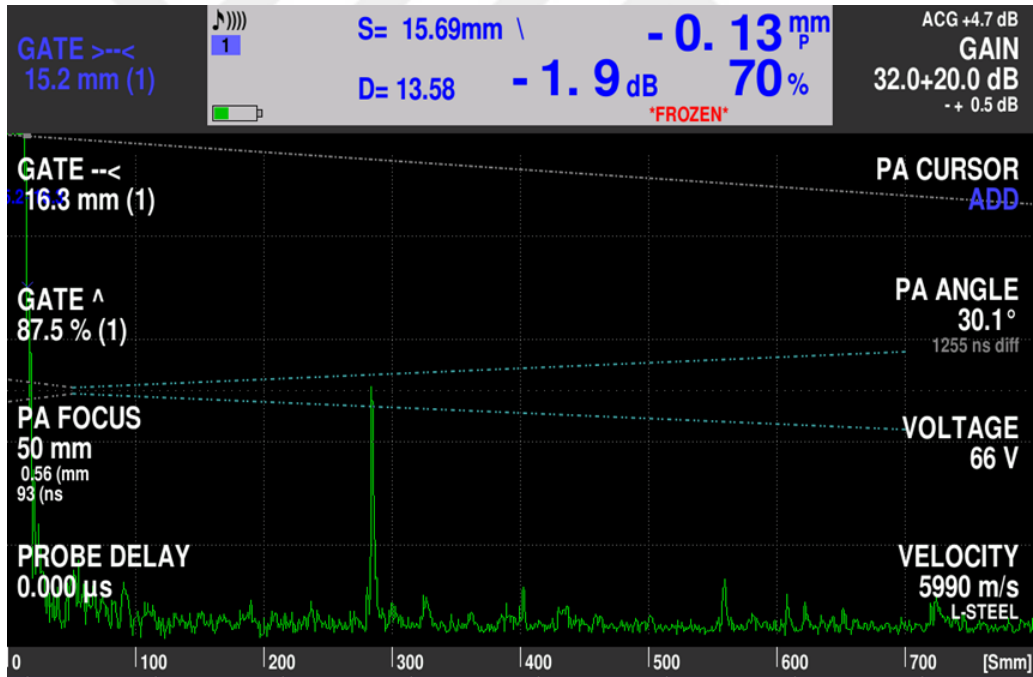
Şekil 5.8. 0° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.

Şekil 5.7.'de 0° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.8.'de görüleceği üzere 0° prop ile muayenede ses demeti muayene parçasında oluşturulmuş herhangi bir hataya temas etmeden sönümlenmekte bu sebeple tarama görüntüsünde bir yankı piki görülmemektedir.

5.3.5. 30° prop ile ultrasonik muayene



Şekil 5.9. 30° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.

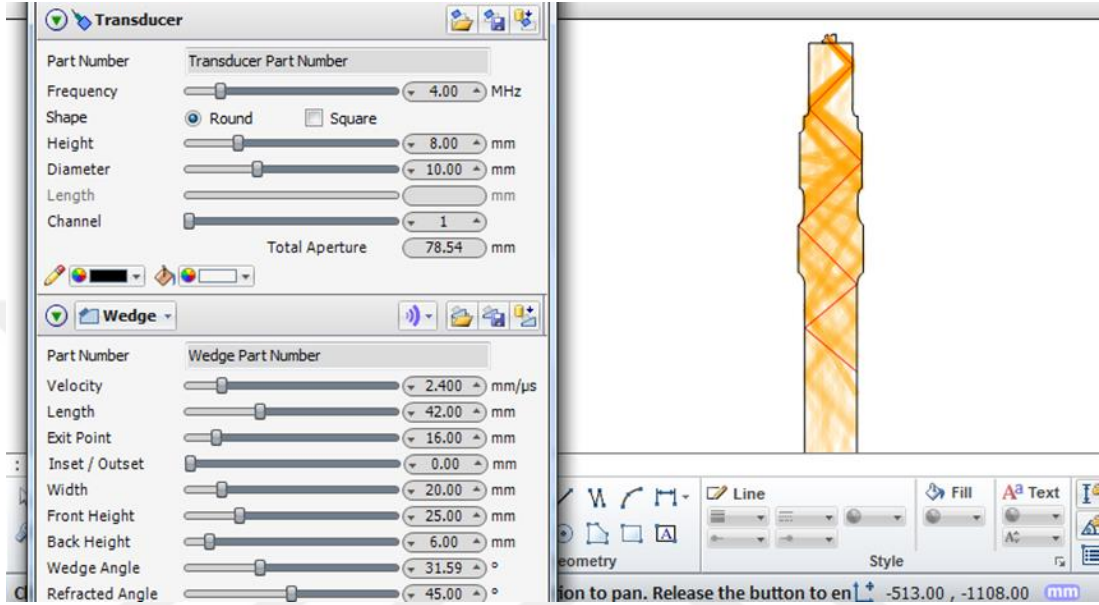


Şekil 5.10. 30° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.

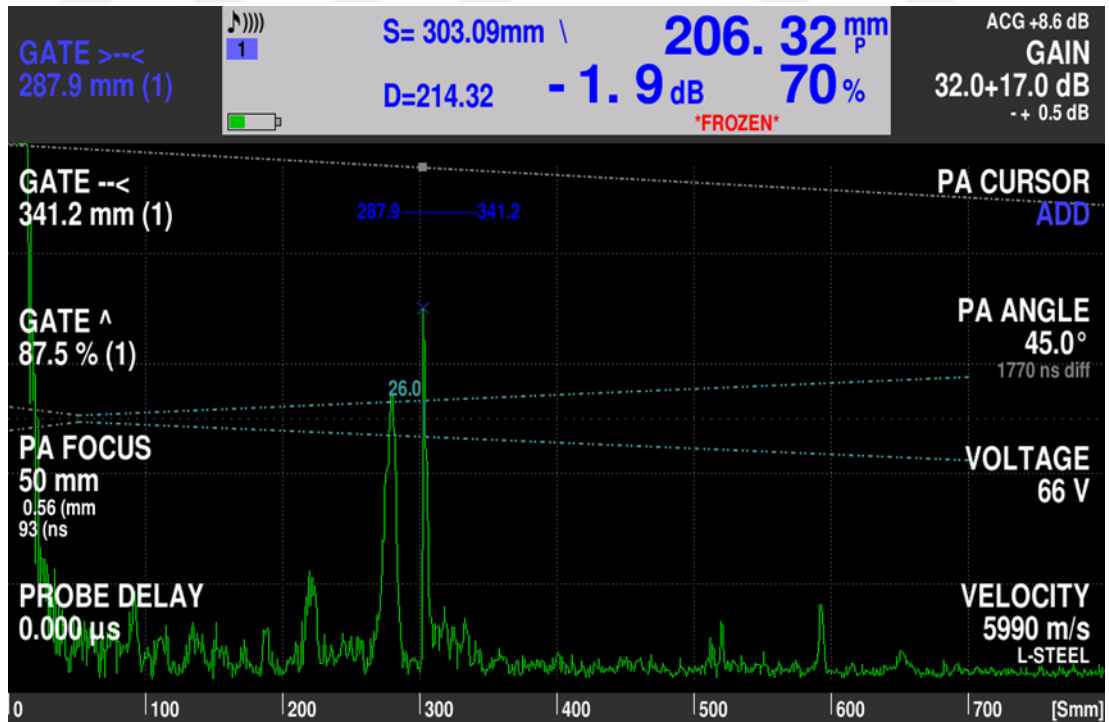
Şekil 5.9.'da 30° prop ile ultrasonik muayenin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.10.'da görüleceği üzere 30° açılı prop ile ultrasonik muayenede ses demeti 280 mm uzaklıktaki hatanın üzerine düşmekte ve tarama görüntüsünde bu hata belirgin bir

şekilde tespit edilmektedir. Sonrasında duyarlılığın düştüğü ve diğer sekmelerden yansıyan ses dalgaları ile hayalet yankıları görülmektedir.

5.3.6. 45° prop ile ultrasonik muayene



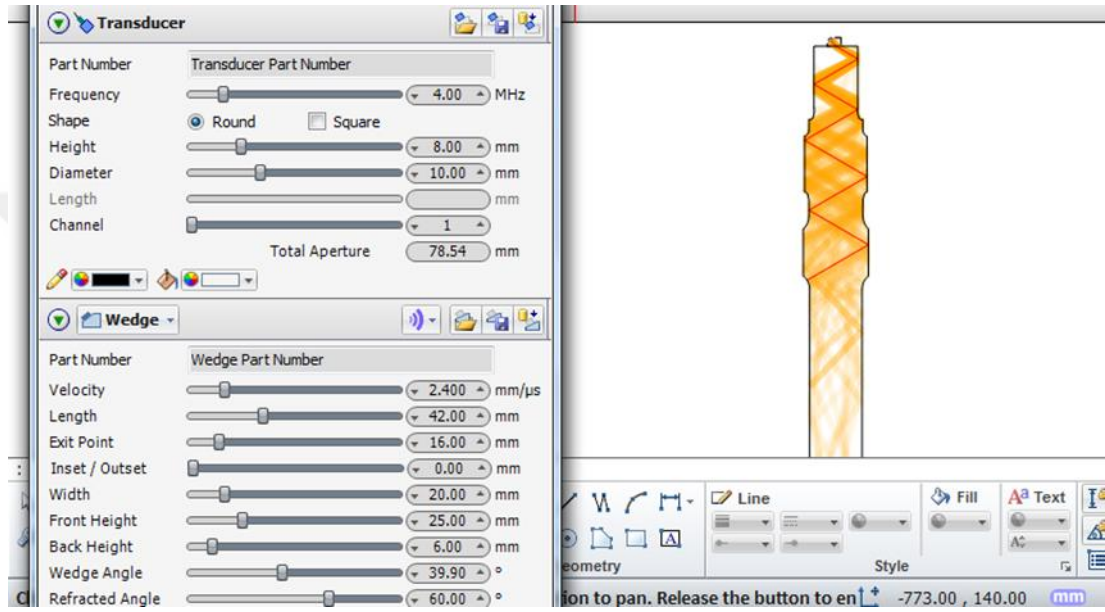
Şekil 5.11. 45° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.



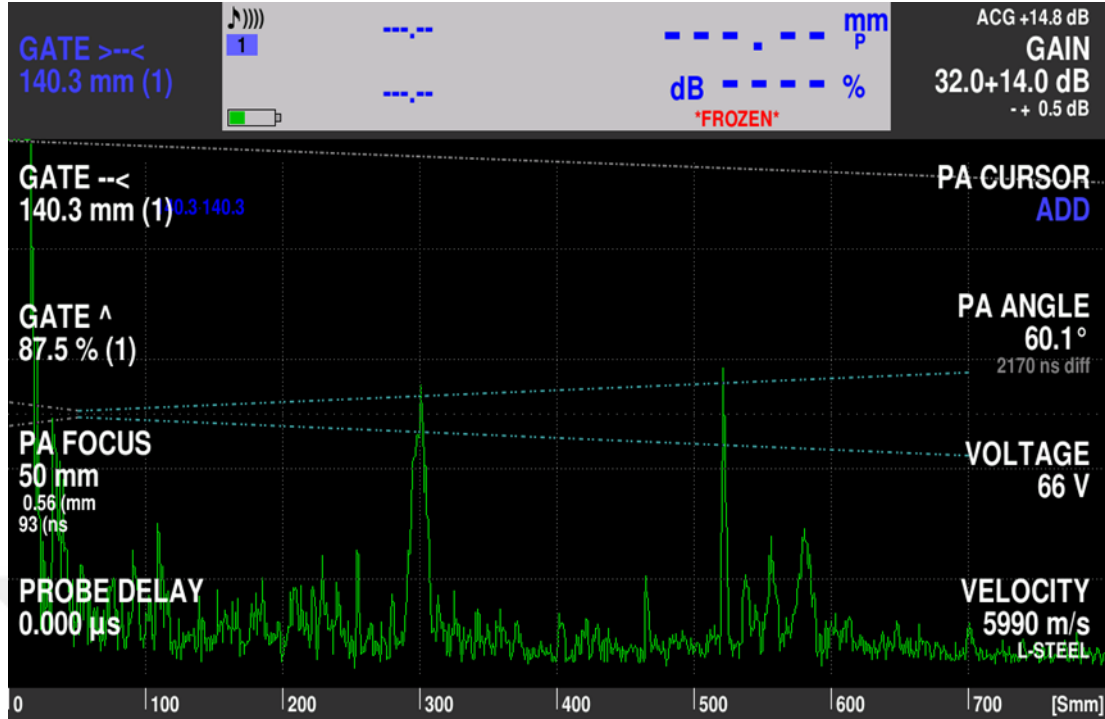
Şekil 5.12. 45° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.

Şekil 5.11.'de 45° prop ile ultrasonik muayenin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.12.'de görüleceği üzere 45° açılı prop ile ultrasonik muayenede ses demeti 250 mm ve 280 mm hataların bulunduğu bölgenin merkezine düşmekte ve buradaki hatalarla birlikte malzeme geometrisinden kaynaklanan bir yankıda görülmektedir.

5.3.7. 60° prop ile ultrasonik muayene



Şekil 5.13. 60° prop ile aksın ultrasonik muayenesinin şematik görüntüsü.



Şekil 5.14. 60° prop ile ultrasonik muayene görüntüsü.

Şekil 5.13.'de 60° prop ile ultrasonik muayenenin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.14.'de görüleceği üzere 60° prop ile ultrasonik muayene 300 mm uzaklıktan gelen geometri yankısı görülmekte ancak 250 ve 280 mm'deki hatalar az da olsa bir yankı oluştursa da hayalet yankılardan gelen parazitlerin arasında tam olarak tespit edilememektedir. Sonrasında hayalet yankıların bileşeni olarak oluşan pikler ve duyarlılığın düşmesi sebebiyle parazitler görülmektedir.

5.4. Aksın phased array yöntemi ile muayenesi

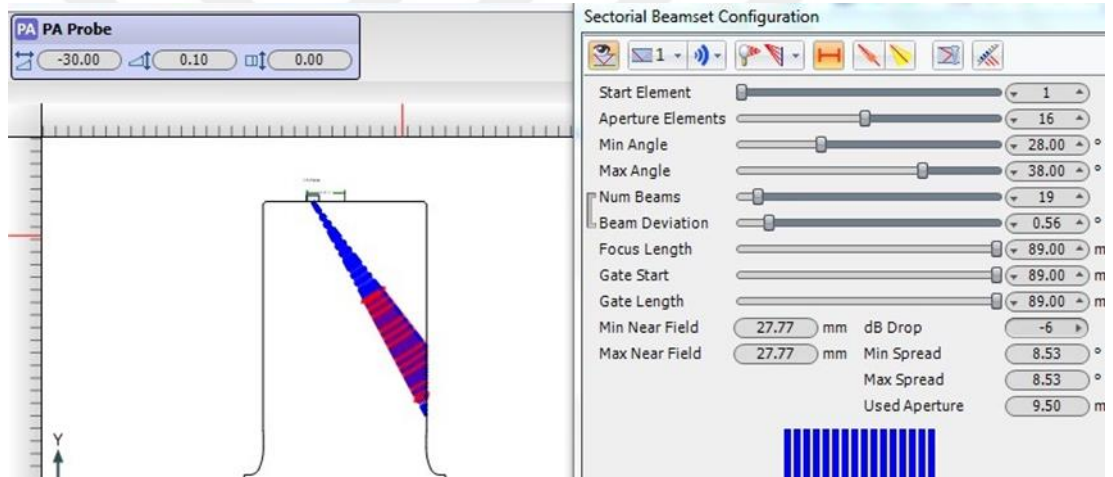
Phased array ileri ultrasonik muayene görüntüleme yöntemi güvenilir, doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlamak için genellikle kullanılan konvansiyonel ultrasonik muayene yöntemlerine alternatif olarak zorlu tipte uzunlamasına ve düzlemsel komponent içeren hataların tespit edilebilmesinde kullanılmaktadır (R.Molica,2016).

Muayene TD Handy Scan RX phased array muayene cihazı ve Doppler 5L16-0.6*10 16 elementli 5MHz phased array probu ile gerçekleştirilmiştir.

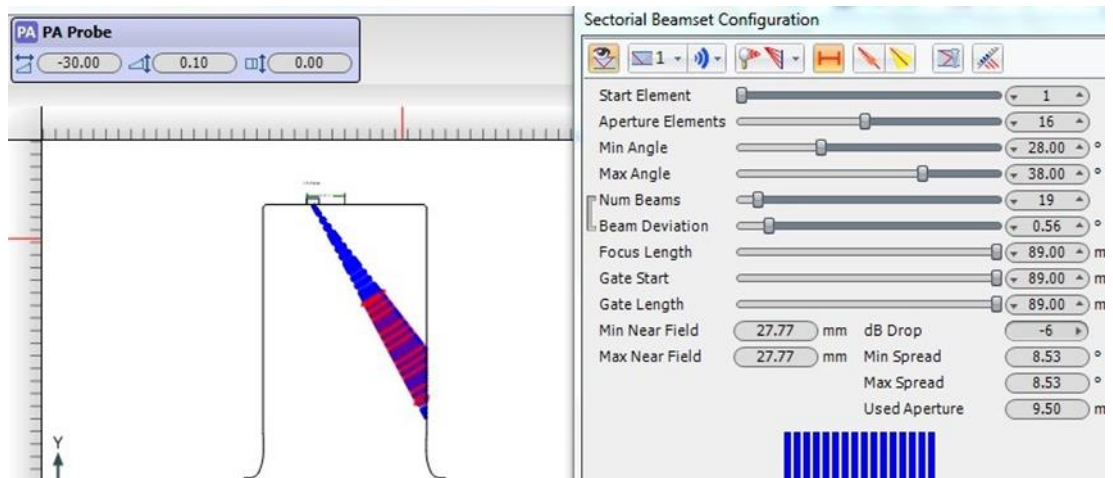
5.4.1. Aksın muayene bölgelerinin belirlenmesi

Phased array uygulaması geleneksel UT teknikleri ile karşılaştırıldığında birden fazla tarama açılarının kullanılmasına izin verdiği için muayene sonuçlarının güvenilirliğini arttırmakta ve taramaları değerlendirirken kullanılan filtreler ile ilgili verileri yorumlarken operatöre yardımcı olmaktadır (R.Molica,2016).

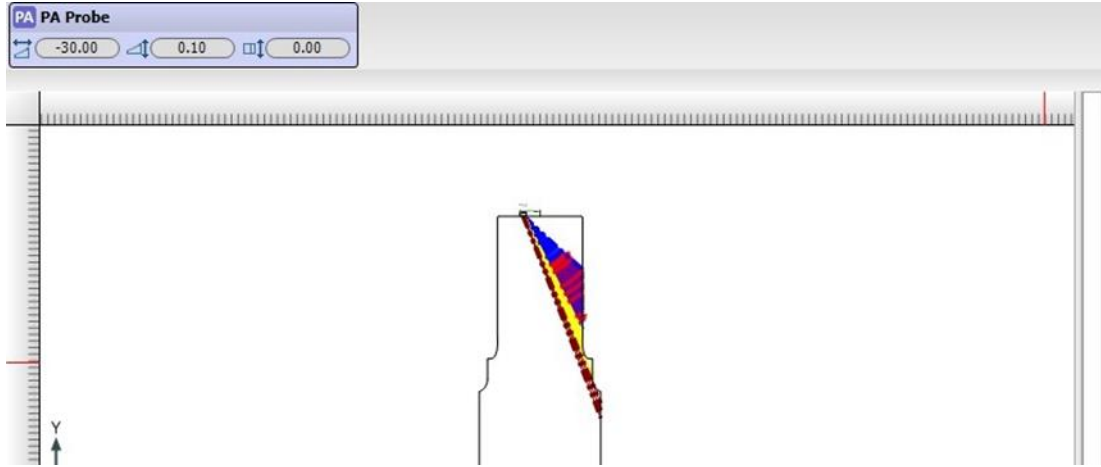
Muayene bölgeleri ve tarama sınırları muayene edilmek istenen hacmin tamamını kapsayacak şekilde belirlenmelidir. Tarama bölgelerinin sayısı ve tarama sıklığı kullanılan phased array cihazının kapasitesine bağlıdır. Şekil 5.15., 5.16., 5.17., 5.18., 5.19.'da gösterilen muayene bölgelerinin belirlenmesinde S-Beam Tools yazılımı kullanılmıştır.



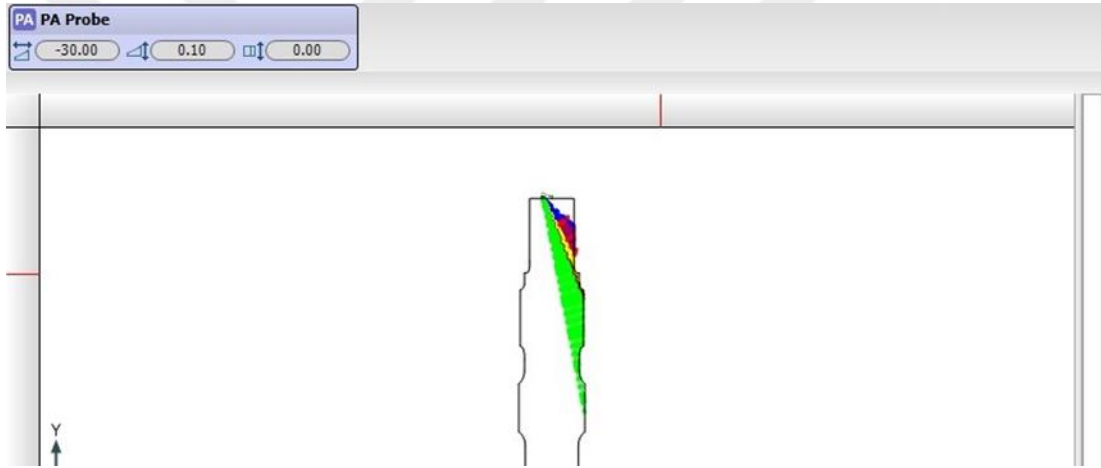
Şekil 5.15. Birinci sektörel tarama bölgesi.



Şekil 5.16. İkinci sektörel tarama bölgesi.



Şekil 5.17. Üçüncü sektörel tarama bölgesi.



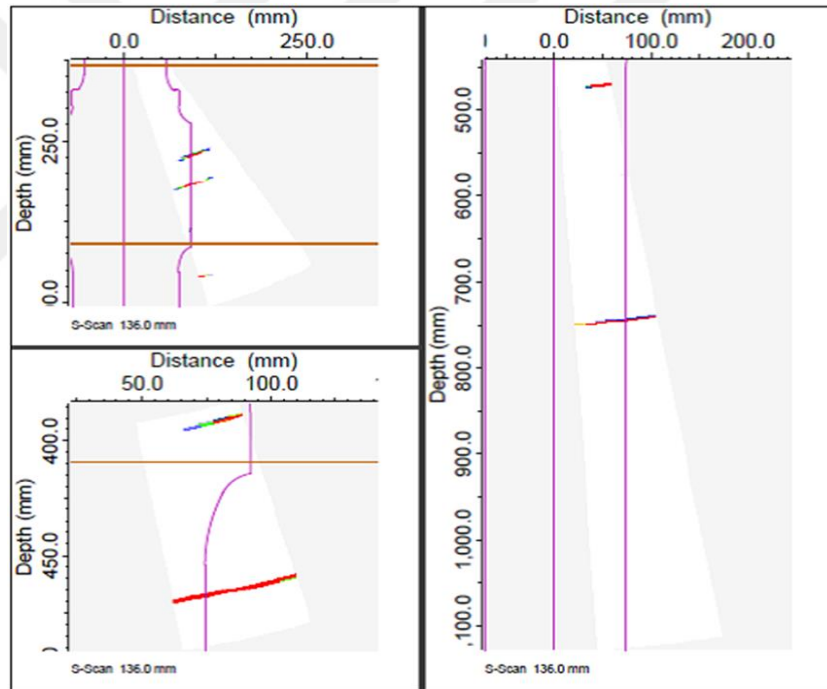
Şekil 5.18. Dördüncü sektörel tarama bölgesi.



Şekil 5.19. Beşinci sektörel tarama bölgesi.

5.4.2. Kalibrasyon aksı muayene raporu

Muayene sonrası test raporu Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Raporda x ekseninde verilen tarama mesafesinde S-taramada çizgi halinde gösterilen hata yankıları görülebilmektedir. Aks üzerinde 250 mm, 280 mm, 400 mm, 470 mm ve 750 mm mesafelerinde oluşturulmuş olan hataların tamamı tespit edilebilmiştir.



Şekil 5.20. Kalibrasyon aksı phased array muayene raporu.

5.4.3. Aksın muayene edilmesi

Muayene Şekil 5.21.’de görüldüğü gibi aksın her iki yan yüzeyinde prop muayene parçasına akustik temas sağlayacak şekilde 360° çevresel olarak döndürülerek gerçekleştirilmiştir.

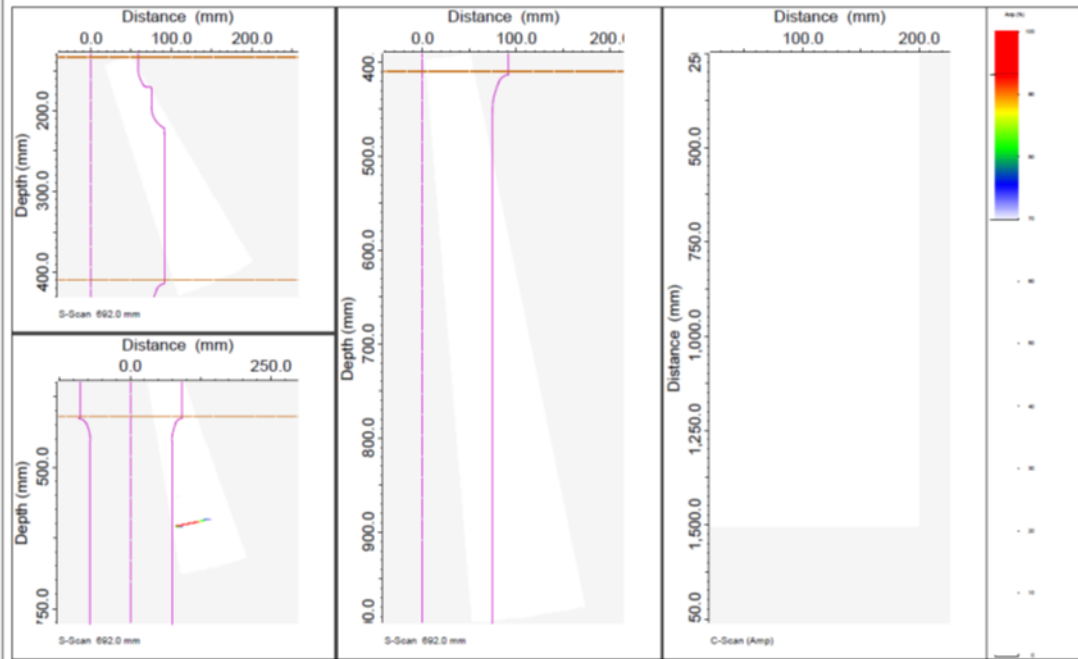
Şekil 5.22.'deki muayene raporunda görüleceği üzere muayene yüzeyinden yaklaşık 600 mm tarama mesafesinde bir süreksizlik tespit edilmiştir.



Şekil 5.21. Aksın muayenesi

TUVASAS UT AKS MUAYENE RAPORU

Aks Tipi:	SCH	Operatör:	SERHAN EMRE	Sağ Taraf-Right:	+
Sol Taraf-Left:	+	Aks No-İmal Yılı:	TVS-0035-2009-L	Cihaz Adı:	TD HANDY-SCAN RX
Prob:	5L 16-0.6				

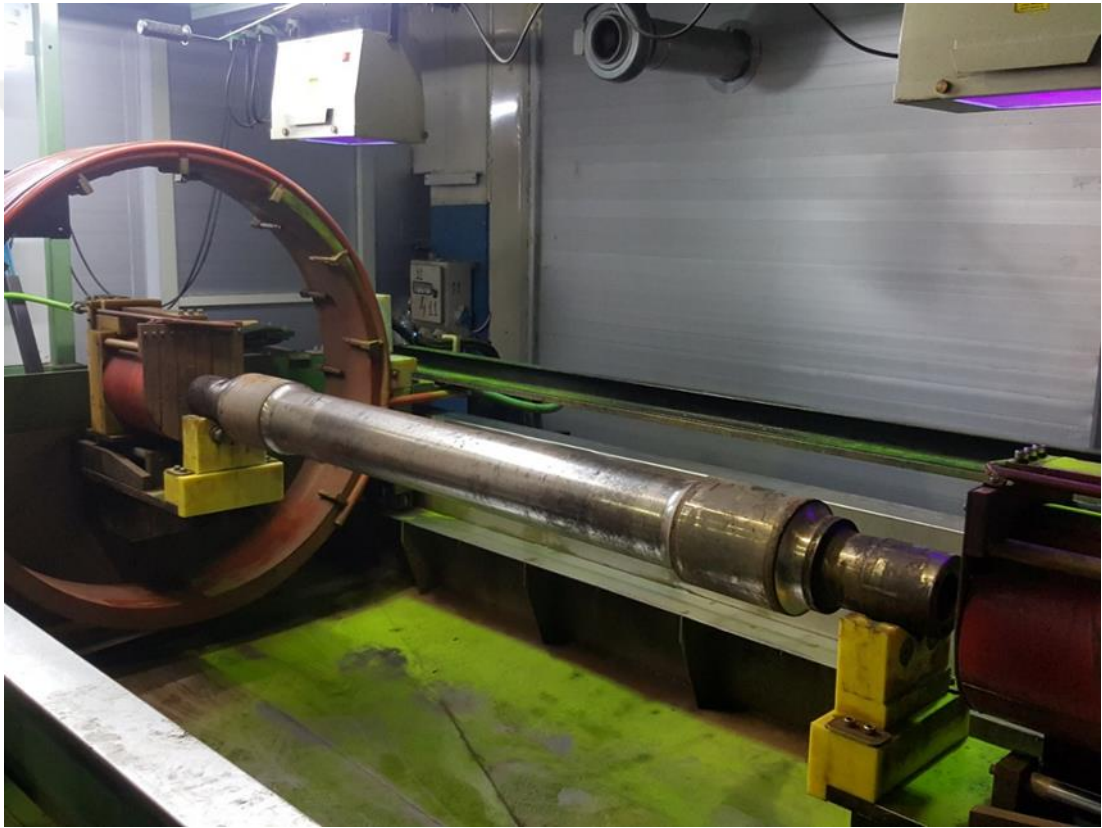


File Name	TVS-0035-2009-L1.scn	Print Preview.	Scan Date	31 - October - 2017 (10:34)
-----------	----------------------	----------------	-----------	-----------------------------

Şekil 5.22. Aks muayene raporu.

5.5. Tespit Edilen Kusurun Manyetik Parçacık Muayenesi ile Doğrulanması

Muayene raporunda ikinci kanalda görüldüğü üzere prop temas noktasından 600 mm mesafede bir süreksizlik tespit edilmiştir. Phased array muayenesinde S-taramada süreksizliğin konumunun hacimsel ya da yüzeysel olduğu hakkında bilgi sağlanabilmektedir. Söz konusu süreksizliğin yüzeysel hata olduğu görülebilmektedir. Bu hatayı doğrulamak amacıyla aks UV ışık altında manyetik parçacık muayenesi ile incelenmiştir (TS EN ISO 9934-2).



Şekil 5.23. Manyetik parçacık muayene tezgahı.

İncelemede muayene aksına aynı anda 2-6 kA/m akım şiddeti aralığını sağlayacak oranda manyetik akı ve muayene parçasına paralel hataların tespiti için parçaya dik manyetik alan oluşturması amacıyla elektrik akımı verebilen, demiryolu aks muayenesi için özel dizayn edilmiş manyetik parçacık muayene tezgahı kullanılmıştır (Şekil 5.23.).

Muayene ortamı maksimum aydınlığı UV ışık altında hataların tespitinin sağlanması amacıyla maksimum 20 lx olacak şekilde karartılmıştır (TS EN ISO 9934-1).

Muayene parçası üzerindeki UV-A ışınım şiddeti flor ışıklı muayenede tespit sıvısının hata üzerinde biriken partiküllerinin ayırt edilebilmesi amacıyla şekil 5.24’de ölçülmüş ve minimum 10 W/m² olduğu gözlemlenmiştir (TS EN ISO 3059).



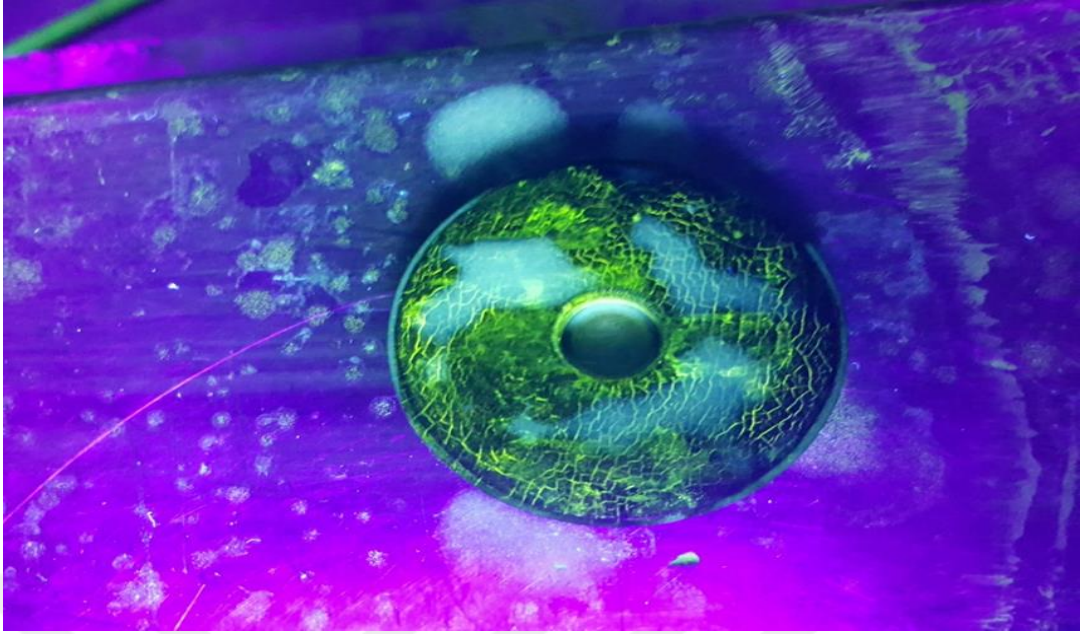
Şekil 5.24.UV ışığın aks üzerine yansıyan UV-A şiddetinin ölçümü.

Muayene parçasından geçen akı yoğunluğu minimum 1 T olmalıdır. Bu akı yoğunluğu yüksek manyetik geçirgenliğe sahip düşük karbonlu çeliklerde 2 kA/m’lik teğetsel alan kuvvetiyle belirlenir. Yüksek manyetik alan manyetik parçacık partiküllerinin birbiriyle etkileşime girerek muayene sonucunun olumsuz etkilenmesine yol açar. Çalışmamızda aks üzerinden geçen teğetsel alan kuvvetinin her noktada 2-6 kA/m aralığında olduğu ölçülmüştür (Şekil 5.24.).



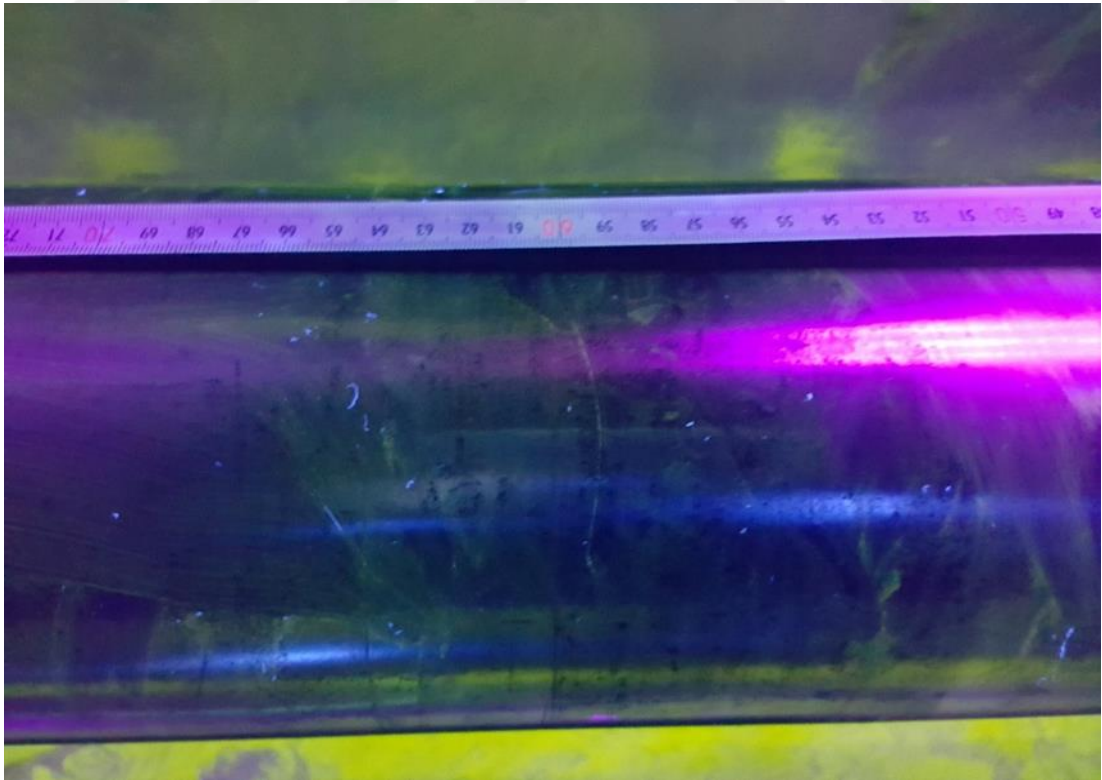
Şekil 5.25. Aks üzerinden geçen teğetsel alan kuvvetinin ölçümü.

Tespit ortamının hassasiyet kontrolü şekil 5.26.'da görüldüğü üzere muayeneden önce ve muayene sırasında düzenli aralıklarla MTU blok kullanılarak sağlanmıştır (TS EN ISO 9934-2).



Şekil 5.26. MTU blok ile flor ışımalı tespit sıvısının performansının doğrulanması.

Şekil 5.27.'de aksın muayenesinde referans noktasından 600 mm uzaklıkta enine bir çatlak tespit edilmiştir. Bu kusur phased array metoduyla yaptığımız incelemedeki tespit edilen hatayı doğrulamaktadır.



Şekil 5.27. Aksın UV ışık altında manyetik parçacık görüntüsü.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada demiryolu araçlarında kullanılan aksların tahribatsız muayene yöntemi ile hata tespiti amacıyla konvansiyonel ultrasonik muayene ve phased array muayenesi uygulanmış ve muayene doğruluğu açısından iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Yapılan muayeneler sonucunda görülmüştür ki;

- a. 0° prop ile ultrasonik muayenede muayene parçasında ultrasonik ses dalgası çıkış noktasından itibaren herhangi bir hata veya geometrik yansıtıcıya çarpmadığından dolayı arka cidara doğru ilerleyerek parça içerisinde sönümlenmektedir.
- b. Şematik görünüm üzerinde incelendiğinde 450 mm uzaklıkta ufak bir geometrik sinyal görünmektedir. Bundan sonra 600 mm uzaklıkta alınan sinyal hayalet yankı denilen parça içerisindeki ultrasonik ses dalgalarının yansiyarak oluşturduğu sinyaldir.
- c. 30° ultrasonik prop ile aks muayenesinde ultrasonik ses dalgası şematik gösterimde görülebileceği gibi yaklaşık 100 mm mesafeden yansiyarak 280 mm hatanın olduğu bölüme geldiği için bu hata net olarak görülebilmekte ancak yanında olan 250 mm'deki hatadan ultrasonik ses demeti çapının dışında kalmasından dolayı sinyal alınamamıştır. Bunun dışında kalan sinyaller parça geometrisi ve ses dalgasının açılı gönderilerek farklı bölgelerden yansması nedeniyle parazit olarak görülmektedir.
- d. 45° prop ile ultrasonik muayenede ses dalgası yaklaşık 50 mm ve 130 mm çift sekmede yansiyarak 250 mm ve 280 mm uzaklıktaki iki hatanın olduğu

bölgede 280 mm deki hatadan daha yüksek sinyal almak kaydıyla iki hata da tespit edilebilmiştir. Bununla beraber 300 mm uzaklıkta aks geometrisinden kaynaklanan sinyalde görülebilmektedir. Sonraki hataların ultrasonik dalganın aks içerisinde birçok yerden yansması sebebiyle hayalet yankılar ve parazitler arasında ayırt edilmesi mümkün olmamaktadır.

- e. 60° prop ile ultrasonik muayenede ultrasonik ses dalgası parça geometrisine göre birçok bölgeden yansıdığından dolayı çok fazla hayalet yankı ve parazit oluşmaktadır. 300 mm uzaklıktaki parça geometrisinden gelen sinyal baskın olarak görülmekte ancak hata sinyallerinin bu parazitler arasından ayırt edilmesi mümkün olmamaktadır.
- f. Düzlem veya dik açılı yüzeylerden ses çok iyi yansımaz. Bazı geliş açılarında örneğin yaklaşık 60° enine dalga geliş açısında, köşe etkisi meydana gelmez, neredeyse tamamı çıkış noktasına geri dönmeyen ve gelen ses dalgasına dik boyuna dalgaya dönüşür.
- g. Phased array muayenesinde tarama bölgeleri belirlenirken muayene parçası geometrisi ve olası hata bölgeleri dikkate alınmıştır. Parçanın hacimsel olarak tamamının kontrol edilmesi esastır.
- h. Kalibrasyon aksının phased array yöntemi ile muayenesinde 250 mm 280 mm 400 mm 470 mm 750 mm uzaklıktaki hatalar net şekilde tespit edilmiştir.
- i. Muayene parçasının pahased array ile muayenesinde 600 mm uzaklıkta bulunan hatadan alınan sinyal muayene raporunda görülmektedir.
- j. Phased array yönteminde elementlerin farklı zamanlarda ateşlenmesiyle sağlanan lineer tarama ve sektörel taramada dinamik odaklama kabiliyeti sayesinde özellikle büyük parçalarda meydana gelen konvensiyonel ultrasonik muayenedeki ses demetinin açınım açısından kaynaklanan sesin dağılmasının önüne geçilmiştir.

6.2. Öneriler

- a. Günümüzde ultrasonik muayene çoğunlukla darbe yankı tekniği ile gerçekleştirilir. Ses darbesi muayene parçasına gönderilir ve yansıyan darbe algılanır. Darbe, oluşum yerine geri dönerse bu cihaz üzerinde sinyal olarak

tespit edilir. Operatör açısından önemli olan aldığı sinyalin gerçekten bir hatadan mı geldiği yoksa parça geometrisinden ya da farklı yönlerden yansıyan ses dalgalarının oluşturduğu hayalet yankılar denilen ses dalgalarından alınan sinyaller mi olduğunun ayırt edilebilmesidir.

- b. Muayene parçasının doğal sınırları (arka cidar, kenar) ses dalgasını parça içerisindeki hata gibi yansıtır ve darbe süreleri veya ses yolları ile hata bulgusundan ayırt edilebilir. Bu ayırım çoğu kez ilave prop pozisyonu ile yapılabilir.
- c. Konvansiyonel ultrasonik muayenede monokristal bir prob kullanılarak dalgalar gönderilir. Bazı durumlarda ise hem alıcı hem verici görevini ayrı elemanlarla yapan çift elemanlı proplar kullanılır. Ancak phased array yönteminde kullanılan proplar birbirinden bağımsız olarak görev yapan çok sayıda elemandan oluşur. Bu eleman sayısı 16'dan 256'ya kadar ulaşabilmektedir. Endüstride genellikle çalışmamızda da kullandığımız 16 elementli proplar kullanılır. Muayene duyarlılığını arttırmak için element sayısı yüksek olan proplar kullanılabilir ancak yüksek maliyetler sebebiyle çok tercih edilmez.
- d. Phasedarray yönteminin tek prop ile çok açılı ses dalgası uygulanabilmesi, ses demeti yönünde ve tarama yönünde mesafe kaydı işlenmiş veri ile üç boyutlu değerlendirme olanağı, kolay hata bulma ve geniş raporlama özelliği ile operatöre bağımlılık azalmaktadır. Farklı ses demetleri oluşturarak odaklama yeteneği ile konvansiyonel ultrasonik muayenede oluşan özellikle büyük parçaların muayenesinde ses demetinin dağılması sebebiyle hatanın tespit edilememesi gibi problemlerin önüne geçilmiştir. Prop sistemlerinin boyutlarının küçük olması kısıtlı muayene yüzeylerinde yüksek hassasiyet sağlamaktadır.
- e. Phasedarray yönteminin konvansiyonel ultrasonik muayeneye nazaran dezavantajları ise ekipmanlar ve yedek parçaların yüksek maliyette olması, kalibrasyonun karmaşık ve zaman alıcı olmasıdır. Bu sebeplerden ötürü iyi ve donanımlı operatörlere gereksinim vardır.

KAYNAKLAR

Ciorau, P., Daks, H.Simith, 2005. A contribution of reverse engineering of linear defects and advanced phased array ultrasonic data plotting, 4.Phased Array Inspection Seminar, Miami, USA.

Erhard, A., 2002. Ultrasonic phased array system for railroad axle examination, 8th ECNDT, Barcelona, Spain, sf.75.

Ginzel E., D. Stewart, 2004. Photo elastic visulation oh phased array ultrasonic pulses in solids, 16.WCNDT, Montreal, Canada, Sf.127.

Gros, X.E, N.B.Cameron, M.King, 2002.Current applications and future trends in phased array technology, 673-678.

Oakley, C.G., 1991. Analysis and development of piezoelectric composites for medical ultrasound transducer applications, The Pennsylvania State Univercity, Doktora Tezi.

Olympus, Advantages in phased array ultrasonic techonology applications, MA, USA, 2007.

Olympus, Ultrasonic flaw detection tutorial, 2-3 wavepropagation, 2010.

R/D Tech TomoView 2 Referance Manual, Genaral Features, 2003.

Reilly D., J.Berlanger, M.Gaes, 2006. On the use of 3D ray-tracing and beam simulation for the design of advanced UT phased array inspection techniques, 5.International Conference on NDE in Relation to Structural ntegrity for Nuclear and Pressurized Components, San Diego, USA.

Sector Cert Gasellschaft für Zertifizierung mbH., Grundlagen, Teil C, Germany, 2009.

www.nde-ed.org, Erişim Tarihi:02.01.2018.

<http://www.sdindt.com>, Erişim Tarihi:10.01.2018.

TS EN 12668-1, Tahribatsız muayene, Ultrasonik muayene teçhizatlarının karakterizasyonu ve doğrulanması, Bölüm 1:Cihazlar, Mart, 2010.

TS EN ISO 16810, Tahribatsız muayene, Ultrasonik muayene, Genel prensipler, Nisan, 2014.

TS EN ISO 16811, Tahribatsız muayene, Ultrasonik muayene, Hassasiyet ve aralık ayarı, Nisan, 2014.

R.Molica Nardo, Detection characterization and sizing of hydrogen induced cracking in pressure vessels using phased array ultrasonic data processing, Italy, 2016.

TS EN ISO 9934-1, Tahribatsız muayene, Manyetik parçacık muayenesi, Bölüm 1, Genel ilkeler, 2016.

TS EN ISO 9934-2, Tahribatsız muayene, Manyetik parçacık muayenesi, Bölüm 2, Tespit ortamı, 2016.

TS EN ISO 3059, Tahribatsız muayene, Penetrantla muayene ve manyetik parçacıkla muayene, İnceleme şartları, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Serhan Emre, 03.01.1984'de Sakarya'da doğdu. 2002 yılında Sakarya Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2008 yılında bitirdi. 2009 yılında Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.' de çalışmaya başladı. Tahribatsız muayene yöntemlerinden VT, MT, UT, PT ve ET Seviye 3 eğitimlerini aldı. Halen Türkiye Vagon San. A.Ş. Kalite ve Standardizasyon Daire Başkanlığında görev yapmaktadır.