

Okan Üniversitesi MYO

MUTK216

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

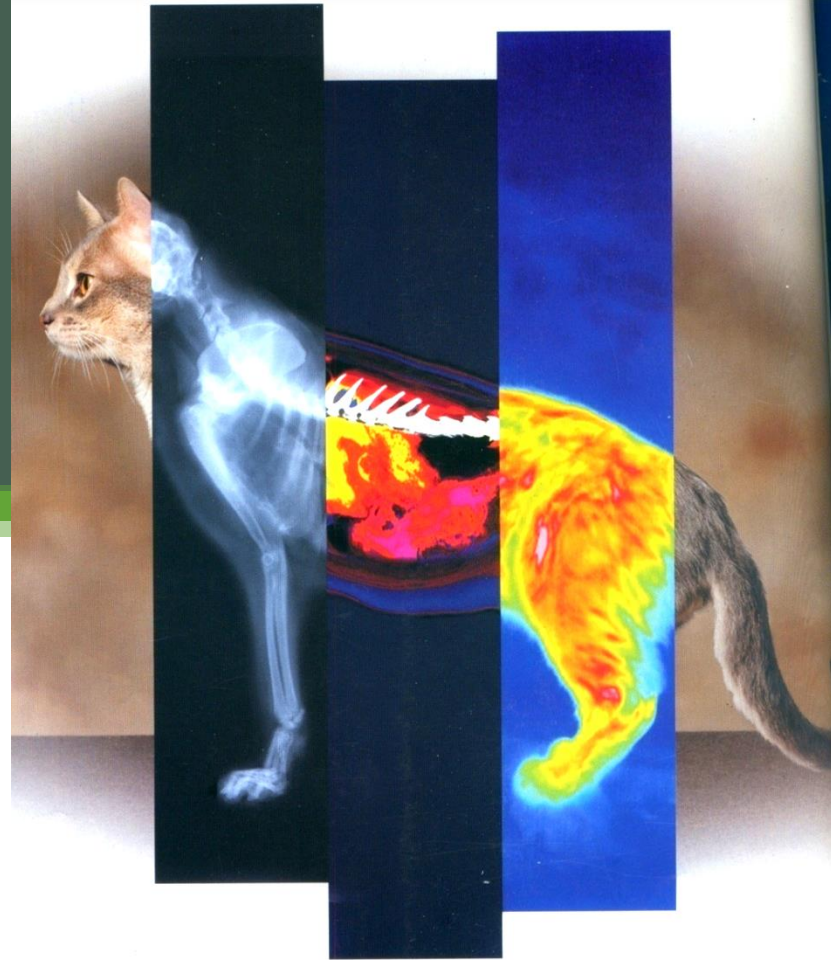
Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 6

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi



Zarar vermeden incele veya ölç!

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

~~Görsel Muayene~~

Ultrasonik Muayene

~~Penetrant Sıvı~~

Termografi

Radyografi

Girdap Akımları

Manyetik Parçacık

Akustik Emisyon

Temel Kavramlar

ULTRASONİK MUAYENE

- Ses
- Dalga
- Dalga Boyu – Frekans
- Ses Spektrumu
- Ses Şiddeti
- Ses Hızı
- Akustik Empedans
- Yansıma – Kırılma – Saçılma

TEMEL KAVRAMLAR: **Ses**

- **Ses**, canlıların işitme organları tarafından algılanabilen **periyodik basınç değişimleridir**.
- Fiziksel boyutta ses, katı sıvı veya gaz ortamlarda oluşan basit bir mekanik düzensizliktir. **Mekanik bir dalgadır**.
- Bir maddedeki **moleküllerin titreşmesi sonucunda oluşur**.
- Ses bir enerji türüdür. Ses titreşimle oluşur, titreşimi enerjiye dönüştürür.
- Sesin şiddetine gürlük (*loudness*) denir. Desibel (db) ile ölçülür. Örneğin kalkış yapan bir füze 120 desibel ses üretir. Yüksek sesli müzik 90 desibel üretir. Normal insanın konuşması 50-60 desibele eşittir.



TEMEL KAVRAMLAR: **Ses**

- **Sesin yayılması için maddesel ortama ihtiyaç vardır.** Ses dalgalar halinde yayılır. Ses kaynağından çıkan ses maddenin taneciklerini titreştirir.
- Ses dalgasının her bir tam devrinde bir sıkışma ve bir seyrekleşme serisi vardır. Ses, tanecikler üzerinden yayılır, **tanecikler ne kadar sık ise, ses o kadar hızlıdır.**
- Sesin yayılma hızı sırasıyla katıdan sıvıya, sıvıdan gaza azalır.
- Hız (V) = uzaklık (D)/ süre (T) biçiminde gösterilen genel hız formülünde göz önüne alınmayan dış faktörler, ses dalgalarının hızı üzerinde bir dizi etki yaratır. Örneğin rüzgâr sesi uzaklara taşır, gece ve gündüz sıcaklık farkları ses dalgalarını etkiler.

TEMEL KAVRAMLAR: Dalga Nedir?

- Fizikte dalga, beraberinde enerjiyi ileten, uzay-zamanda ilerleyen bir osilasyon (salınım, titreşim) veya tedirginliktir. Dalga, her ne kadar enerjiyi iletse de, dalga sırasında ortamdaki parçacıklar hareket etmez. Yani aslında bir yer değiştirme, ilerlemeden ziyade, bir salınım (titreşim) hareketidir ve bu hareket enerjiyi iletir.

Örnek Animasyon: Okyanus dalgalarının hareketi sırasında tekil moleküllerin yaptığı hareketler



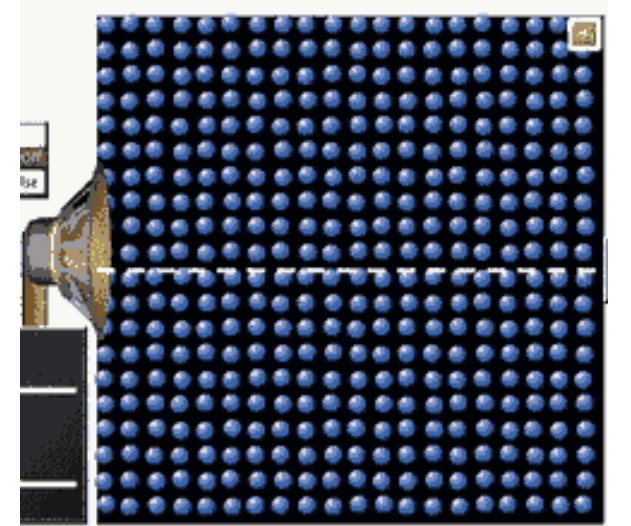
TEMEL KAVRAMLAR: **Ses Dalgası**

- Ses dalgası, gaz, plazma ve sıvılar boyunca iletilen, kimi zaman "basınç dalgası" olarak da bilinen boylamsal dalgalardır. Bu tanımdan görebileceğiniz gibi, "ses dalgası"nın ne olduğunu anlamak için, öncelikle "dalga" kavramını anlamak gerekmektedir. Gündelik yaşantımızdan denizdeki dalgalara aşina olduğumuz için kulağa oldukça basit gelen bu kavram, ilk etapta görüldüğünden biraz daha karmaşıktır. Bir dalganın mekaniğini anladıktan sonra, bir ses dalgasının ne olduğunu, sesin neye göre tiz veya bas çıktığını, ses şiddetinin neyle alakalı olduğunu kolayca anlayabiliriz.

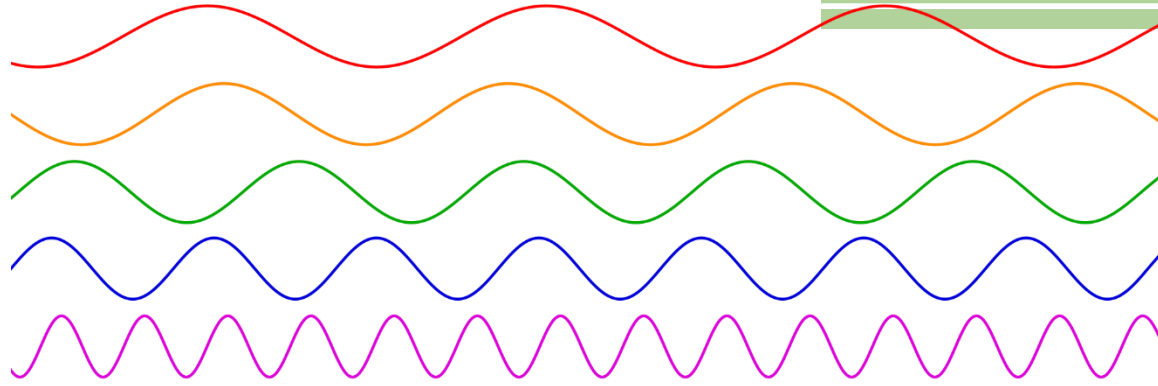
TEMEL KAVRAMLAR: Ses Dalgası

Örnek Animasyon:

- Resimdeki hoparlör bir odanın içindeki tanecikleri titreştirir, bu tanecikler de hemen yanı başlarındaki tanecikleri titreştirir. Taneciklerin titreşim doğrultusu ile dalganın yayılma doğrultusu aynıdır, işte bu nedenle ses için «boyuna dalgadır» tanımı yapılır. Tanecikler olmasa titreşecek bir ortam da olmaz ve ses yayılamaz. Ses yayılmak için **maddesel** bir ortama ihtiyaç duyar, bu nedenle mekanik dalgadır. Eğer maddesel ortam yoksa ses yayılamaz.



Ses



- Ses dalgaları katılarda yaklaşık olarak 5000 m/s hızla yayılır. Suda 1453 m/s hızla yol alır. Havada 340 m/s hızla yol alır.
- Sesin bir frekansı, dalga boyu, periyodu (T) ve hızı bulunmaktadır. Sesin birim zamandaki (genellikle saniye) titreşim sayısına "frekans" denir. Birimi ise Hertz (Hz)'dir. Dalga boyu, bir ses dalgasının oluşması için sesin aldığı yoldur. Ses boşlukta yayılamaz. Çünkü titreşen bir cismin sıkışıp genişmesine yol açabilecek atom ya da molekül gibi tanecikler yoktur.

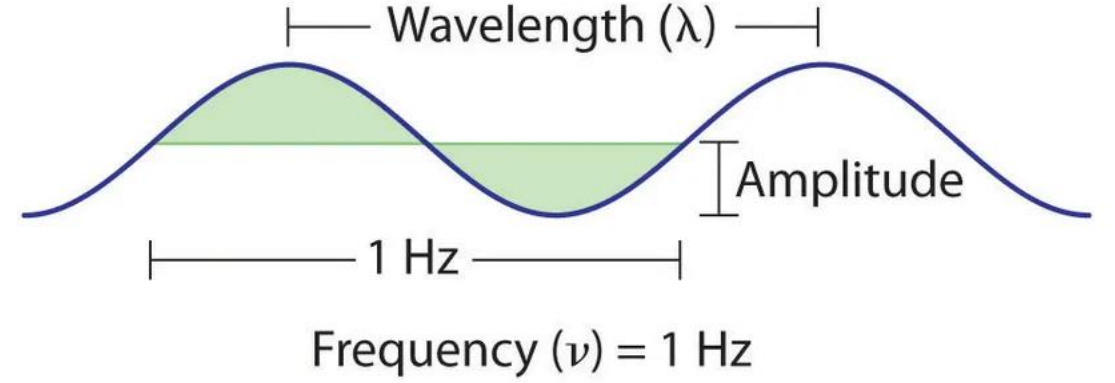


Ses

Ses Dalgalarında Frekans ve Periyot Neye Değiştirir?

- Ses dalgalarında sıkışma (İng: "compression") ve seyreklik (İng: "rarefaction") bölgeleri vardır. Frekans, bir saniyede, belirli bir yerden bu sıkışma noktalarından kaç tane geçtiğinin bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, saniyedeki (birim zamandaki) titreşim sayısıdır. Ölçü birimi, Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz'e ithafen Hertz'dir ve Hz olarak kısaltılır. Bir Hertz, bir saniyede bir titreşimi ifade eder. Bir saniyede 100 titreşim olursa bu 100 Hz'dir.
- Periyot ise bir tam dalga oluşması için gerekli süreye denir. Büyük T harfi ile gösterilir. Periyodu 1/4 olan bir dalga için her çeyrek saniyede bir dalga oluşur. Bu da aynı zamanda frekansının 4 Hz olduğu, yani saniyede 4 dalga oluştuğu anlamına gelir.
- Seslerin kalınlığını belirleyen de ses dalgasının frekansıdır. Piyano buna çok güzel bir örnek teşkil eder. Yukarıda gösterilen La notası standart olarak 440,00 Hz'e ayarlanır. Sağ yanında gösterilen Si notası 493,88 Hz frekansa sahipken sol yanında gösterilen sol notası 392,00 frekansa sahiptir.

Ses

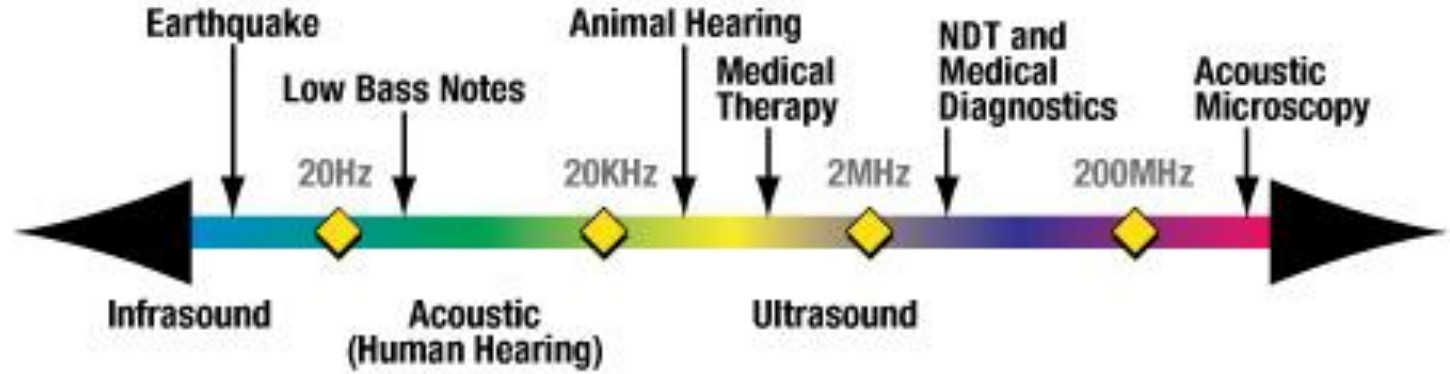


Dalga Boyu Ne İşe Yarar?

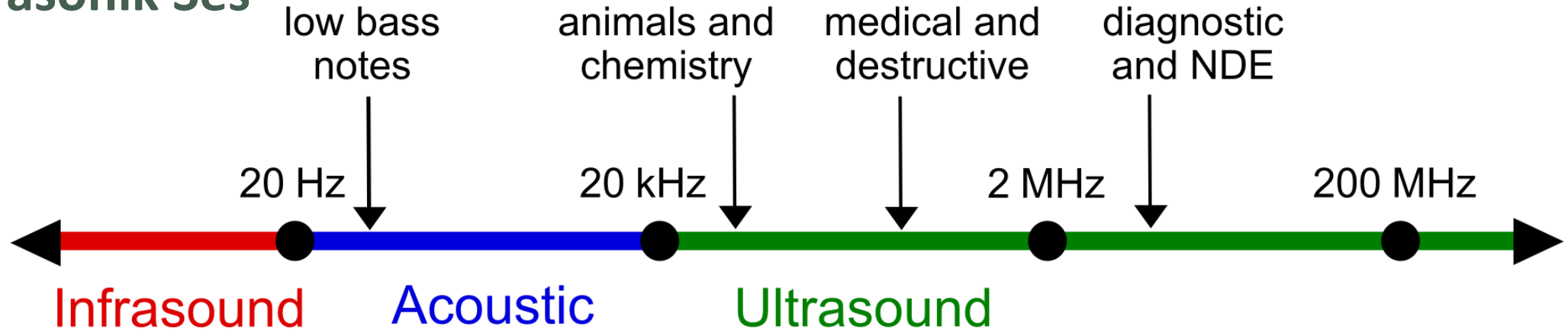
- Ses dalgalarında dalga boyu iki **sıkışma noktası** ya da iki **seyreklik noktası** arasındaki mesafedir; dolayısıyla metre, nanometre gibi bir uzunluk birimidir ve **λ** (lambda) ile gösterilir. Elektromanyetik dalgalarda dalga boyunu genellikle iki tepe ya da iki çukur arasındaki mesafe olarak tanımlarız (çünkü bu noktaları tanımlamak kolaydır).

TEMEL KAVRAMLAR: Ses ve Titreşim

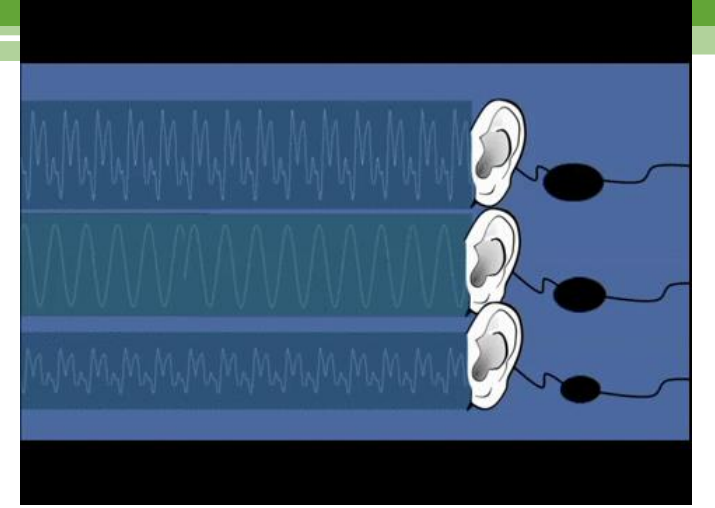
- Ses Spektrumu



- Ultrasonik Ses



Ses Şiddeti



Ses Şiddeti (Sound Intensity)

- Sesin havada yayılırken oluşturduğu dalganın yoğunluğunun niceliğidir. Bir **sesin şiddeti, ses dalgasının genliğiyle doğru orantılıdır.**
- Sesin şiddeti arttıkça, direnebileceği süre artar. Yani ses daha uzağa yayılabilir. Ses şiddetinin birimine desibel denir. desibelmetre ile ölçülür.
- İnsan kulağı, 0-140 dB arası sesleri sorunsuz duyar. 140 dB'den şiddetli sesler, kulağa zarar verir.

Ses Şiddeti

Ses Dalgalarında Genlik Nedir?

- Ses dalgaları hava, su gibi herhangi bir ortamda hareket ederken bu enerjiyi taşıyan parçacıklar uzun yollar katederek kulağımıza kadar gelmez. Buldukları yerde ileri geri titreşerek enerjiyi bir sonraki parçacığa aktarırlar ve ses dalgası bu sayede yayılır. Bir parçacığın ilk bulunduğu konumdan yaptığı bu minik titreşimlerin uzunluğu, ses dalgasının genliğidir. Ses dalgasının genliği sesin şiddetini belirler. **Genlik ne kadar büyükse ses o kadar yüksek çıkar.**
- Ses yüksekliğinin yani şiddetinin ölçüsü Desibel (dB) ile ifade edilir. 0 desibel insan kulağının duyabileceği en düşük şiddetteki sestir. Diğer bazı değerleri de şu şekilde sıralayabiliriz:
 - Rüzgârsız doğal ortam: 20 dB
 - Fısıltı: 25 dB
 - Sokakta gece saatleri: 40 dB
 - Normal sohbet: 60-75 dB
 - Küçük bir salondaki oda müziği: 75-85 dB
 - Şehir trafiği: 85 dB
 - Maruziyet devam ettiğinde duyma kaybına yol açacak seviye: 80-90 dB
 - 60 metreden metro: 95 dB
 - Kulakta acının başladığı seviye: 125 dB

Ses Şiddeti

- Ses şiddeti (*sound intensity, acoustic intensity*) Watt/cm² (veya **W/m²**) birimi ile ölçülür. Pratikte ses şiddeti Bel ile ölçülür (1 B = 10 dB).
- Ses yoğunluğu seviyesi (*Sound Intensity Level - SIL*) veya akustik yoğunluk seviyesi, **bir referans değerine göre** bir sesin yoğunluğunun seviyesidir (logaritmik bir ölçüdür).

$$L_I = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ Np} = \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ B} = 10 \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ dB},$$

- I : sound intensity (ses şiddeti)
- I₀ : reference sound intensity (referans ses şiddeti)

Ses / Ses-altı ve Ses-ötesi

Çok alçak frekanslı ses (İnfrasonik)

- Ses sınırı altı ya da *infrasound* olarak nitelendirilen ses frekansları, 20 Hertz den az olurlar. Böylece insan kulağının duyamayacağı kadar düşük, fakat hava basıncı değişiklikleriyle oluşan ses dalga frekanslarından daha yüksektirler.
- İnsan kulağının teorik olarak 20 Hertz ile 20000 Hertz arasını duyduğu söylene de, en iyi 250 Hertz ve 3000 Hertz arasındaki konuşma frekansı bölgesini duyar. Hayvanlar, insanların duyamadığı ses frekanslarını algılayabilirler.

Çok yüksek frekanslı Ses (Ultrasonik)

- Ses-ötesi ya da '**Ultra Sound**', insan kulağının duyamayacağı çok yüksek frekanstaki seslere verilen addır. Frekansı 20.000 Hertz'in üstündedir. Hayvanlar 20.000 Hertz den yukarısını duyabilirler.
- Örneğin, Galton tarafından tasarlanan Köpek Düdüğü, sadece köpeklerin duyabileceği frekanslardaki sesleri verir. Köpek terbiyeciliğinde ve istenmeyen köpeklerin uzak tutulmasında kullanılmaktadır. Frekansı 16000 ile 22000 Hertz arasındadır. Uygulamada bu kadar yüksek sıklığa sahip ses, insan kulağı tarafından duyulamamaktadır.

Ses Hızı

- Sesin hızı, içinden geçtiği ortamın esnekliğine ve yoğunluğuna bağlıdır.
- Genel olarak ses, sıvılarda gazlardan, katılarda ise sıvılardan daha hızlı yayılır.
- Esneklik (*elasticity*) ne kadar büyük ve yoğunluk (*density*) ne kadar düşük olursa, ses bir ortamda o kadar hızlı yayılır.

<https://www.nde-ed.org/Physics/Sound/vibration.xhtml>

<https://www.nde-ed.org/Physics/Sound/speedinair.xhtml>

http://english.ioa.cas.cn/psk/201410/t20141027_130148.html

Ses Hızı

- Çeşitli Malzemelerde Sesin İlerleme Hızı

$$V = \sqrt{\frac{C_{ij}}{\rho}}$$

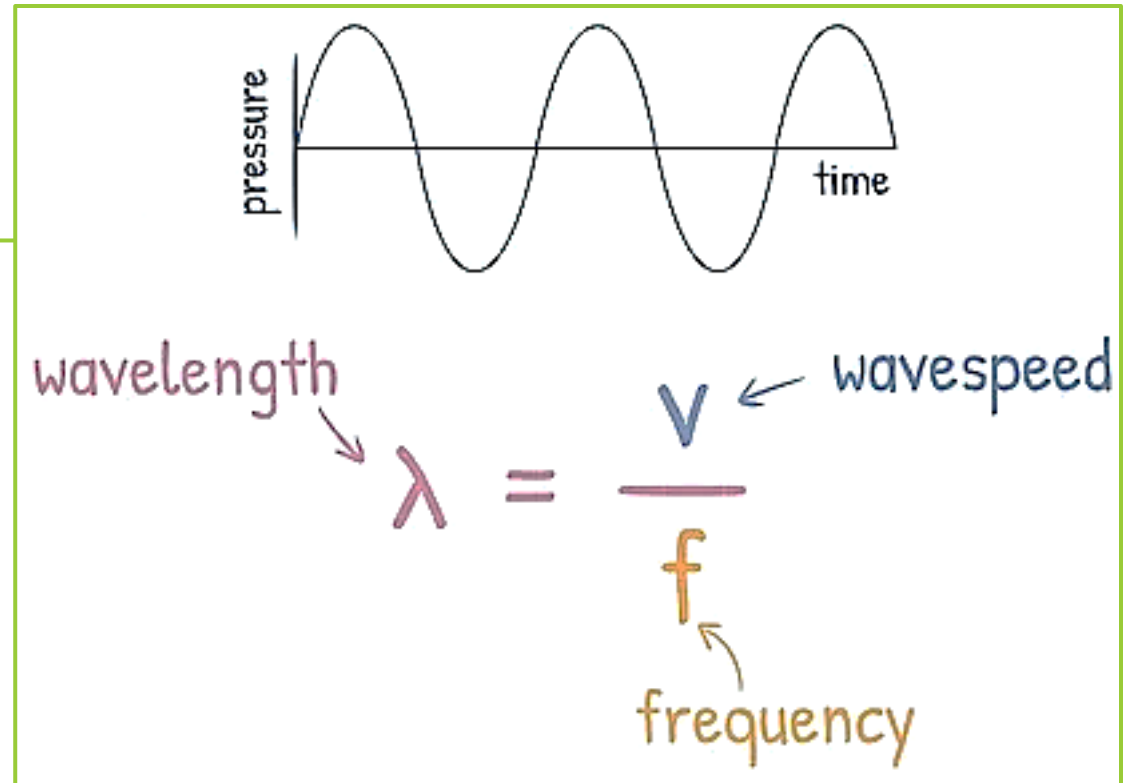
Where: C_{ij} is the elastic properties and ρ is the density.

Material	Speed of Sound
Rubber	60 m/s
Air at 40°C	355 m/s
Air at 20 °C	343 m/s
Lead	1210 m/s
Gold	3240 m/s
Glass	4540 m/s
Copper	4600 m/s
Aluminum	6320 m/s

TEMEL KAVRAMLAR: Ses Hızı

- Hız = Frekans × Dalga Boyu

$$v = f \cdot \lambda$$



Akustik Empedans

- Sesin yayılmasıyla ilgili önemli fiziksel özelliklerden biri, ses dalgasının içinde hareket ettiği ortamın akustik empedansıdır.
- Akustik empedans (Z), dalga'nın akustik basıncının (p) hacim hızına (U) oranıyla verilir:

$$Z = \frac{p}{U} .$$

- Kısaca, bir malzemenin bir ses dalgasının geçişine karşı gösterdiği direnç (günlük konuşma dilinde); yoğunluğun ve ses yayılma hızının (***karakteristik (spesifik / özgül) akustik empedans***) ürünü olarak hesaplanan bir ortam özelliğidir. Akustik empedanstaki kesintiler, ultrason görüntülemenin dayandığı ekolardan sorumludur.

<https://www.britannica.com/science/sound-physics/Impedance>

https://www.yalitim.net/yayin/415/ses-yalitim-malzemelerinin-akustik-empedans-modeliyle-yutma-katsayisinin-bulunmasi_12502.html

Akustik Empedans

- Elektrik direncindeki gibi, akustik empedans da bir ses dalgasının belirli bir ortamda yayılma kolaylığının bir ölçüsüdür. Aynı zamanda elektriksel empedans gibi akustik empedans da farklı durumlarda pek çok farklı etkiyi içerir. Örneğin, akustik basıncın parçacık hızına oranı olan spesifik akustik empedans (Z_c), ortamın ve dalganın doğasının doğal bir özelliğidir. Düzlem dalganın en basit durumu için, spesifik akustik empedans ortamın denge yoğunluğunun (ρ) ve dalga hızının (S) çarpımıdır:

$$Z_c = \rho \cdot S$$

- Spesifik akustik empedansın birimi, Lord Rayleigh'den sonra genellikle **Rayl** olarak adlandırılan metre başına Pascal saniyedir. Akustik empedansın birimi, elektrik empedansına benzetilerek akustik ohm adı verilen metreküp başına Pascal saniyedir.

Akustik Empedans

Akustik Basınç ve Özgül Akustik Empedans

- Mekanik kuvvet olarak zamana bağlı kaynakların (sinüs dalgası vb.) oluşturduğu akustik basıncın (*acoustic pressure*) yaptığı iş, elektrik devrelerinde olduğu gibi RMS (*root mean square*) cinsinden $u = \rho \cdot c \cdot v$ olarak verilir.
- Özgül akustik empedans (*Specific acoustic impedance*) $Z = \frac{u}{v} = \rho \cdot c$ olarak verilir. Burada ρ (kg/m³) ortam yoğunluğunu, c ses hızını (m/sn), v ortam zerreciklerinin hızı (m/sn), olmak üzere, u akustik basıncı (Newton/m², μ bar, μ Pa), Z (kg/m²sn) özgül akustik empedansı gösterir. Akustik empedans için kullanılan bir diğer birim de (bilim adamı Lord Rayleigh ile ilgili olarak) Rayl olarak bilinir.

Akustik Empedans

- Ekonun (yankı) oluşmasıyla doğrudan ilgili ve ortamın özelliğini belirleyen bir parametredir.
- Sertliği yüksek malzemelerin akustik empedansları da büyüktür ve ultrason dalganın basıncındaki değişimlere direnç artar.

$z_0 = \rho \cdot c$ şeklinde ifade edilir.

z : Rayl cinsinden akustik empedans (veya karakteristik empedans)

ρ : [kg/m^3] yoğunluk

c : m/s ultrason dalganın yayılma hızı

$$c = \sqrt{\left(\frac{K}{\rho}\right)} ; z = \rho \sqrt{\left(\frac{K}{\rho}\right)} = \sqrt{\rho K} \quad K: \text{sertlik (elastik sabiti)}$$

Akustik Empedans Farkı ve Yansımaya

Farklı iki ortamın Empedans farklılıkları yansımaya neden olmaktadır.

- Güç aktarımı:

$$\eta \text{ (verim)} = \frac{P_r}{P_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

P_r : Yansıyan dalganın gücü

P_i : Gelen dalganın gücü

Z_1 : $\rho_1 \cdot c_1$: Birinci ortamın akustik empedansı

Z_2 : $\rho_2 \cdot c_2$: İkinci ortamın akustik empedansı

- Genlikler cinsinden ifade edilirse:

$$R = \frac{A_r}{A_i} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

R: Yansımaya katsayısı

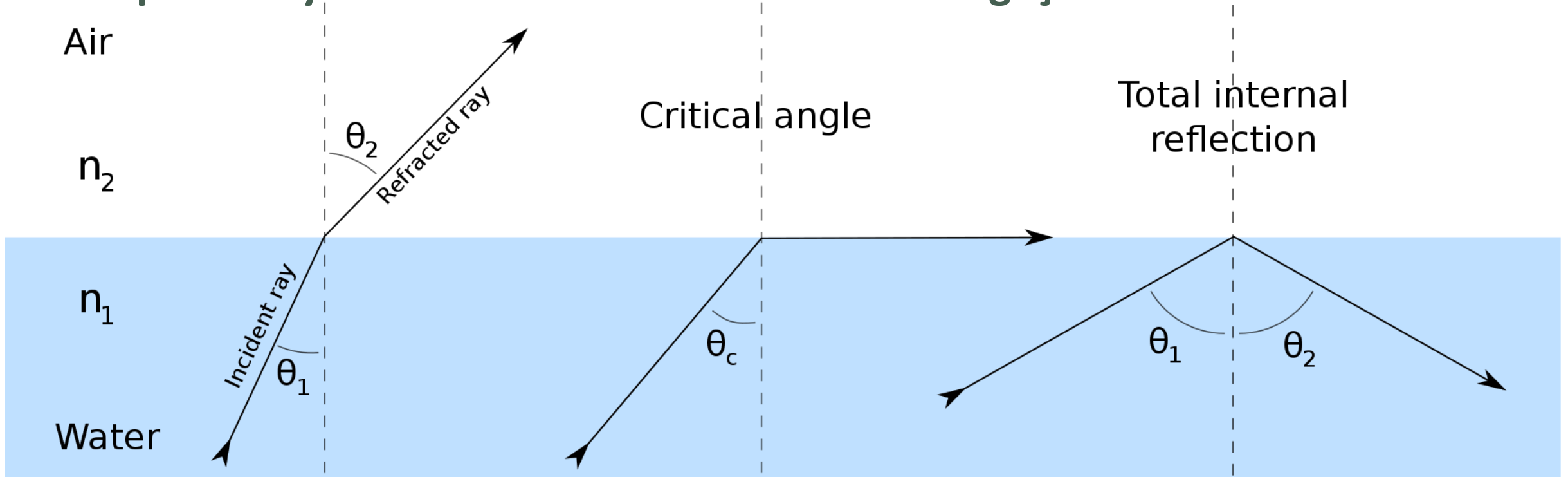
$Z_2=Z_1 \Rightarrow R=0$, $Z_1 \ll Z_2 \Rightarrow R \cong 1$,

Akustik Empedans Uyumsuzluğu

- Ses hızının farklı olduğu ortamlar genellikle farklı akustik empedanslara sahiptir, böylece bir ses dalgası ikisi arasındaki bir arayüze çarptığında bir empedans uyumsuzluğuyla karşılaşır. Bunun sonucunda dalganın bir kısmı yansırken bir kısmı da ikinci ortama iletilir.
- Bir ses kaynağının sesi yayma verimliliği, kaynak ile dış hava (veya ortam) arasındaki empedans uyumsuzluğunun düşürülmesi ile arttırılabilir.

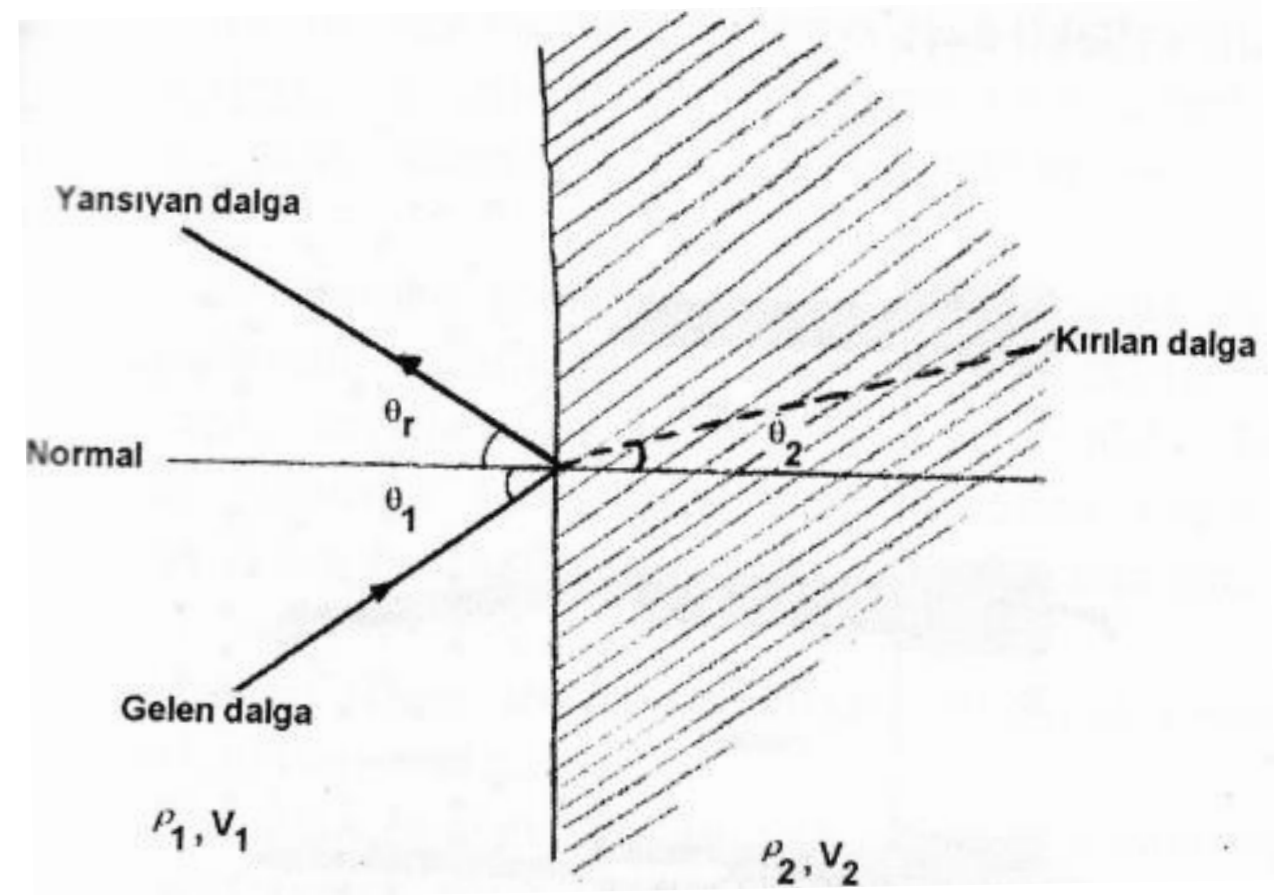
Ultrasonik Sistemler / Yansımada – Kırılma – Saçılma

- Optikteki yansımada ve kırılmalar akustikte de geçerlidir.



Ultrasonik Sistemler / Yansıma – Kırılma – Saçılma

- Yoğunlukları farklı, bir ortamdan ikinci bir ortama giren ultrason dalgalarının kırılmaları **Snell Yasası**na göre gerçekleşir.



KAYNAK: Ultrasonik Sistemler -

https://piazza.com/class_profile/get_resource/hf5bksqr6eg1pc/hgdb_sieqhqr5ij

Ultrasonik Sistemler / Yansıma – Kırılma – Saçılma

- Ultrason dalgaların kırılarak ikinci bir ortama geçmeleri **SNELL YASASI**na göre gerçekleşir.

$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}$	θ_1 : Gelme açısı θ_2 : Kırılma açısı	c_1 : Birinci ortamdaki ultrason dalganın yayılma hızı c_2 : İkinci ortamdaki ultrason dalganın yayılma hızı
$c_1 < c_2$ ise	$\theta_1 < \theta_2$ ve ($\rho_1 < \rho_2$)	Az yoğunluktan çok yoğunluğa geçme
$c_1 > c_2$ ise	$\theta_1 > \theta_2$ ve ($\rho_1 > \rho_2$)	Çok yoğunluktan az yoğunluğa geçme

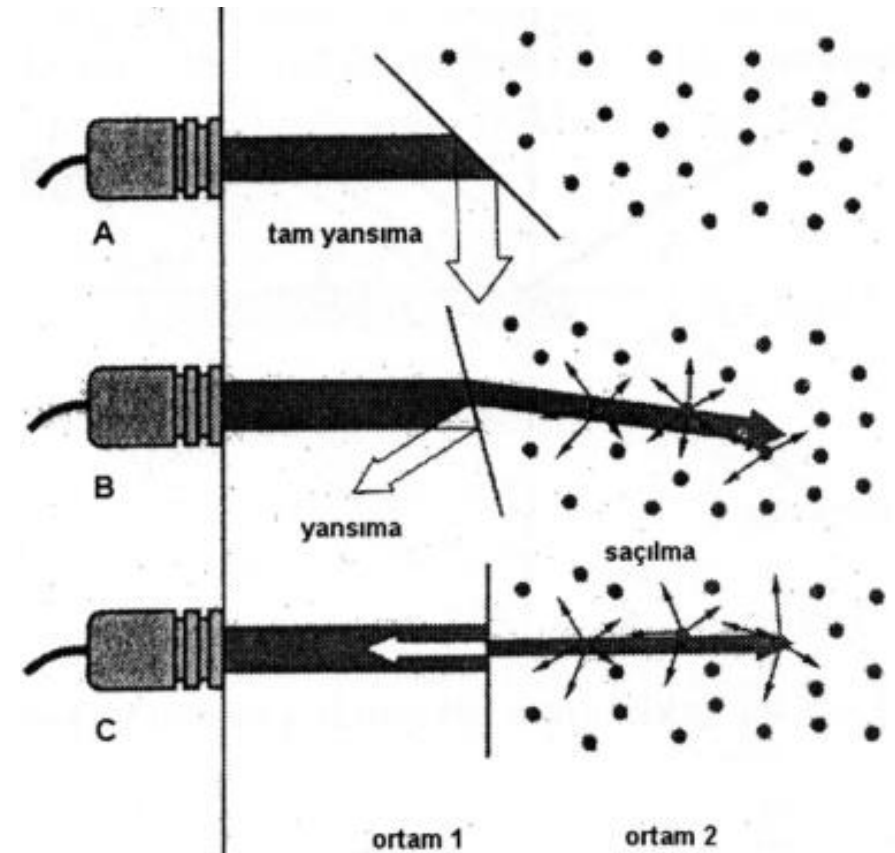
Ultrasonik Sistemler / Yansımaya – Kırılma – Saçılma

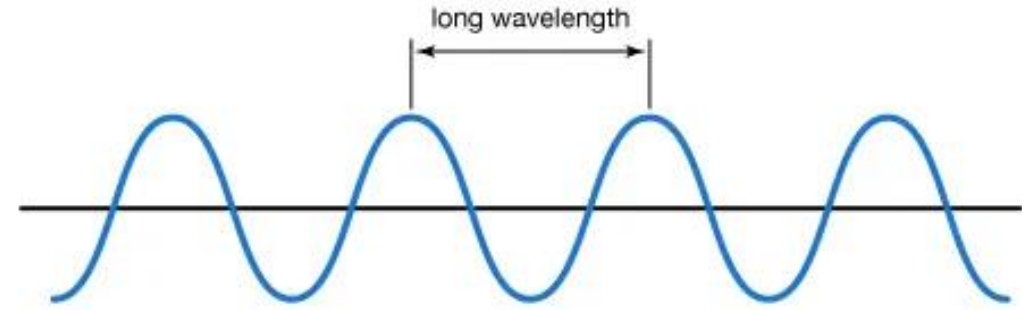
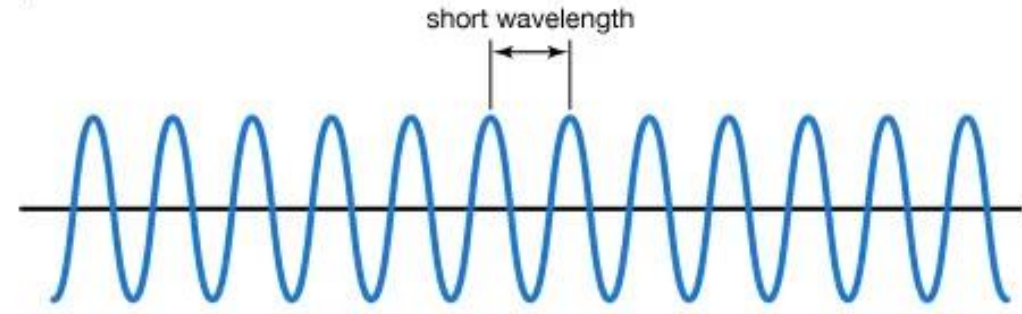
- Ultrason dalgası belirli bir açıda ikinci yüzeye gelirse tam yansımaya olur ve ikinci ortama hiçbir dalga geçemez, bu açıya kritik açı denir ve θ_c ile gösterilir.
- Ultrason dalgalarının yansımaları ve kırılması düzgün ve büyük yüzeylerde oluşur. Malzemelerin içinde homojen olmayan ve farklı yoğunlukta katmanlar mevcut ise, Ultrason dalgası bu tür arayüzlere çarptığında saçılmaya uğrar ve yön değiştirir.

Ultrasonik Sistemler / Yansırma – Kırılma – Saçılma

Örnek Görsel:

- A «tam yansırma» durumunda tam yansırma olur saçılma olmaz
- B durumunda kısmen yansırma ve kısmen saçılma olabilir
- C durumunda çoğu dik geri yansır azı geçer. Tam yansırma için $\theta_1 > \theta_r$.





Ultrason / Ses Hızı

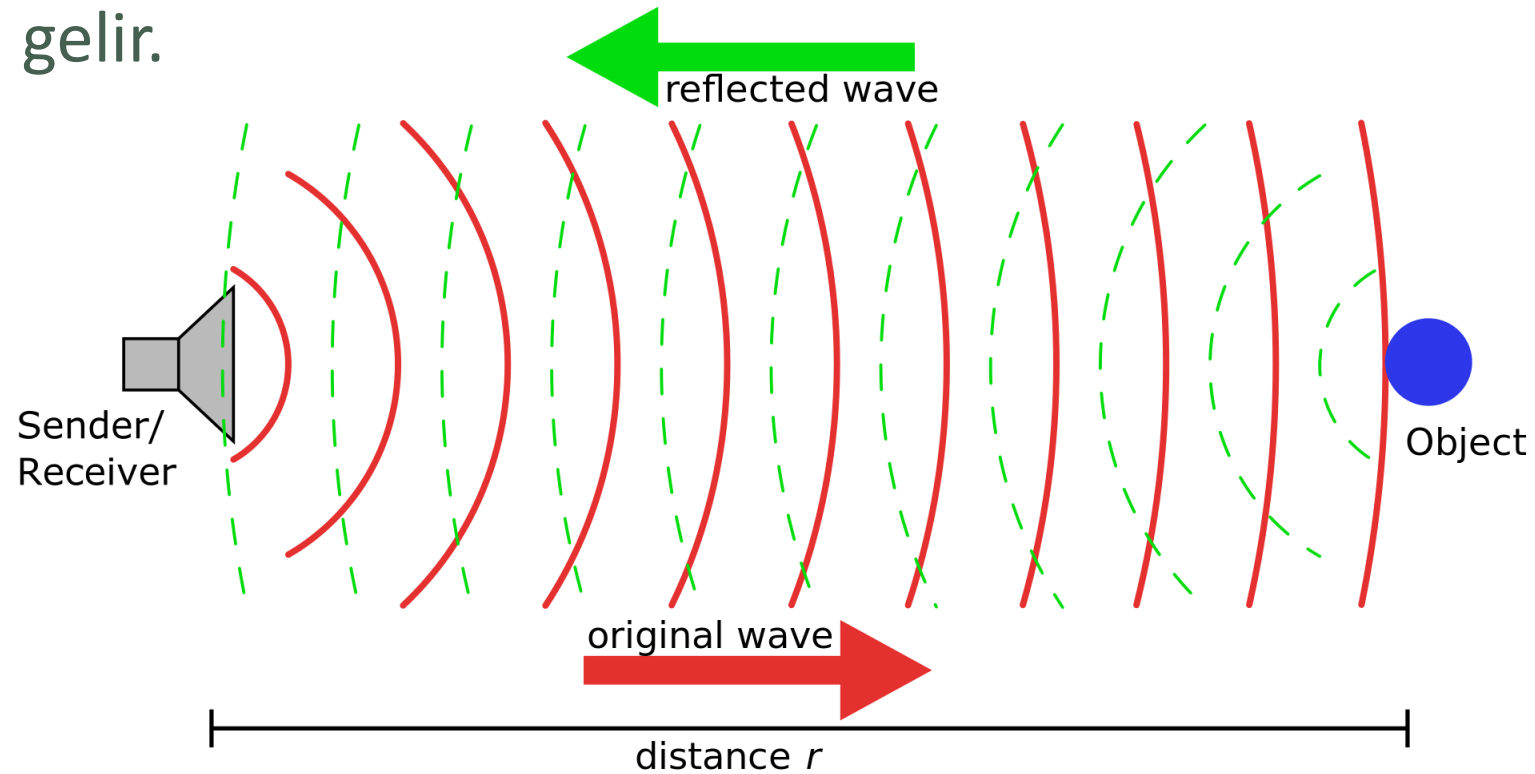
- Ultrasonik frekanslarda belli bir ortamdaki ses hızı sabit olduğu için
Hız = Frekans × Dalga Boyu
denklemine göre frekans artınca sesin dalga boyu kısalmaktadır.
- Aradaki ilişki ters orantılı olduğu için ses frekansı azalırse dalga boyu artar.

Ultrason

- **Ultrason** veya **yansılanım** (İng, *ultrasound*), insan kulağının işitemeyeceği kadar **yüksek frekanslı ses dalgalarına** verilen isimdir. İngilizce *Ultrasound* sözcüğünden oluşturulmuş bir kelimedir, bu kelime de *Çok Yüksek Ses* anlamına gelir.
- Ultrason da ses gibi bir enerji türüdür ve cisimlerin titreşimi sonucunda meydana gelir. Mekanik bir dalgadır. Ultrason, katı, sıvı veya gaz ortamda akustik bir dalgadır. **Bir yerden başka bir yere enerji taşınımı şeklindedir.**
- **Yayıma hızı, ortamın yoğunluğuna bağlıdır.**

Ultrason

- Ultrasonik ses verilen bir ortamdaki objelerden yansınım (**eko**) meydana gelir.



Ultrasonik Muayene

- Uçaklar ve havacılıkta en çok kullanılan tahribatsız muayene metotlarından biridir.
- Yüzey altındaki kusur veya özelliklerin görüntülenmesinde faydalanılır.



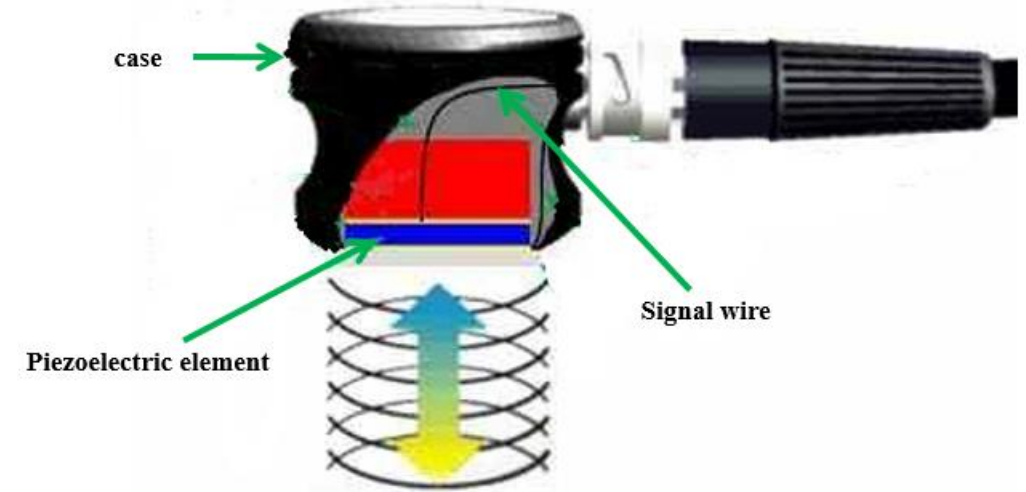
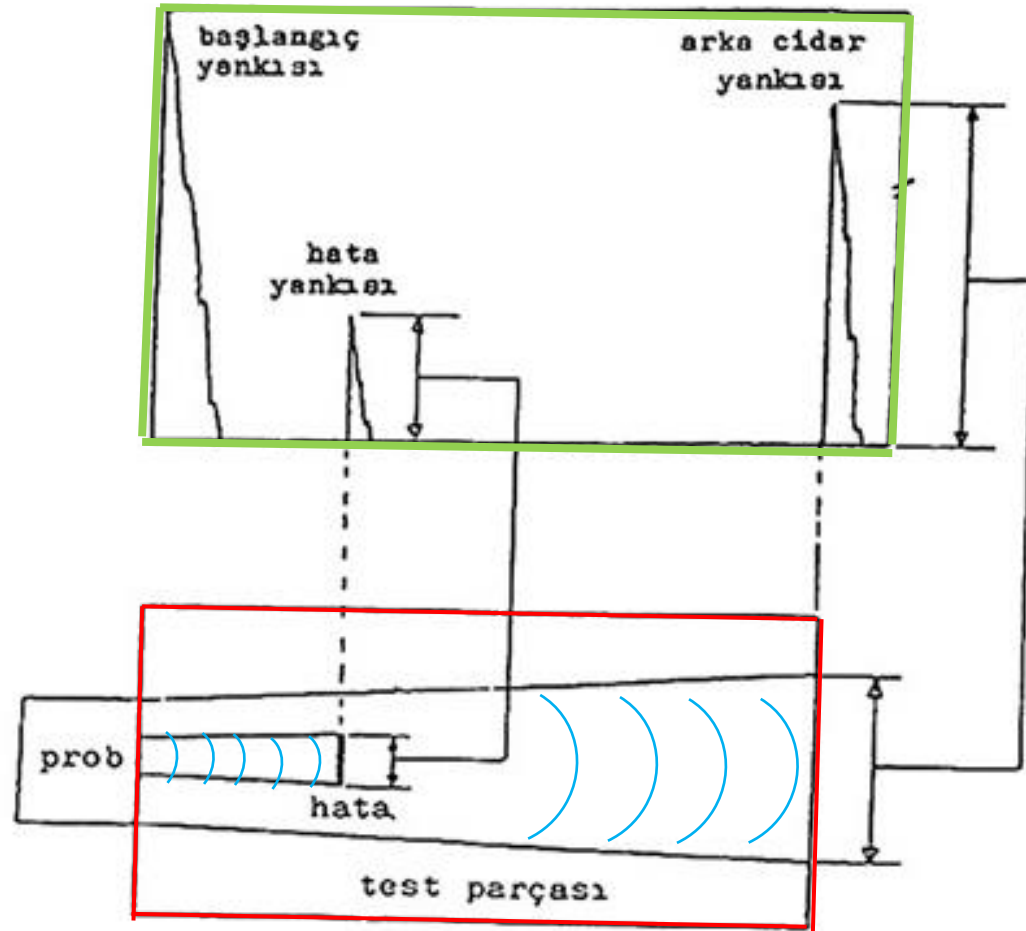
MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Ultrasonik Muayene

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Bu Tahribatsız Muayene (NDT) yöntemi, test edilecek parçadaki süreksizlikleri tespit etmek için **0,2 - 25 MHz** aralıkta **yüksek frekanslı ses dalgalarını** kullanmaktadır. Burada, Hertz (Hz) frekans birimi olup bir saniyedeki titreşim (tekrar) sayısına eşittir.

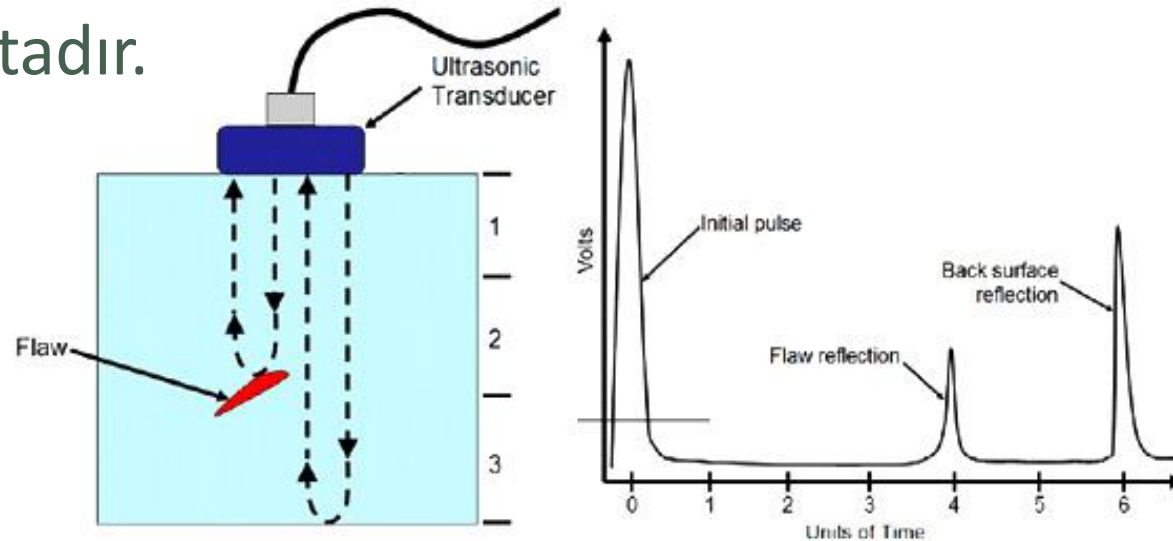
ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)



- Prensiş şeması

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Ultrasonik Test, malzeme içinde yayılan ses demetinin, **akustik empedans**ta (bir malzemenin ses yayılmasına karşı gösterdiği direnç) meydana gelen değişim sonucu kısmen veya tamamen yansımaları (yankı) prensibine dayanmaktadır.



ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Ultrasonik test ile her türlü parça, kaynak dikişleri, döküm ve dövme parçalar test edilebilmektedir.
- Petro-kimya, enerji, denizcilik, havacılık, otomotiv gibi endüstriyel alanlarda malzeme içi süreksizliklerin tespiti, metal et kalınlığını veya kaynak kalitesinin izlenmesi için kullanılır.

Ultrasonik Muayene / Tarihçesi

- Endüstriyel kullanıma en son gelen NDT yöntemidir. Ultrason yöntemleri 1847 yılında James Precott Joule ve 1880 yılında Pierre Curie tarafından çoktan keşfedilmişti.
- 1912 yılında Titanik battıktan sonra ilk uygulama önerildi. İngiliz Richardson patent başvurusunda buzdağlarının varlığının ultrason sayesinde tespit edilebileceğini önermiştir.
- Fransa'da birinci dünya savaşı sırasında Chilowski ve Langevin, denizaltıları su altında ultrason ile tespit etmek için çalışmalar yapmıştır.
- 1929 yılında Rus Sergei Sokolov, döküm parçalarını test etmek için ultrasonu kullanmayı önerdi. Aynı yıl bir **kuvars kristali** kullanarak malzemelerin içinde yüksek frekanslı titreşimler yaratmıştır.
- 2. Dünya Savaşı sırasında saclardaki laminasyonların ve sıcak haddelenmiş profillerde inklüzyonların (yabancı madde, kalıntı) tespiti zorunlu hale gelmişti. Zaten var olan NDT yöntemleri (X-Işını, MT, PT ve ET) bu sorunları çözemiyordu.

Ultrasonik Muayene / Tarihçesi

- Ultrasonik muayenenin endüstriyel kullanımını 3 ülkede aynı anda başlamıştır: ABD, İngiltere ve Almanya. İlgili kişiler, Floyd Firestone, Donald O. Sproule ve Adolf Trost idi ve tamamen gizlice çalıştıkları için birbirleri hakkında bilgileri yoktu. Patent başvuruları bile yayınlanmamıştı.
- Sproule ve Trost birbirinden ayrı verici-alıcı problemlerle geçiş tekniğini kullanmıştır.
- Trost, “Trost-Tonge” denilen yöntemi icat etmiştir. İki prob, levhanın alt ve üst köşelerinde birleşip, mekanik bir alet tarafından aynı ekseninde tutulmuştur ve iki tarafta durmadan akan suyla beslenmiştir.
- Sproule iki probu da parçanın aynı tarafına koymuştur. Böylece **çift kristalli problemler** icat etmiştir. Bu problemler birbirinden farklı mesafelerde de kullanmıştır.
- Firestone **yankı tekniğini** (**eko / echo**) fark eden ilk kişidir.

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- **Kullanılan EN ve ISO Standartları / Genel:**

EN ISO 16810 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene: Genel kurallar

EN ISO 16811 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene: Hassasiyet ve aralık ayarı

EN ISO 16823 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene: Geçiş tekniği

EN ISO 16826 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene: Yüze dik süreksizliklerin muayenesi için

EN ISO 16827 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene: Kusurların karakterizasyonu ve boyutlandırılması

EN ISO 16828 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene - Süreksizliklerin belirlenmesi ve ölçülendirilmesi için bir metot olarak uçuş/geçiş süresi kırımını tekniği (TOFD)

EN 12668-1 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene teçhizatının karakterizasyonu ve doğrulanması - Bölüm 1: Cihazlar

EN 12668-2 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene teçhizatının karakterizasyonu ve doğrulanması - Bölüm 2: Problar

EN 12668-3 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene teçhizatının karakterizasyonu ve doğrulanması - Bölüm 3: Birleşik teçhizat

EN ISO 2400 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene - Kalibrasyon bloğu No.1 için özellikler

EN ISO 7963 - Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene - Kalibrasyon bloğu No.2 için özellikler

EN ISO 1330-4 - Tahribatsız muayene - Terminoloji - Bölüm 4: Ultrasonik Muayenede Kullanılan terimler

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları ses yolu üzerinde bir engele çarparlarsa yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal alıcı proba gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı proba ulaşan yansıyan sinyal ultrasonik muayene cihazının ekranında bir yankı belirtisi oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında fikir verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak yansıtıcının türü hakkında da bir yorum yapmak mümkün olabilir.
- Muayene parçasında ses hızı ve ses zayıflatması özelliklerinin bölgesel olarak güçlü değişimler göstermesi durumunda doğru değerlendirme yapmak güçleşir. İri tane yapısı veya soğurma nedeniyle ses zayıflamasının çok fazla olduğu malzemelerde muayene bazen imkânsız olabilir. Sıcak muayene yüzeyleri için özel olarak tasarlanmış probalar kullanılmalıdır. Muayene için ulaşılabilir durumda yeterince geniş bir yüzey hazırlanmalıdır. Yüzey durumu muayene parametrelerini doğrudan etkiler. İnce parçaların muayenesi nispeten güçtür. Ses demeti eksenine paralel konumlanmış düzlemsel süreksizliklerin tespiti mümkün olmaz. Genellikle referans standart bloklara ihtiyaç vardır.

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Metalik veya metalik olmayan malzemelerde beklenen hacimsel hatalar ile çatlak türü yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.
- Yüksek frekanslı ses dalgaları prob adı verilen bir parça içindeki piezoelektrik özellikteki kristal tarafından üretilir. Metalik malzemelerin ultrasonik muayenesinde kullanılan frekans aralığı 500 kHz ile 10 MHz arasında olabilir. **Muayene parçasının mikro yapı özelliklerine göre uygun frekans belirlenir.** Prob muayene yüzeyine temas ettirildiğinde ses dalgalarının malzeme içine nüfuz edebilmesi için uygun bir temas sıvısı (yağ, gres, su, vb.) kullanılmalıdır. Prob muayene yüzeyinde gezdirilerek (tarama) parça geometrisinden kaynaklanan yankılar dışında yankılar olup olmadığı gözlenir, varsa bu yankıların konumları ve yükseklikleri değerlendirilerek hata çözümlemesi yapılır.
- Ultrasonik muayene için en yaygın kullanılan dalga türleri boyuna (basınç) ve enine (kesme) dalgalardır. Normal prob denilen sıfır derece giriş açısına sahip problarla çalışılırken malzeme içinde ilerleyen dalgalar boyuna dalgalardır. Açılı problar ise malzeme içine genellikle 45°, 60° ve 70° giriş açısı ile (bu değerler çelik malzeme içindir) enine dalgalar gönderir.

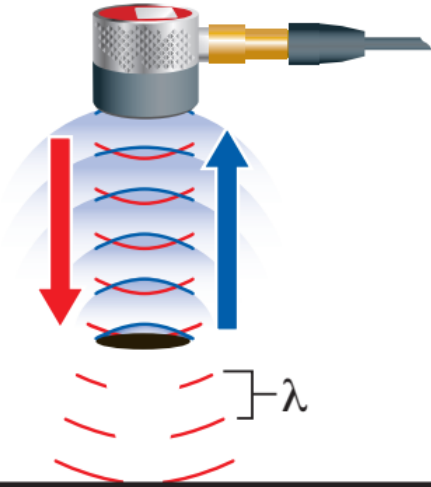
ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Ultrasonik muayene, **yüksek frekanslı ses dalgalarının** malzeme içine gönderilmesi ve **geri yansımaları** prensibine dayanır.
- Ses dalgaları **alıcı-verici** özelliği olan **tek bir prob** ya da **ayrı ayrı verici prob ve alıcı prob** kullanılarak malzeme içine gönderilir ve alınır.

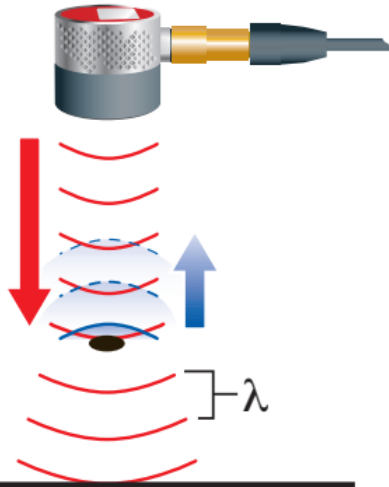
ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

5,0 MHz

Wavelength to flaw size ratio of 1 : 2

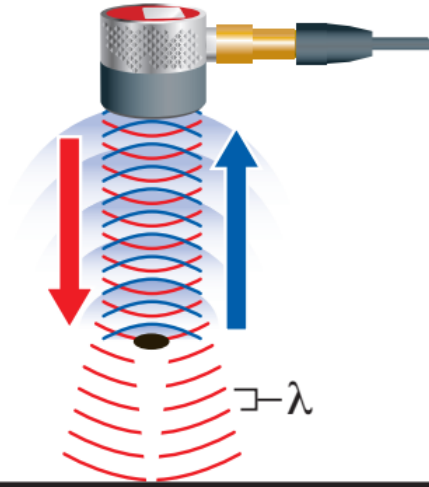


Wavelength to flaw size ratio of 3:1

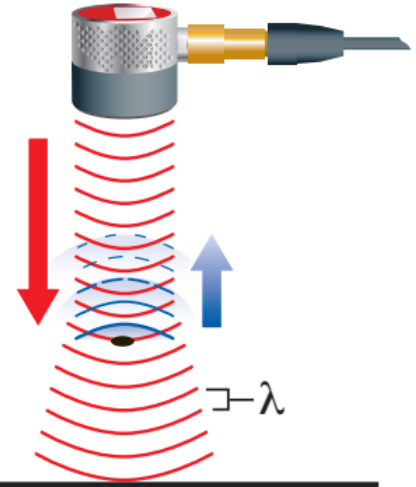


10 MHz

Wavelength to flaw size ratio of 1 : 2



Wavelength to flaw size ratio of 3:1



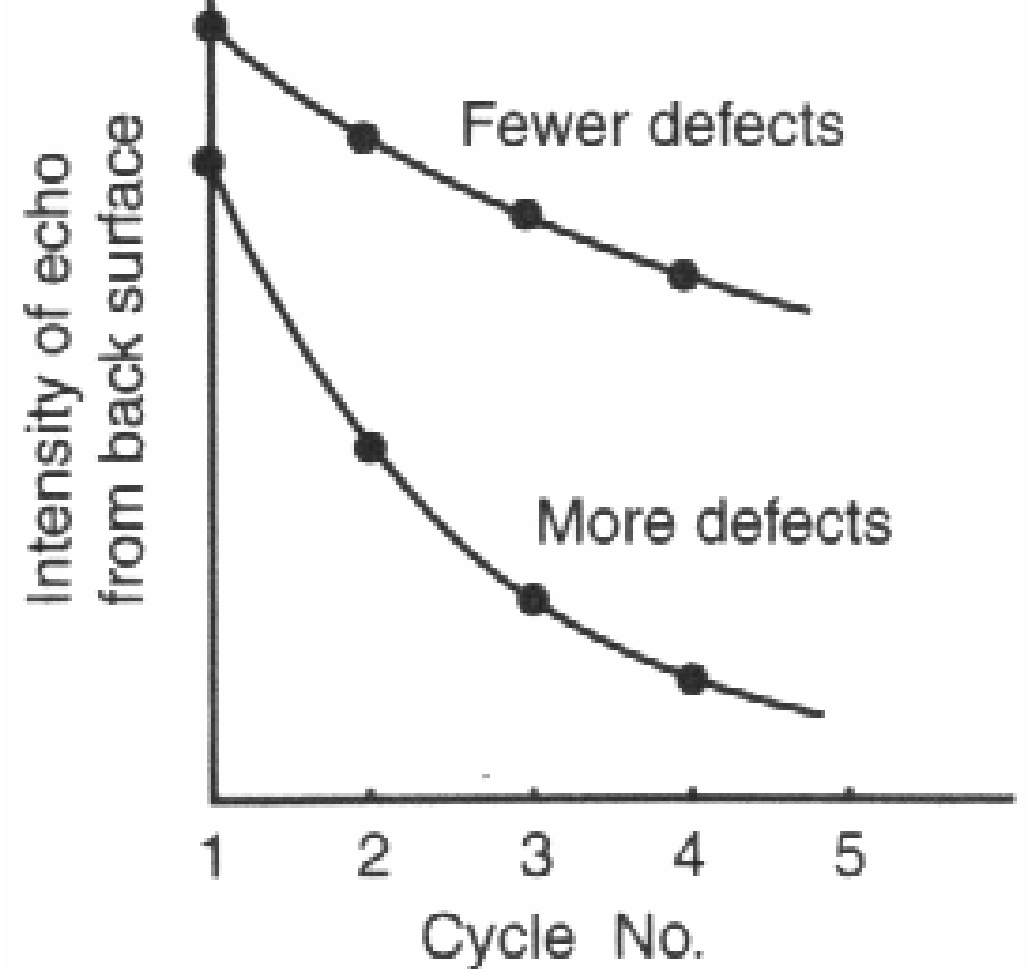
- **Frekans arttıkça**, dalga boyu azalır ve küçük kusurlara karşı hassasiyet artar (küçük kusurları tespit edebilme yeteneği artar).

ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Test edilecek parçanın boyutsal ölçüleri önceden bilindiğinden, gönderilen ve alınan sesteki zayıflama, içinde hata bulunmayan parça için hesaplanır.
- Parça içinde herhangi bir hata (süreksizlik / *defect* / *flaw*) olması durumunda ses zayıflaması farklı olur ve cihazın ekranında hatanın konumu, **hata yankısı** olarak belirir.

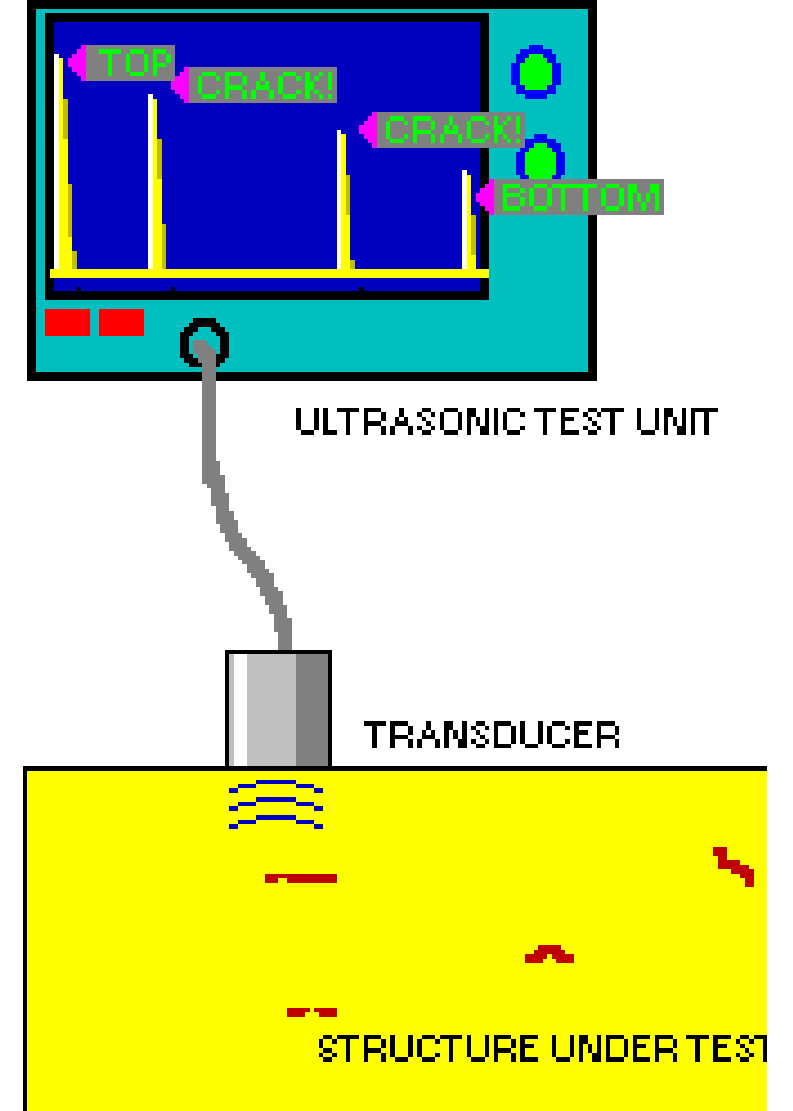
ULTRASONİK MUAYENE (Ultrasonic Testing – UT)

- Malzemenin içinden geçerken ultrasonik dalga yankı (*echo*) şiddeti zayıflar.
- Bir döngü (*cycle*), ön yüzeyden arka yüzeye ve ardından ön yüzeye dönme anlamına gelir.

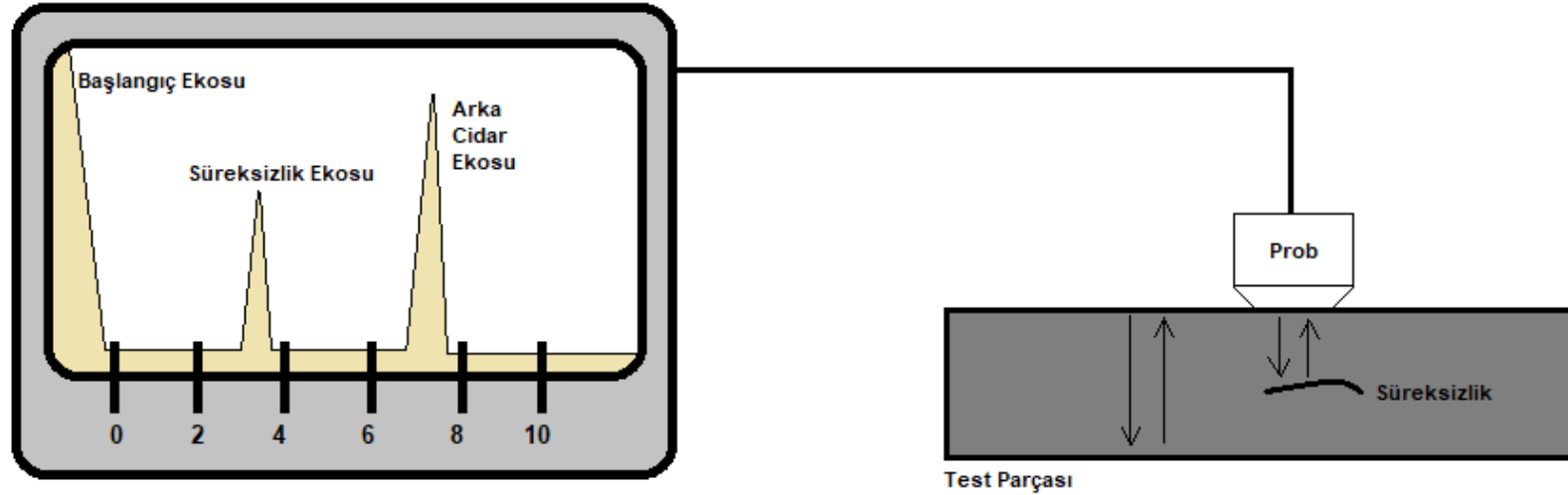


Ultrasonik Muayene

- Yüksek frekanslı ses, *elektrik enerjisini mekanik enerjiye ve mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine* dönüştürme yeteneğine sahip bir **piezoelektrik kristal** (transdüser - prob) tarafından malzemeye gönderilir.
- Algılanan yankılar katot ışını tüpünde (CRT ekran) veya LCD ekranda görülen elektrik sinyaline dönüştürülür.

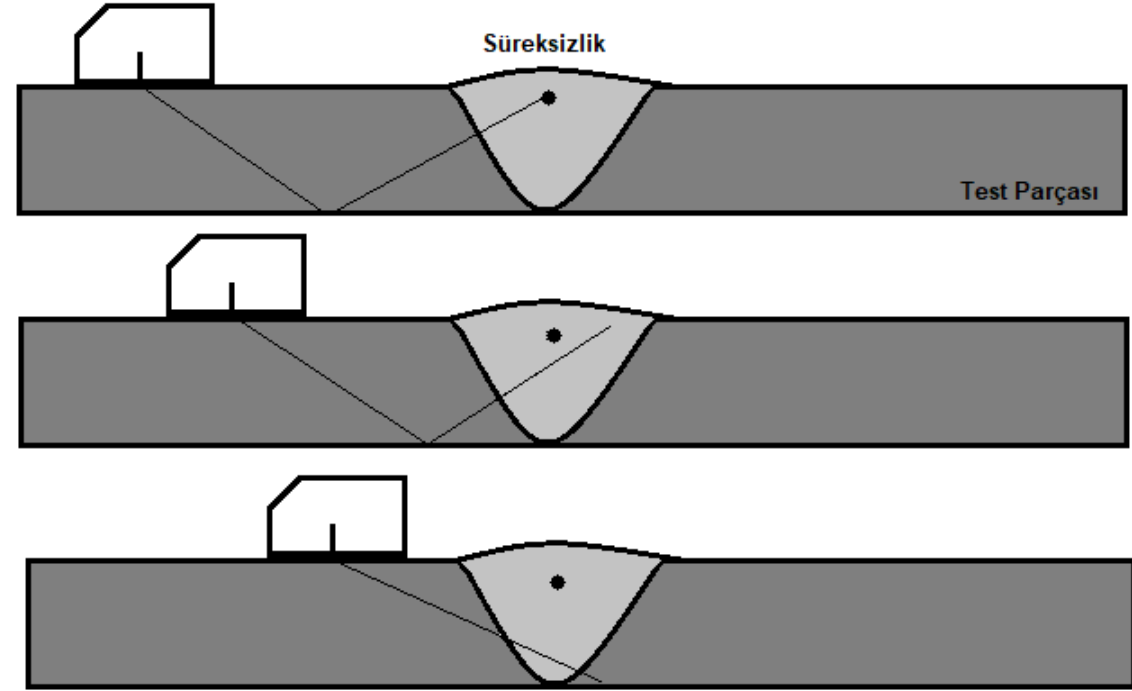
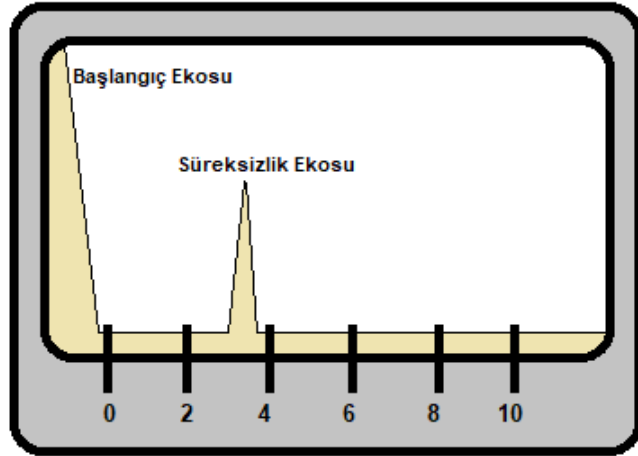


Ultrasonik Muayene



- Ultrasonik test cihazı prensip şeması
 - Prob: Transducer / alıcı-verici / sensör
 - Süreksizlik: Hata, kusur, çatlak, gözenek, boşluk, delaminasyon
 - Test parçası: Herhangi bir malzemedен imal edilmiş component

Ultrasonik Muayene



- Ses dalgasının yansımaları ve yankı

Ultrasonik Muayene

Avantajları (1)

- Malzemelerin iç kısmındaki hatalar tespit edilebilir.
- Yüksek nüfuziyet yeteneği olan bir yöntemdir.
- Malzemenin sadece bir tarafından giriş (erişim) yeterlidir.
- Düzlemsel iç süreksizliklerin tespitinde en uygun yöntemdir.
- Çok çeşit ve türde malzeme de kullanılabilir.

Ultrasonik Muayene

Avantajları (2)

- Hızlı ve hemen sonuç elde edilir.
- Çevre ve insan sağlığı için zararlı değildir.
- Test ekipmanlarının taşınması kolay ve pratiktir (portatif, seyyar).
- **Test probunun** test yüzeyine **tam temas** edecek şekilde yüzey hazırlanması yeterlidir.
- Otomatik sistemlere adapte edilebilir.

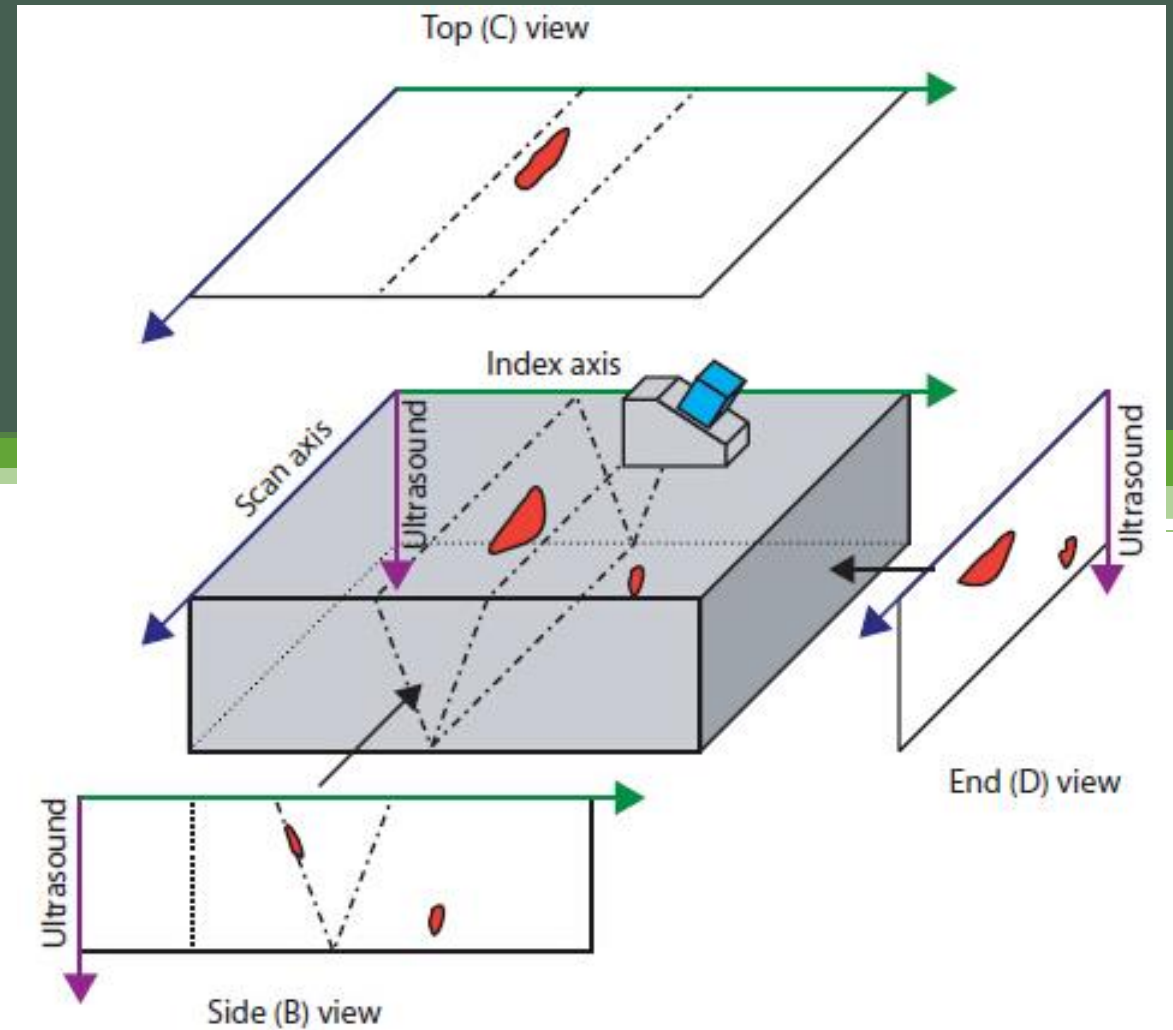
Ultrasonik Muayene

Dezavantajları

- Parçanın geometrisi ile sınırlıdır.
- Ses dalgalarına dik olmayan süreksizlikler tespit edilemeyebilir.
- Ekipmanları pahalıdır.
- Pürüzlü yüzeyler sorun yaratabilir.
- Yüzey hazırlığı gerekir.
- Referans standartlar ve kalibrasyon gerekir.
- Yorumlama zor olabilir.
- Yüksek-derecede operatör deneyimi ve güvenilirliği gerekir.

Ultrasonik Test - UT

Tarama Türleri

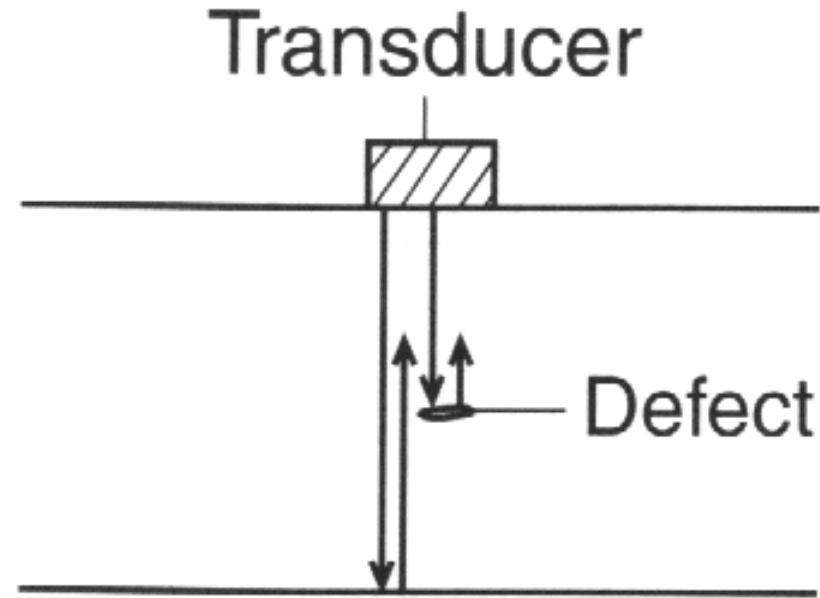


Ultrasonik Muayene

TARAMA TÜRLERİ

- Tek prob ile tarama
- Karşılıklı yüzeylerde alıcı ve verici iki prob ile tarama
- Aynı yüzeyde alıcı ve verici iki prob ile tarama
- Dik tarama
- Açılı tarama
- Kuplaj sıvısı yardımıyla tarama
- Sıvıya batırılmış şekilde tarama
- TOFD, PA vb. gelişkin bileşik metotlar

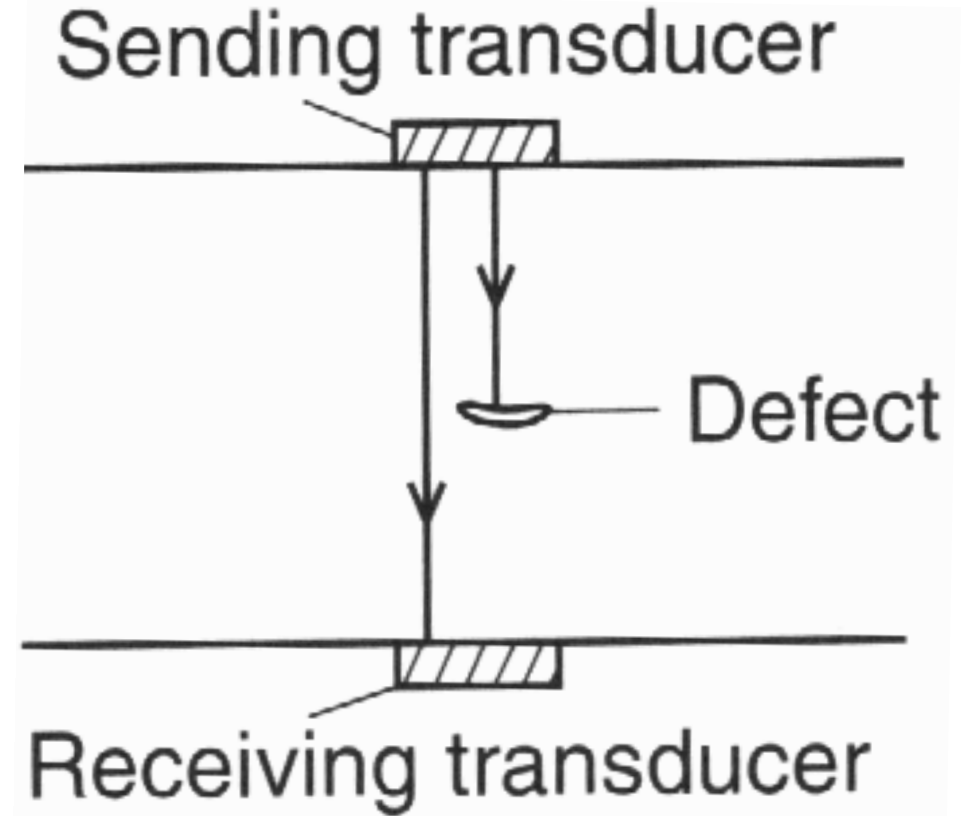
Ultrasonik Muayene / Tek Prob ile Tarama



- Tek **bir Ultrasonik prob ile tarama**/muayene (alıcı-verici özellikli)

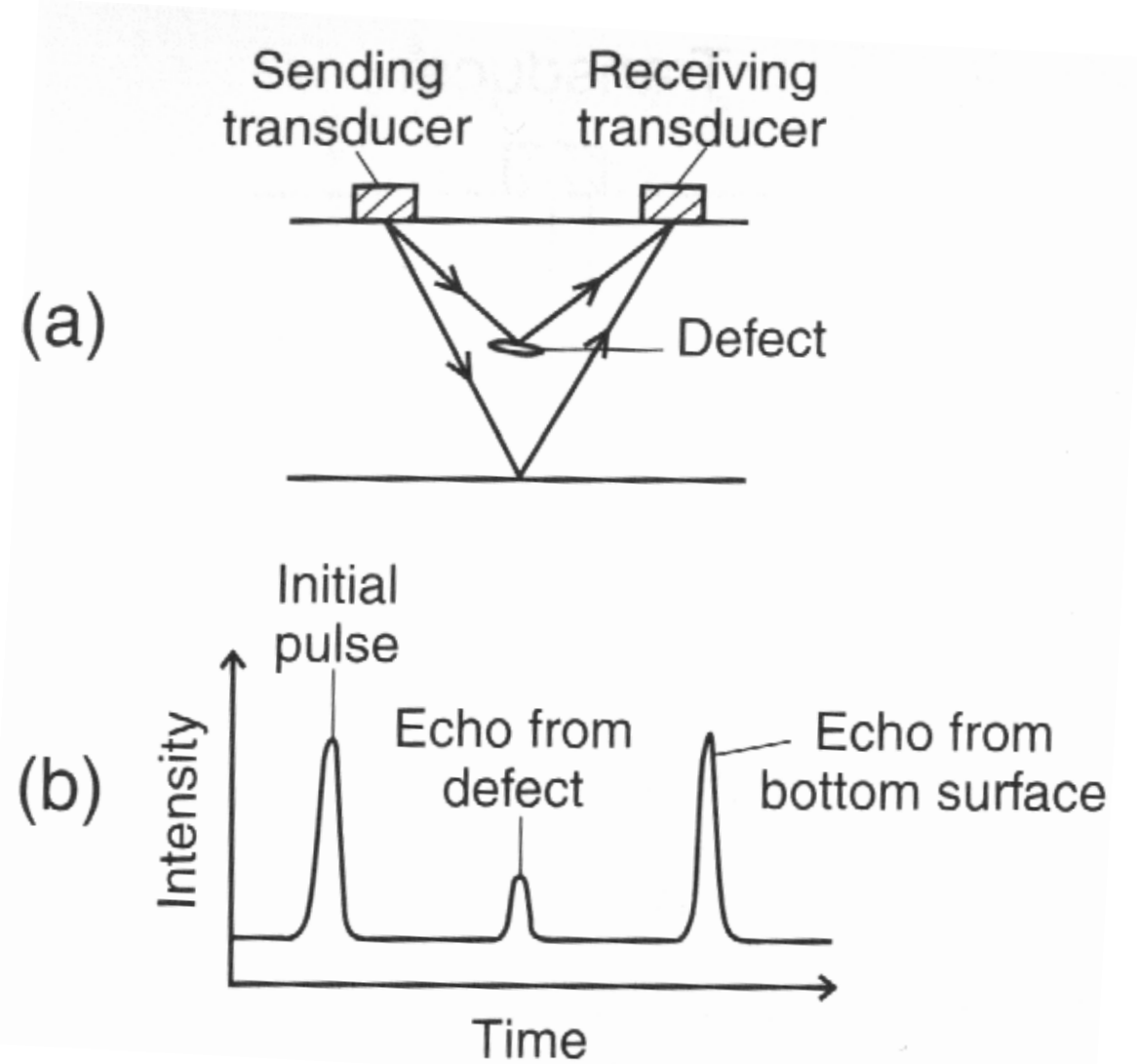
Ultrasonik Muayene Alıcı ve Verici İki Prob ile Tarama

- Karşılıklı yüzeylerde ayrı ayrı **2 adet** verici ve alıcı **prob ile tarama**/muayene
- Geçirim Metodu (*through transmission*)



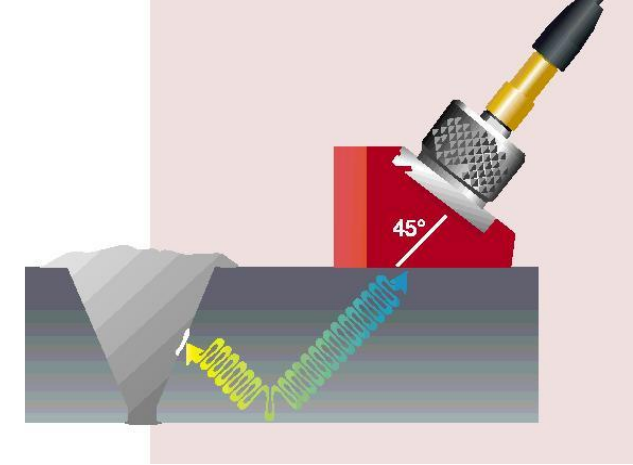
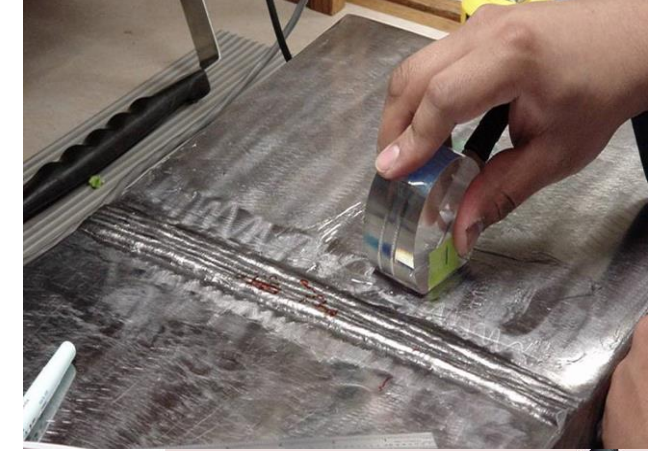
Ultrasonik Muayene

- Aynı yüzeyde ayrı ayrı **2 adet** verici ve alıcı **prob ile tarama**/muayene

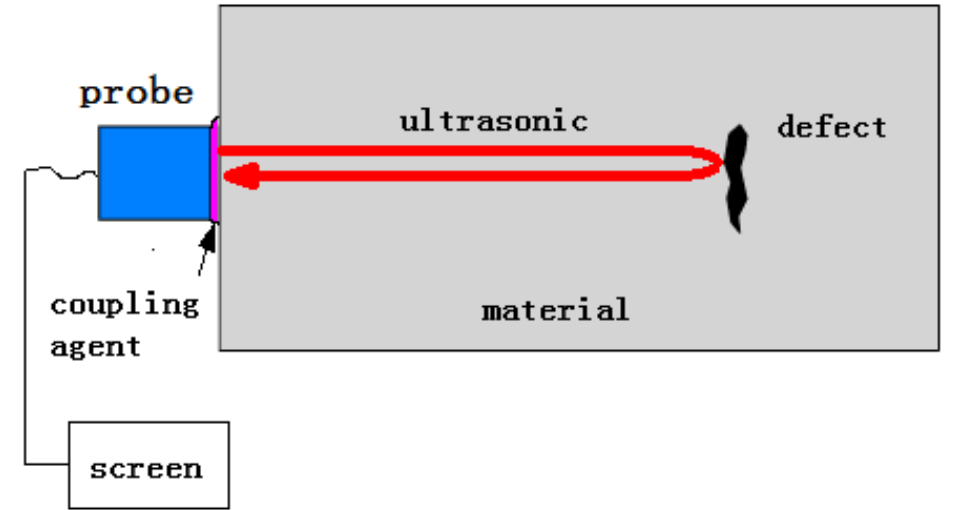


Ultrasonik Muayene

- **Normal (dik) tarama**da, ses ışını, test nesnesinin yüzeyi ile 90 derece açı yapacak şekilde sokulur.
- **Açılı tarama**da, ses ışını, 90'ın dışındaki bazı açılarda test parçasına nüfuz eder.
- Normal ve açılı muayene arasındaki seçim genellikle iki hususa bağlıdır:
 - 1. İlgili özelliğin yönü - ses, özellikten en büyük yankıyı alacak şekilde yönlendirilmelidir.
 - 2. Parçanın yüzeyindeki engeller etrafında çalışma gereği.

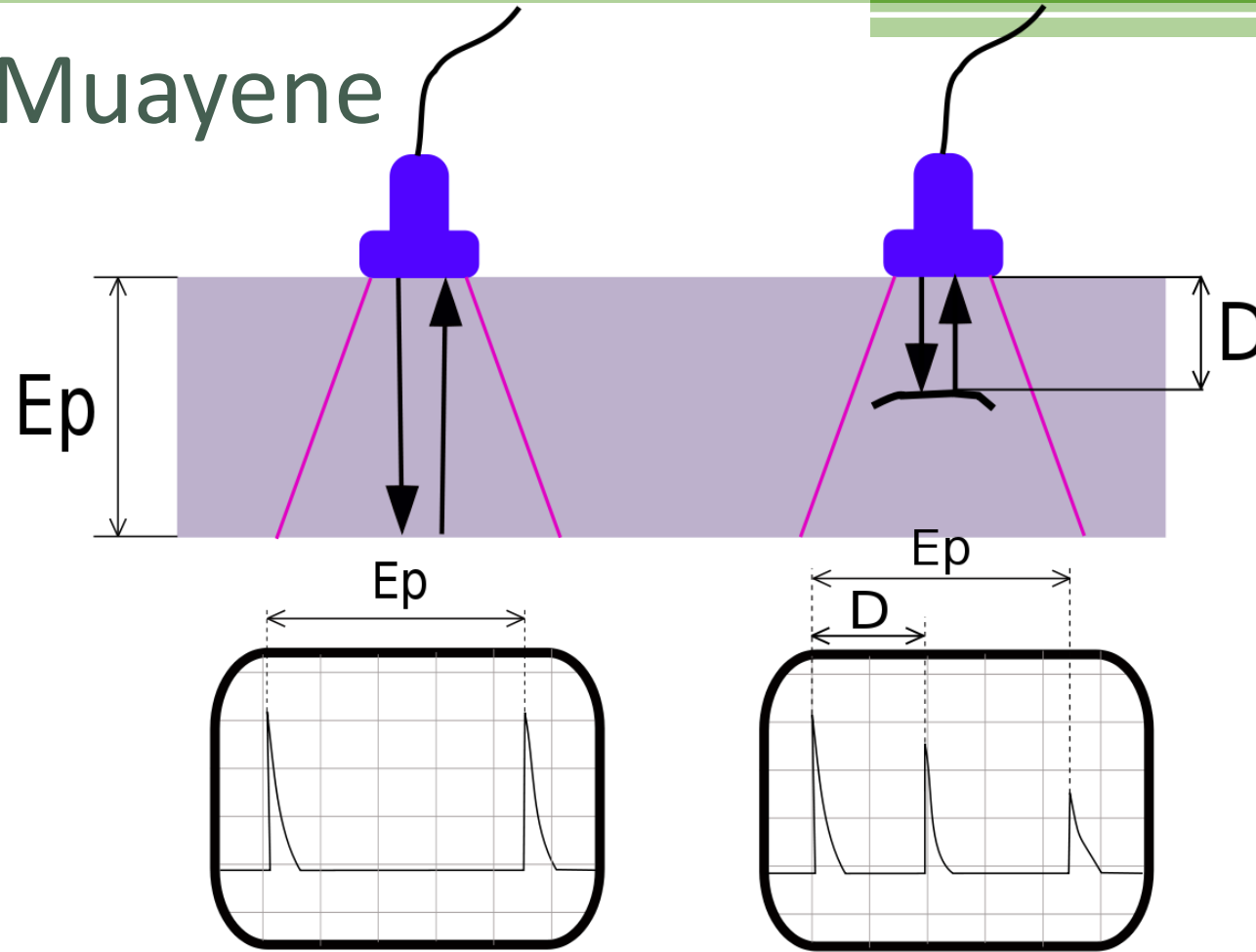


Ultrasonik Muayene



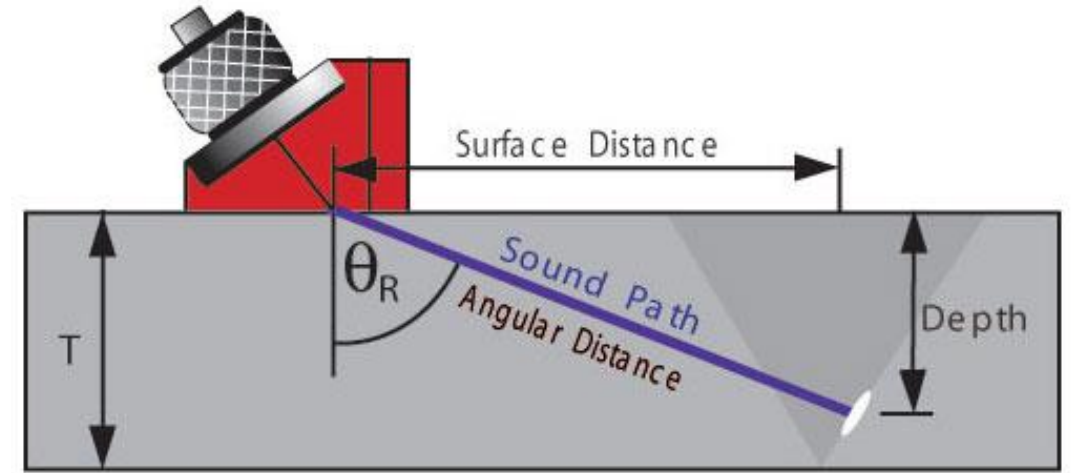
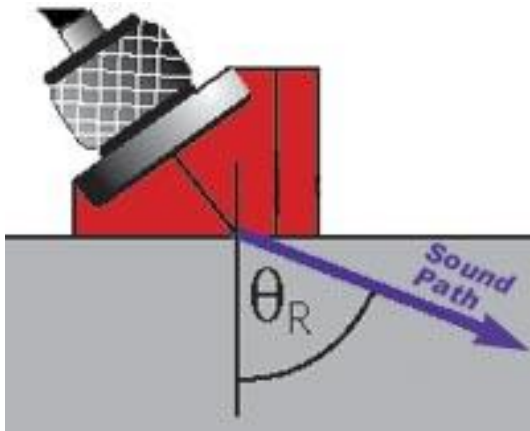
- Ultrasonik prob ile **normal (dik) tarama**/muayene (*Normal Beam Probe*)

Ultrasonik Muayene



- Solda: Ultrasonik muayenede **arka duvar yankısı**
- Sağda: Yankı genliğinin (*amplitude*) azalması ile kusurlu bölgenin ve derinliğinin tespiti (*detection*)

Ultrasonik Muayene



θ_R = Angle of Refraction

T = Material Thickness

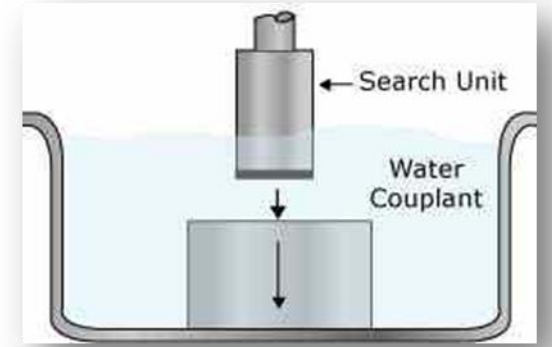
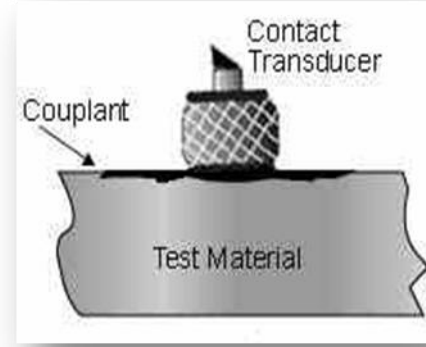
Surface Distance = $\sin\theta_R \times$ Sound Path

Depth (1st Leg) = $\cos\theta_R \times$ Sound Path

- Ultrasonik prob ile **açılı tarama**/muayene (*Angle Beam Probe*)

Ultrasonik Muayene

Temas Maddesi (Kuplaj Sıvısı / Couplant)

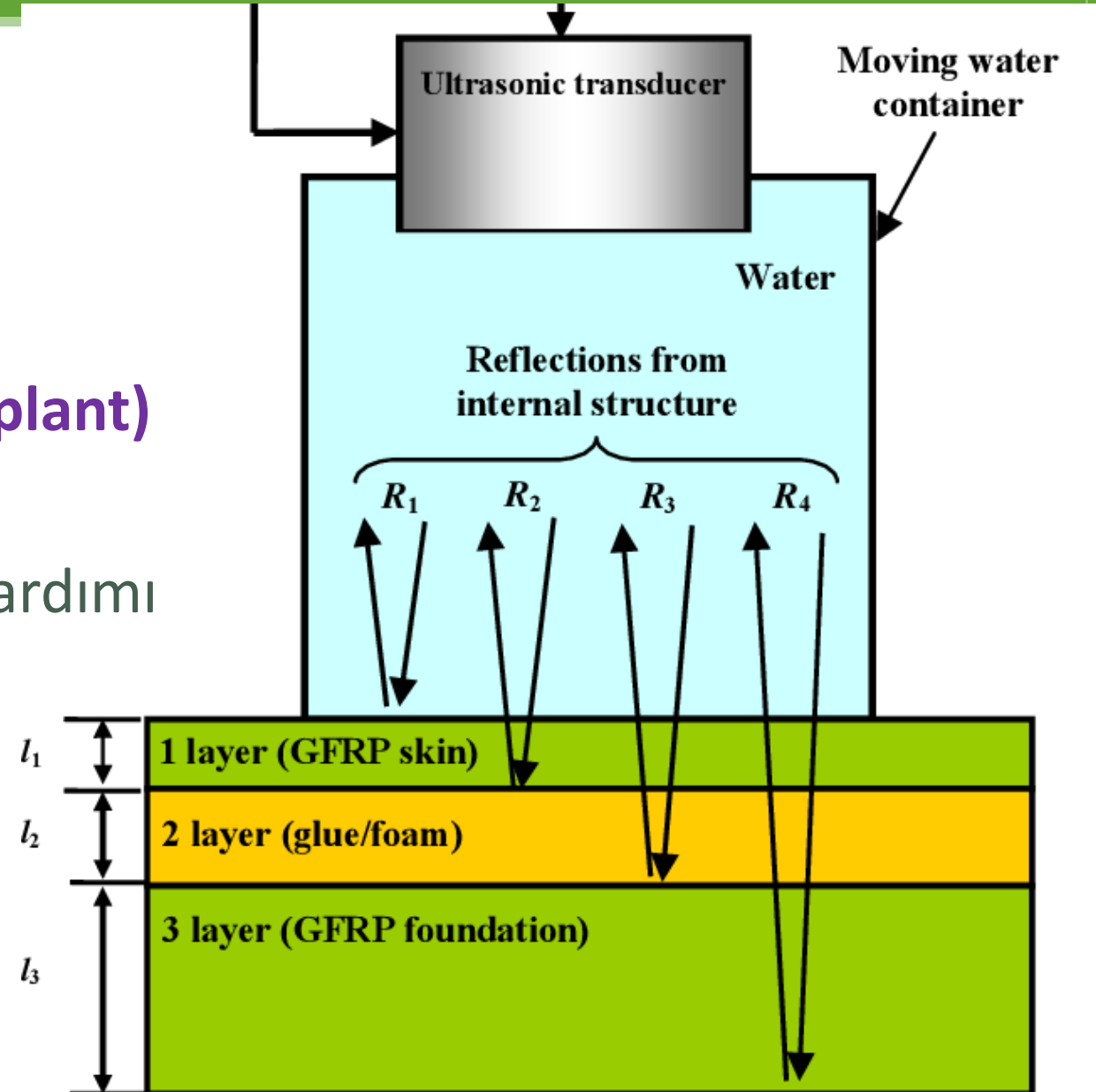


- Kuplaj sıvısı (bağlayıcı), ultrasonik enerjinin dönüştürücüden (transduser) test örneğine aktarılmasını kolaylaştıran bir malzemedir (genellikle sıvıdır).
- Bağlayıcı genellikle gereklidir, çünkü hava ile katılar (yani test numunesi gibi) arasındaki akustik empedans uyumsuzluğu büyüktür.
- Bağlayıcı, havayı ile yer değiştirir ve test örneğine daha fazla ses enerjisi geçmesini mümkün kılar, böylece kullanılabilir bir ultrasonik sinyal elde edilebilir.
- Temaslı ultrasonik testte genellikle dönüştürücü ile test yüzeyi arasında ince bir yağ, gliserin veya su filmi kullanılır.

Ultrasonik Muayene

Temas Maddesi (Kuplaj Sıvısı / Couplant)

- Çok katmanlı yapıda kuplaj sıvısı yardımı ile Ultrasonik Muayene

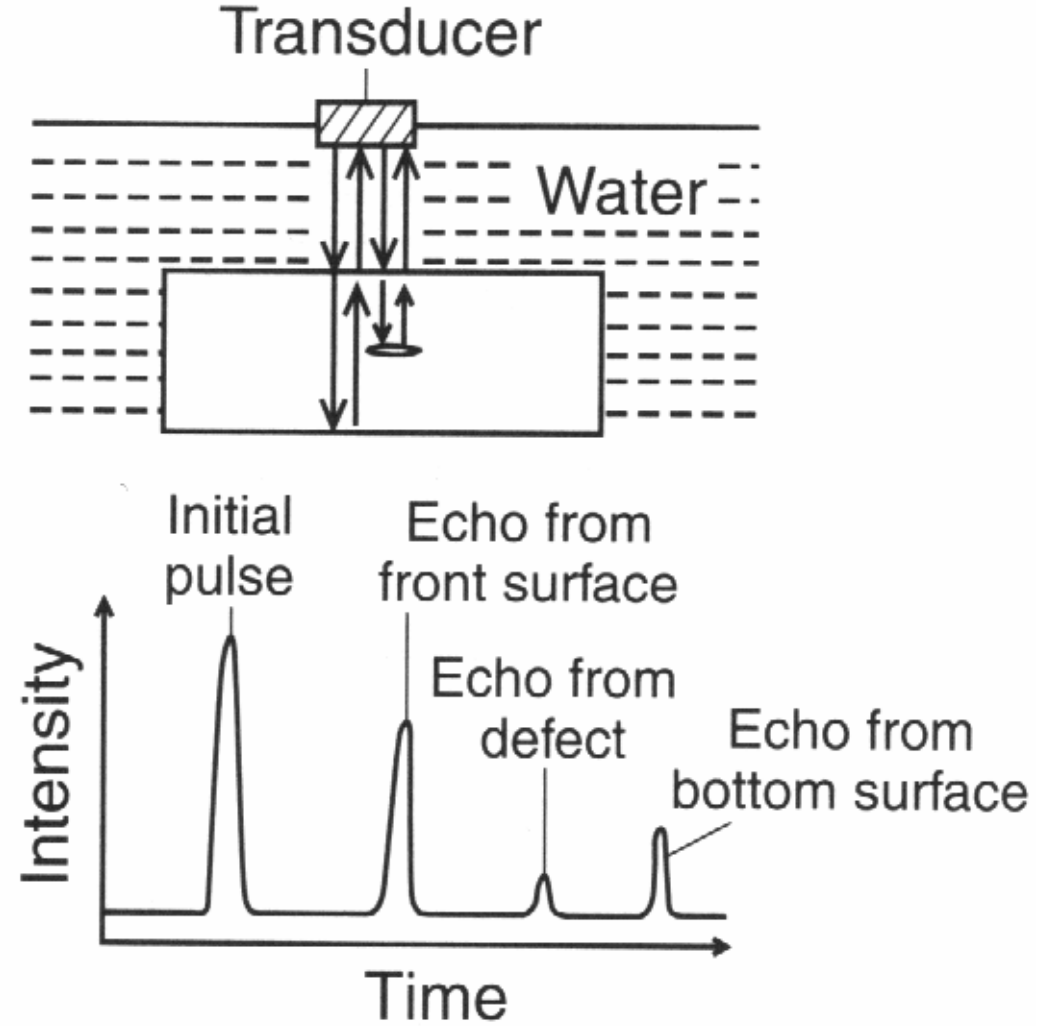


Ultrasonik Muayene

Temas Maddesi (Kuplaj Sıvısı / Couplant) (a)

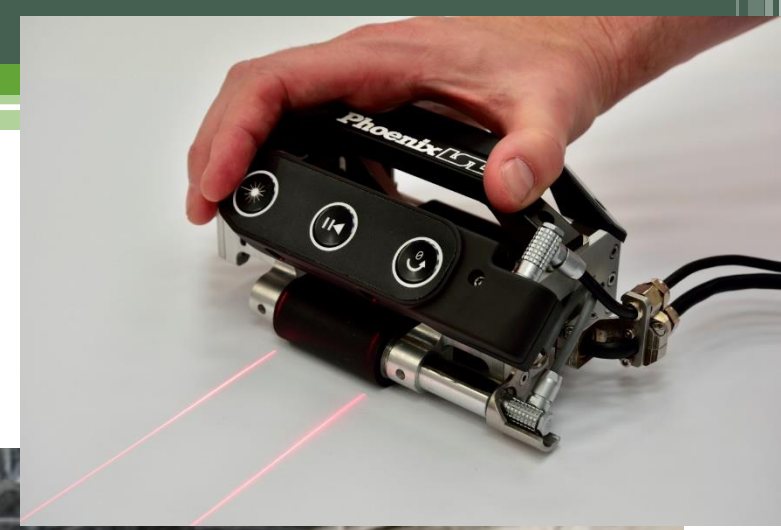
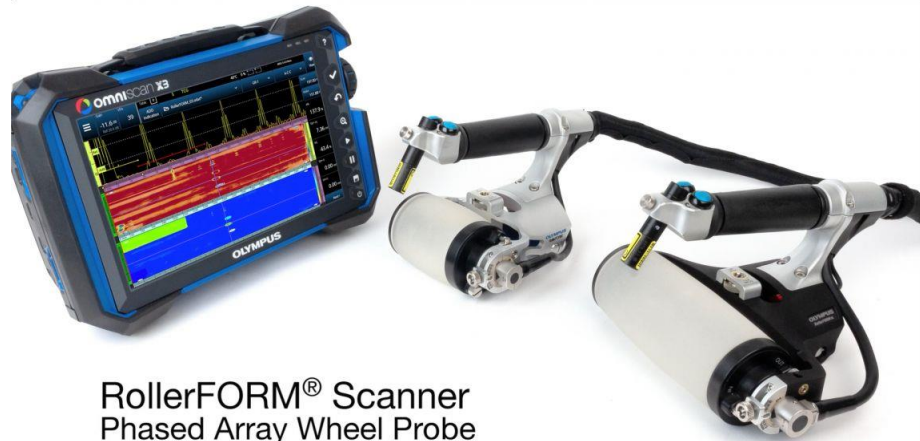
- Parçaya su içinde temas eden tek transduser - akustik (kuplaj) birleştirme ortamı

- Initial pulse (ilk darbe/sinyal)
- Echo from front surface (ön yüzeyden eko)
- Echo from defect (kusurdan eko)
- Echo from bottom surface (arka yüzey eko)



ULTRASONİK MUAYENE

- *Örnek Görsel:*
Uçak kompozit yapısı
üzerinde ultrasonik test
(RollerFORM)



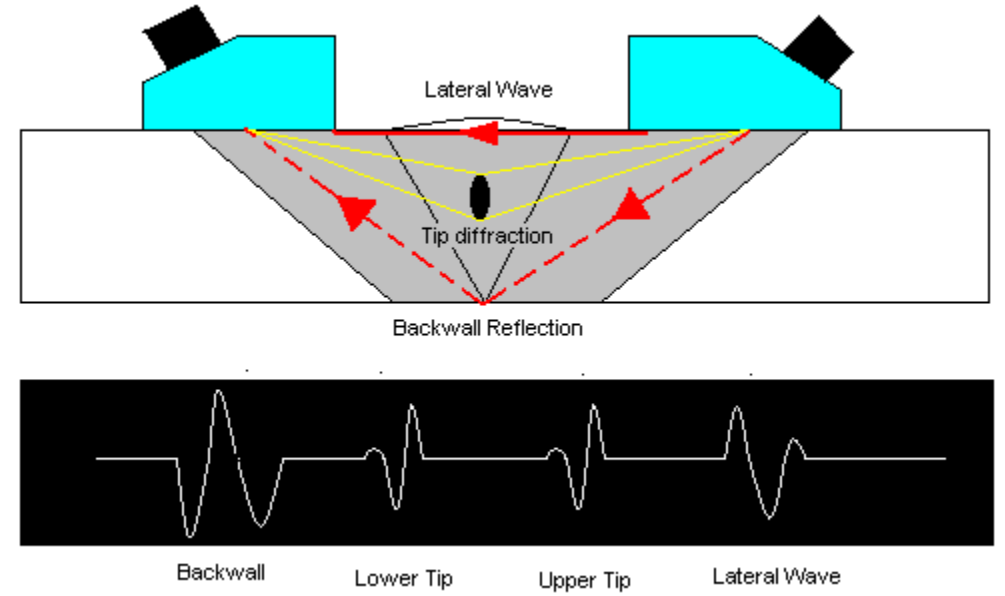
ULTRASONİK MUAYENE

- *Örnek Görsel:*
Çelik boruda kaynak dikişi kontrolü



Ultrasonik Muayene

Time-of-flight diffraction ultrasonics



- Ultrasonik ses darbesinin gidiş-geliş süresini esas alır.
- Yansıyan sinyalin genliğini ölçmek, **genlik büyük ölçüde çatlığın oryantasyonuna bağlı olduğundan**, kusurları boyutlandırmak için nispeten güvenilir olmayan bir yöntemdir.
- **TOFD**, bir yansıtıcının (kusur veya hata) konumunu ve boyutunu belirlemek için genlik yerine ultrasonik darbenin uçuş süresini kullanır.

Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

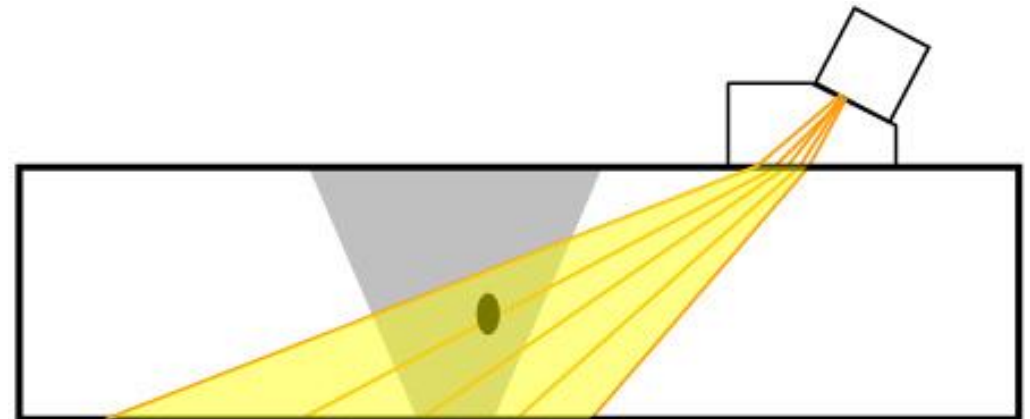
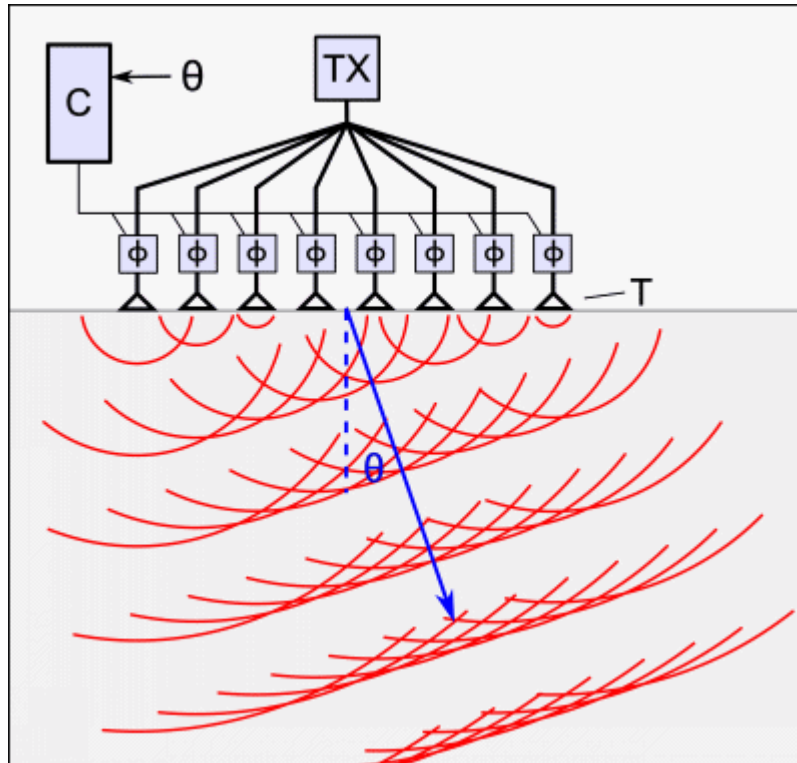
Phased array ultrasonics

- **PA** probu, her biri bağımsız olarak sinyal üretebilen birçok küçük ultrasonik transduserden oluşur. Zamanlamayı değiştirerek, örneğin her bir transduserden gelen darbenin yukarı çıkmayı aşamalı olarak geciktirmesiyle, aşamalı zaman gecikmesine bağlı olarak belirli bir açıda yarı düzlem ultrasonik bir ışının yayılmasıyla sonuçlanan bir yapıcı girişim modeli kurulur. Başka bir deyişle, aşamalı zaman gecikmesini değiştirerek ışın elektronik olarak yönlendirilebilir.
- İncelenmekte olan doku veya nesne boyunca bir arama ışığı gibi belli bir alanı süpürülebilir ve **birden fazla ses ışınından gelen veriler bir araya getirilerek nesnenin kesitini gösteren bir görüntü oluşturulur.**

Ultrasonik Muayene

Phased array ultrasonics

- PA probu,



Ultrasonik Muayene

Phased Array (aşamalı dizi)

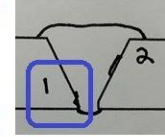
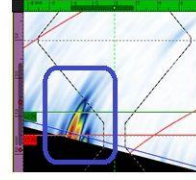
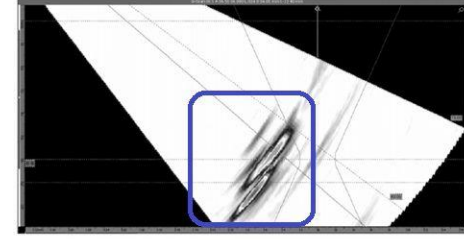
ÖRNEK

- **PA** tekniği ile kaynak dikişi muayenesi

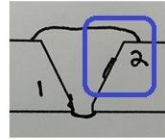
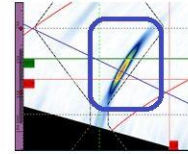
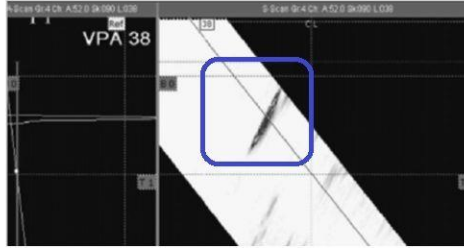
Kaynak dikişindeki kusurlar:

1. Root crack
2. Lack of sidewall lock of fusion
3. Slag (cüruf)
4. Lack of root penetration

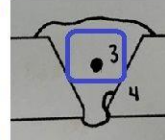
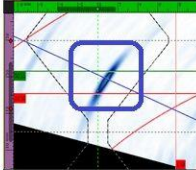
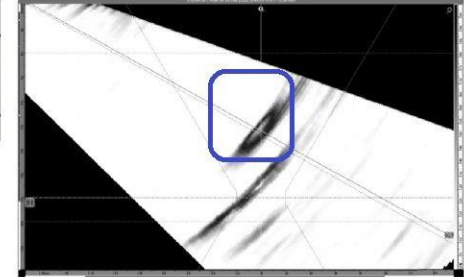
1-Root Crack

Figure P-481
S-Scan of I.D. Connected Crack

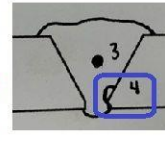
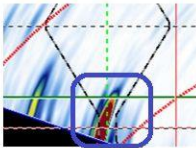
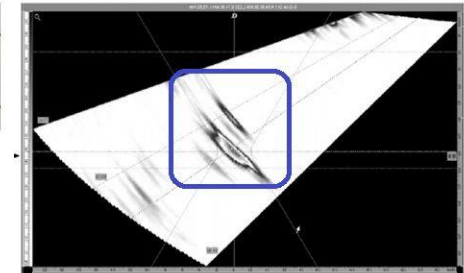
2-Lack of Sidewall Lock of Fusion

Figure P-481.1
E-Scan of LOF in Midwall

3-Slag

Figure P-481.5
Slag Displayed as a Midwall Defect on S-Scan

4-Lack of Root Penetration

Figure P-481.4
IP Signal on S-Scan, Positioned on Root

Ultrasonik Muayene *Phased Array* (aşamalı dizi)

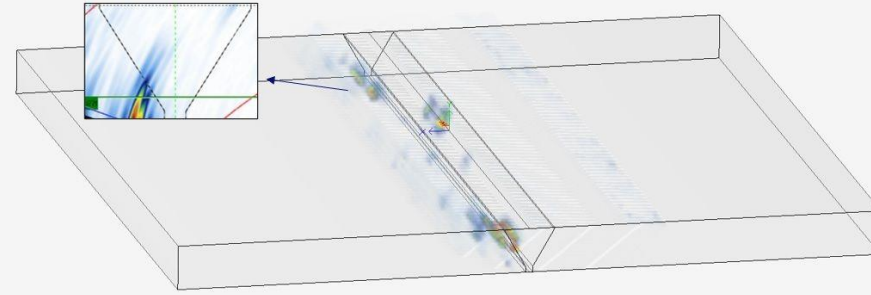
ÖRNEK

- **PA** tekniği ile kaynak dikişi muayenesi (3 boyutlu gösterim)

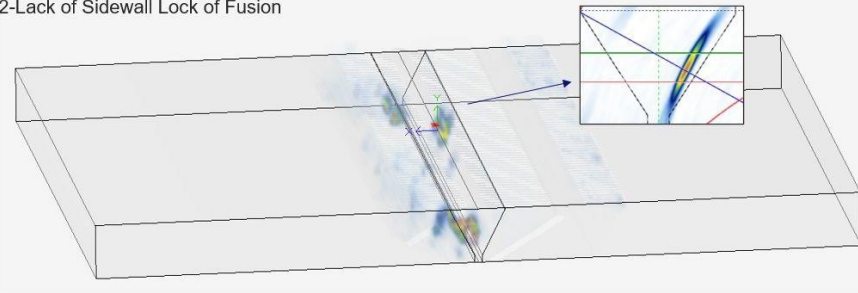
Kaynak dikişindeki hatalar

1. Root crack
2. Lack of sidewall lock of fusion
3. Slag
4. Lack of root penetration

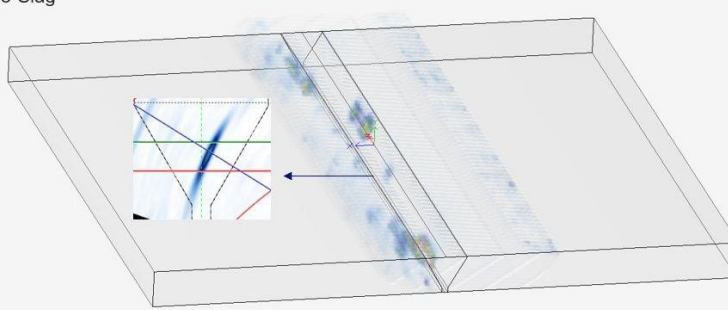
1-Root Crack



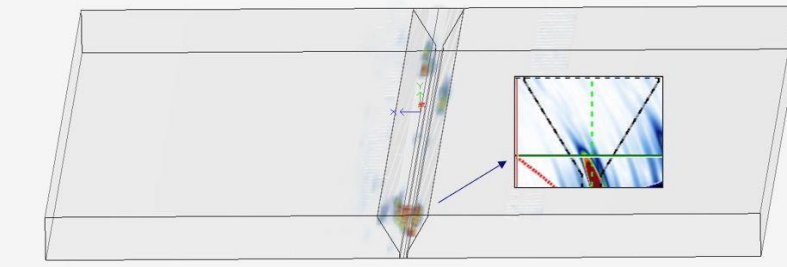
2-Lack of Sidewall Lock of Fusion



3-Slag



4-Lack of Root Penetration



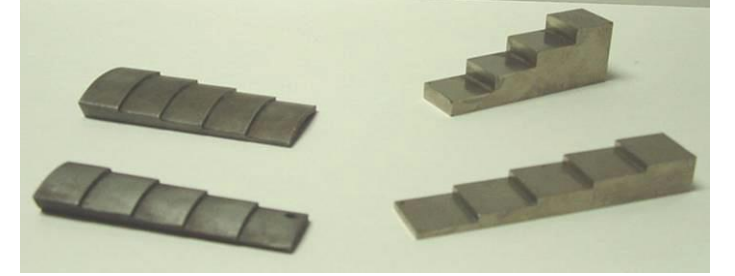
Ultrasonik Muayene / Kalibrasyon

Kalibrasyon Standartları

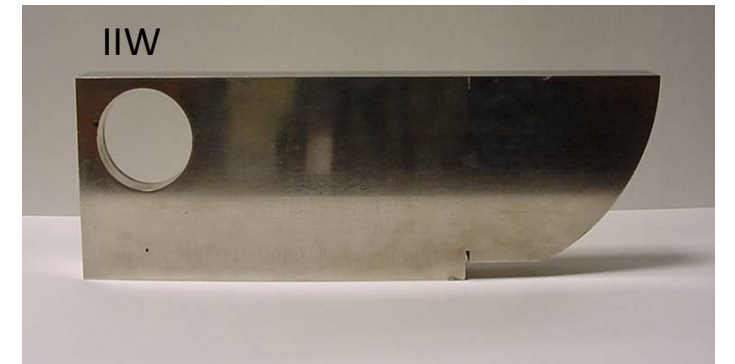
- Kalibrasyon, ultrasonik test ekipmanını bilinen değerlere göre yapılandırma, ayarlama işlemidir.
- Denetçinin test sinyallerini bilinen ölçümlerle karşılaştırmasını sağlar.
- Kalibrasyon standartları, inceleme uygulamalarının çeşitliliği nedeniyle çok çeşitli malzeme türleri ve konfigürasyonları ile gelir.

Ultrasonik Muayene / Kalibrasyon

- Kalınlık kalibrasyon standartları, malzeme kalınlığındaki basit değişikliklerden oluşan boru ve boru uygulamaları için düz veya kavisli olabilir.
- Mesafe / Alan Genliği standartları, düz taban delikleri veya yandan delinmiş delikler ile giriş yüzeyinden ses yolu boyunca bilinen yankılanma miktarlarının oluşturulmasını sağlar.
- Bu kalibrasyon standartları, açılı parçalarda, kusurlar giriş yüzeyine paralel olmadığına kullanımı içindir.



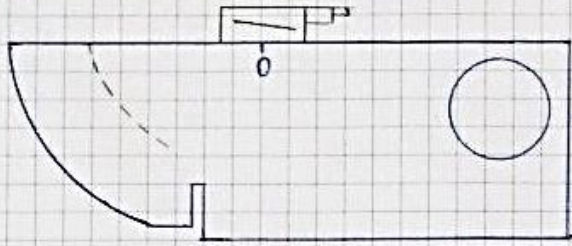
ASTM Distance/Area Amplitude



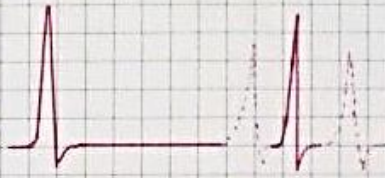
Ultrasonik Muayene (IIW Tipi Kalibrasyon Blokları)

IIW Type Calibration Block

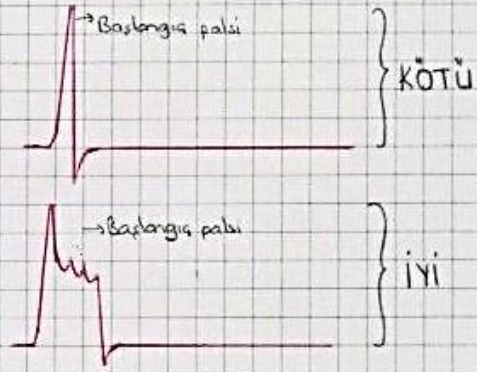
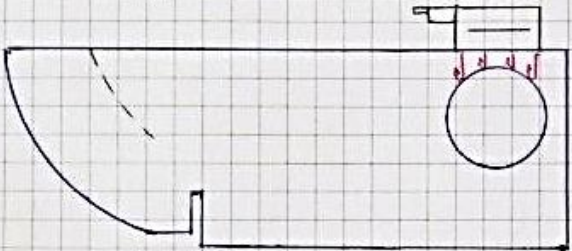
Ses demet çıkış noktasının tespiti:



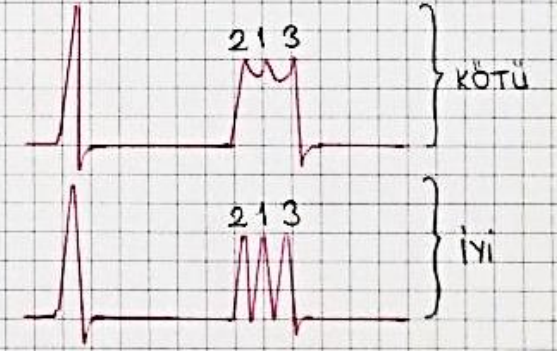
Transducer'i kaydırduğumuzda aldığımız max yükseklik ses demet çıkış noktasını gösterir.



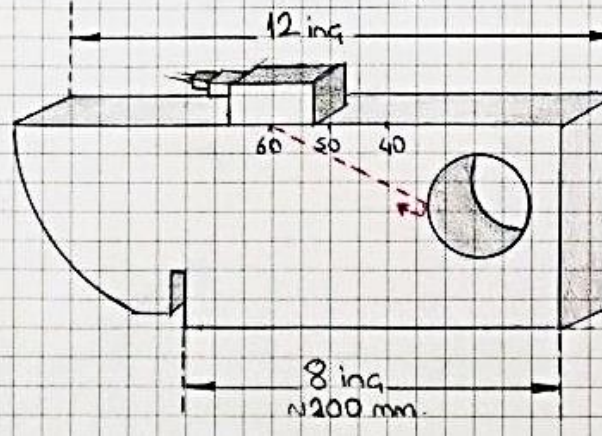
Ölü bölge kontrolü:



Ayırteleme kontrolü:



Transducer açısı kontrolü:



Transducer'i kaydırduğumuzda en yüksek pulsu aldığımız açı transducer'in açısıdır.

ULTRASONİK MUAYENE UYGULAMASI

Örnek Video: Ultrasonik Yöntemin Temelleri


<https://www.youtube.com/watch?v=UM6XKvXWVFA>

00:10 – 05:50 / 06:20 – 07:55

(Ultrasonic Testing)

ULTRASONİK MUAYENE UYGULAMASI

Ultrasonik Test



Non-destructive Testing
Ultrasonic Examination

ULTRASONİK MUAYENE UYGULAMASI

Örnek Video: Hidrolik Yakıt Manifoldu Ultrasonik Muayenesi

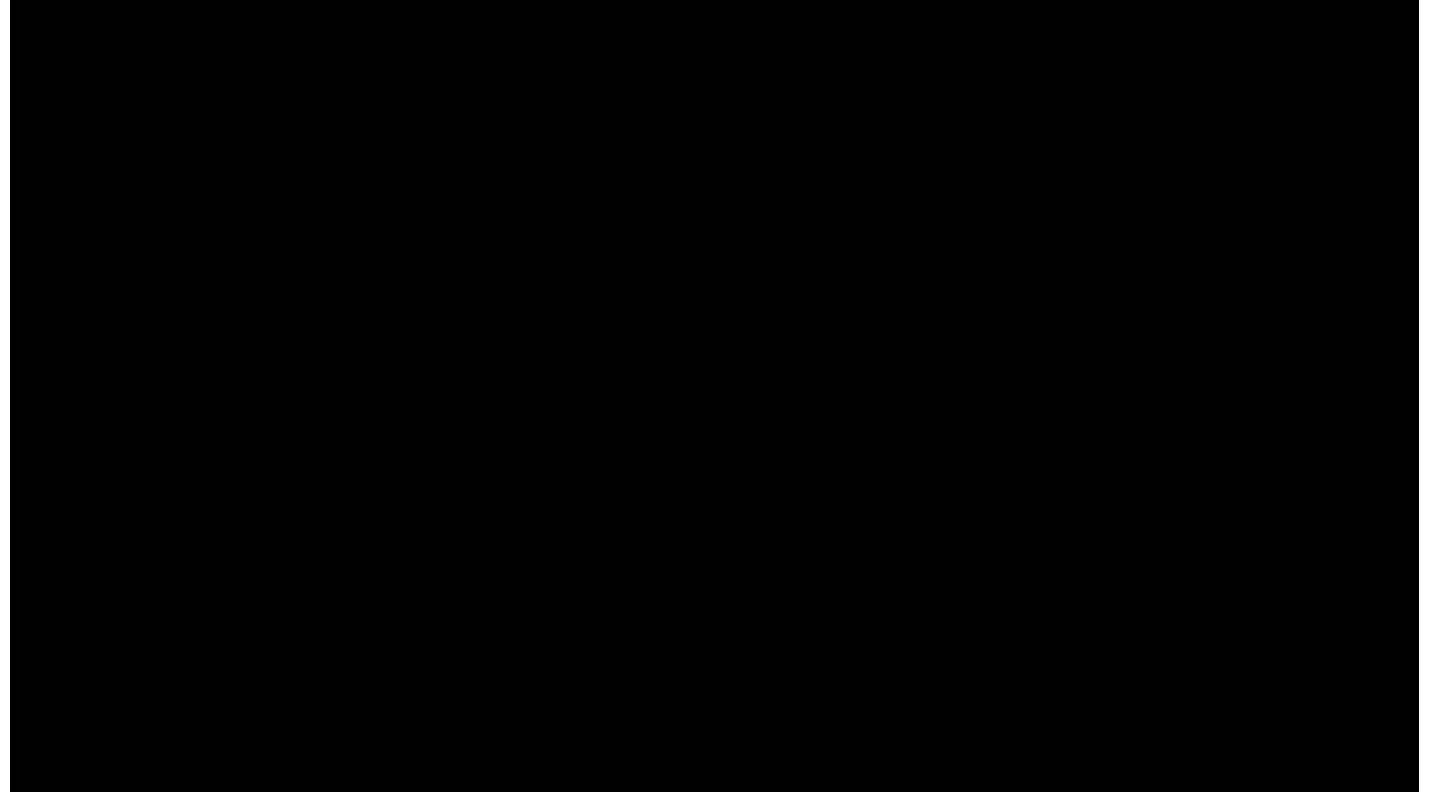
<https://www.youtube.com/watch?v=1496LoTCen8>

01:20 – 07:10

(GEnx-2B - Hydraulic Fuel Manifold On Wing Ultrasonic Inspection - GE Aviation Maintenance Minute)

ULTRASONİK MUAYENE UYGULAMASI

Yakıt Manifoldu
Muayenesi



Ultrasonik Test - UT

Ultrasonik Tarama Verisi Sunum Biçimleri

A-Scan, B-Scan, C-Scan, S-Scan

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri

- Ultrasonik veriler birkaç farklı formatta toplanabilir ve görüntülenebilir.
- **En yaygın üç biçim NDT dünyasında A-tarama, B-tarama ve C-tarama sunumları olarak bilinir.**
- Her sunum modu, incelenen malzemenin bölgesine farklı bir bakış açısı ve değerlendirme sağlar.
- Modern bilgisayarlı ultrasonik tarama sistemleri, verileri aynı anda üç sunum formunda da görüntüleyebilir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: A-Scan

- A-tarama sunumu, alınan ultrasonik enerji miktarını **zamanın bir fonksiyonu** olarak gösterir.
- Alınan enerjinin nispi miktarı (yankı genliği) dikey eksen boyunca çizilir ve **geçen süre** (malzeme içindeki ses enerjisi hareket süresi ile ilişkili olabilir, malzeme kalınlığı cinsinden) **yatay eksen** boyunca görüntülenir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: A-Scan

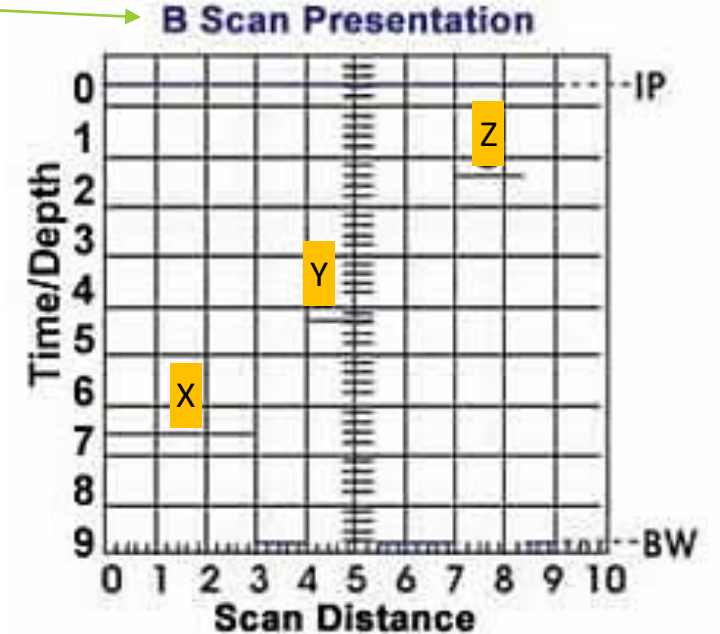
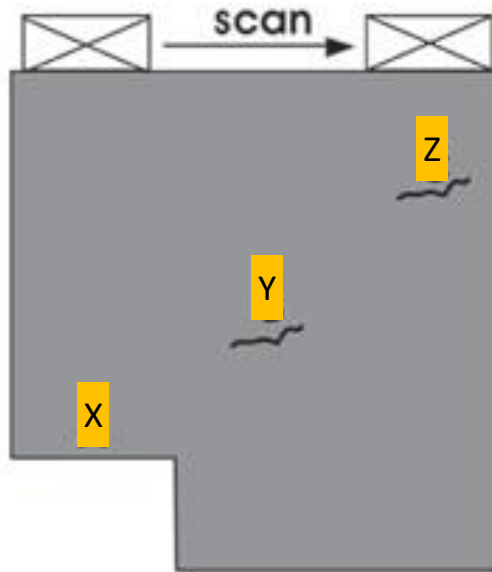
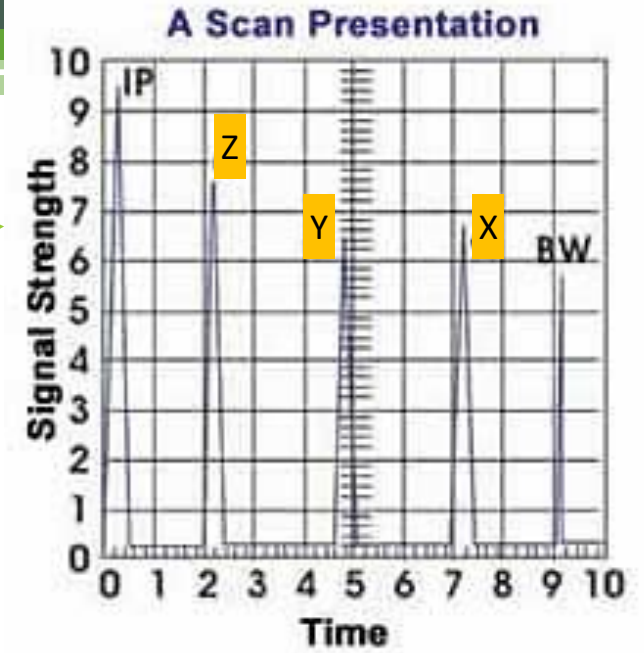
- A-tarama ekranlı çoğu cihaz, sinyalin doğal radyo frekansı formunda (RF), tamamen düzeltilmiş bir RF sinyali olarak veya RF sinyalinin pozitif ya da negatif yarısı olarak görüntüler.
- A-tarama sunumunda, **göreceli süreksizlik büyüklüğü, bilinmeyen bir yansıtıcıdan elde edilen sinyal (eko) genliği ile bilinen bir yansıtıcıdan elde edilen sinyal genliği karşılaştırılarak tahmin edilebilir.**

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: B-Scan

- B-tarama sunumları, test parçasının bir profil (enine kesit) görünümüdür (malzemenin dik kesit görüntüsü).
- B-taramasında, ses enerjisinin uçuş süresi (seyahat süresi) dikey eksen boyunca görüntülenir ve probun (transduser) doğrusal konumu yatay eksen boyunca görüntülenir.
- B-taraması tipik olarak A-taraması üzerinde bir tetikleyici geçit oluşturularak üretilir. Sinyal yoğunluğu geçidi tetikleyecek kadar büyük olduğunda, B-taramasında bir nokta üretilir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri

- **A-tarama**: Yankı derinliği, sinyalin yatay eksen üzerindeki konumuna göre belirlenebilir. (*Sinyal Şiddeti – Zaman*)
- **B-tarama**: Yankının derinliği ve tarama yönündeki yaklaşık doğrusal boyutları belirlenebilir. (*Zaman/Derinlik – Tarama Yolu*)

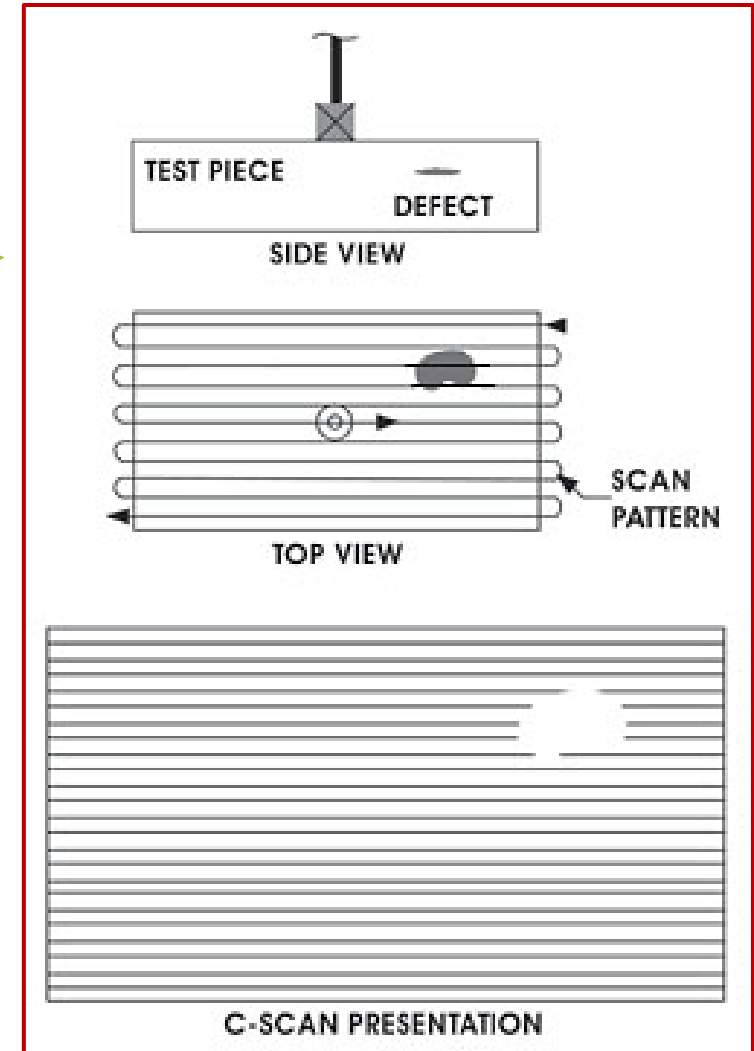
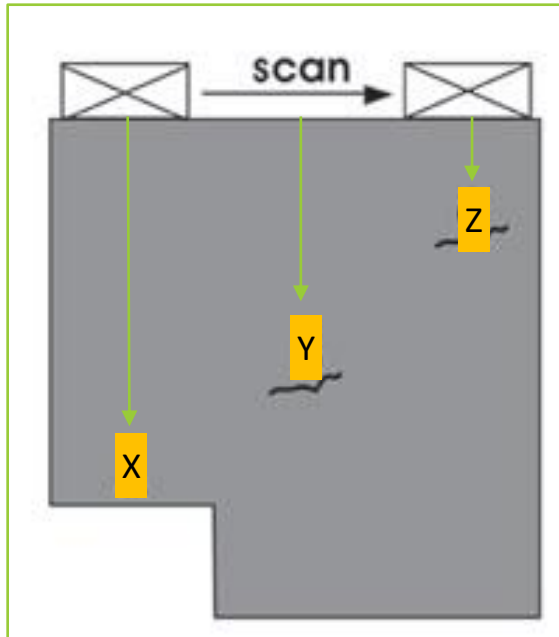


Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: B-Scan

- Geçit, numunenin arka duvarından yansıyan ses ve malzeme içindeki daha küçük yankılar tarafından tetiklenir.
- Prob, B ve C kusurlarının üzerindeyken, kusurların uzunluğuna benzer ve malzeme içindeki benzer derinliklerde çizgiler B-taramasında çizilir.
- Bu görüntüleme tekniğinin bir sınırlaması, altta kalan yansıtıcıların yüzeye yakın daha büyük yansıtıcılar tarafından maskelenebileceğidir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri

- **C-tarama**: Muayene parçası özelliklerinin, yer ve boyutuna dair **plan tipi bir görünüm sağlar**. Derinlik bilgisi içermez. (X, Y, Z özelliklerinin tarama yüzeyinden derinlik bilgisi elde edilemez.)



Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: C-Scan

- C-tarama sunumu, test örneği özelliklerinin yeri ve boyutunun plan tipi (kuşbakışı) bir görünümünü sağlar.
- Elde edilen görüntünün düzlemi, probun tarama yaptığı düzleme paraleldir.
- C-tarama sunumları, bilgisayar kontrollü daldırma tarama sistemi gibi otomatik bir veri toplama sistemi ile üretilir.
- Tipik olarak, **A-taraması üzerinde bir veri toplama geçidi oluşturulur** ve sinyal, test parçası üzerinden tarandıkça sinyalin genliği veya uçuş süresi düzenli aralıklarla kaydedilir.

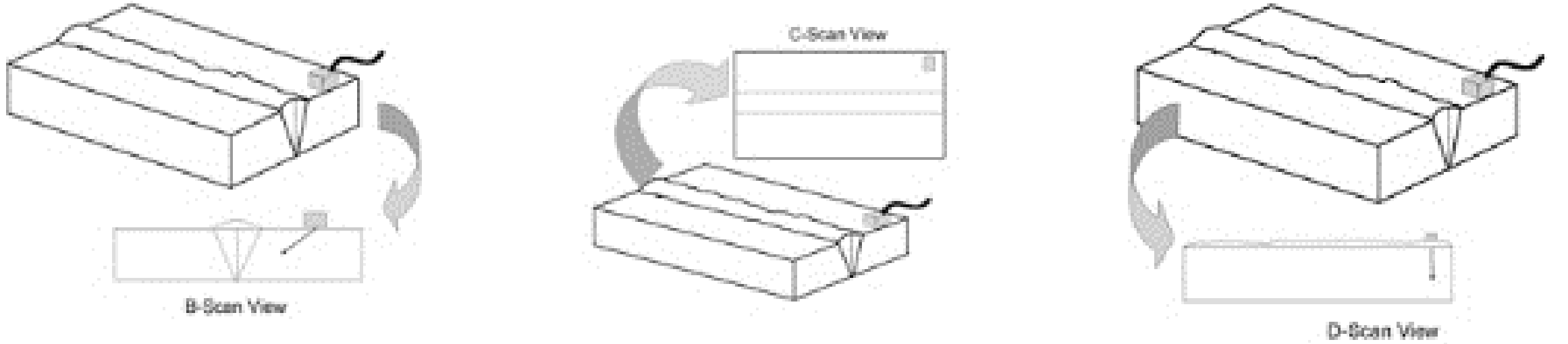
Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: C-Scan

- Göreceli sinyal genliği veya uçuş süresi, verilerin kaydedildiği konumların her biri için gri bir renk veya renk olarak görüntülenir.
- C-tarama sunumu, sesi test parçasının içinde ve yüzeylerinde yansıtan ve dağıtan özelliklerin bir görüntüsünü sağlar.
- Yüksek çözünürlüklü taramalar ile çok ayrıntılı görüntüler üretebilir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: D-Scan

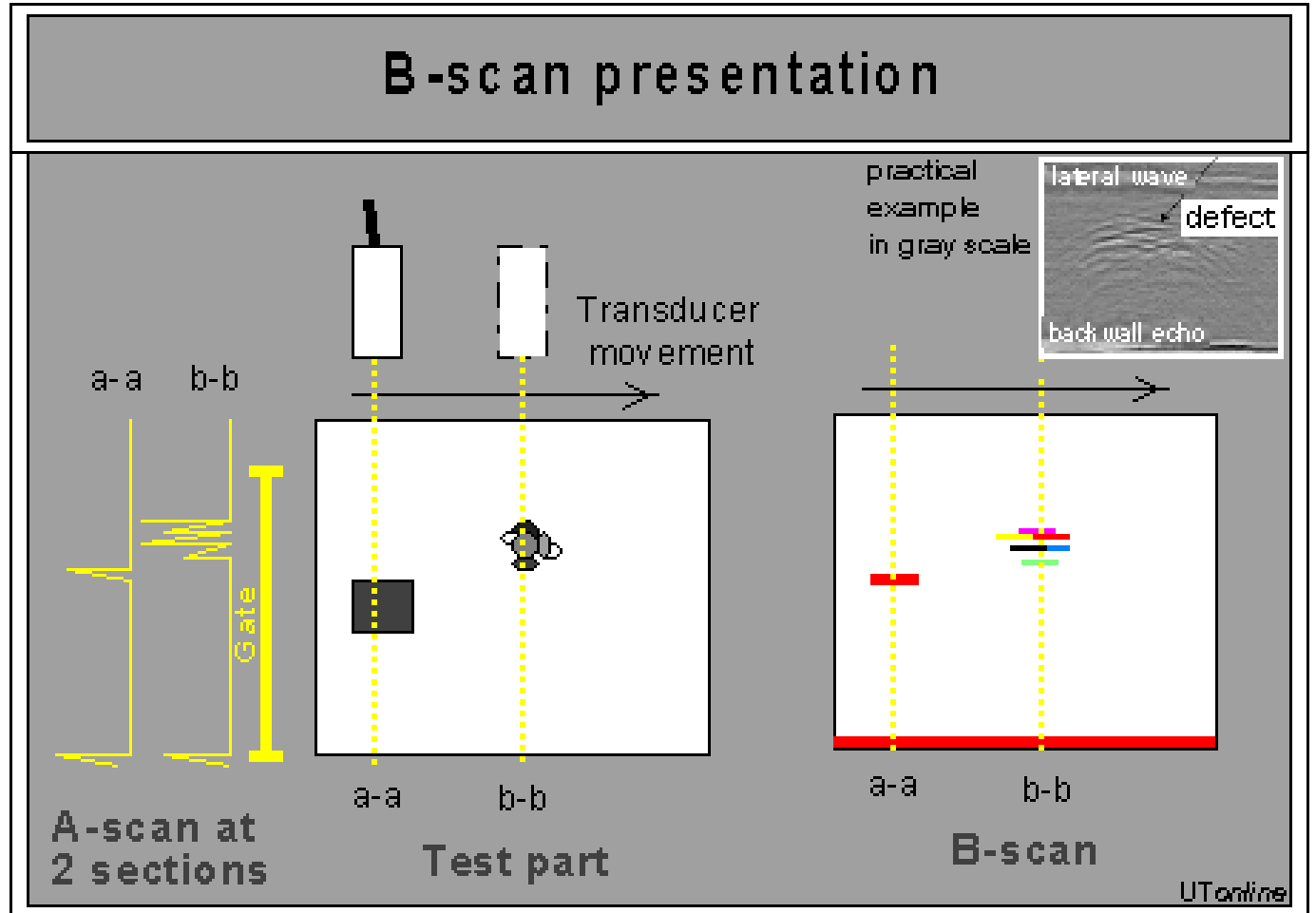
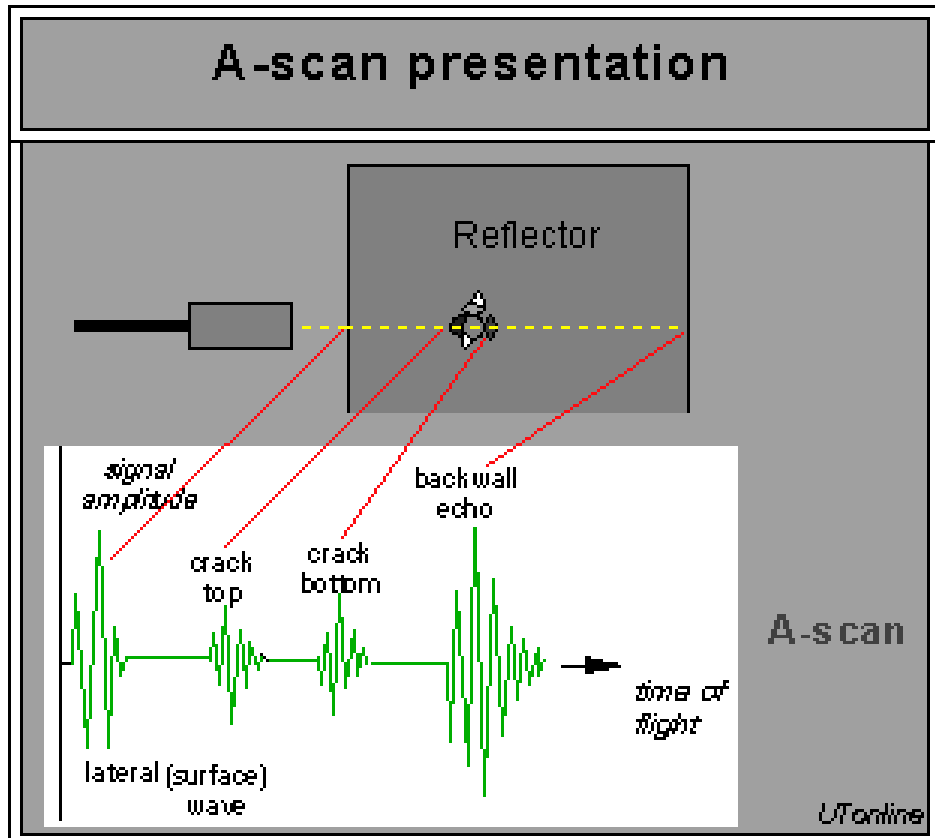
- D-tarama sunumunda, C taramasındaki gibi prob yüzeyi tam kapsayacak şekilde gezdirilir ve ek olarak tespit edilen özelliklerin tarama yüzeyine olan mesafesi de ölçülür. Derinlik bilgisi sesin gidiş geliş (uçuş) süresi ile (*time of flight*) tespit edilir.
- Her tarama doğrultusuna karşılık bir kesit görünümü elde edilir. Bu kesitler bilgisayar ortamında birleştirilerek ayrıntılı üç boyutlu görüntüler meydana getirilebilir.

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri



- Tarama modlarının isimlendirmesi çeşitli kaynaklara göre değişmekle beraber çoğunlukla A, B, C, D şeklindedir

Ultrasonik Tarama Türleri: A-scan ve B-scan

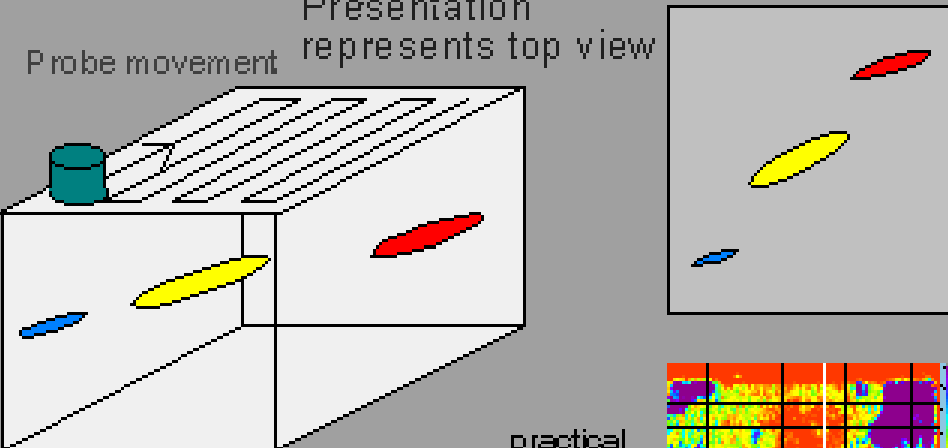


Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: C-scan ve D-scan

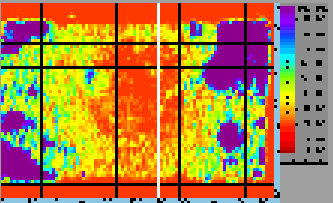
C-scan presentation

Probe movement

Presentation represents top view



practical example



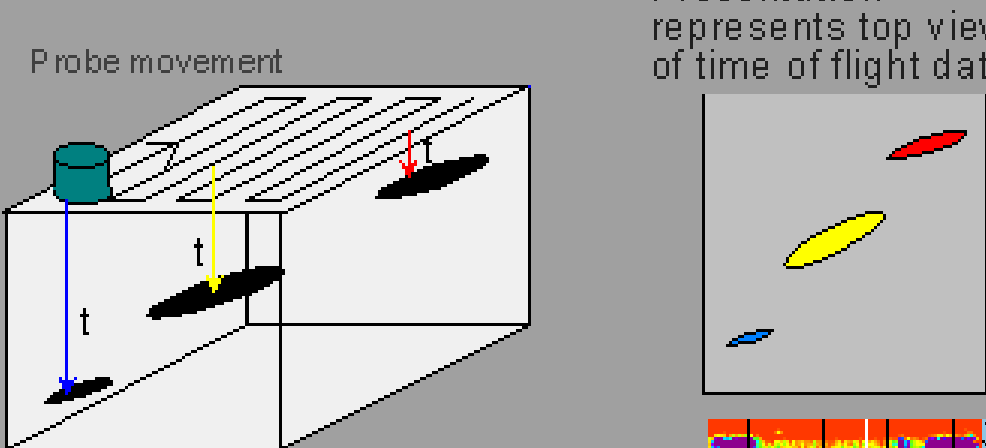
Scan Master IRT

UTonWe

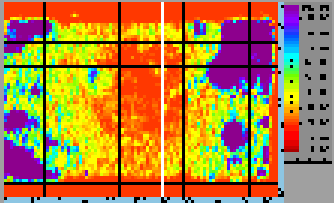
D-scan presentation

Probe movement

Presentation represents top view of time of flight data



practical example



UTonWe

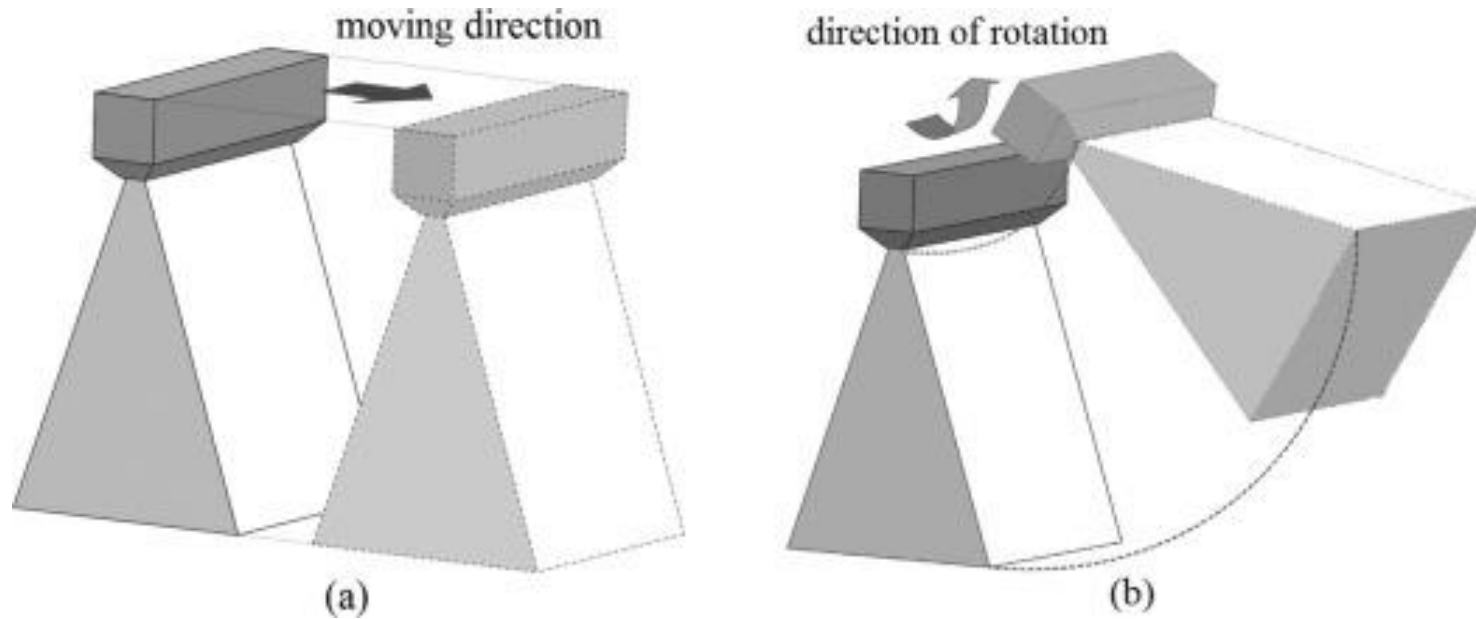
Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: **S-Tarama**

- **S-Tarama**, (*sector/sectoral*) Phased Array ultrasonik muayene yöntemine özgü bir tarama biçimidir. Test malzemesinin üstünde sabit tutulan prob, tıpkı B-Taramada olduğu gibi XY düzleminde veya bu düzleme paralel düzlemlerde tarama yapar.
- S-Taramanın B'den en önemli farkı probdan malzeme içine gönderilen demet açısının değiştirilebilmesidir.



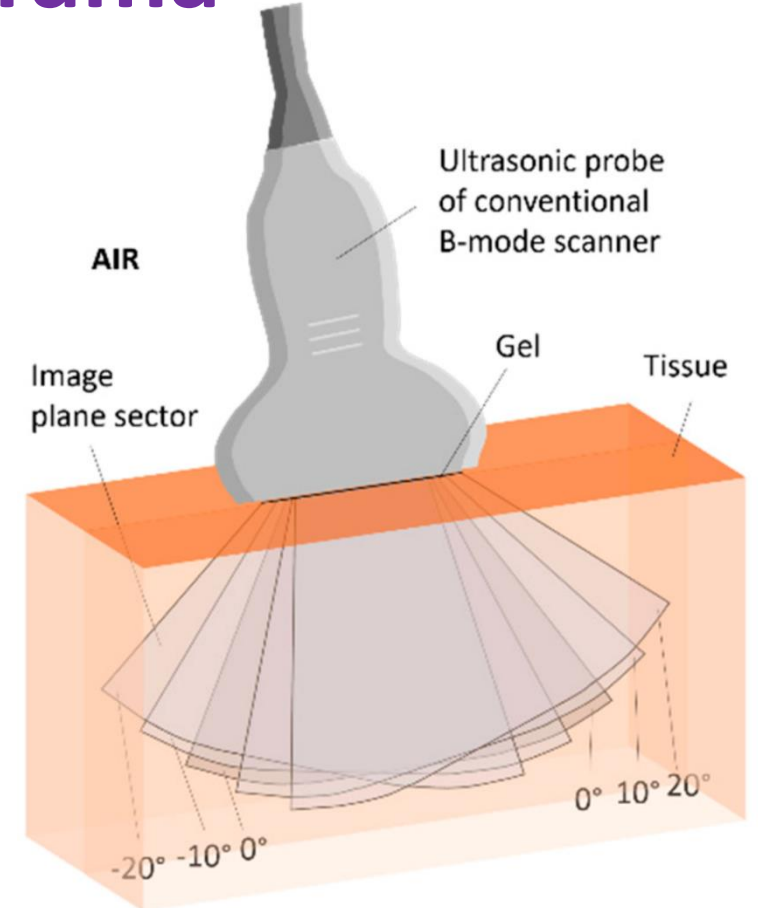
Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: **S-Tarama**

- *Sector Scanning* ultrason taraması ile 3 boyutlu görüntüleme yapılabilir.
- Doğrusal veya açısal hareketler ile elde edilen görüntüler birleştirilir.



Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: **S-Tarama**

- Sektör taraması (*sector-scanning*) adı da verilen bu teknik, ultrason görüntüleme alanı artırabilen geleneksel bir tarama modudur.
- S-scan, B mod tarayıcı değişik açılarda kullanılarak elde edilir.
- Üç boyutlu (3D) ultrasonda genellikle serbest görüntüleme sistemi kullanılır.



Standard Compound Imaging (by beam steering): insonification from five directions gives a 2D sector image of tissue

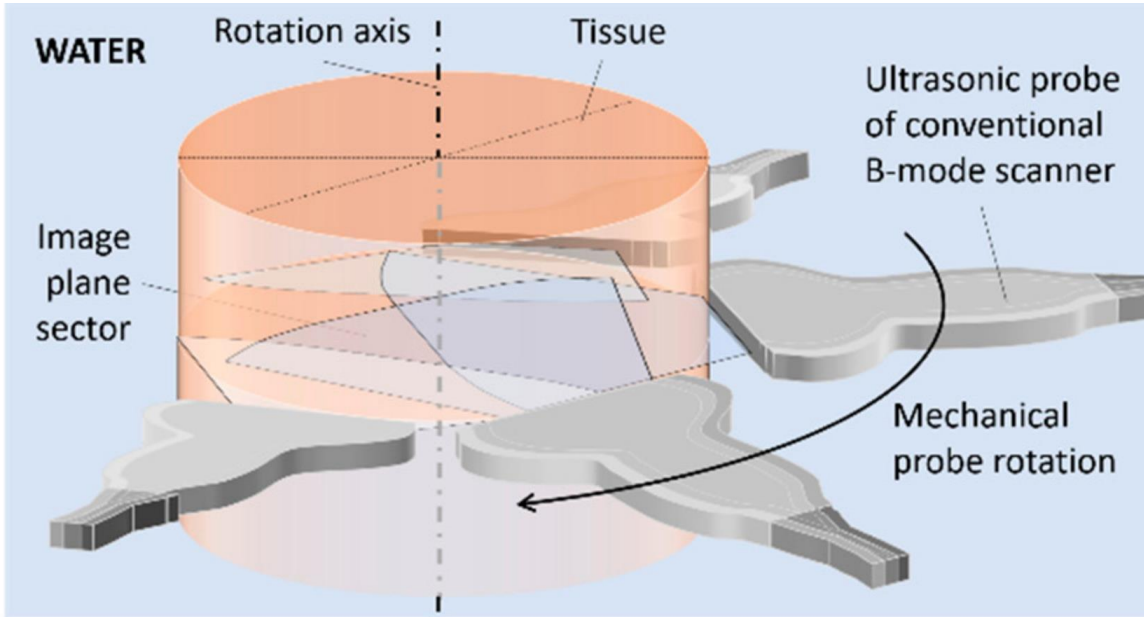
Ultrasonik Muayene

VERİ SUNUM ve UYGULAMA ÖRNEKLERİ

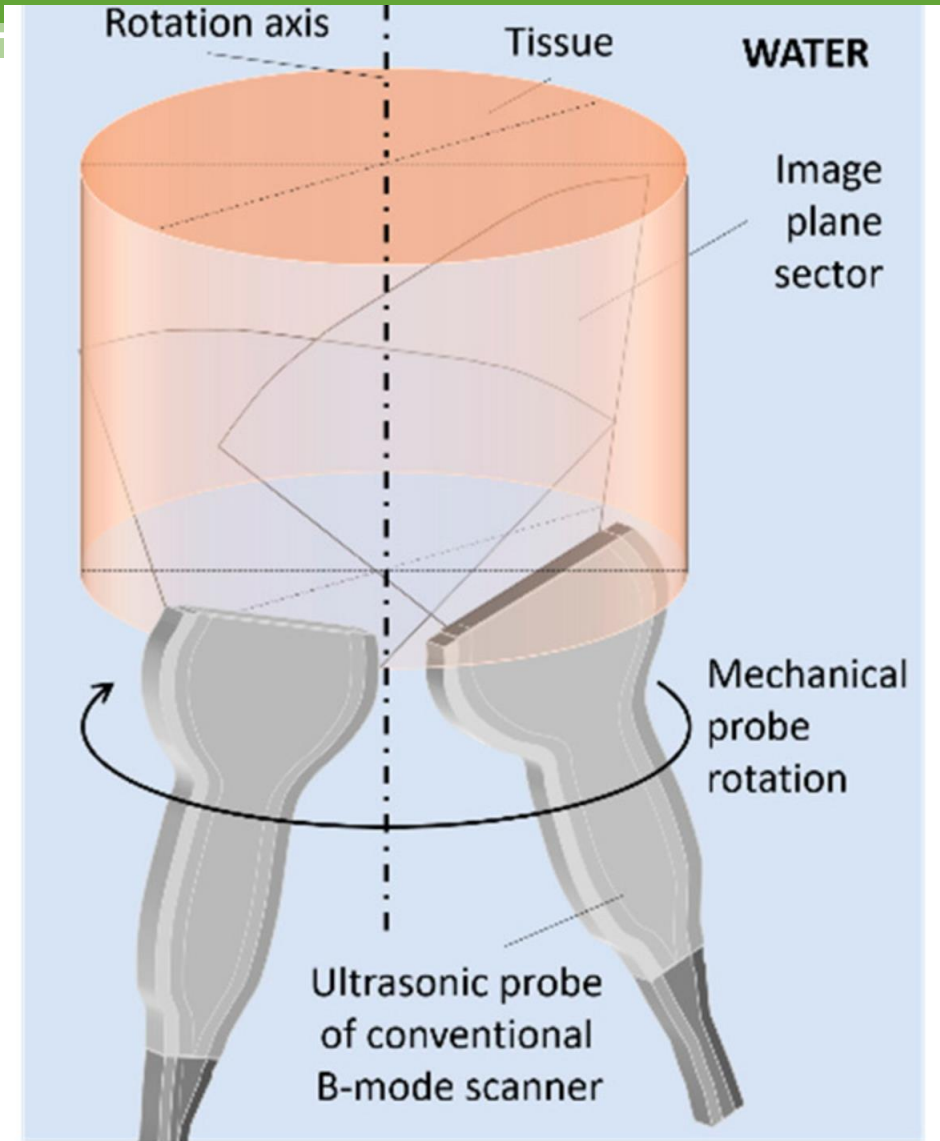
Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri:

B-Tarama ile Sector-Scanning Uygulaması

Dairesel veya açısal hareketler ile elde edilen veriler birleştirilerek 2B kesit veya 3B hacim görüntüsü alınır.



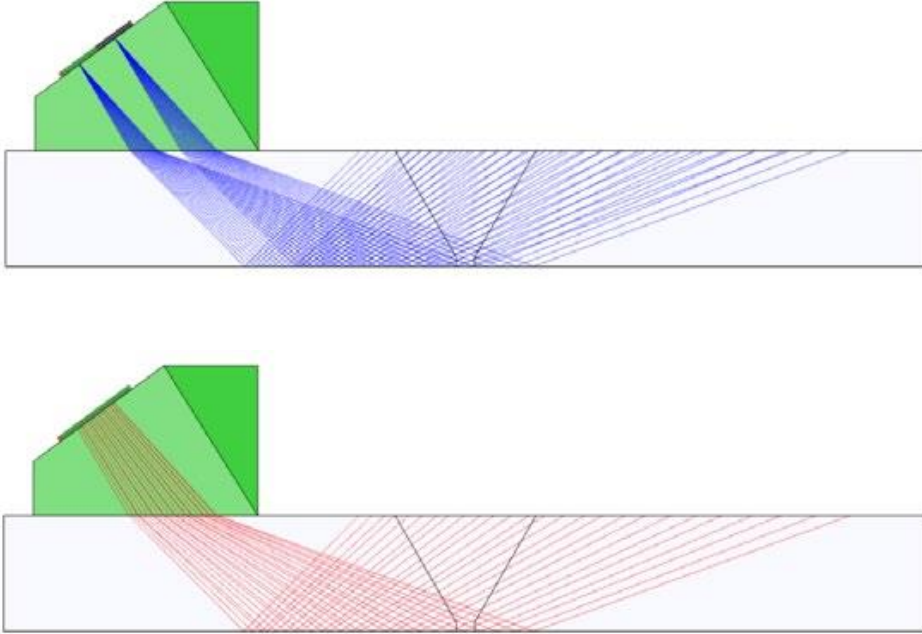
Full Angle Compound Imaging: insonification from all around directions gives a 2D cross-section image of tissue



Multi-Angle Conventional Ultrasound Imaging: insonification from all around directions gives a 3D volume image of tissue

Ultrasonik Veri Sunum Biçimleri: **S-Tarama**

Örnek Görseller: Prensipten şeması

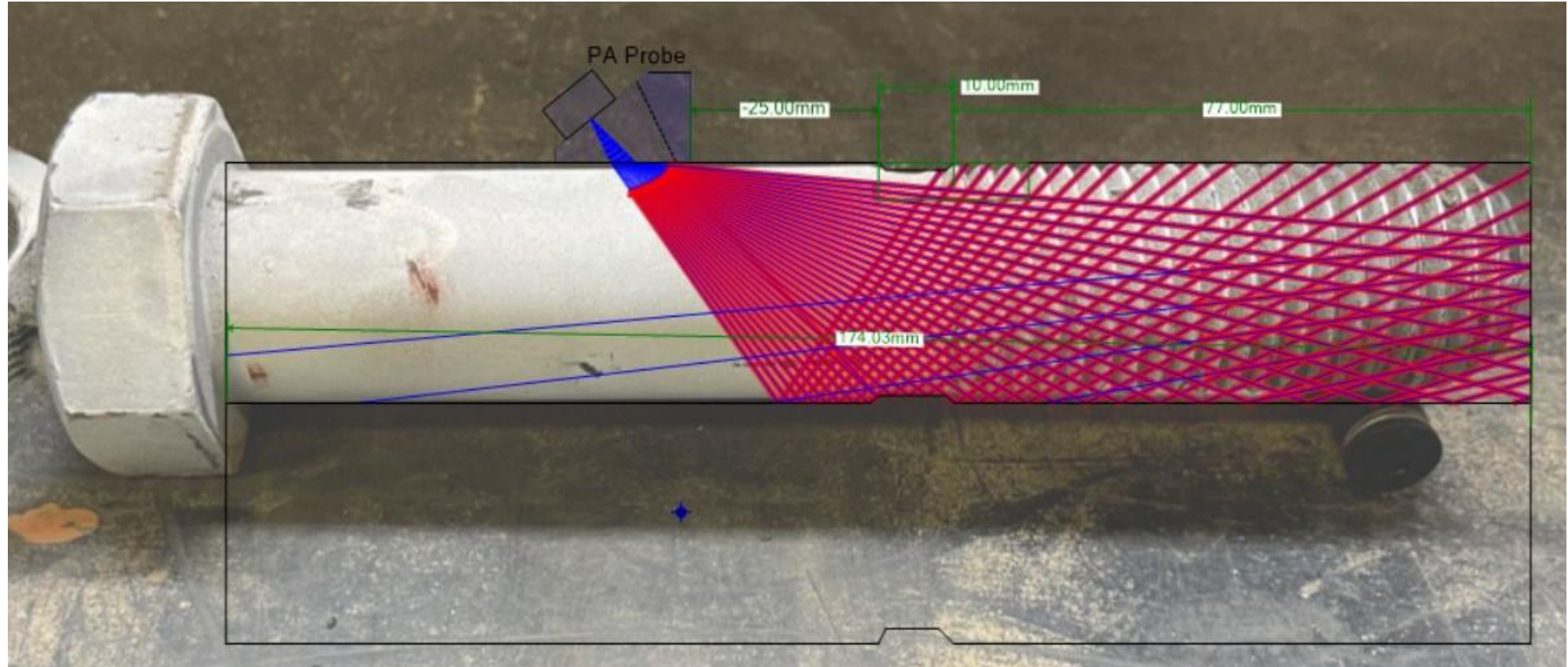


Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
civata iç yapısının
taranması



Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
civata iç yapısının
taranması

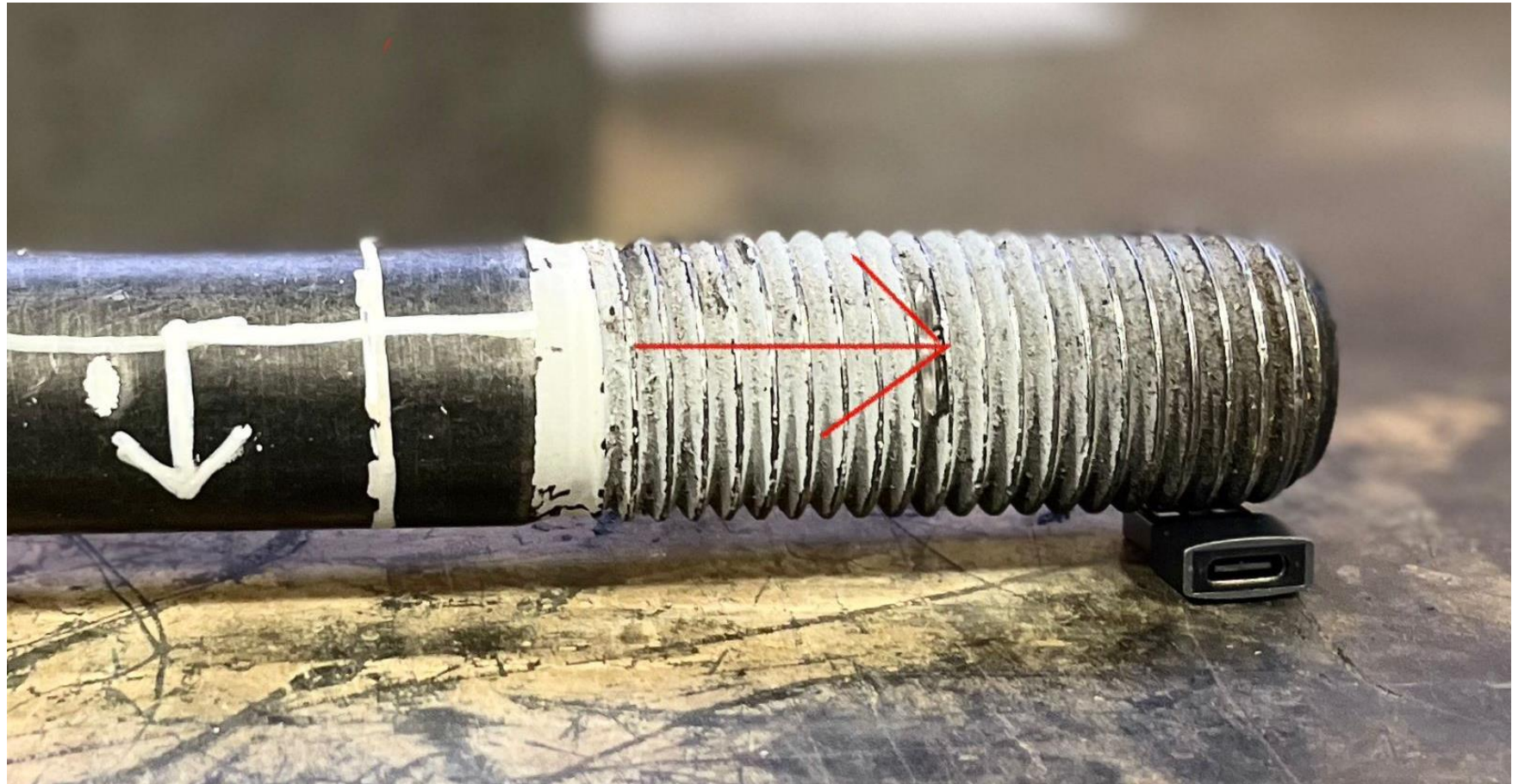


Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
civata iç yapısının
taranması



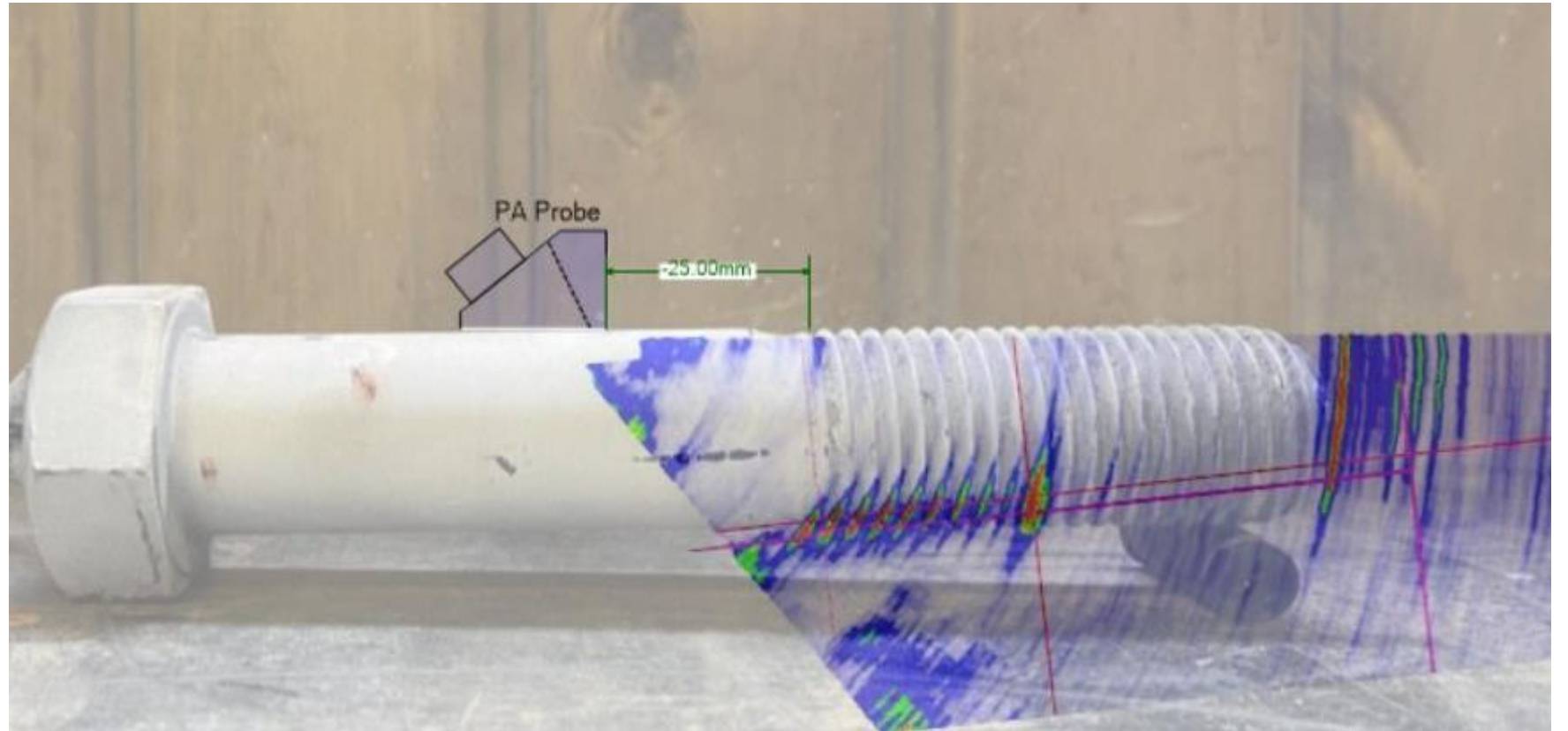
Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
civata iç yapısının
taranması

S - scan



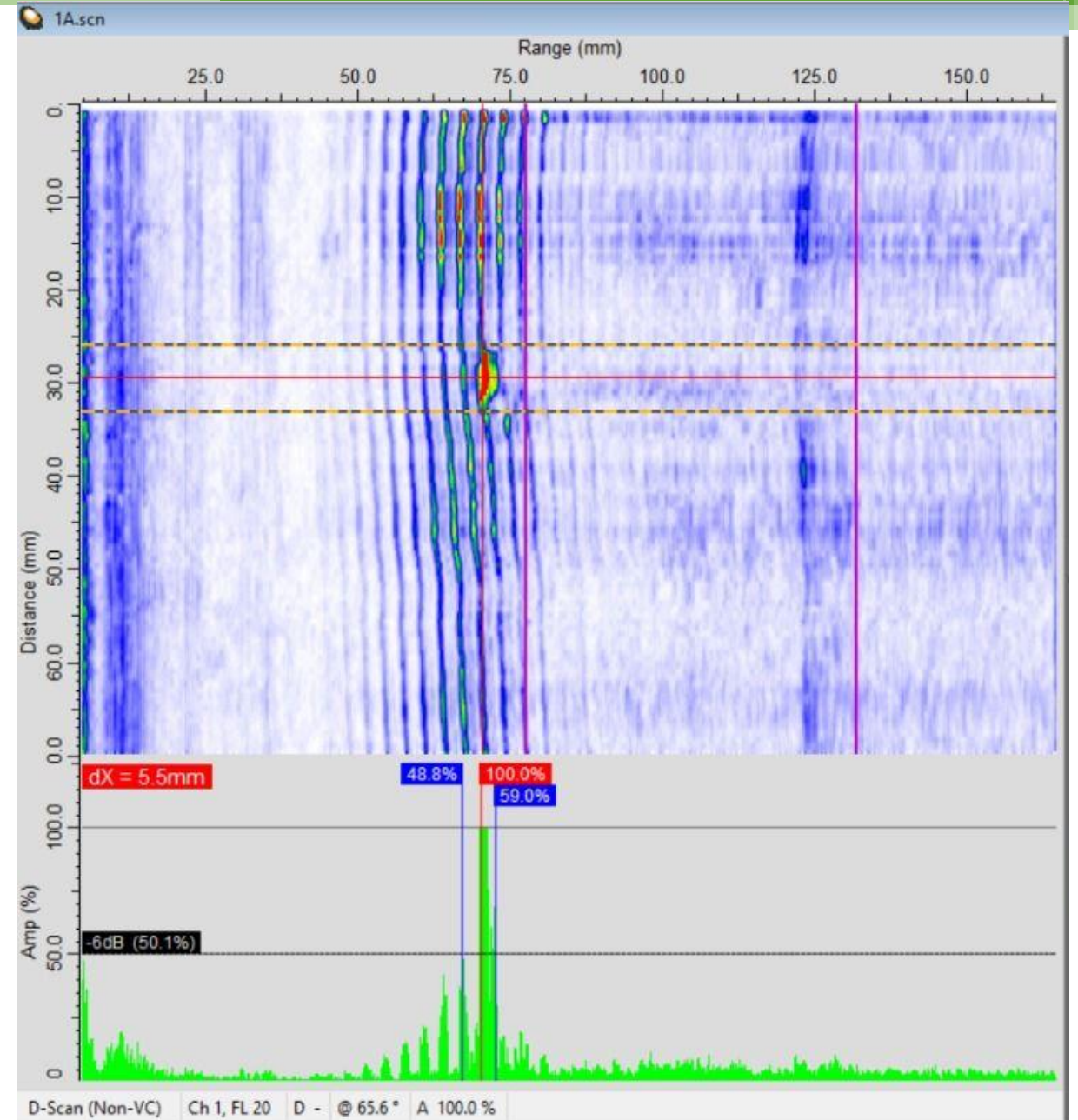
Ultrasonik Muayene / *Phased Array* (aşamalı dizi)

Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
cıvata iç yapısının
taranması

D-Scan veri sunum biçimi



Ultrasonik Muayene / *Phased Array*

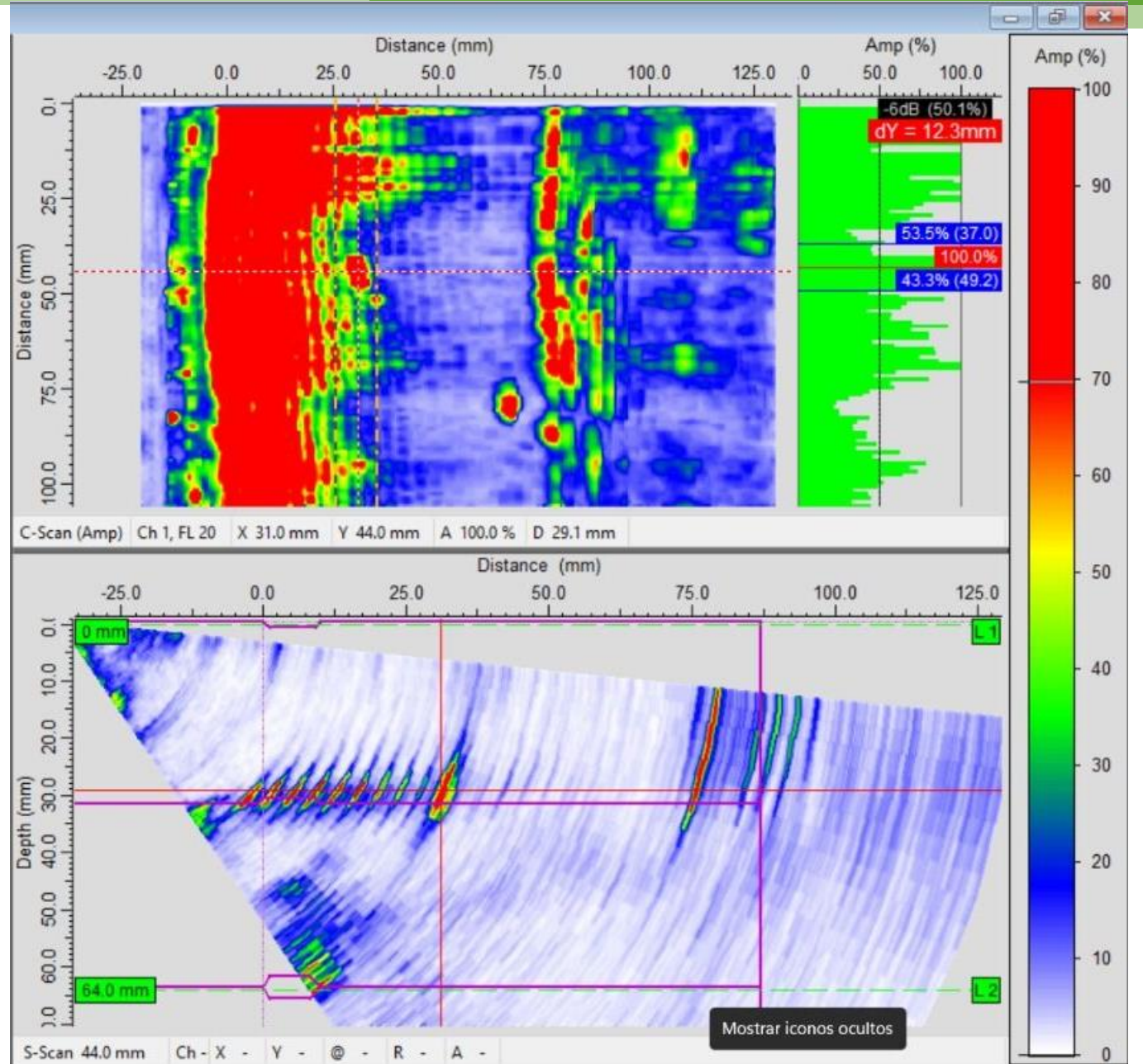
Örnek

Uygulama:

PA ultrason ile
cıvata iç yapısının
taranması

C-Scan ve S-Scan

veri sunum biçimleri

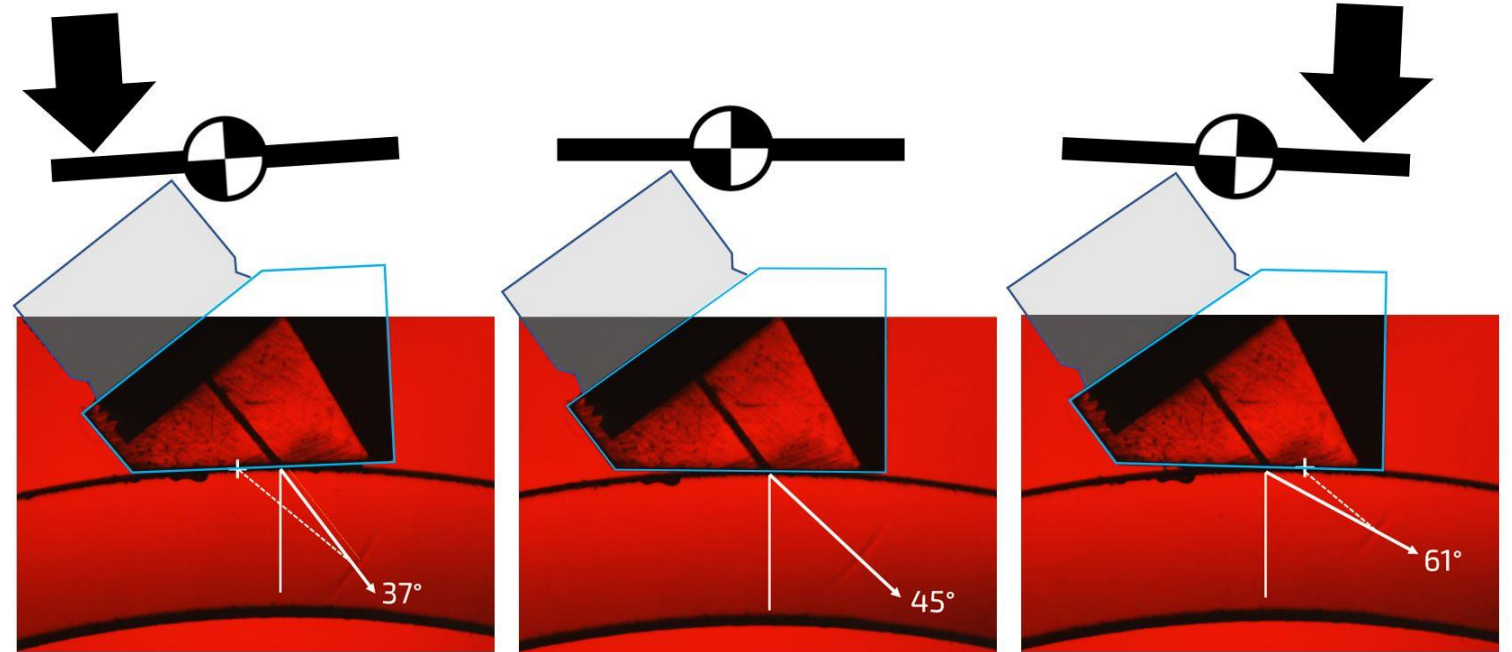
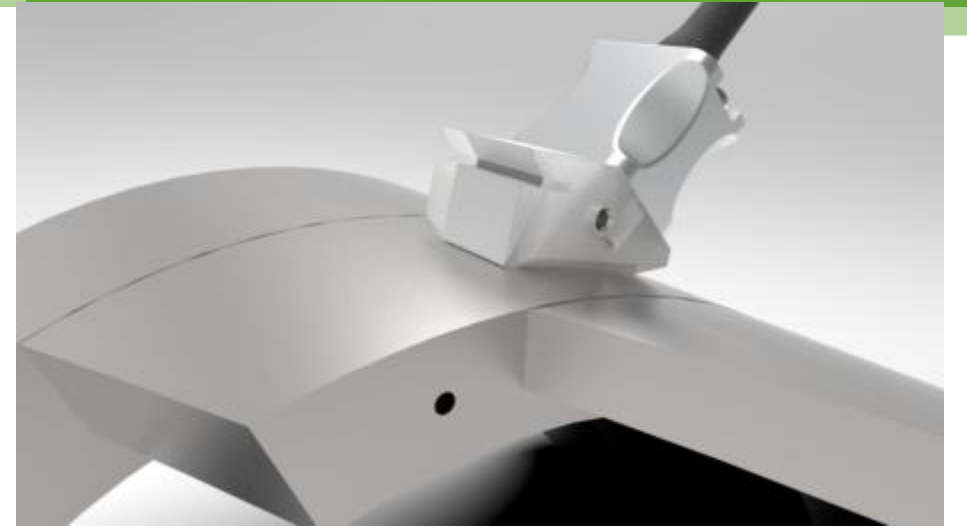


Ultrasonik Muayene

Eğri Yüzeylerde Tarama

Örnek Uygulama:

Eğri yüzeyler (*curved surfaces*) üzerinde düz (*flat*) prob ile tarama yapılırken, yüzey kavisine teğet geçen açılara bağlı olarak tespit edilen aynı kusur veya hatanın konumu değişir. Bu durum dikkate alınarak tarama yapılmalıdır.



Ultrasonik Muayene

Eğri Yüzeylerde Tarama

Örnek Uygulama:

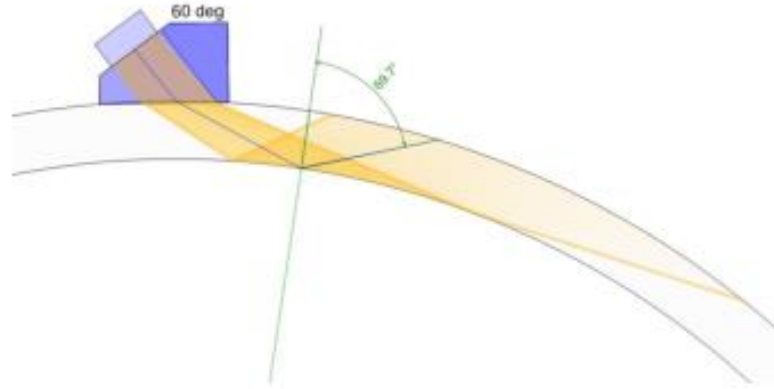
Düz tabanlı probun kavisli yüzey eğrilik çemberi çapının değişimine bağlı olarak hatayı ıskalaması durumu (solda)

Aynı eğri yüzeyde farklı açıda problarla tespit edilen kusurun da farklı konumda görülmesi durumu (sağda)

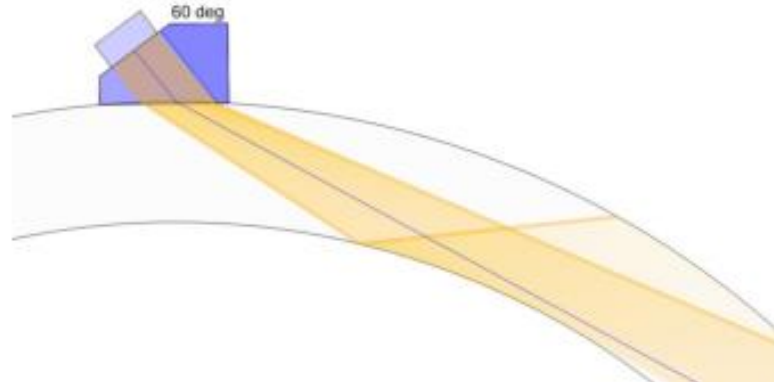
Kaynak: Ultrasonic Inspection Angles on Curved Surfaces - Paul Holloway, P.Eng. MASC -

<http://www.hollowayndt.com/>

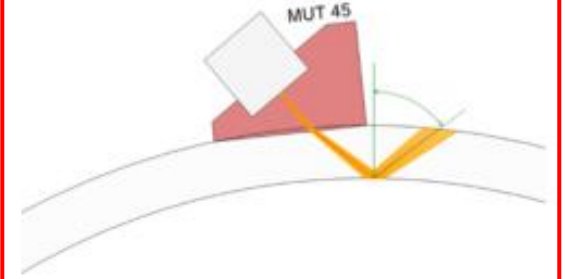
On a 12-inch Sch. 40 pipe, this 60° beam reflects off the ID at 70°:



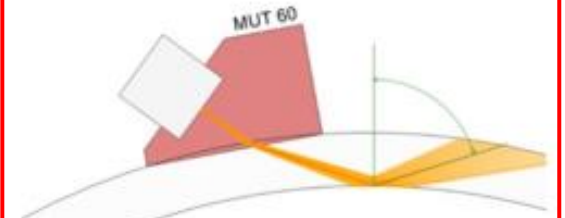
Whereas on a 12-inch Sch. 100 pipe, the 60° beam completely misses the ID:



45° conventional – what angle at I.D.?



60° conventional – what angle at I.D.?



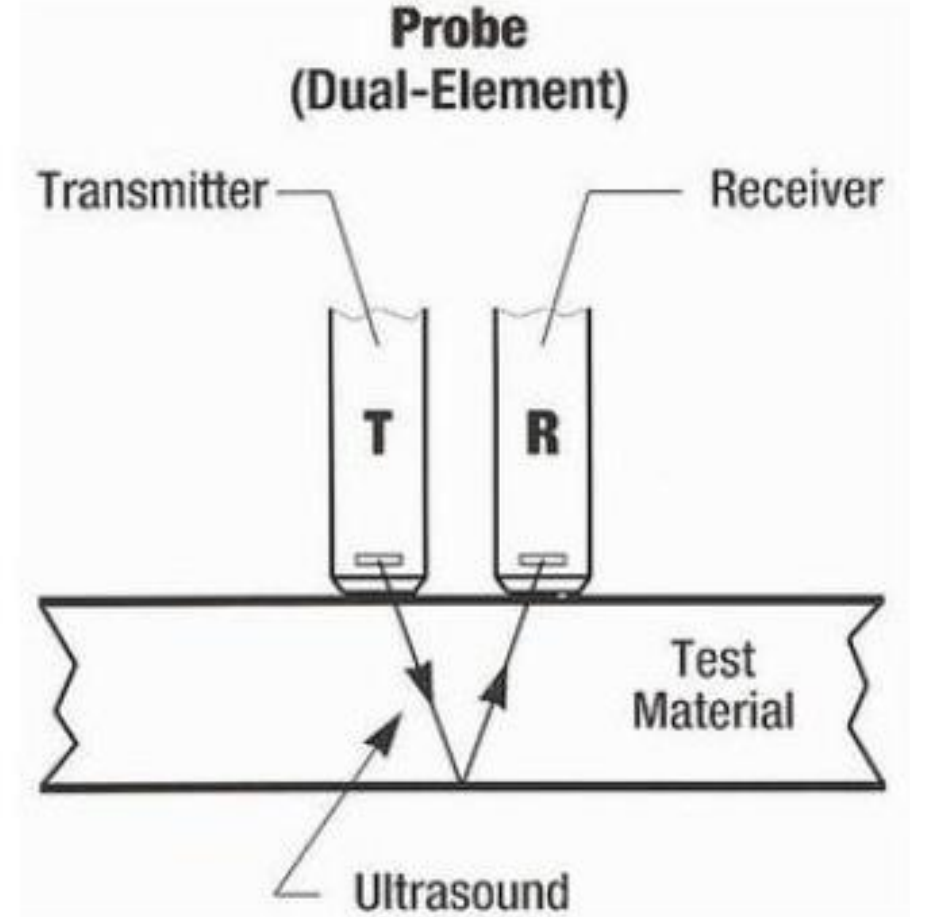
Ultrasonik Muayene

Ultrasonik Kalınlık Ölçer

Örnek Uygulama:

Ultrasonic Thickness Gauge (Kalınlık Ölçer)

İki elemanlı prob (dual-element probe) ile malzeme kalınlık ölçümü yapılabilir. Verici prob T (transmitter) malzemenin içine kısa bir sinyal gönderir. Bu sinyal parçanın arka duvarından yansır (echo) ve alıcı prob R (receiver) 'ye ulaşır. Cihaz, sinyalin gidiş-geliş süresini ölçer. Süre ne kadar uzunsa malzeme o kadar kalındır. Malzemedeki ses hızının bilinmesi veya belirlenmesi ile parçanın tam kalınlığı ekranda ölçüm sonucu olarak gösterilebilir.



Ultrasonik Tarama Verisi Sunum Biçimleri

(Ultrasonic Data Presentation/Display Formats)

Kaynak:

<https://www.ndt.net/ndtaz/content.php?id=435>

<https://www.bindt.org/What-is-NDT/Index-of-acronyms/B/B-Scan/>

<https://www.bindt.org/What-is-NDT/Index-of-acronyms/S/>

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8023>

<https://www.olympus-ims.com/en/improved-scan-plan-strategy-with-compound-s-scan-for-weld-inspection/>

<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/DataPres.htm>

Kaynaklar: (web)

- MCE 476 - Nondestructive Testing Methods / Doç.Dr. Mostafa RANJBAR / AYBÜ
- https://aybu.edu.tr/mranjbar/dosya_listesi-297-531-mce-476---nondestructive-testing-methods.html
- Nondestructive Evaluation Techniques / Iowa State University
- <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/index.xhtml>
- NDT Encyclopedia / Open Access Portal of Nondestructive Testing (NDT)
- <https://www.ndt.net/ndtaz/ndtaz.php>

Kaynakça:

- Tahribatsız Malzeme Muayenesi Cilt-3, Doç. Dr. Özlem Karadeniz, Prof. Dr. Süleyman Karadeniz, 2018, [MMO Yayınları](#) 685-3, İzmir
- <http://www.ndtteknik.com/ndt-kutuphane.html>
- <https://www.szutest.com.tr/tahribatsiz-muayeneler>
- https://www.ktuweb.com/page_showdoc?course=ME367&dopage=study
- <https://www.ktunotes.in/ktu-non-destructive-testing-me367-notes/>
- <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>
- <http://ndt.wtndt.metu.edu.tr/tahribatsiz-muayene-yontemleri>
- https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_03_00_aca05.pdf
- <https://www.youtube.com/channel/UCKHK9Ocf4he4Yo65uyMk0-w/videos> **NDT Teknik Videolar**
- https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_14_00_71570.pdf
- <https://www.youtube.com/watch?v=9-BHDoiii2Y> **Introduction to Ultrasonic Inspection**
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Sound>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_intensity
- https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-solids-d_713.html
- <https://www.olympus-ims.com/en/resources/posters/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array_ultrasonics
- https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_diffraction_ultrasonics