

Okan Üniversitesi MYO

MUTK216

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 8

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

~~Görsel Muayene~~

~~Akustik Emisyon~~

~~Penetrant Sıvı~~

Termografi

Radyografi

Girdap Akımları

Manyetik Parçacık

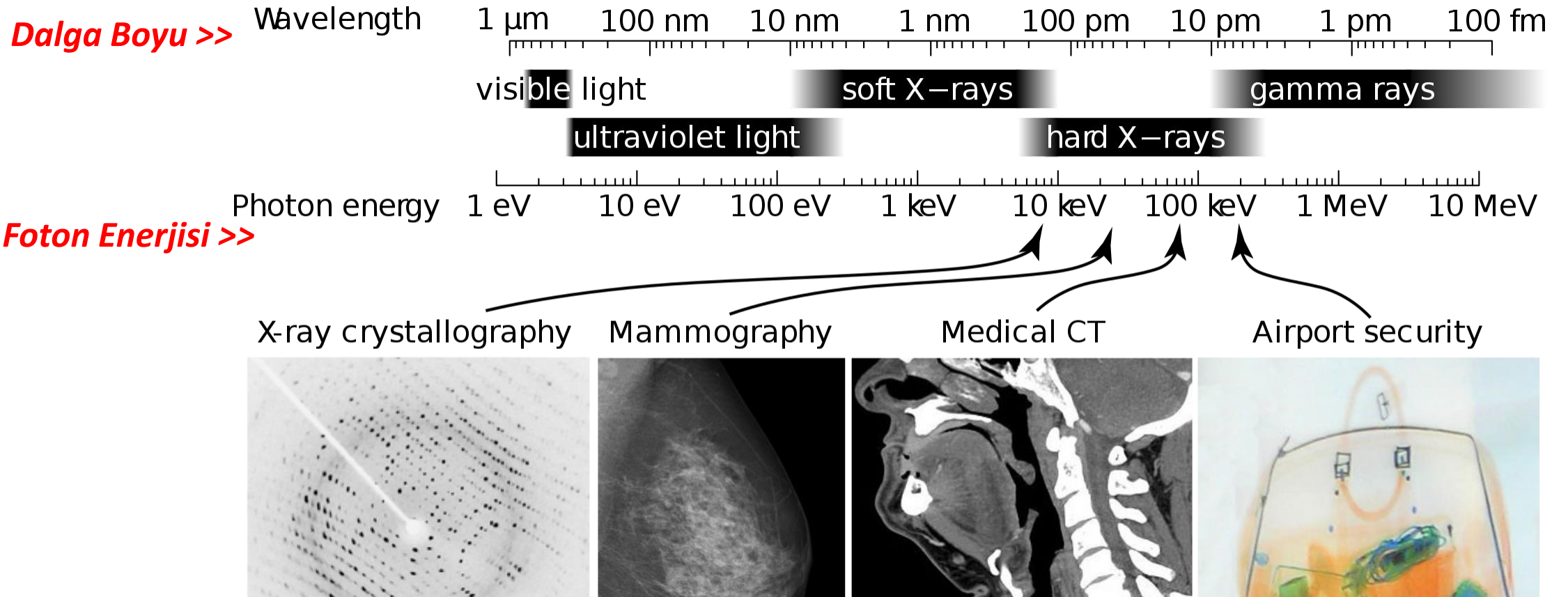
~~Ultrasonik Muayene~~

TEMEL KAVRAMLAR: X Işını

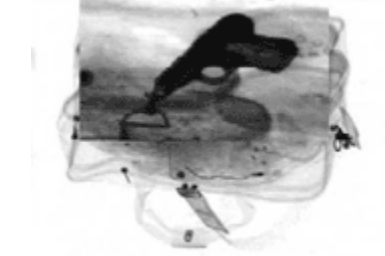
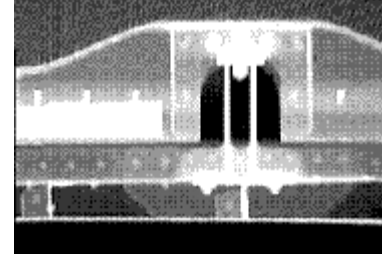
- Klasik fizik sınırları içinde, X-ışınları aynı görünür ışık gibi bir **elektromanyetik dalga** olup, görünür ışıktan farkı **düşük dalga boyu**, dolayısıyla **yüksek frekans**ları ve **enerjileridir**. Morötesi'nin ötesidir. X ışınlarının ötesi ise Gama ışınları'dır.
- Röntgen ışınları ışığa benzeyen fakat gözle görülmeyen, **oldukça delici özellikli** bir salınımdır. X ışını tabirini (Almanca: *X Strahlung*, günümüzde *Röntgenstrahlung*) ilk olarak bu ışınları keşfeden fakat özelliklerini tam bulamayan Wilhelm Conrad Röntgen, “bilinmeyen” anlamında kullanmıştır. Bu ışınların dalga boyu 10^{-9} ile 10^{-11} cm arasındadır. Dalga boyu gözle görülen ışığıkinden kısadır.

TEMEL KAVRAMLAR: X Işını

- X ışınları, görünür ışıktan daha kısa dalga boylarına sahip **elektromanyetik spektrum**un bir parçasıdır. Farklı uygulamalar, X-ışını spektrumunun farklı kısımlarını kullanır.



X Işını



X-ışınlarının Madde ile Etkileşimi

- Farklı enerjilerdeki X-ışınlarının madde ile etkileşimi farklı şekillerde gerçekleşir. Bunun nedeni de maddelerin kompleks **kırılma indislerinin**, frekansa (foton enerjisine) ve atomların iyonizasyon enerjilerine bağlı olmasıdır. Kompleks kırılma indisi X-ışınları için şu şekilde tanımlıdır:

$$n = 1 - \delta - i\beta,$$

- Burada δ kırılma indisinin reel kısmındaki düşüşü, β ise madde içinden geçerken gerçekleşen şiddet kaybını tanımlar.

X Işını

Kırılma İndisi

- Bir maddenin **kırılma indisi**, o maddede yol alan ışığın ya da diğer elektromanyetik dalgaların boşlukta yol alan ışığa göre ne kadar yavaş ilerlediğini gösteren bir katsayıdır. Genellikle ***n*** sembolü ile gösterilir.

$$n = \frac{c}{v}$$

- ***c*** ışığın boşluktaki hızıdır, ***v*** ise madde içindeki hızı. Örneğin suyun kırılma indisi 1,33'tür. Bu, ışığın boşlukta suda olduğundan 1,33 kat daha hızlı gittiğini gösterir. Kırılma indisi ilk kez **Snell yasasında** ifade edilmiştir.

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2$$

X Işını

Dalga boyu ve kırılma indisi

- Işık bir maddeden diğerine geçerken, **frekansı değişmez**.
- Tüm elektromanyetik dalgalar için $Hız = Frekans \times Dalga\ boyu$ ($c = f \cdot \lambda$) eşitliği geçerlidir. Bu yüzden **hızı azalan ve frekansı sabit kalan** ışığın **dalga boyu azalır**.
- Kırılma indisi dalga boyuna bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle de hesaplanabilir.

$$n = \frac{\lambda}{\lambda_n}$$

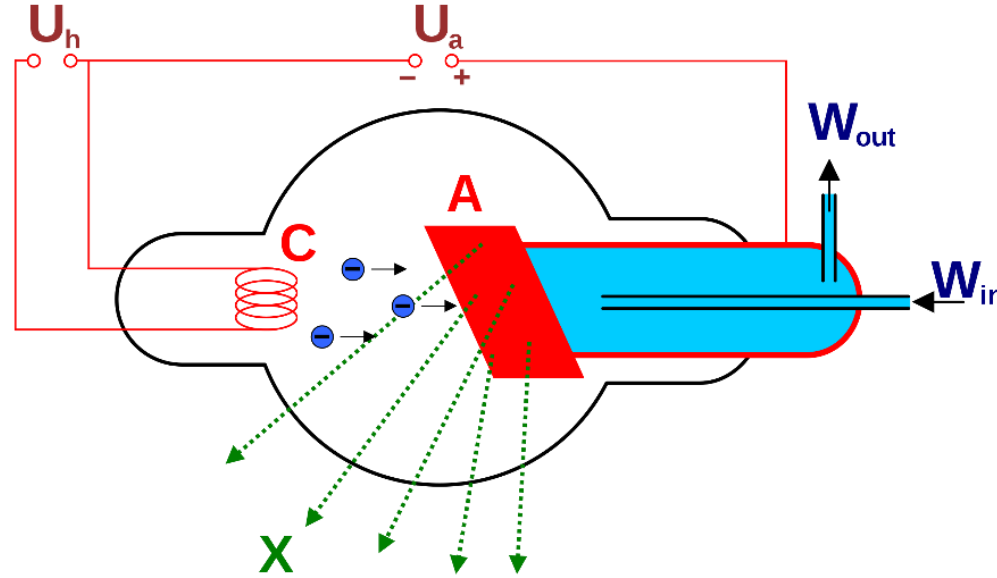
X Işını

X-ışınlarının Oluşumu ve Üretimi

- X ışınları, hızla hareket eden elektron akımının hedefteki materyalin atomları ile etkileşimi sonucu oluşur.
- Elektronlar hedefle etkileşime girdiğinde, aniden yavaşlar ve kinetik enerjilerinin **%1'i X ışınına** dönüşür, **enerjinin %99'u ısı** olarak kaybedilir.
- X-ışını üretimi için gerekli üç eleman vardır:
 - 1) Elektron kaynağı
 - 2) Elektronların çarpacağı bir hedef
 - 3) Elektronları hızlandıracak bir yol

X Işını

X-ışınlarının Üretimi

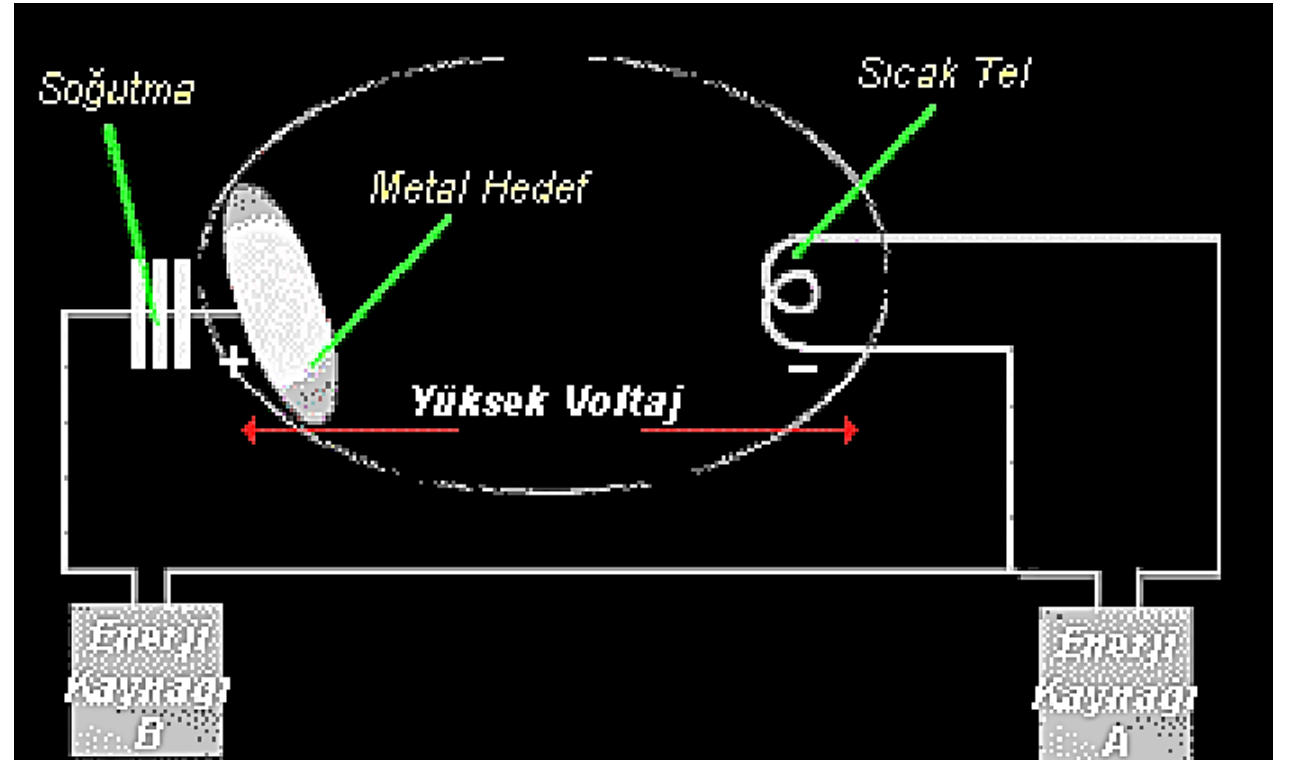


- Yüksek hızlı elektronlar metal bir hedefle çarpıştığında X-ışınları üretilir.
- Bir elektron kaynağı (katot -) ile bir metal hedef (anot +) arasında yüksek hızlanma voltajı oluşturulur.
- **Anot:** X-ışını tüplerinde elektron demetine maruz bırakılarak X-ışını elde edilen kısımdır. Pozitif polarizeye (kutup) sahiptir. İki kısımdan oluşur, bunlar elektron bombardımanı sonucunda X-ışını oluşmasını sağlayan hedef kısım ve polarizeyi sağlayan iletken kısımdır.
- **Katot:** Elektron tüplerinde veya lambalarda ısıtılarak elektron yayan eleman ve elektroliz düzeneklerinde bataryanın negatif kutbunun bağlandığı elektrot.

X Işını

X-ışınlarının Üretimi

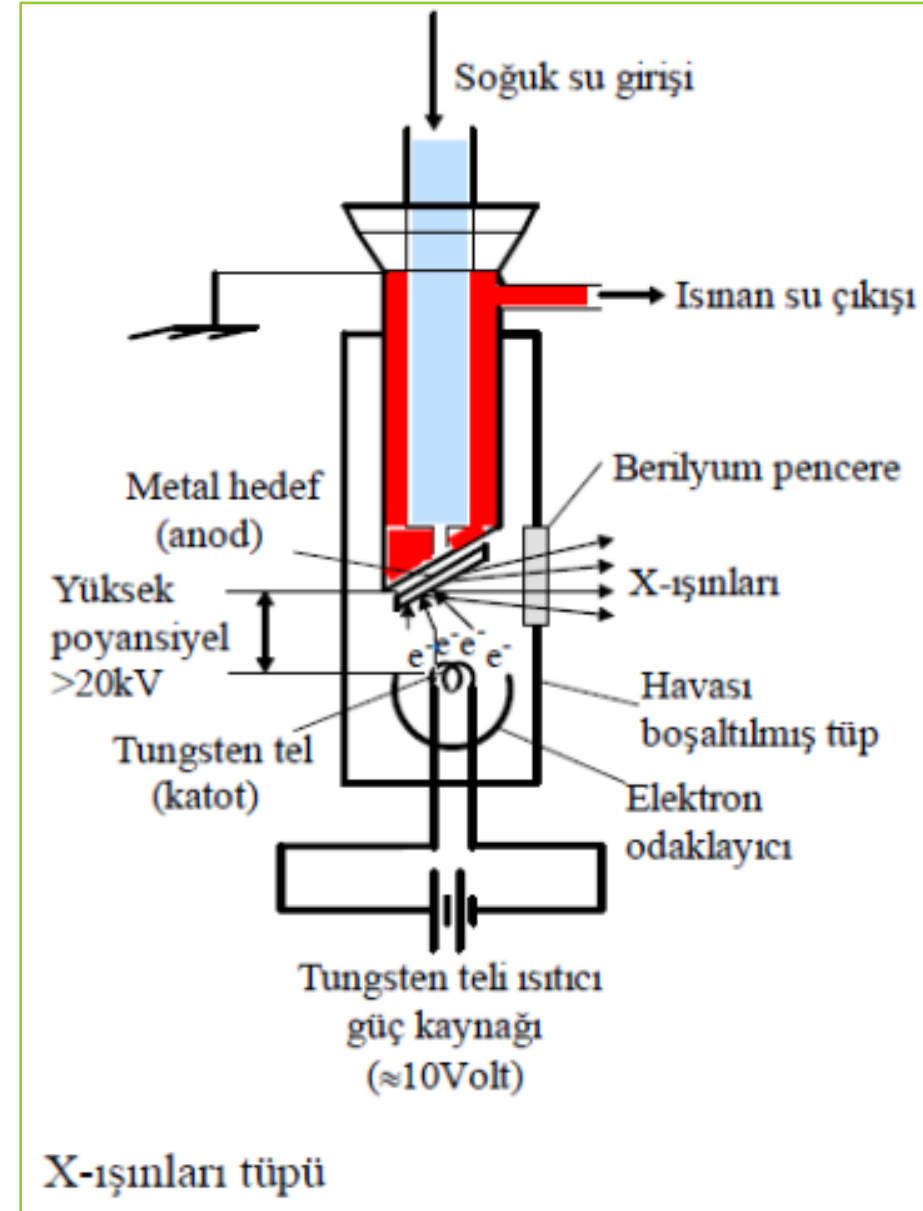
- Sıcak tel (katot) tarafında üretilen yüksek hızlı elektronlar, metal hedefe (anot) çarptırılarak X-ışını elde edilir.



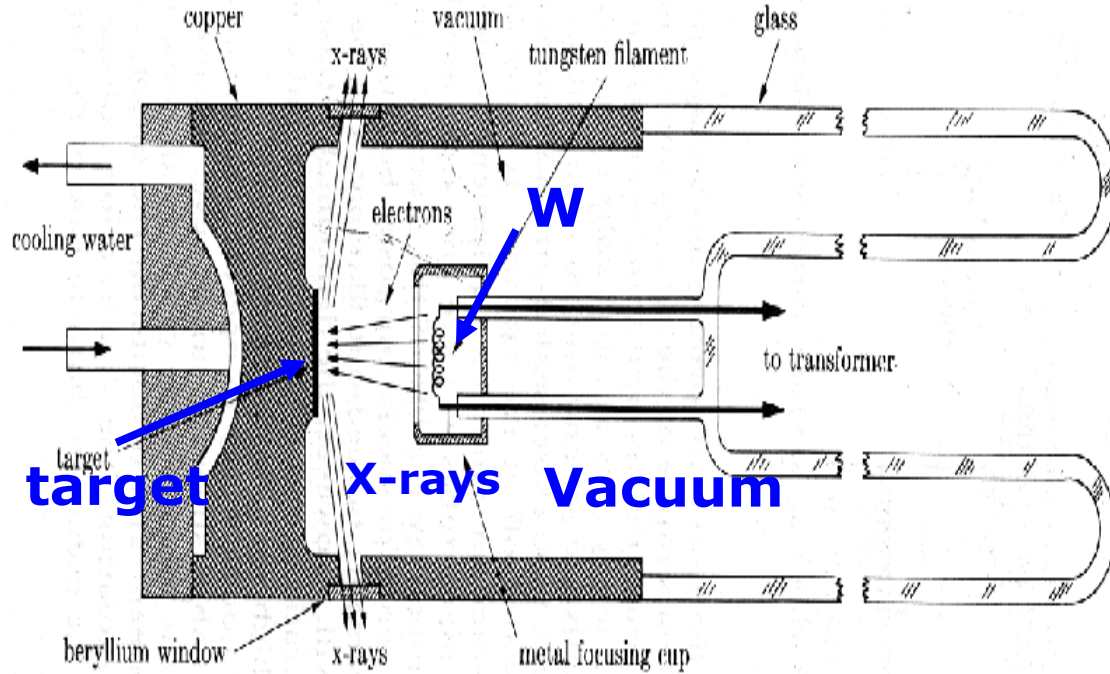
X Işını

X-ışınlarının Üretimi

- X-ışını tüplerinde metal hedefin (anot) soğutulması gerekebilir.
- Elektron kaynağı olarak (katot) Tungsten tel kullanılabilir.



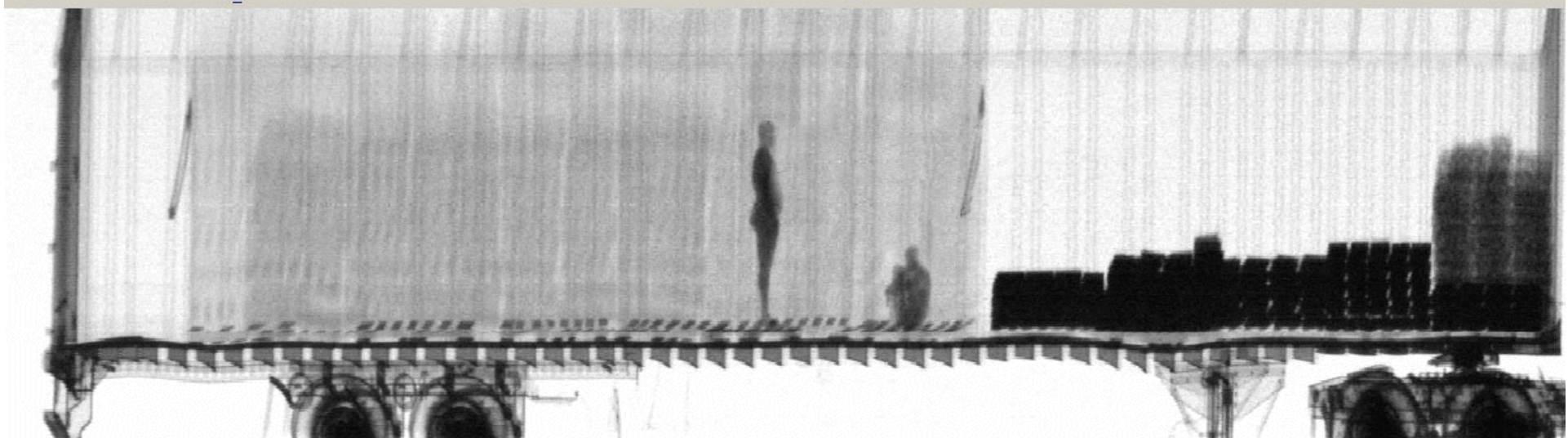
X-Işını Nasıl Üretilir?



- Yüksek hızlı elektronlar metal bir hedefle çarpıştığında X-ışınları üretilir.
- Bir elektron kaynağı (sıcak tungsten (W) filament) katot (-) ile bir metal hedef (anot +) arasında yüksek hızlanma voltajı (30-50kV) elde edilir. Anot (+), belirli hedef metali içeren su soğutmalı bir Cu (bakır) bloğudur.

TEMEL KAVRAMLAR: **Gama Işını**

- **Gama ışını (γ)**, atom altı parçacıkların etkileşiminden kaynaklanan, belirli bir titreşim sayısına sahip elektromanyetik ışınımıdır. X Işınları'nın ötesindedir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir.
- Gama ışınları, diğer elektromanyetik ışınlar arasında, **en yüksek frekansa** ve **en düşük dalga boyuna** sahiptirler.



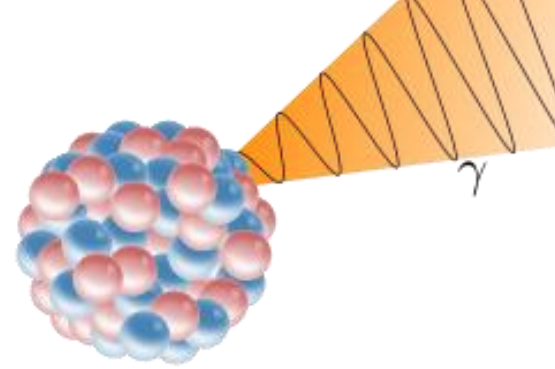
Gama Işını



- Taşıdıkları enerji düzeyi nedeniyle **yaşayan hücrelere önemli zarar** verirler.
- **Gama** ve **X** ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre **madde içine nüfuz etme kabiliyetleri** çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır.
- İyonize etme gücünün daha düşük olması, **kalın cisimlerden kolayca geçmesini** sağlar. Gama ışınının birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla sadece belli bir kısmı durdurulabilir.
- Madde içerisinden geçerken **üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına** uğrarlar.
- Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler.

X Işını ve Gama Işını

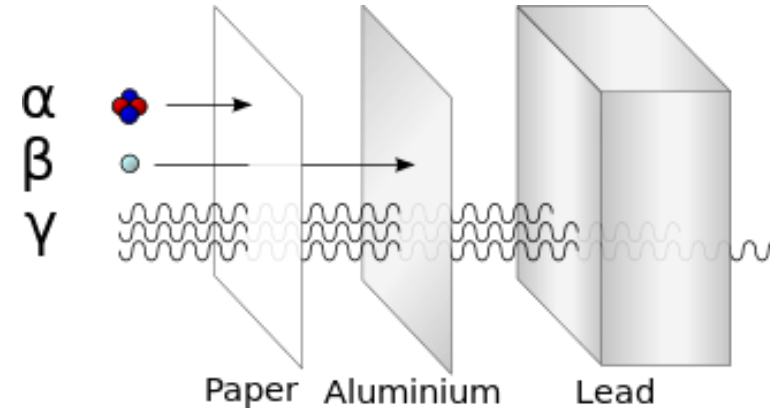
Elektriğe Bağımlılık



- **X ışını** üretimi için elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Elektronları üretmek ve bunları hızlandırmak elektrik enerjisiyle mümkün olur. X-ışını cihazları elektriğe bağımlıdır.
- **Gama ışın**larını üreten radyoaktivite, kendiliğinden ve sürekli olarak devam eden bir reaksiyondur. Radyoaktivite bazı izotoplarda doğal olarak bulunur veya radyografide kullanılan radyoaktif madde (radyoizotop) nükleer reaktörde radyoaktif hale getirilir. Aktiflenen (yapay olarak üretilen) madde (radyoizotop) reaktörden çıkarıldıktan sonra artık **tamamıyla sönmüne kadar kendiliğinden ışın yaymaya** devam eder. Bunun için elektrik enerjisine gerek yoktur. Gama ışınları üretimi elektrik enerjisinden bağımsızdır.

X Işını ve Gama Işını

Radyasyondan Korunma

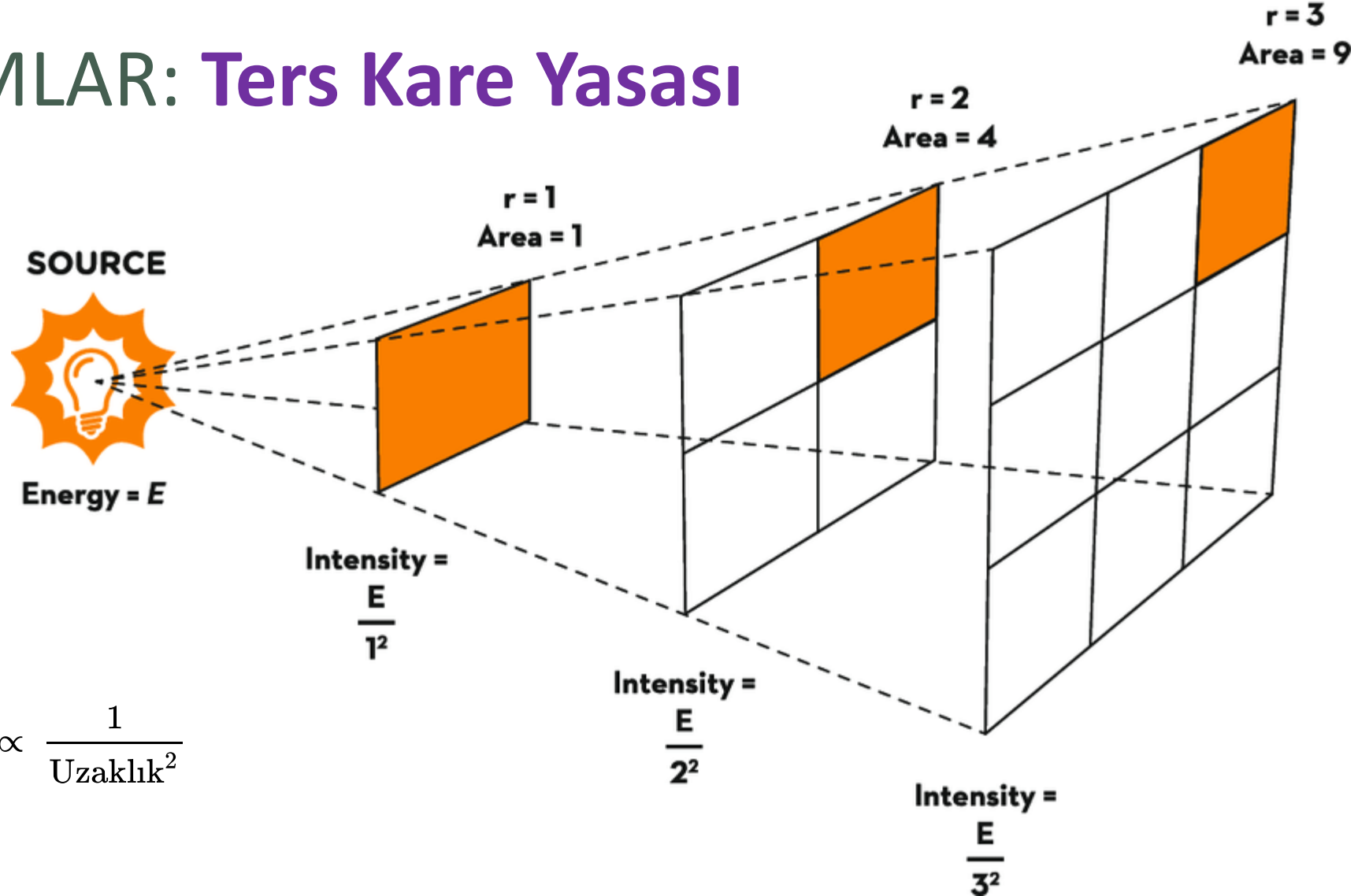


- Gama ve X ışınları arasındaki bu farklılık **radyasyondan korunma** yönünden önemlidir.
- X ışını cihazının düğmesi kapatıldığında veya fişi çekildiğinde (gücü kesildiğinde) radyasyon üretimi biter (durur). Cihazın durduğu zamanlarda radyasyondan korunmak için bir önlem almaya gerek yoktur.
- Radyoizotopun **Gama ışını üretimini durdurmak mümkün değildir**. İhtiyaç olmadığı zamanlarda yayılan radyasyondan korunmak için, kaynağın (radyoizotopun), radyasyon geçirmeyen veya zayıflatan; atomları sık (yoğun) kurşun (Pb), tungsten (W) veya uranyum (U) zırh (muhafaza kabı) içerisine yerleştirilmesi gerekir. Dışarıya hafif bir radyasyon sızıntısı daima vardır. Gama ışını cihazlarından, tam kapalı durumda olsalar dahi, biraz uzakta durmak korumanın ilk şartıdır.

TEMEL KAVRAMLAR: Ters Kare Yasası

(*Inverse Square Law*)

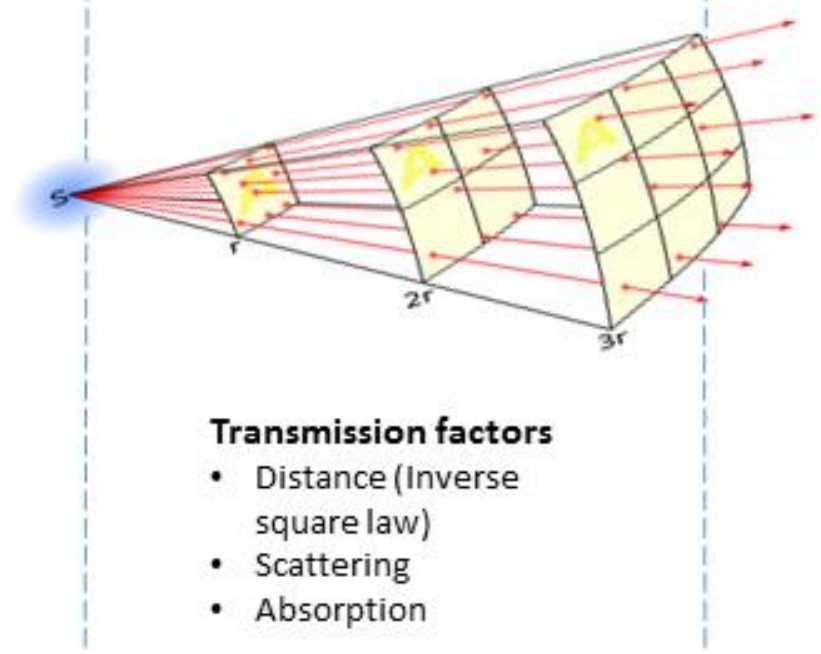
- Ters Kare Yasası: Herhangi bir belirli fiziksel miktar veya şiddetin (**I**: *Intensity*), o fiziksel büyüklüğün kaynağından uzaklığın (**r**) karesiyle ters orantılı olduğunu belirten fiziksel yasadır.



$$(\text{Yoğunluk, şiddet veya Koyuluk}) \propto \frac{1}{\text{Uzaklık}^2}$$

X Işını ve Gama Işını

Boşlukta Yayınım



- X ve Gama ışınları, aynen görünür ışık gibi doğrusal yörüngeler boyunca yayınırlar.
- Hava içindeki yayılım da boşlukta (herhangi bir partiküle çarpmadan) yayılım gibi düşünülebilir.
- Bir kaynaktan **yayınan ışınım, düzlemsel olarak açılarak** (bir açı dahilinde genişleyip yayılarak) ilerler. Dolayısıyla, **birim alandan geçen ışın miktarı kaynaktan uzaklaştıkça, uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır** (*inverse square law*).
- Radyografide bilinmesi gereken, bir kaynaktan çıkan toplan ışın miktarı değil, objenin veya filmin bir noktasına düşen ışın miktarıdır. Buna o noktadaki **ışın şiddeti** denir.

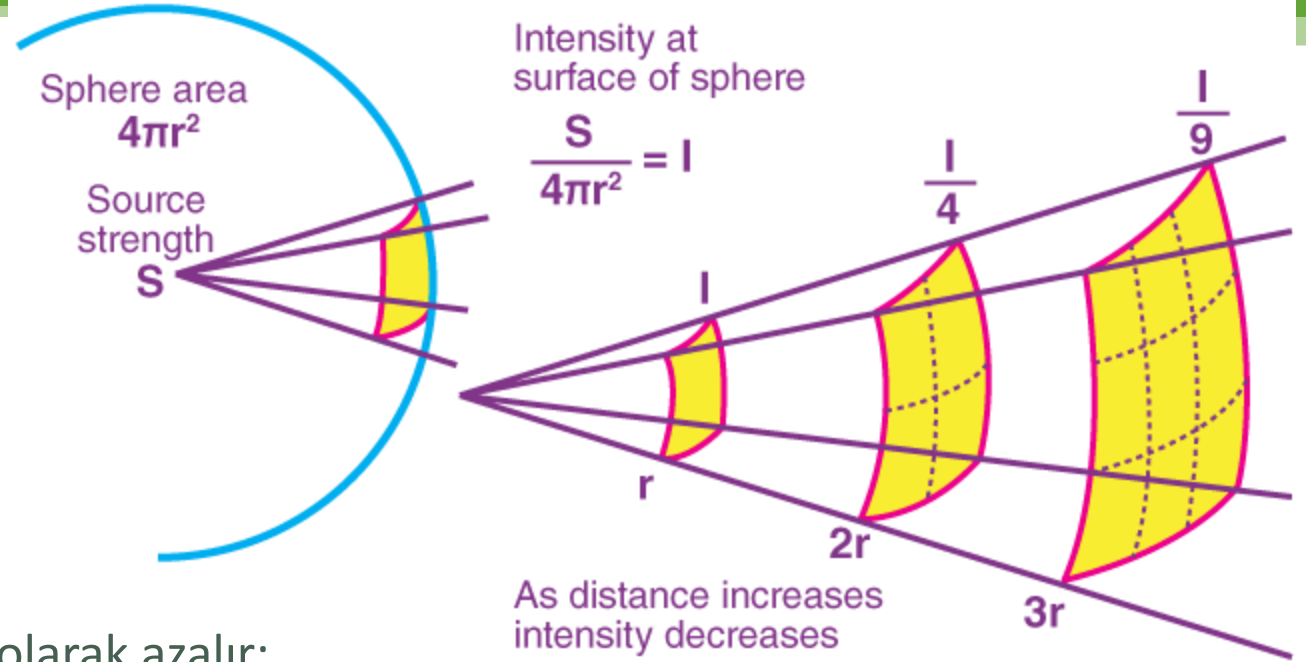
X Işını ve Gama Işını

Boşlukta Yayınım / **TERS KARE YASASI** →

- Işın şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{H_2^2}{H_1^2}$$

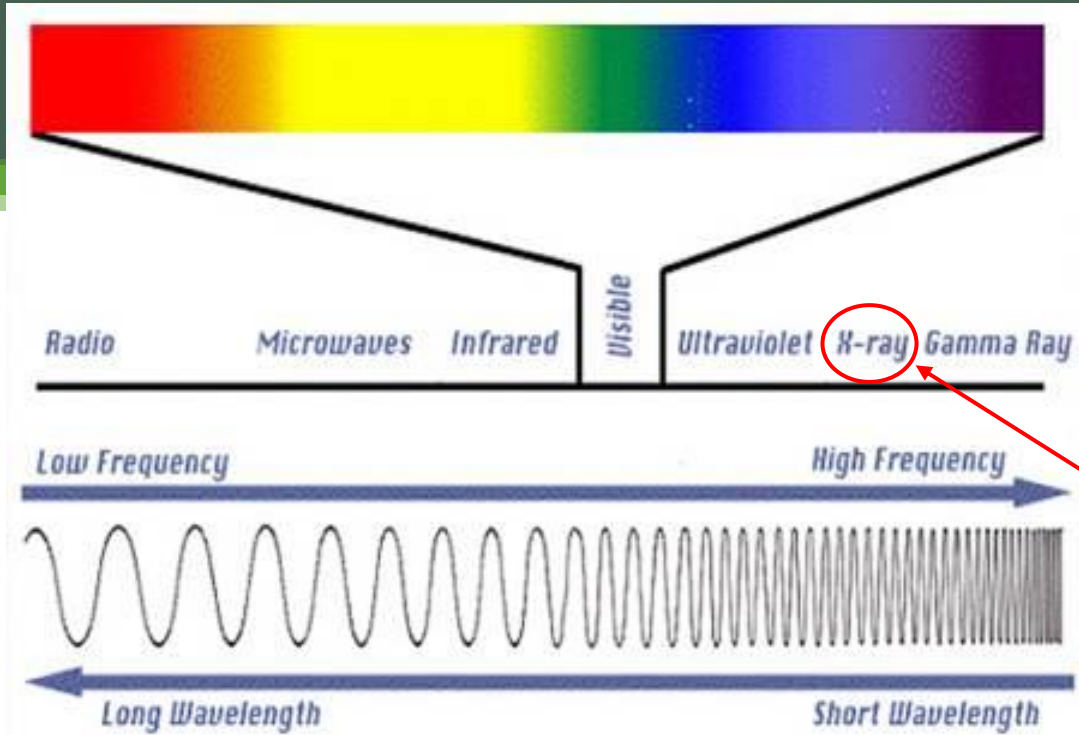
- Burada: I_1 ve I_2 ; kaynağa uzaklıkları H_1 ve H_2 olan iki noktadaki ışın şiddetleridir.
- Radyografide **obje ve film (algılayıcı) ışın kaynağına yaklaştırıldıkça poz süresi karesel olarak kısalır.** (Değerlendirmeye uygun bir görüntünün oluşabilmesi için belli şiddette bir ışının belli bir zaman süresince film üzerine etki ettirilmesi gerekir.)



MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Radyografik Muayene

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi



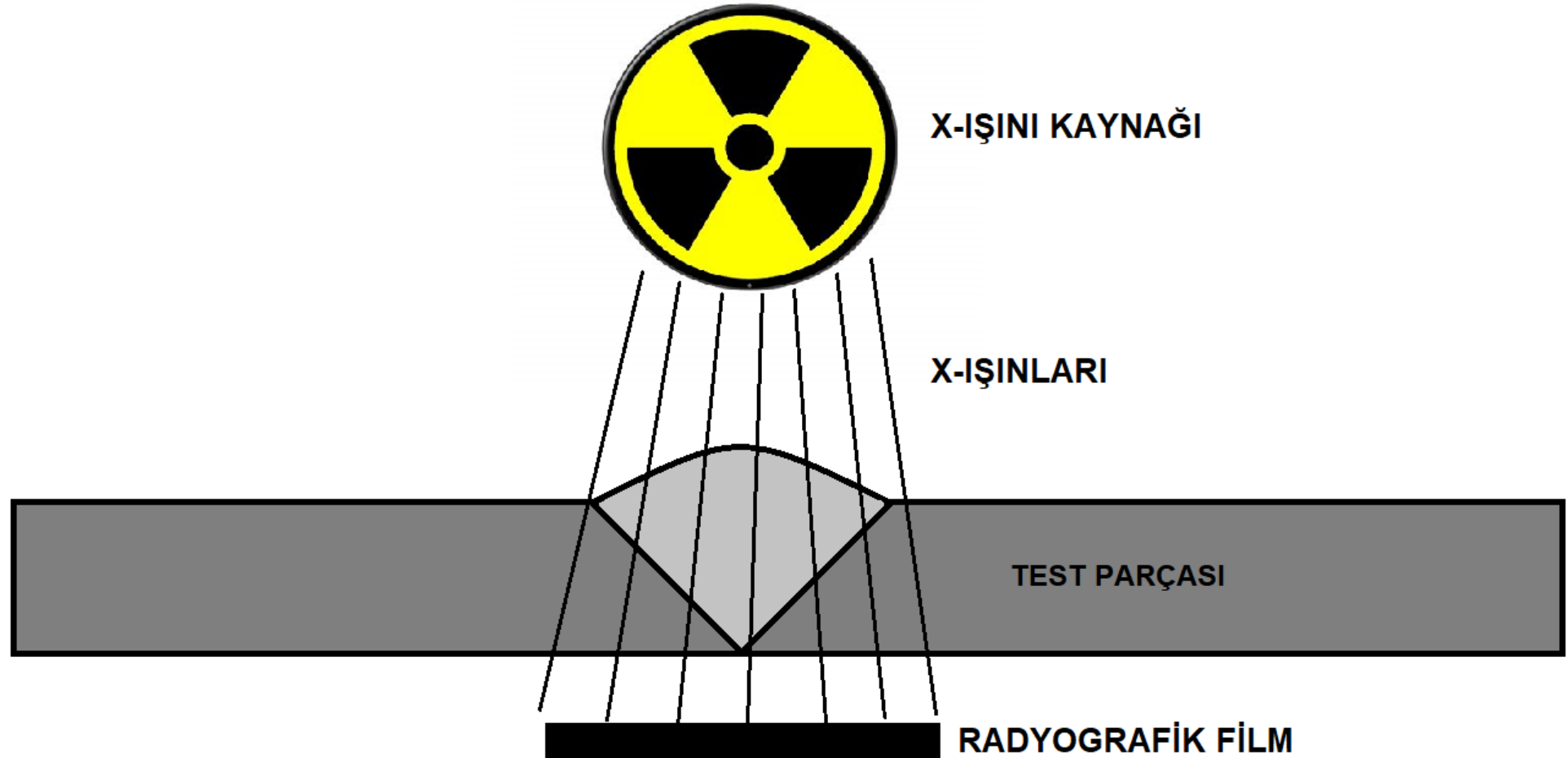
Elektromanyetik Spektrum Esaslı
Muayene Teknikleri:

Radyografi, Termografi, 3B Tarama...

Radyografi

- Tahribatsız malzeme muayenelerinde, X Işınlarından **Radyografi** tekniği kapsamında faydalanılmaktadır.
- **Radyografi**, bir nesnenin iç formunu görüntülemek için X ışınları, gama ışınları veya benzer radyasyon türleri kullanan görüntüleme tekniğidir.
- Görüntü oluşturmak için, bir X-ışını ışını veya başka bir elektromanyetik radyasyon formu üretilir ve nesneye doğru yansıtılır. Nesnenin yoğunluğuna ve yapısal bileşimine bağlı olarak, belirli miktarda X-ışını veya başka radyasyon nesne tarafından emilir. Nesneden geçen X ışınları, bir dedektör tarafından **nesnenin arkasında** yakalanır (**fotoğraf filmi veya dijital dedektör**).
- Bu teknik ile iki boyutlu görüntülerin üretilmesine projeksiyonel radyografi denir.

Radyografi / X-Işını / Röntgen



Radyografik Muayene

- Bu Tahribatsız Muayene (NDT) yönteminde nüfuz edici (kısa dalga boylu) radyasyon kullanılmaktadır.
- Örnek parça içinden geçen radyasyon, malzemedeki yoğunluk veya kalınlık farklılıklarından dolayı farklı miktarlarda soğurulmaktadır. Parçanın içinden geçip, karşı yüzeyinden yayılan radyasyon genellikle radyografik film üzerine kaydedilmektedir.
- Film üzerine kaydedilen görüntü gerçekte test malzemesinin gölge görüntüsüdür (*shadowgraph*).
- Radyografi, *ana malzeme ile yoğunluk farkı oluşturan hacimsel iç hataların tespitinde* en uygun yöntemdir.

Radyografik Muayene

Tarihçesi

- Endüstriyel uygulamaya ilk gelen NDT yöntemi Radyografi tekniğiydi.
- 1895 yılında, Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen'in katot ışınlarıyla olan deneyleri X-Işını'nı keşfetmesini sağladı. O'na ilk Nobel ödülünü kazandıran buluştur. Röntgen konu hakkında ilk açıklamasında, hata tespitinin de içinde olduğu çeşitli kullanım alanlarını anlatmıştır.
- Endüstri o zamanlarda bu buluşa gerek duymuyordu, ama tıpta ihtiyaç vardı, böylece ilk olarak tıbbi ekipmanlarda kullanılmıştır. Röntgen'in öngöremediği tek etki ise X-Işını'nın insan sağlığına olan zararıydı. Radyasyondan korunma çıkmadan önce, birçok insan hayatını kaybetti.
- İlk teknik X-Işın uygulamaları 1930'larda Almanya'da Richard Seifert tarafından gerçekleştirilmiştir. Tıbbi ekipmanları geliştirmiş, kaynak enstitüleriyle beraber çalışmıştır.
- Radyasyon testi aynı zamanda radyoaktif izotoplarla da yapılabilir. Bu da Marie Curie tarafından keşfedilmiştir ve 1903 yılında fizik dalında Nobel ödülünü almıştır.

Radyografik Muayene

- Endüstriyel Radyografide genellikle, ya **X-Işını tüpü** (*X-ray tube*) ya da Gama Işınları elde etmek için (Kobalt 60) **Co-60** veya (İridyum 192) **Ir-192** veya (Selenyum 75) **Se-75** gibi yapay çekirdekler - *Radyoizotop Kaynaklar* - kullanılmaktadır.



Radyografik Muayene

- Bu yöntem **X-ışınları** ya da **Gama** ışınları kullanılarak malzeme görüntüsünün bir film veya algılayıcı (dedektör) üzerine yansıtılarak oluşturulmasına dayanır.
- Test edilen parçanın içine **nüfuz eden ışınlar, kalın ve ince kısımlarda farklı absorbe edildiği** için parçanın arka tarafına konulan filmin/detektörün üzerindeki görüntüdeki renkler kalınlığa göre farklılık gösterir. Eğer parça içinde bir **boşluk (gözenek) var ise görüntü daha koyu**, eğer ana malzemenin **yoğunluğundan daha yoğun** (Tungsten kalıntısı vb.) bir süreksizlik var ise görüntü daha açık renkli çıkar.
- Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde beklenen hacimsel ve yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

Radyografik Muayene

Bilimsel Temeli

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım) pek çok malzemeye nüfuz edebilirler. Belli bir malzemeye nüfuz eden ışınım malzemenin diğer tarafına konan ışınım duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında ışınımın içinden geçtiği malzemenin iç kısmının görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntü malzeme içindeki boşluklar veya kalınlık / yoğunluk değişiklikleri nedeniyle oluşur. Malzemenin içinin bu şekilde görüntülenmesi Radyografi olarak adlandırılır. Eğer malzemenin arka tarafına film yerine bir detektör konup malzemedeki ışınım toplanarak bir monitöre aktarılırsa bu teknik te Radyoskopi olarak adlandırılır.

Uygulama Alanları

Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde beklenen hacimsel ve yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

Sınırlamalar

Muayene parçasının kalınlığı kullanılacak ışınım kaynağının cinsine bağlı olarak belli değerleri aşamaz. Çeşitli ışınım kaynakları için uygun malzeme kalınlık aralıkları uygulama standartlarında verilmiştir. Kalınlık sınırlaması dışında her türlü malzemeye uygulanabilir. Operatörün eğitimi ve tecrübesi çok önemlidir. Muayene parçasının her iki yüzeyine de ulaşılabilir olması gerekir. Muayene için kullanılacak donanım diğer metotlara kıyasla daha pahalıdır. En çok da radyasyon güvenliği konusunda dikkatli çalışma gerektirir.

Uygulaması

Radyografik muayene için çeşitli ışınım kaynakları kullanılabilir. Bu kaynaklar X-ışını tüpleri veya Gama ışını üreten izotoplar olabilir. Endüstriyel radyografide kullanılan X-ışını enerji aralığı genellikle 50 kV -350 kV arasındadır. Işınlama enerjisi ışınlanacak malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. En çok bilinen ve kullanılan gama kaynakları ise Ir 192, Co 60'tır. Bunlardan başka Se 75, Yb 169 Tm 170 gibi izotoplar da endüstriyel radyografi alanında kullanılmaktadır. Muayenelerin sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için **standartlara göre yapılması** gerekir. Bu standartlar malzeme cinsine ve/veya ürün türüne göre hazırlanmıştır. Ayrıca muayenenin yapılışına yönelik uygulama standartları ile kabul seviyelerinin verildiği uygulama standartları vardır. Muayene parçasının özelliklerine göre uygun standartlar belirlenerek muayene yapılır.

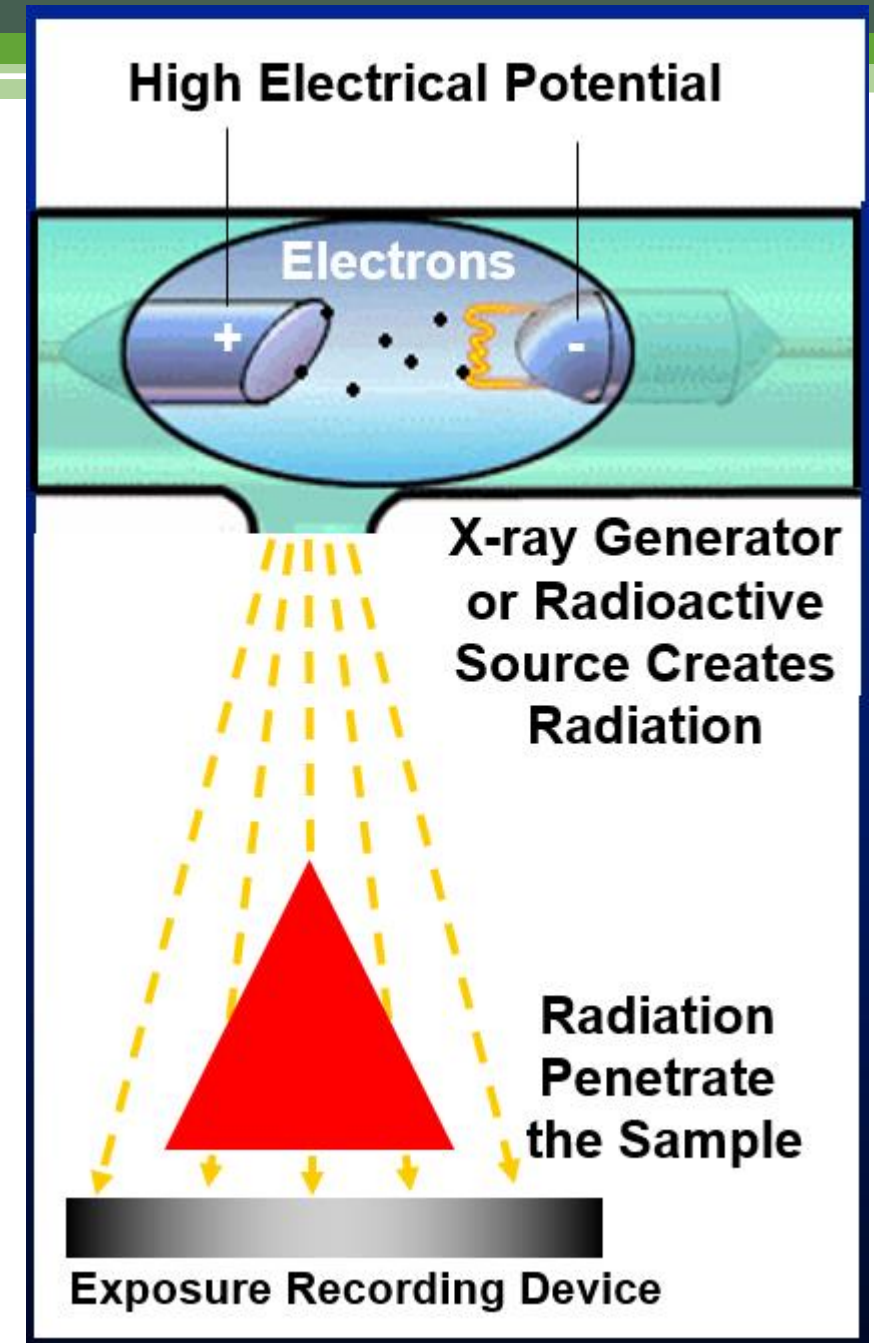
Radyografik Muayene / Kullanılan EN ve ISO Standartları

Genel:

- EN ISO 5579 - Tahribatsız muayene-Metalik malzemelerin film ve X- veya gama ışınlarıyla radyografik muayenesi için genel prensipler
- EN ISO 19232-1 - Tahribatsız muayene-Radyografların görüntü kalitesi-Kısım 1: Görüntü kalite göstergeleri (tel tipi)-Görüntü kalite değerinin tespiti
- EN ISO 19232-2 - Tahribatsız muayene-Radyografların görüntü kalitesi-Kısım 2: Görüntü kalite göstergeleri (kademeli/delik tipi)-Görüntü kalite değerinin tespiti
- EN ISO 19232-3 - Tahribatsız muayene-Radyografların görüntü kalitesi - Kısım 3: Görüntü kalite sınıfları
- EN ISO 19232-4 - Tahribatsız muayene-Radyografların görüntü kalitesi -Kısım 4: Görüntü kalite değerleri ve görüntü kalite çizelgelerinin deneyle değerlendirilmesi
- EN ISO 19232-5 - Tahribatsız muayene-Radyografların görüntü kalitesi - Kısım 5: Görüntü kalite göstergeleri (Çift telli tip)-Toplam yarı gölge değerinin tespiti
- EN 1330-3 - Tahribatsız muayene - Terimler ve tarifleri - Bölüm 3: Endüstriyel radyografik muayenede kullanılan terimler ve tarifleri

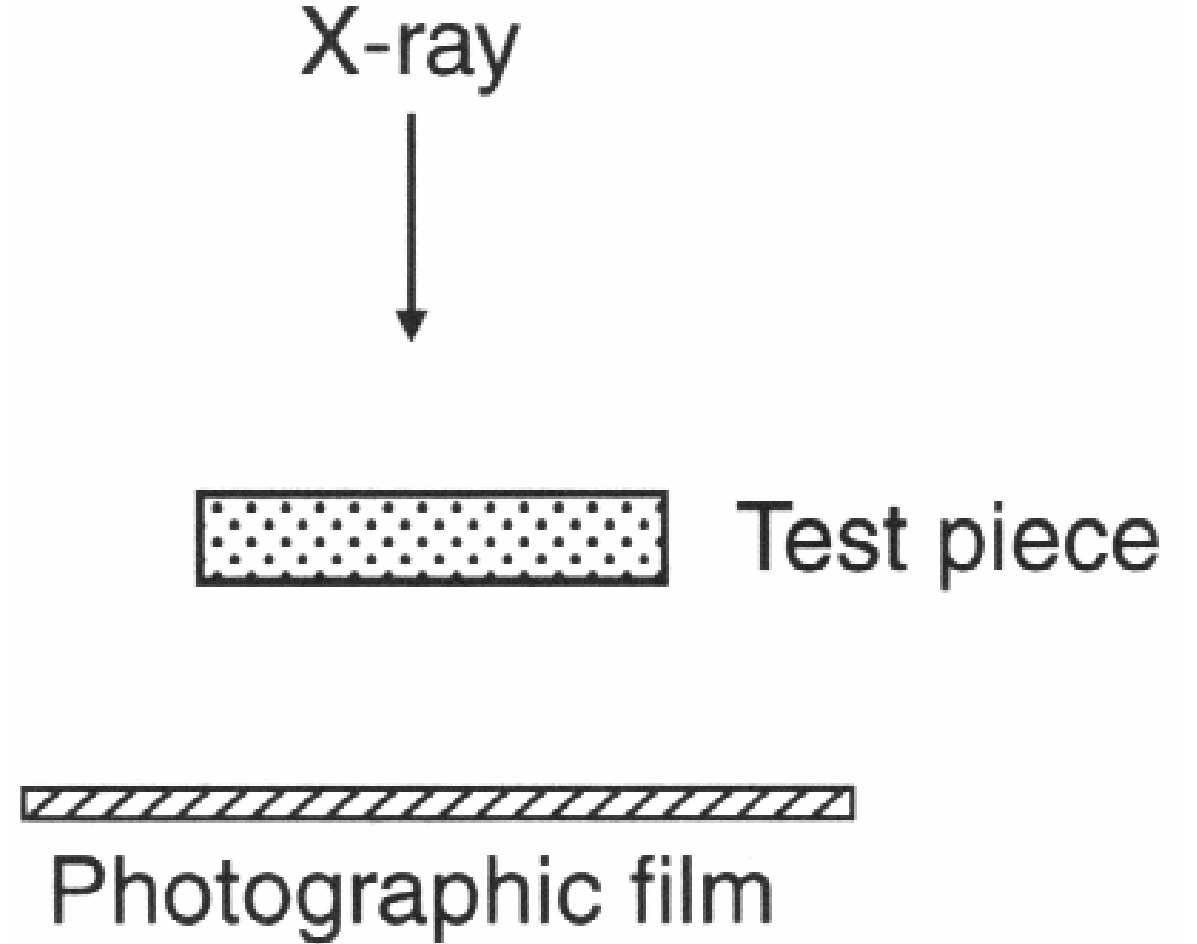
Radyografi

Radiography Testing – RT X-Ray Inspection

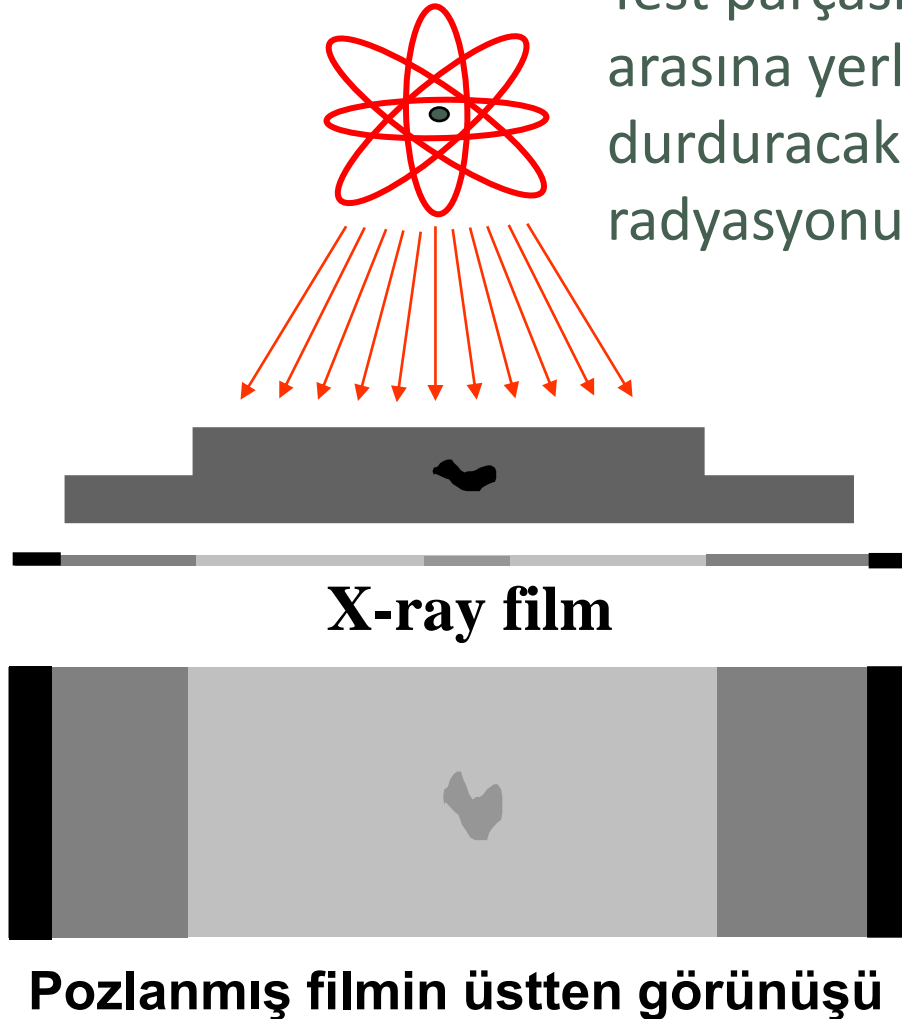


Radyografik Muayene

- Radyografi testinde kullanılan **radyasyon**, görünür ışık olarak gördüğümüz elektromanyetik dalgaların daha yüksek enerjili (daha kısa dalga boyu) bir versiyonudur.
- Radyasyon, bir X-ışını jeneratöründen veya bir radyoaktif kaynaktan gelebilir.



Film Radyografisi



Test parçası, radyasyon kaynağı ile bir film parçası arasına yerleştirilir. Parça radyasyonun bir kısmını durduracak. Daha kalın ve daha yoğun alan radyasyonun daha fazlasını durduracaktır.

Film koyuluğu (yoğunluğu), test nesnesi yoluyla filme ulaşan radyasyon miktarına göre değişecektir.



= az maruz kalma (less exposure)



= çok maruz kalma (more exposure)

Dijital Radyografi

- Dijital Radyografide (film yerine) kullanılan dedektörler (algılayıcılar)



Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü

- Radyografik görüntü bir siyah beyaz fotoğraftır. Daha doğrusu bir negatif filmidir; pozitif geçilmez, negatif film olarak kalır ve öyle kullanılır.
- Üç boyutlu cisimlerin iki boyutlu fotoğrafıdır. Objenin filme (görüntüye) paralel iki boyutu görüntü üzerinden ölçülebilir.
- Görüntüye **dik olan üçüncü boyut (derinlik) fotografik yoğunluktan, daha basit deyişle kararma derecesinden tahmin olunur**, kalınlık (derinlik) arttıkça film üzerindeki kararma azalır. Radyografik görüntüyü bir geometrik izdüşümden ayıran, objenin derinliğinin fotografik yoğunluk halinde kaydolunmasıdır.

Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü

- Objenin iç yapısının ayrıntıları, yani malzeme hataları, görüntü üzerinde sebep oldukları fotografik yoğunluk (karartma) farkları sayesinde seçilirler. Fotografik yoğunluk farkına kısaca **kontrast** denir.
- Kontrast yan yana duran iki noktanın kararma farkını gözün veya tarayıcının ayırt edebilmesidir. Görüntünün kontrastı yükseldikçe ayrıntılar daha kolay algılanır. **Kontrast yükseldikçe daha küçük ayrıntılar da algılanabilir.**

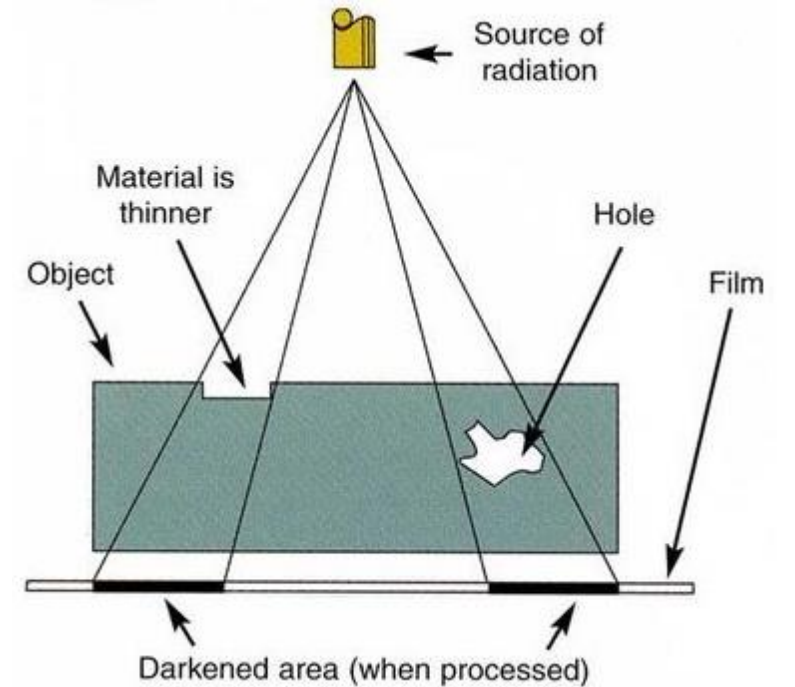
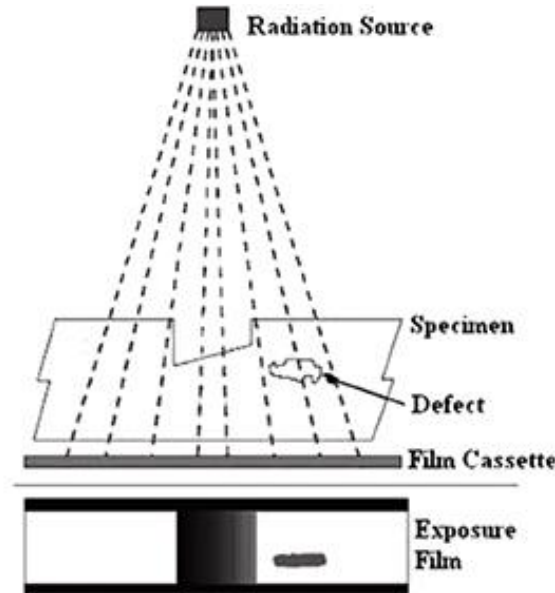
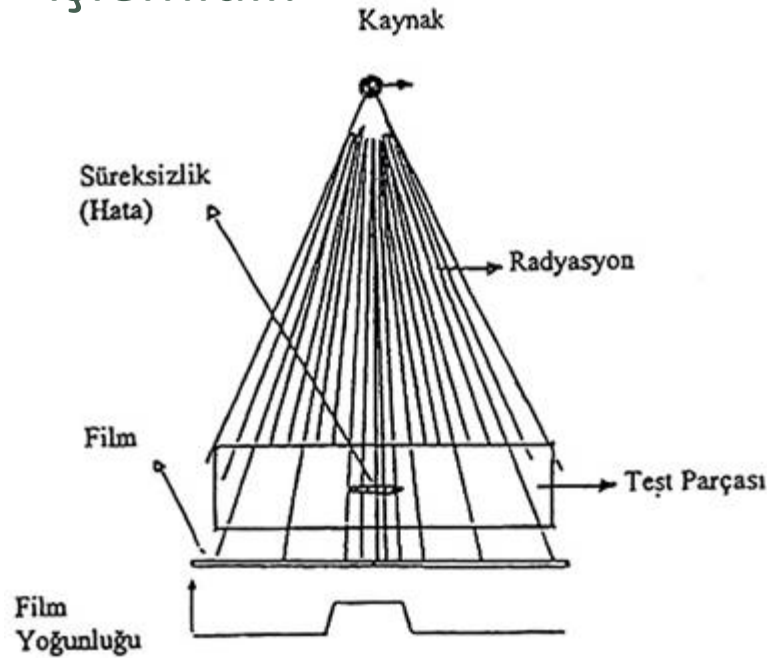
Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü

- Tanım veya algılanabilirliği kontrast dışında ayrıca, görüntü çevresinin (sınırının) keskinliği de etkiler (**keskinlik/sharpness**). Radyografik görüntünün ayrıntıları kalemle çizilmişçesine keskin ve ideal olmayabilir. İdeal duruma yaklaşıldıkça görüntü değer kazanır, kalitesi artar.
- Görüntüde keskinliği bozan **yarıgölge**dir. Görüntünün çevresinde yoğunluğun tedrici değiştiği sınır şerididir. Bu şeridin dar olması görüntünün kalitesini arttırır.

Radyografik Muayene

Radyografik Görüntüleme: Kaynaktan yayınlanan X-Işınının 3-Boyutlu iş parçası hacmini geçerek 2-Boyutlu izdüşüm (gölge) görüntü meydana getirmesi işlemidir.



Radyografik Muayene / **ÖNEMLİ KAVRAMLAR**

- Kontrast (karşıtlık)
- Çözünürlük (netlik)
- Kenar bulanıklığı/keskinliği (absorbsiyon)
- Gölge ve yarıgölge
- Magnifikasyon
- Distorsiyon
- Işın kaynağı boyutu (fokal spot)
- Projeksiyon (izdüşüm)

Radyografik Muayene

Radyolojik görüntülemenin kalitesini başlıca belirleyen faktörler,

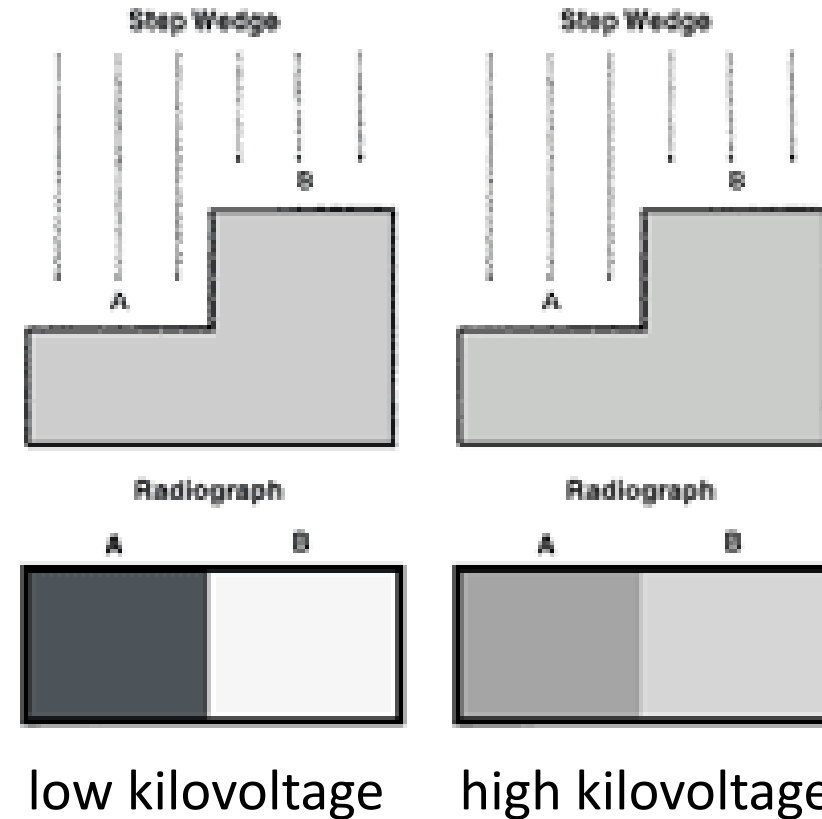
- **Kontrast**
- **Kenar keskinliği** (kenar bulanıklığı)
- **Gürültü** (başlıca görüntüleme sistemiyle ilgili durumlardan kaynaklanır)

Kontrast ve Netlik

Kontrast / Karşıtlık (Contrast)

Radyografik görüntünün kalitesini belirlemek için ilk subjektif kriter **kontrast**tır. Esasen, **radyografik kontrast**, bir radyografideki bitişik alanlar arasındaki yoğunluk farkının derecesidir.

İlgilenilen kusur ile çevresindeki alan arasında **yeterli kontrastın olması gereklidir**. Orijinal radyografik görüntüde halihazırda mevcut olmayan bilgileri çıkarabilecek hiçbir görüntüleme tekniği yoktur.



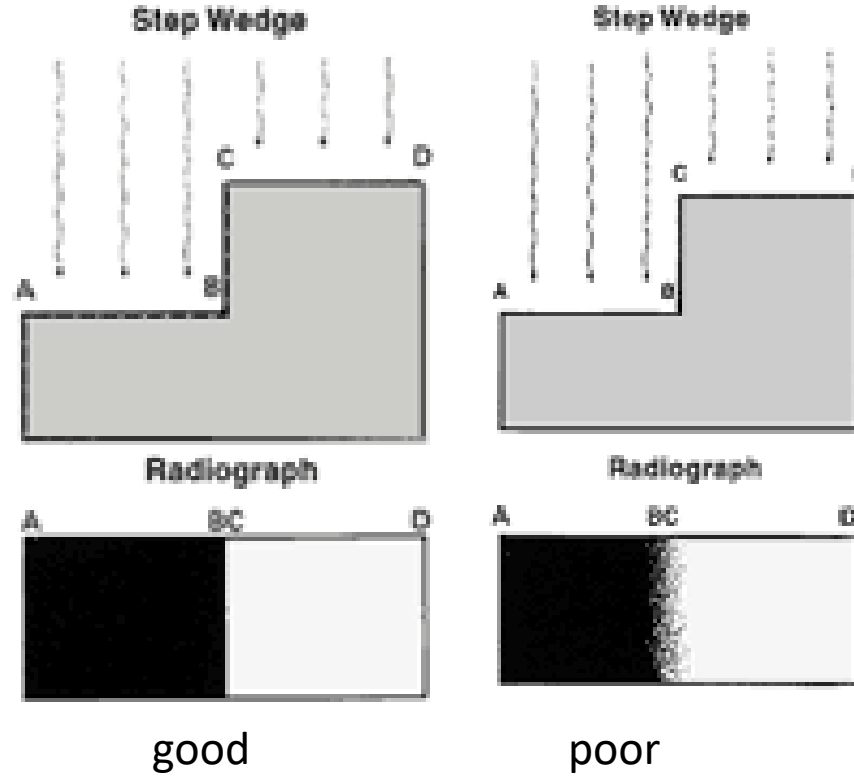
Radyografik Görüntü: Kontrastı Etkileyen Faktörler

- **Maddenin absorpsiyon farklılıkları:** İncelenen bölgenin kalınlığı, yoğunluğu ve atom numarası etkiler.
- **Işının enerjisi:** kVp (*peak kilovoltage*) arttıkça penetrasyon artar. Ancak malzemeler (veya katmanlar) arasındaki absorpsiyon farkları nedeniyle diferansiyel absorpsiyon azalır ve dolayısıyla kontrast azalır. İdeal kontrast için foton enerjisi mümkün olan en düşük değerde olmalıdır.
- **Saçılan radyasyon:** Kontrastın azalmasına neden olur. Saçılan radyasyonu arttıran faktörler, (kVp, obje kalınlığı, alan) kontrastın azalmasına neden olurlar. kVp artınca saçılma azalır. Ancak absorpsiyona kıyasla saçılma relatif olarak artar bu durum kontrastı düşürür. Saçılmayı en aza indirmek için kVp düşük tutulmalıdır.
- **Filme ve görüntüleme sistemine bağlı faktörler:** Film tipi, banyo işlemi (Kimyasal maddenin aktivitesi, banyo ısı ve banyo süresi), algılayıcının özellikleri, görüntüleme ışığının veya monitörün ayarları da kontrastı etkileyen faktörlerdendir.

Kontrast ve Netlik

Netlik /Çözünürlük / Tanım (Definition)

Radyografik netlik, bir yoğunluktan diğerine geçişteki ani değişimdir.



Yüksek tanımlı görüntüleme: Radyografide gösterilen detay, parçada mevcut olan fiziksel değişime eşdeğer olduğunda, görüntüleme sistemi aslına sadık bir görsel kopya üretebilir.

Radyografik Görüntü: Kenar Bulanıklığı

- Birbirine komşu iki yapı arasındaki dansite (yoğunluk/kararma) değişimi olan bölgenin genişliğidir. Radyografik kenar bulanıklığını etkileyen faktörler başlıca **geometrik faktörler** ve **harekettir**.
- Geometrik faktörler başlıca görüntü boyutunun objeye göre artmasına (*Magnifikasyon*) ya da objenin olduğundan farklı biçimde görüntü oluşmasına (*Distorsiyon*) neden olmaktadır. Bu değişiklikleri belirleyen durumlar, objenin, **görüntü alıcının ve ışın kaynağının konumu**, **objenin pozisyonu** ve **ışının çıkış yeri kaynak boyutu** (*Fokal Spot*) genişliği ile ilgilidir.

Radyografik Muayene

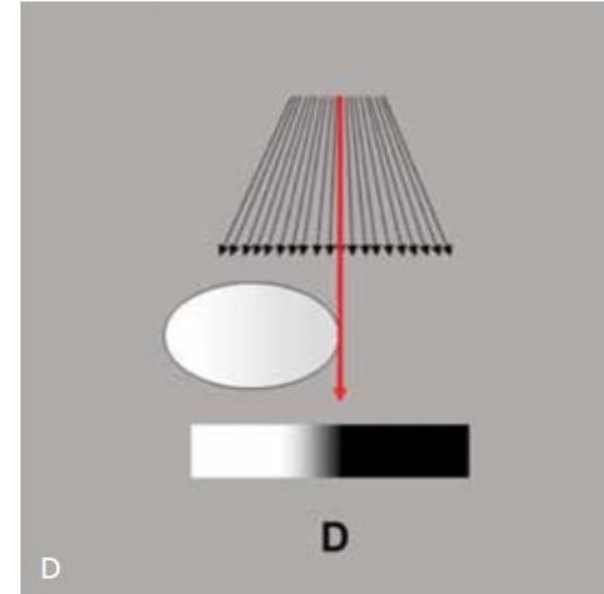
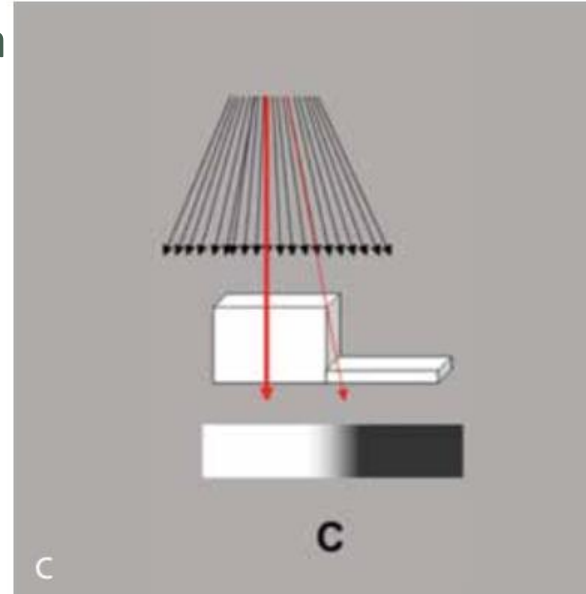
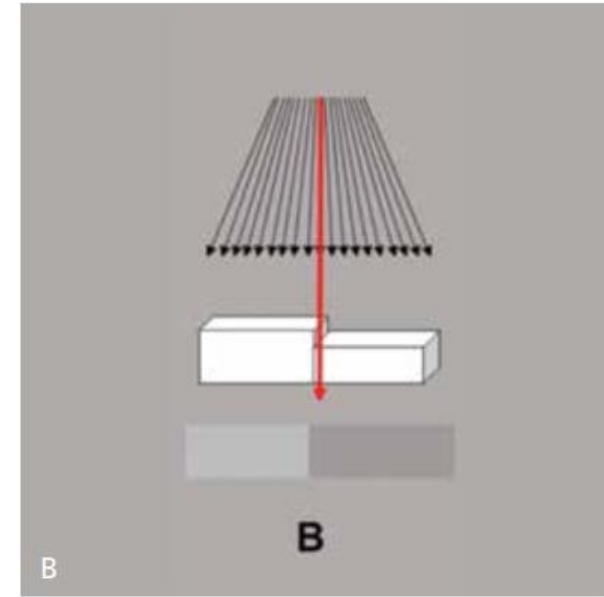
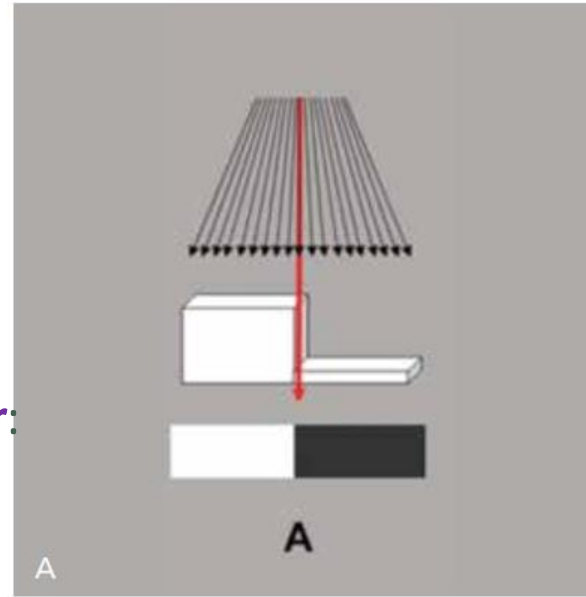
Kontrastı ve kenar bulanıklığını oluşturan durumlar:

(A) Absorbsiyon (soğurma) farkı çok belirgin olan iki yapı, merkez ışın ara yüzeye paralel olarak geliyor. Belirgin kontrast farkı ve kenar keskinliği mevcut.

(B) Absorbsiyon farkı az olan iki yapı, merkez ışın ara yüzeye paralel olarak geliyor. Kontrast farkı az ve bir miktar kenar bulanıklığı mevcut.

(C) Absorbsiyon farkı belirgin olan iki yapı, merkez ışın ara yüzeye açılı olarak geliyor. Belirgin kontrast farkına karşın, belirgin kenar bulanıklığı mevcut.

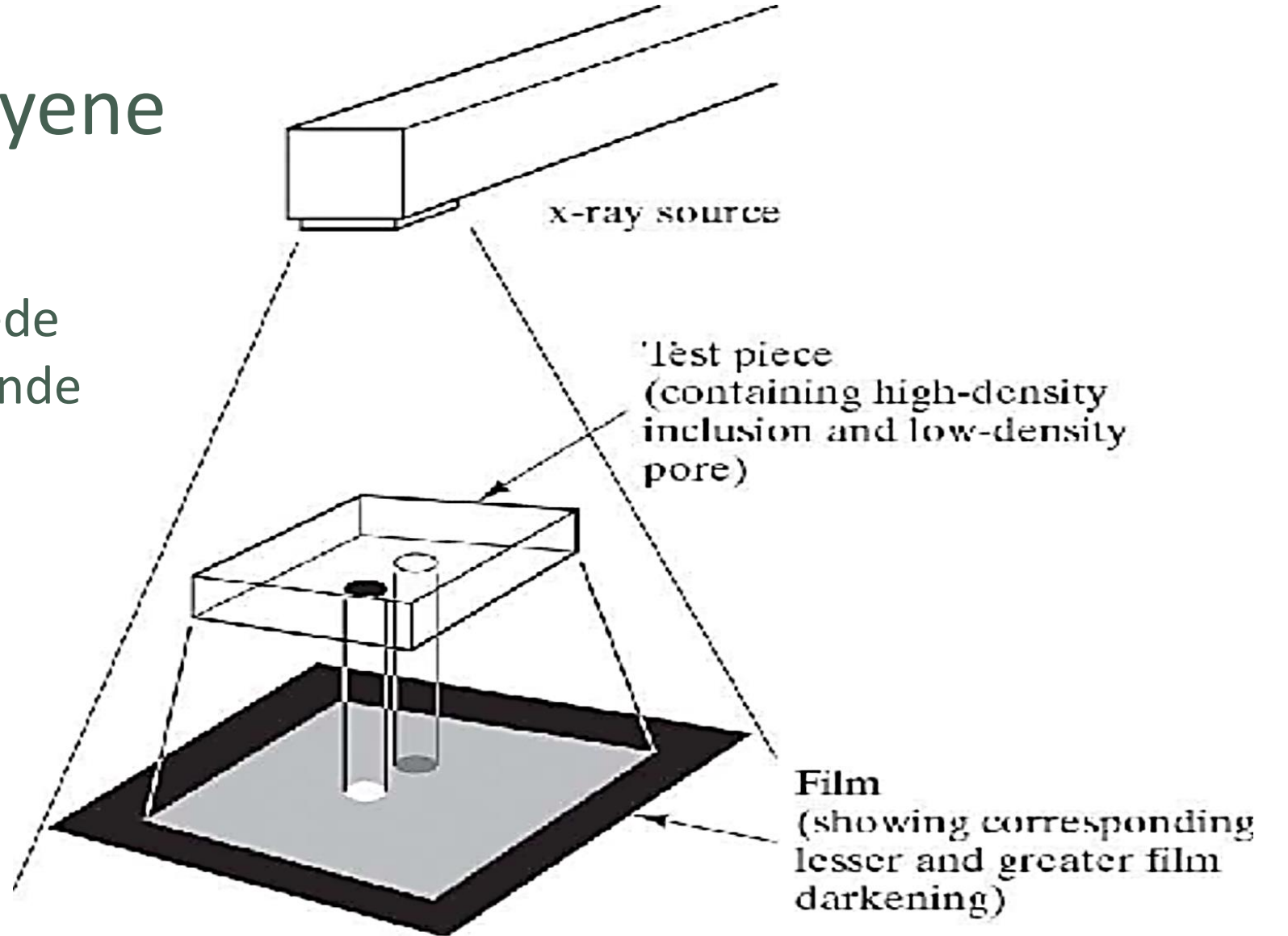
(D) Kavisli ve yuvarlak cisim. Merkez ışın eksenine bağlı olmaksızın, cismin geometrik yapısından kaynaklanan kenar bulanıklığı izleniyor.



Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme de **Film** veya **Dedektör** üzerinde izdüşüm oluşması:

Gölge ve Yarıgölge >>>
(*umbra – penumbra*)



Radyografik Muayene

KENAR BULANIKLIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

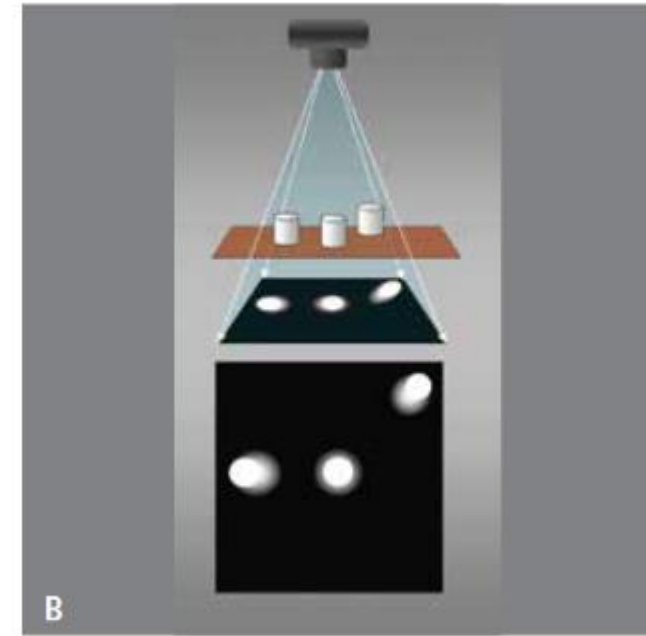
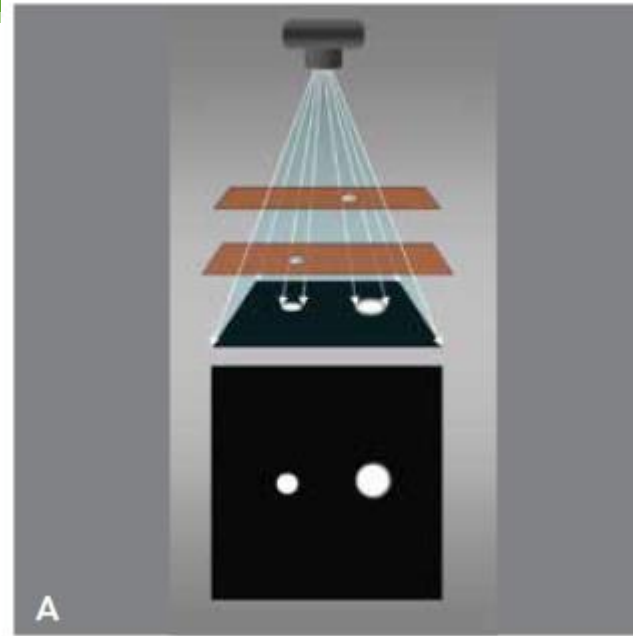
☐ GEOMETRİK FAKTÖRLER

- Magnifikasyon
- Distorsiyon
- Objenin Pozisyonu
- Işın kaynağı boyutu (fokal spot)

☐ HAREKET

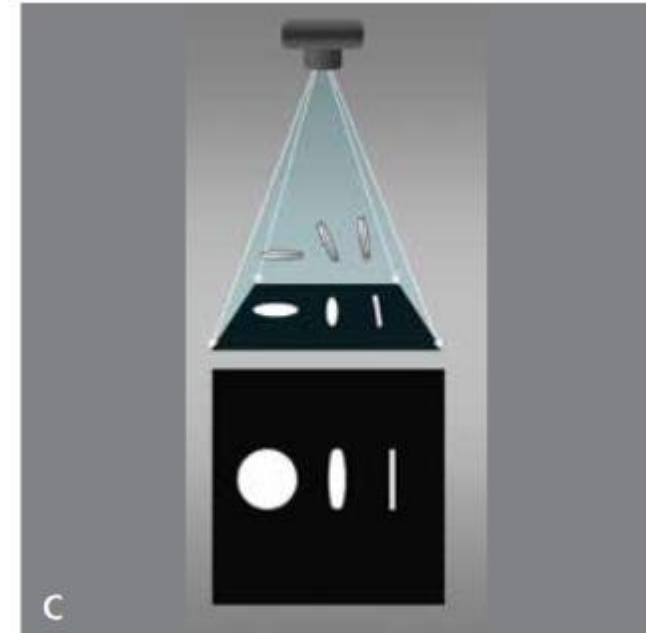
Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü



Magnifikasyon – Distorsiyon – Pozisyon :

- (A) Objenin filme uzak olması; daha fazla **magnifikasyona** (büyütme) ve kenar bulanıklığına neden olur.
- (B) Objenin konumu; filmin merkezinde ya da çevresinde olması, olduğundan farklı görülmesine ve **distorsiyona** yol açar.
- (C) Objenin pozisyonu; aynı objenin değişik açılarda yerleştirilmesi farklı görünümlere neden olur.



Radyografik Muayene

MAGNİFİKASYON / BÜYÜTME

Radyografik Görüntü: Geometrik Faktörler

- **Magnifikasyon:** Görüntünün objeyi boyut olarak olduğundan büyük olarak yansıtmasına neden olan bir durumdur. Objeye filme uzak yerleşimli ise görüntü boyutu artacaktır. Magnifikasyonu belirleyen faktörler, **kaynak – görüntü** mesafesi ve **obje - görüntü** mesafesidir. *Kaynak - görüntü* mesafesinin artması, görüntüde kenar bulanıklığının ve magnifikasyonun azalmasına neden olur. *Obje – görüntü* mesafesinin artması ise, kenar bulanıklığının ve magnifikasyonun artmasına neden olur. Bu durum ayrıca harekete bağlı kenar bulanıklığının etkisini de artırır.

Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü Oluşturmada Geometrik İlişkiler

- Algılayıcı ile test edilen malzeme arasında belli bir mesafe olması durumunda, görüntünün geometrik olarak büyütülmesi sağlanır ve X-ışını tüpünün odak boyutuna bağlı olarak da görüntünün kenarlarındaki yarı gölgelerin daha fazla arttığı gözlenir.
- İdeal görüntü geometrisi için temel koşul, X-ışını kaynağının nokta şeklinde olmasıdır. X-ışını cihazlarının tümünde belli miktarlarda odak boyutu olduğu için, gerçek görüntü geometrisi önceki çizimde olduğu gibidir. Odak boyutu, görüntüdeki yarı gölge miktarını değiştirerek görüntünün keskinliğini doğrudan etkilemektedir.

Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü / Geometrik Büyütme

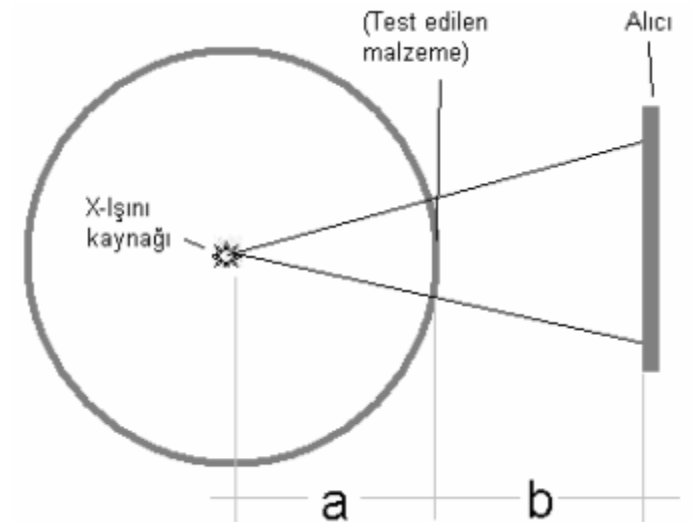
- Görüntünün fiziksel özellikleri; çözünürlük ve büyüklük ile ilgilidir. Büyültme miktarı genellikle küçük detayların tespit edilmesinde oldukça yararlıdır. Ancak büyültme miktarının artışı görüntü çözünürlüğünün azalmasına neden olur. Yapılan çalışmalarda ideal büyültme oranının 2,0 olduğu tespit edilmiştir. Büyültme miktarı şu bağıntı ile hesaplanır:

$$M = (a + b) / a$$

M=Büyültme

a= X-ışını kaynağı ile test edilecek malzeme arasındaki mesafe

b = Test edilen malzeme ile alıcı arasındaki mesafe.



Radyografik Görüntü: Geometrik Faktörler

- **Distorsiyon:** Görüntünün objeyi şekil olarak farklı yansıtmasına neden olan bir durumdur. Distorsiyona bağlı objenin uzaması, kısalması yada olduğundan farklı görülmesi söz konusudur. Bir oluşumun gölgesi geometrik olarak değişebilir. Bu durum x-ışınlarının nokta kaynaktan ışınsal yayılımının bir sonucudur. X ışınının anottan çıktığı nokta kaynaktan, filmin düzlemsel yüzeyinde her yere eşit mesafede olmaması sonucu objenin her yerinde eşit olmayan magnifikasyonlarla görüntünün oluşması ile ilgilidir. Distorsiyon, filmin kenarlarına ve köşelerine doğru gittikçe artar. Objenin kalınlığı, pozisyonu ve şekli distorsiyonda belirleyicidir. Eğik, kavisli ve yuvarlak kenarlı cisimlerin gösteriminde, görüntüdeki farkın, yapıya mı yoksa distorsiyona mı bağlı olduğunu ayırt etmek zor olacaktır.

Radyografik Görüntü: Geometrik Faktörler

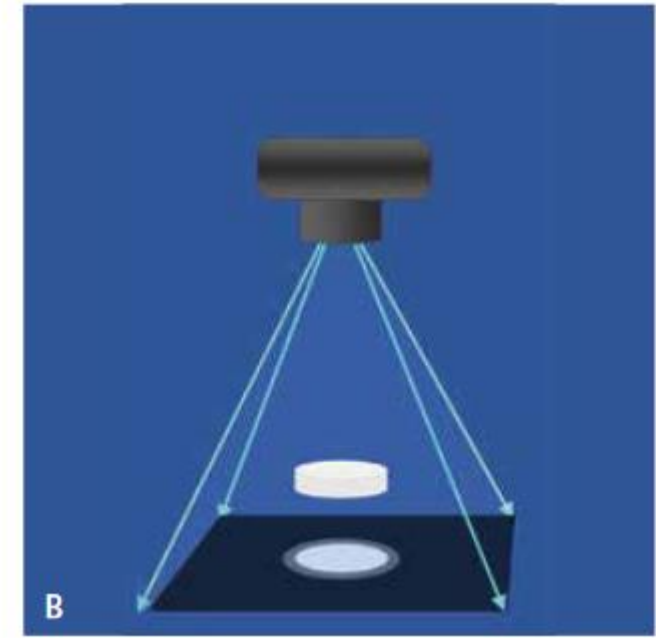
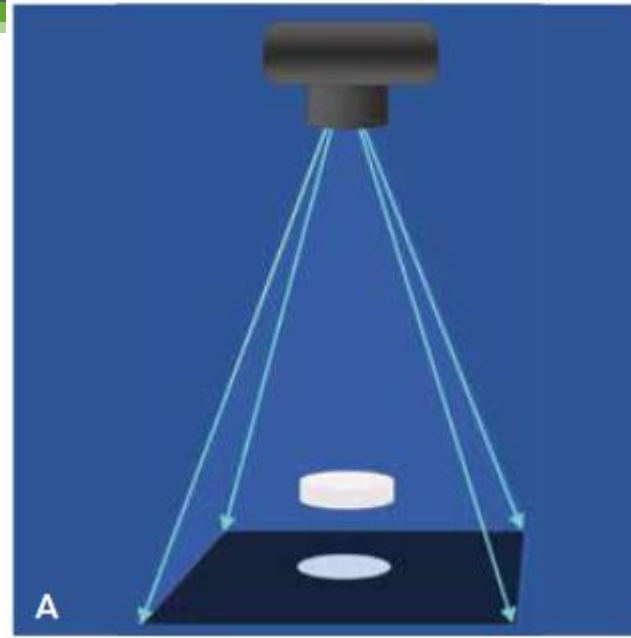
- **Fokal Spot (ışın kaynağı boyutu):** X-ışınlarının salındığı alanın genişliği ne kadar az ise, oluşan görüntünün kenar bulanıklığı o kadar az olacaktır. Geniş fokal spotla yapılan incelemede ortaya çıkan kenar bulanıklığı, penumbra olarak adlandırılır. Penumbra X-ışınının nokta kaynak olmaması nedeniyle ortaya çıkar. Gölge çevresinde oluşan yarı gölgelerin (bulanıklığın) nedenidir. Fokal spot bulanıklığını azaltmak için, küçük fokal spot kullanmak, Obje - Film mesafesini azaltmak ya da Film – Fokus (odak) mesafesini arttırmak gerekir.

Radyografik Görüntü: Objeye veya Cihaz Hareketi

- **HAREKET:** Işına maruz kalma (pozlama, *exposure*) sırasında objeye ya da cihazın hareketi, sabit görüntü kaydını engelleyerek kenar bulanıklığını artırır. Hareketin önlenemez olduğu durumlarda, ekspozür zamanının mümkün oldukça kısa tutulması ve obje-film mesafesinin azaltılması gerekir.

Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü Kenar Bulanıklığı



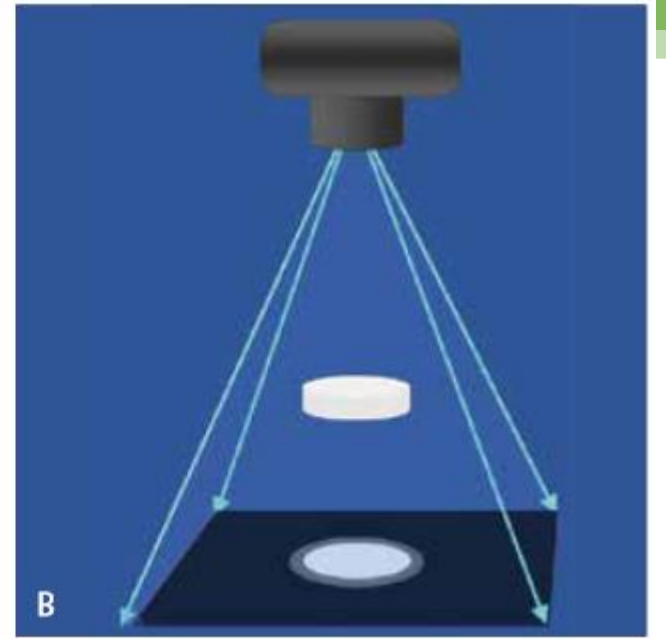
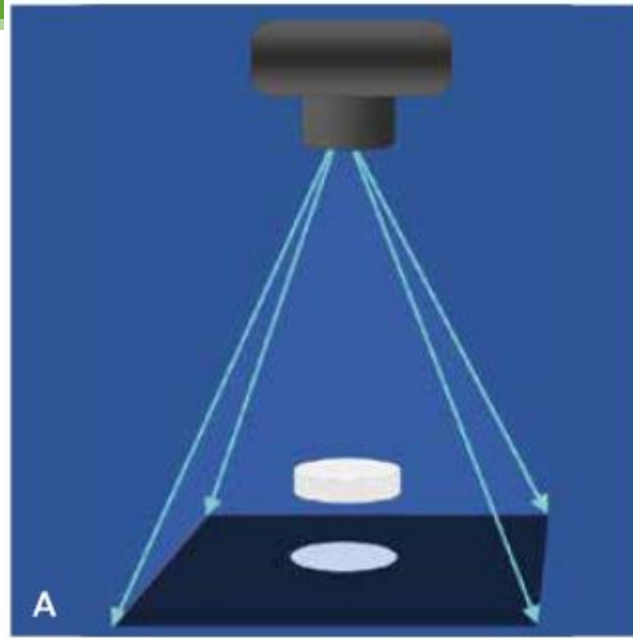
Kaynak – görüntü alıcı mesafesinin etkisi:

- (A) Kaynak – görüntü alıcı mesafesi uzak.
- (B) Kaynak – görüntü alıcı mesafesi yakın.
- A 'da kenar bulanıklığı ve magnifikasyon yokken, B 'de obje olduğundan daha büyük boyutlu ve gölge çevresinde kenar bulanıklığı penumbra izleniyor.

Radyografik Muayene

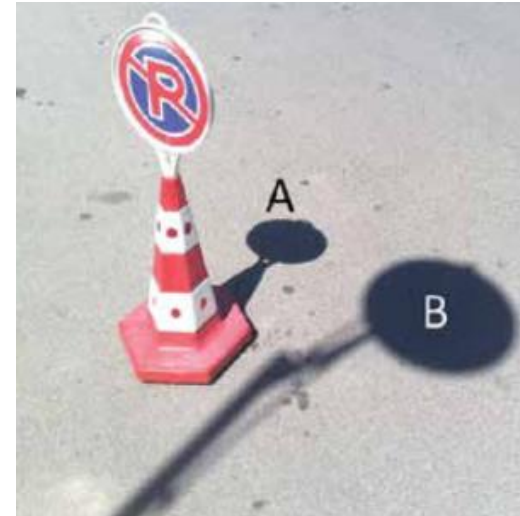
Radyografik Görüntü

Kenar Bulanıklığı



Obje – görüntü alıcı mesafesinin etkisi:

- (A) Obje görüntü alıcıya yakın.
- (B) Obje görüntü alıcıya uzak.
- B de obje olduğundan daha büyük boyutlu ve gölge çevresinde kenar bulanıklığı penumbra izleniyor.
- Bir örnek olarak park levhasının gölgesi keskin sınırlı olarak izlenirken, objenin yüzeye uzak olduğu elektrik lambasının gölgesinin kenar bulanıklığı gösterdiği görülüyor. >>>>



Radyografik Muayene

FOKAL SPOT / IŞIN KAYNAĞI BOYUTU

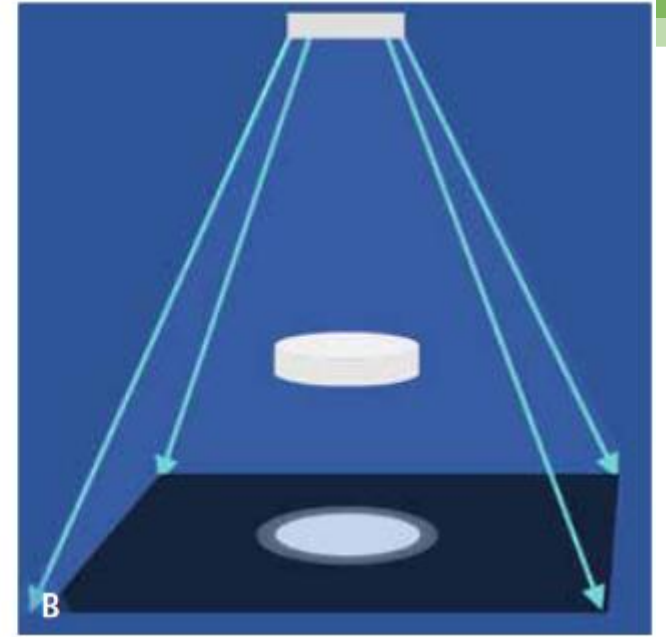
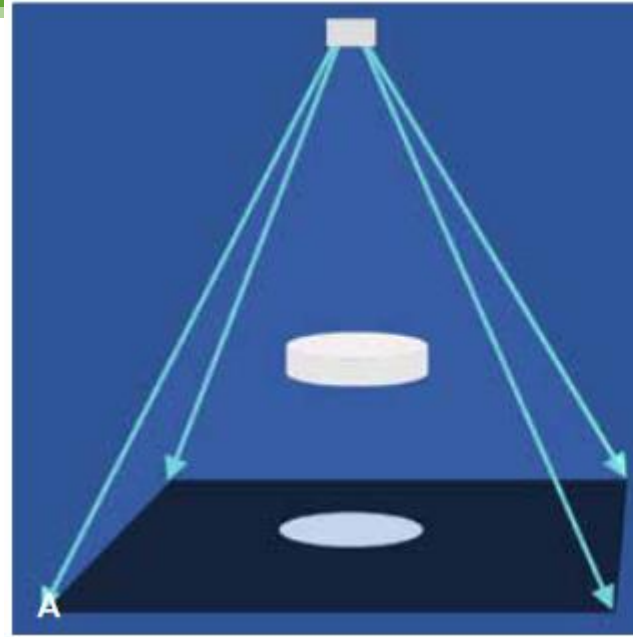
Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü

Kenar Bulanıklığı

Kaynak boyutunun etkisi:

- (A) Küçük kaynak boyutu, Fokal spot küçük.
- (B) Büyük kaynak boyutu, Fokal spot büyük.
- Büyük fokal spotlu incelemede gölge çevresinde kenar bulanıklığı penumbra izleniyor.

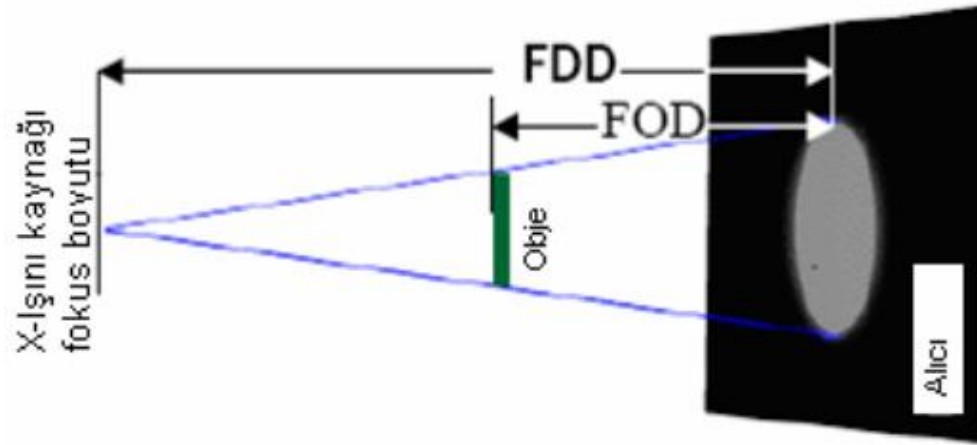


Radyografik Muayene

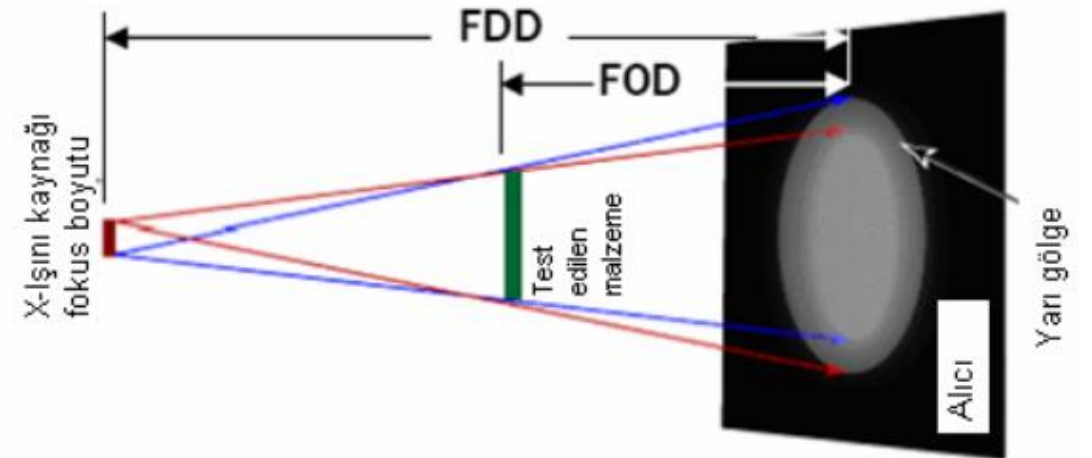
Radyografik Görüntü

Işın Kaynağı Boyutunun Etkisi

- İdeal görüntü ve gerçek görüntü (gölge ve yarıgölge oluşumu)



İdeal görüntü geometrisi



Gerçek görüntü geometrisi

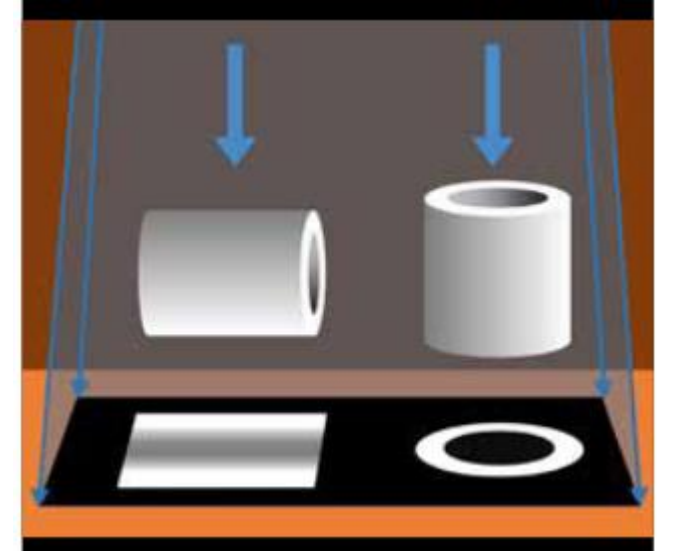
Radyografik Muayene

PROJEKSİYON / İZDÜŞÜM / POZİSYON

Radyografik Muayene

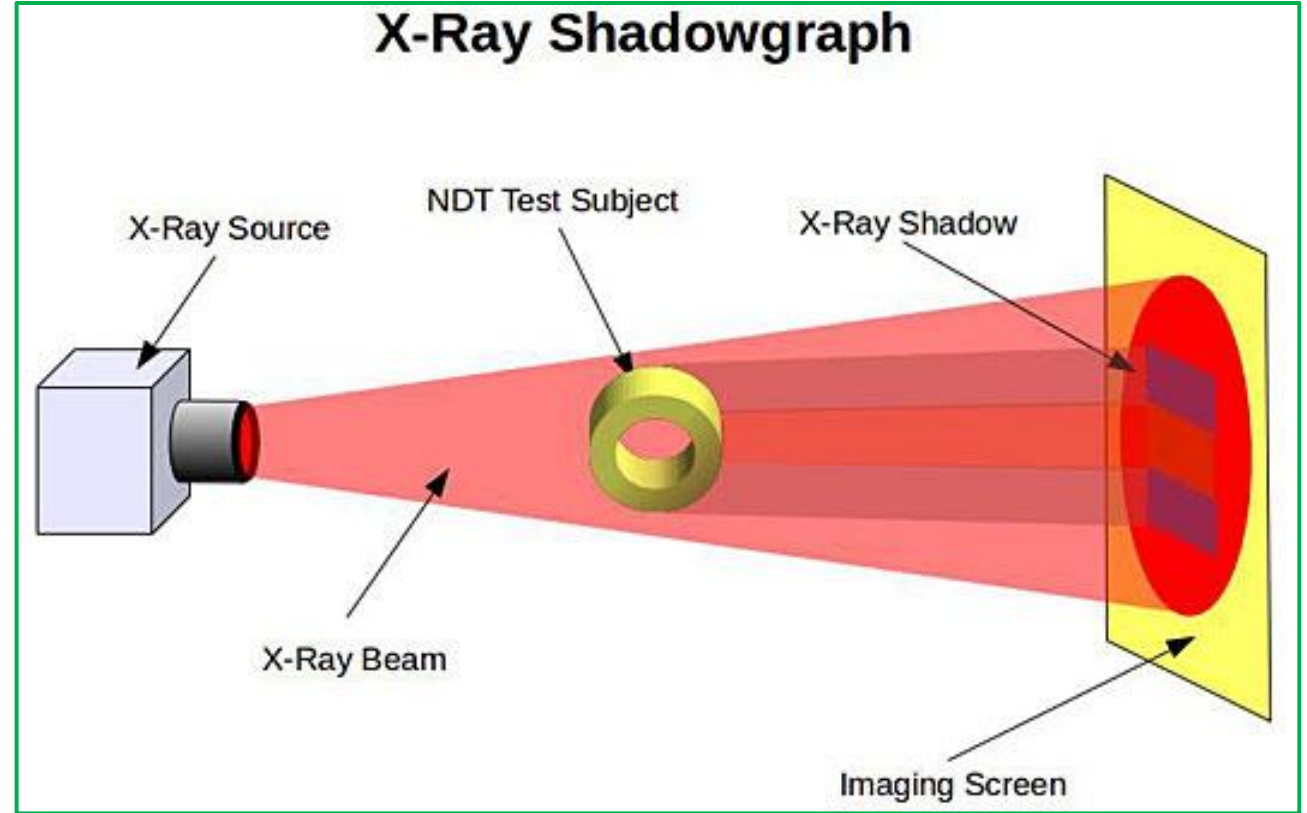
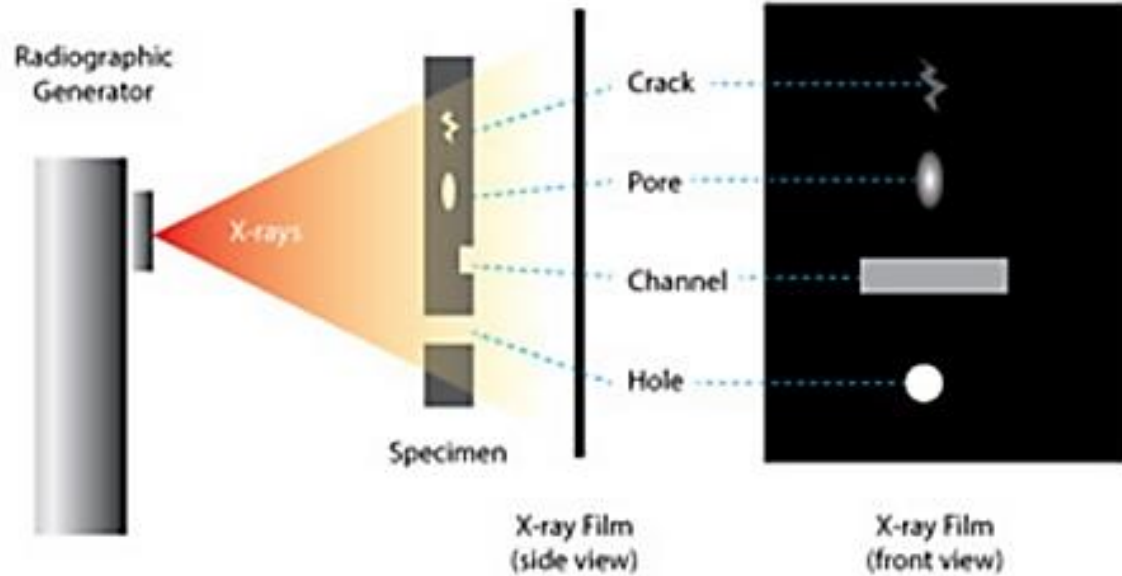
Projeksiyonun Önemi

Radyografiye hem örnek hem de benzer olarak ışık gölge etkileşiminde, ışığın / ışının geliş açısı, cismin şekline göre elde edilen görüntüde çok önemli farklılıklar yaratabilir. Bir silindir, projeksiyona göre kare ya da daire şeklinde görülebilir.



Radyografik Muayene

- Radyografik muayene tekniğinde iş parçasının **izdüşüm görünümü** (gölge)

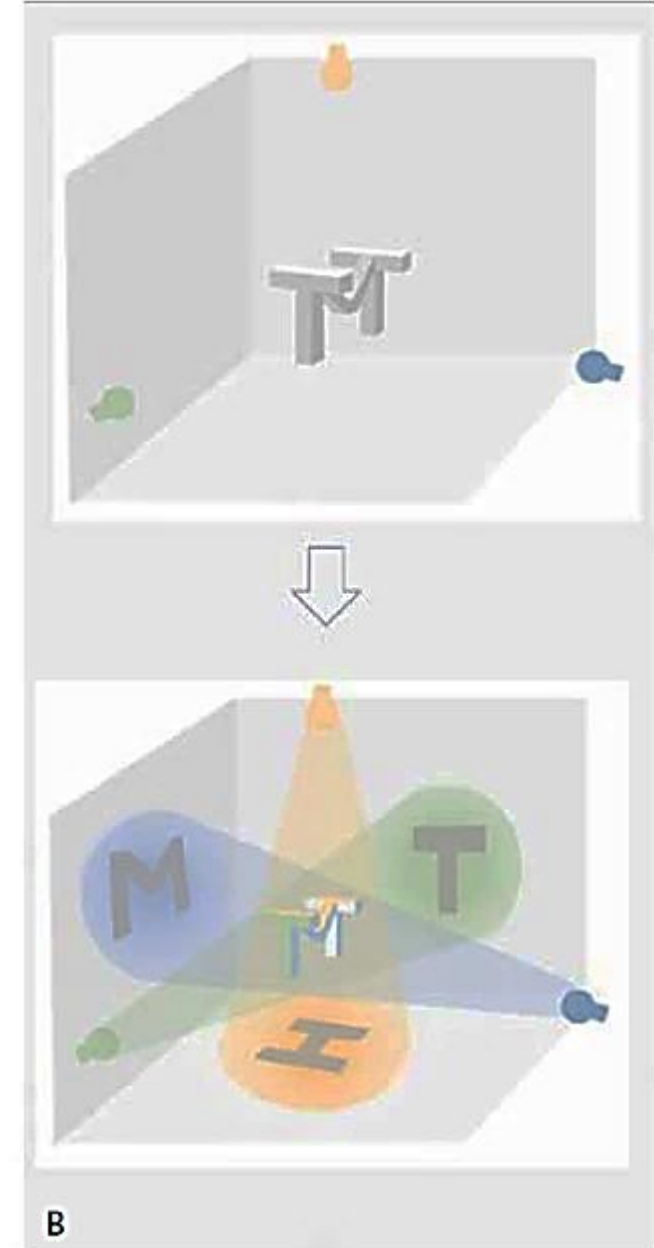
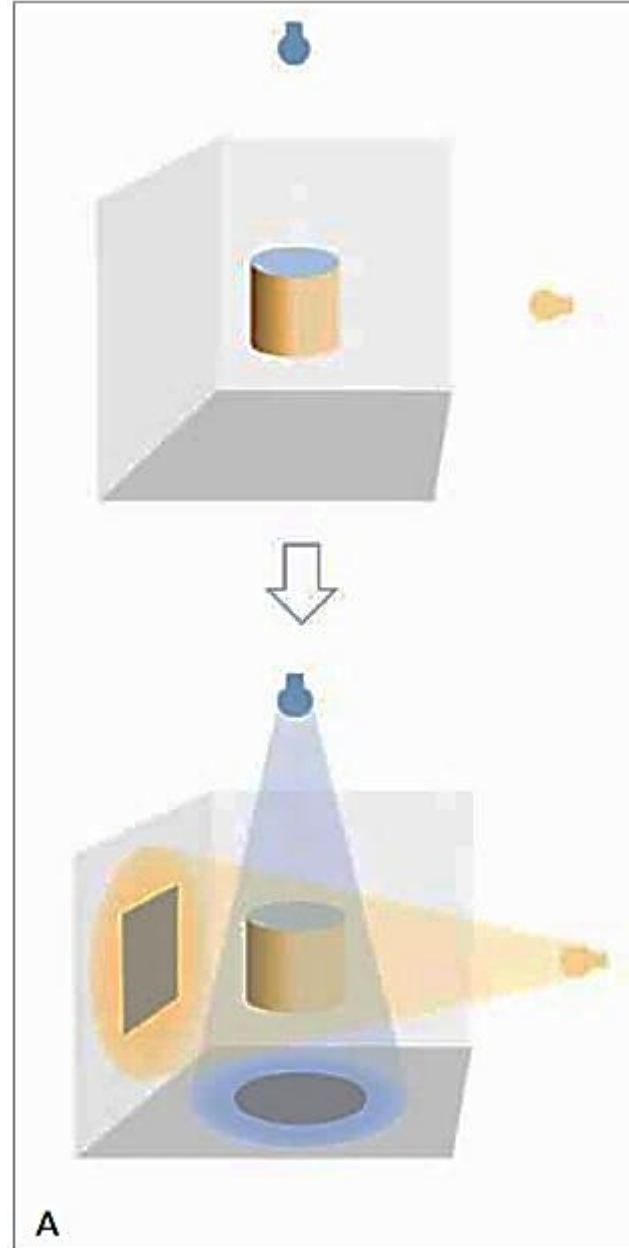


Radyografik Muayene

Projeksiyonun önemi;

Radyografiye benzer olarak ışık gölge etkileşiminde cismin şekline göre ışığın açısı çok önemli farklar yaratır. Bir silindir, projeksiyona göre kare ya da daire şeklinde görülebilir **(A)**.

Sağ tarafta çok özel olarak oluşturulmuş bir şekil örneğinde olduğu gibi birbirine dik olan üç farklı projeksiyonda, üç ayrı harfin gölgesinin ortaya çıkabilmesi dahi mümkün olabilmektedir **(B)**.



Radyografik Muayene

Avantajları

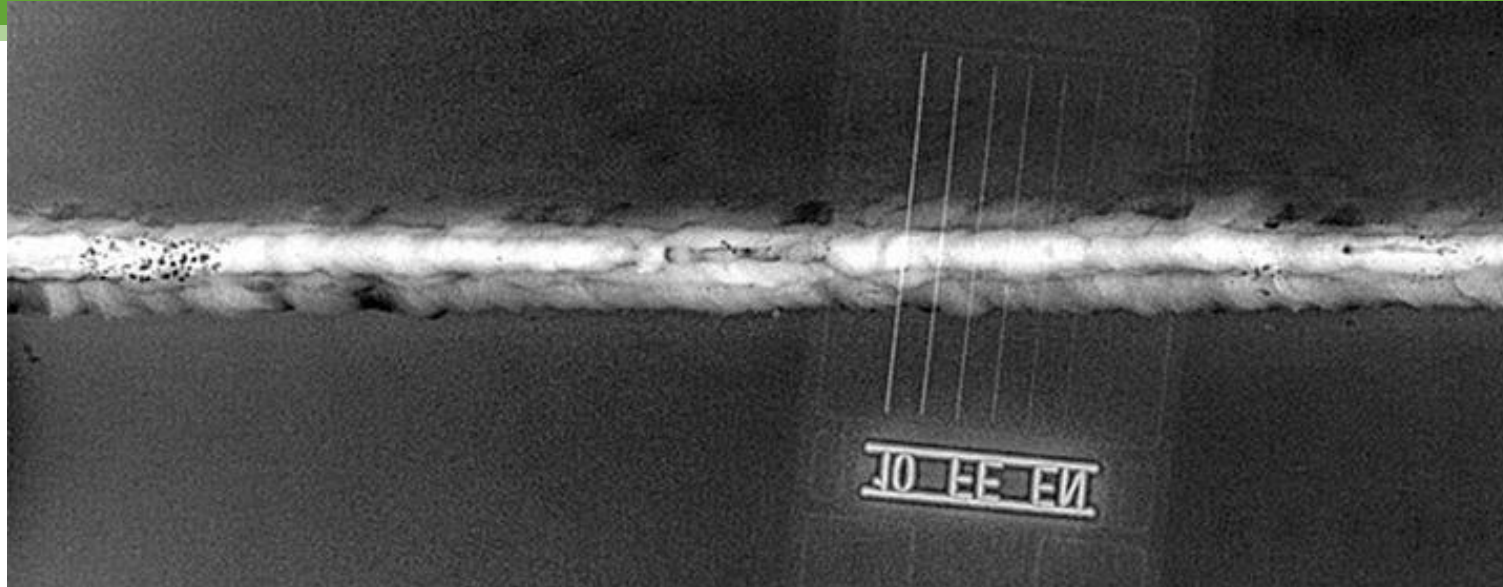
- Kalıcı kayıt elde edilir ve zaman içinde karşılaştırma yapılabilir.
- İş sahasında kalibrasyon gerekmez.
- İç süreksizliklerin ve hataların tespitinde mükemmel bir yöntemdir.
- Işın demetinin yönü geometriden etkilenmez.
- Çok az yüzey hazırlığı (veya temizlik) gerektirir.

Radyografik Muayene

Dezavantajları

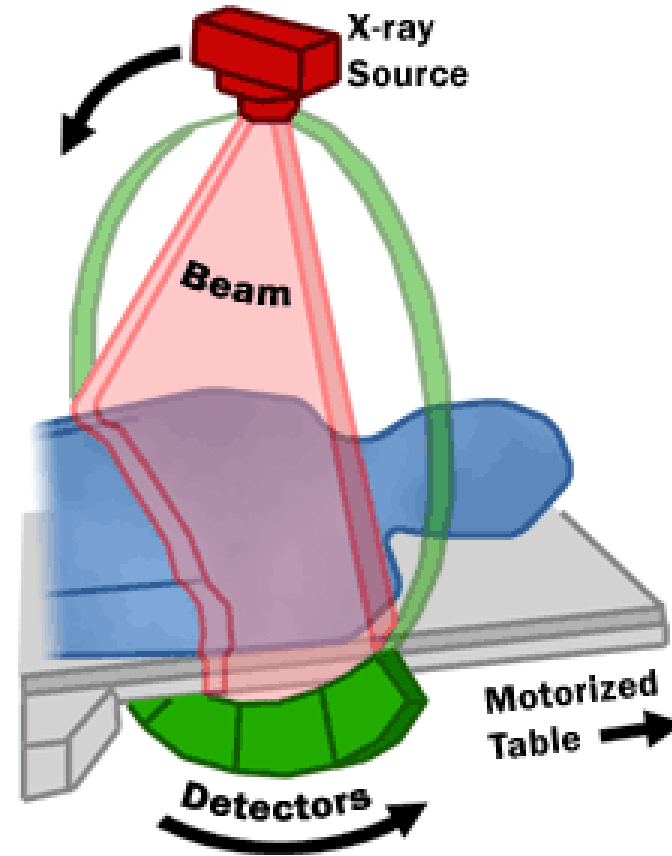
- **Radyasyon tehlikesi:** Operasyon sırasında açığa çıkan radyasyon insan sağlığına çok zararlıdır.
- Hatanın derinliği gösterilemez (2B izdüşüm, gölgeler üst üste düşer).
- Çizgisel süreksizliklerin doğrultusu önemlidir. Görülemeyebilir.
- Nispeten pahalıdır (kullanılan ekipmanlar pahalıdır).
- Sınırlı nüfuziyet derinliği (kalınlık sınırı vardır).
- Parçanın iki tarafından da giriş/erişim gereklidir.
- Parçanın geometrisi ile sınırlıdır.

Radyografi Uygulamaları



Radyografik Muayene

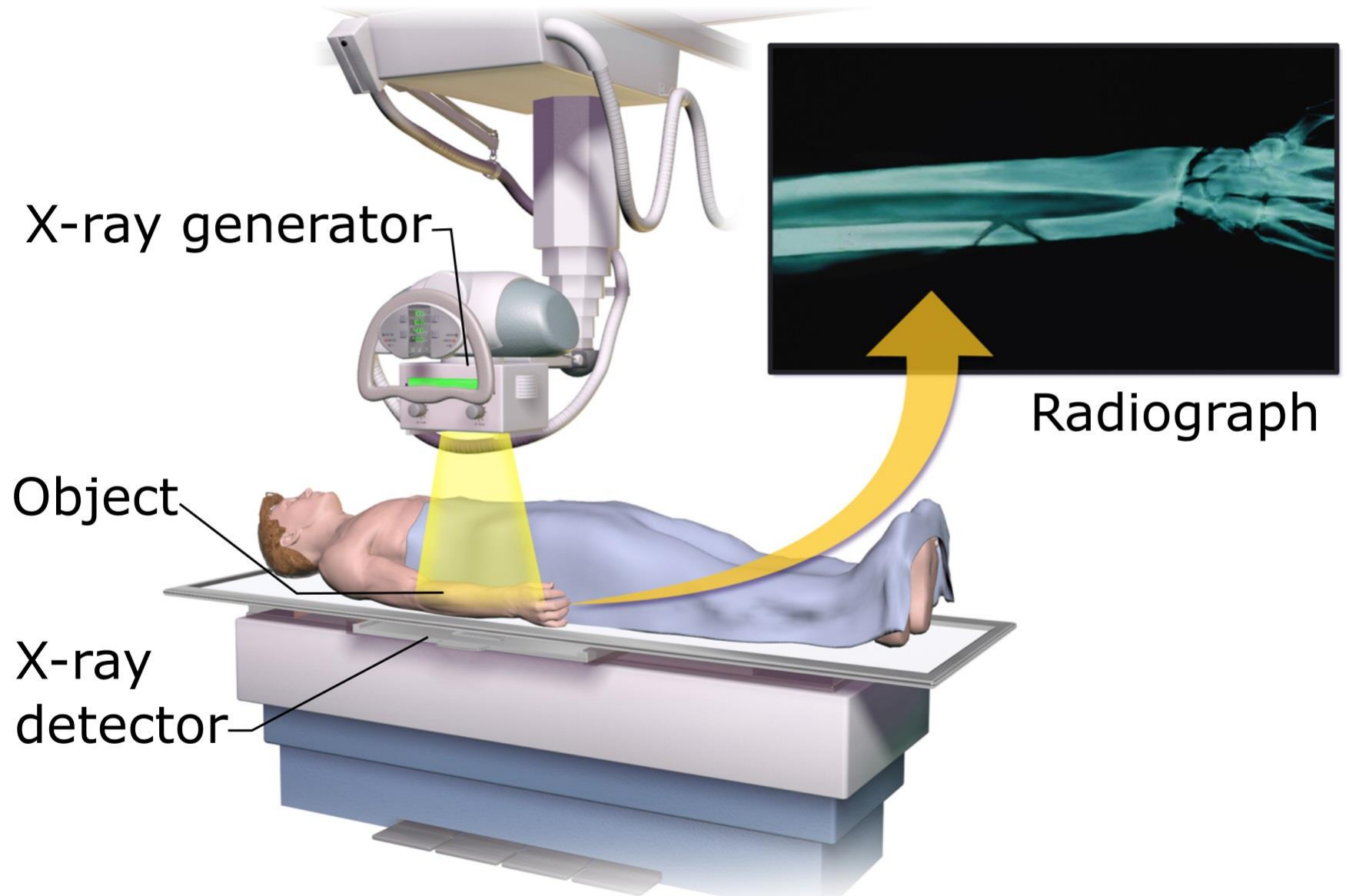
- Dijital Radyografi
(*Digital Radiography – DR*)
- Dijital Yansıtma Radyografisi
(*Projectional Radiography*)
- Bilgisayarlı Tomografi
(*Computer Tomography – CT*)



Projectional radiography

Radyografik Muayene

- Dijital Yansıtma Radyografisi
(*Projectional Radiography*)



Radyografik Muayene

Gerçek zamanlı X- ray görüntüleme cihazı,

- X-ray tüp, CMOS sensör, video görüntüleyici içeren pilli ve elde taşınabilir sistem
- Radyografik görüntüler gerçek zamanlı olarak elde taşınabilir bir ekranda görüntülenir

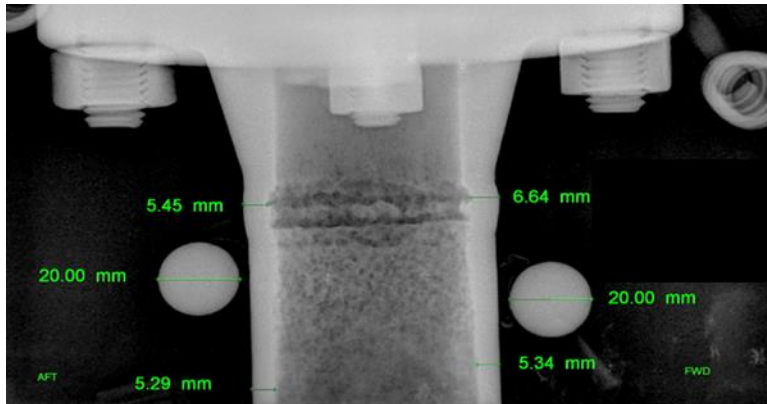
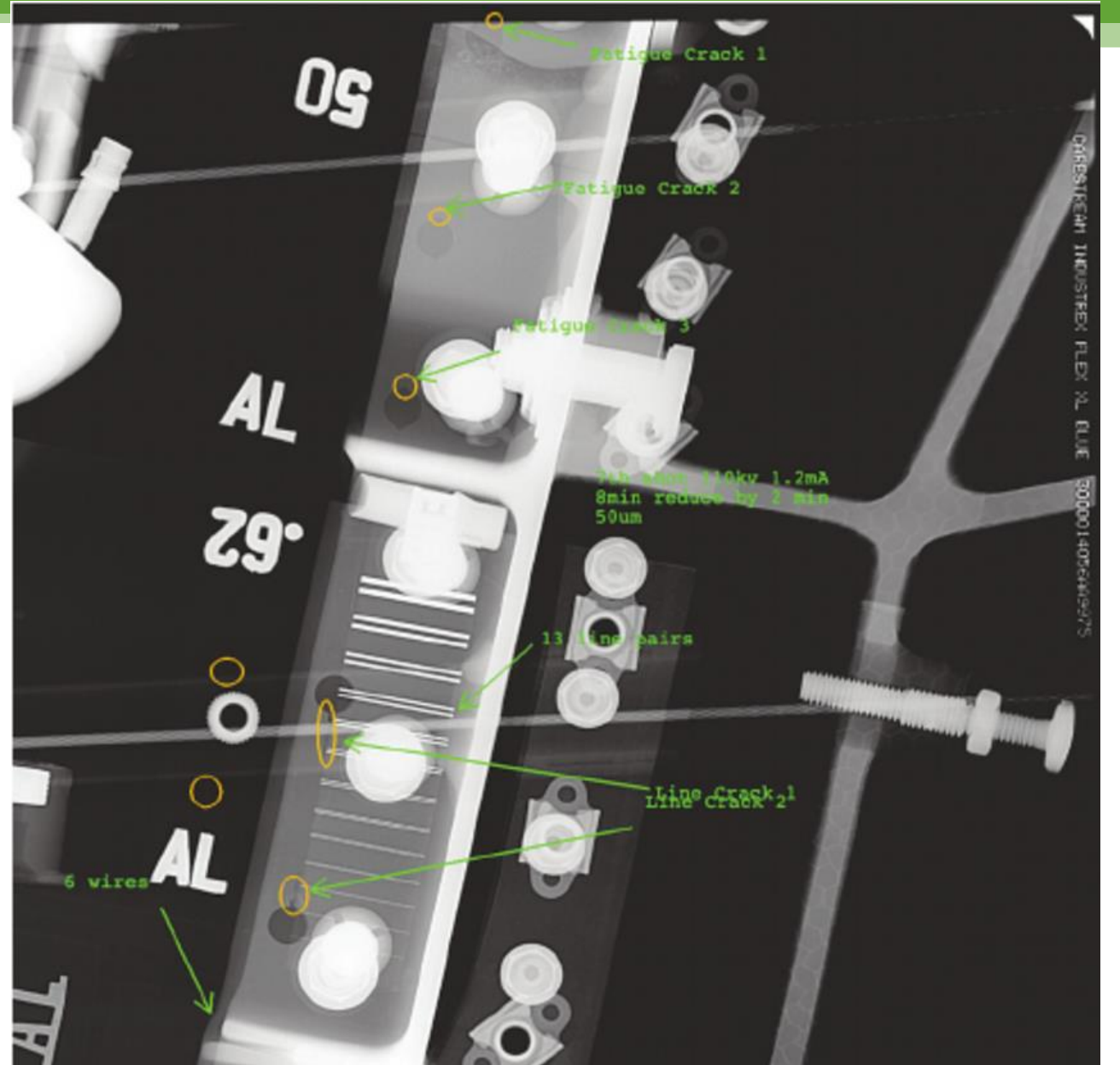


Radyografik Muayene

Örnek Görseller:

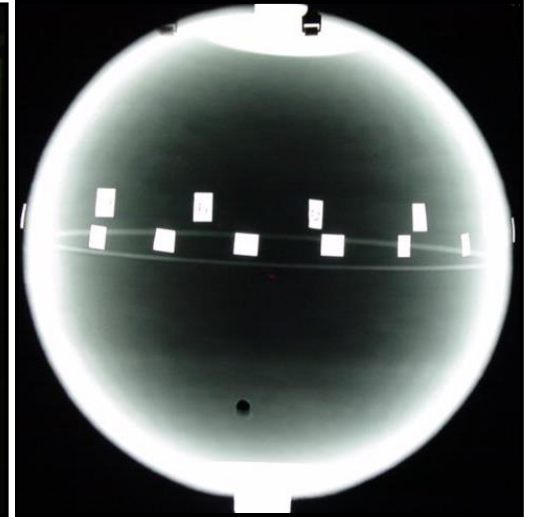
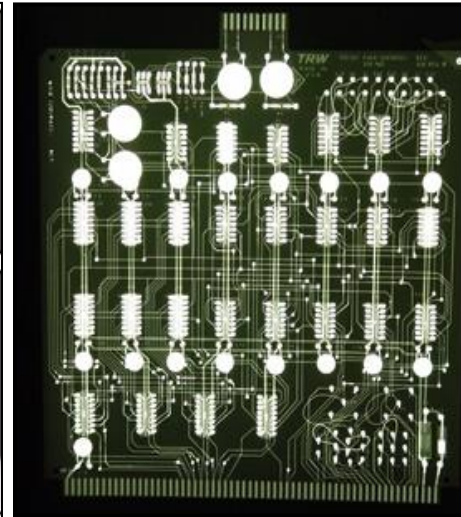
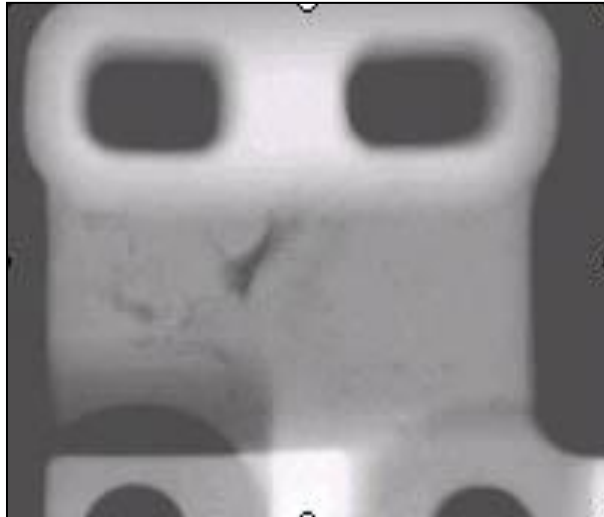
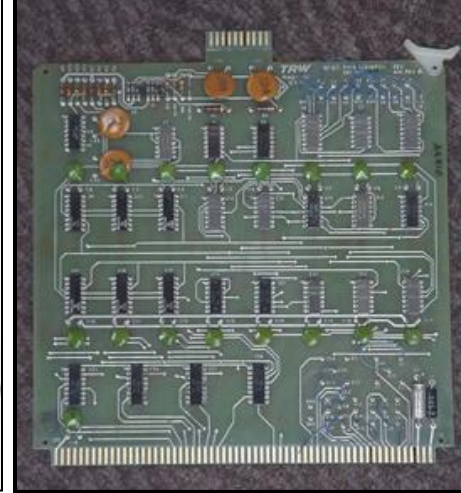
Uçak spar parçası radyografik görüntüsü >>>

Boru bağlantısının radyografik görüntüsü



Radyografik Muayene

Radyografik Görüntü Örnekleri:

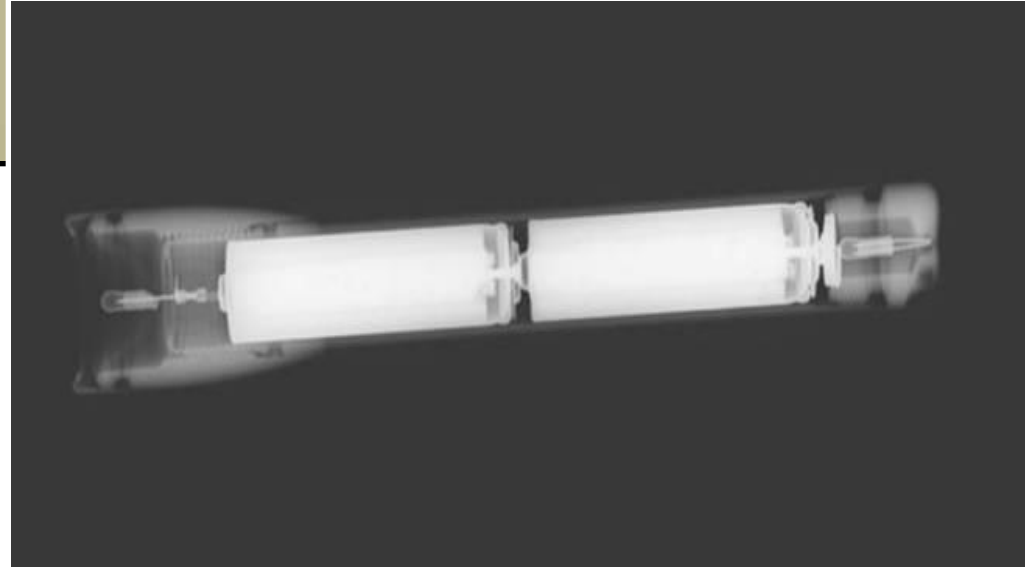


Radyografik Muayene



<<< Normal görüntü

Radyografik görüntü



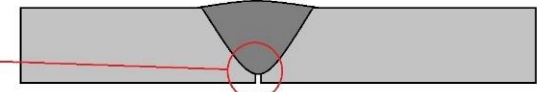
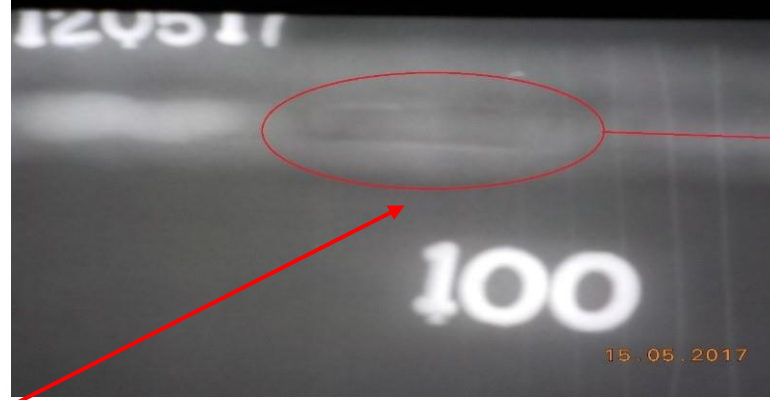
Örnek Görsel

Radyografik Muayene

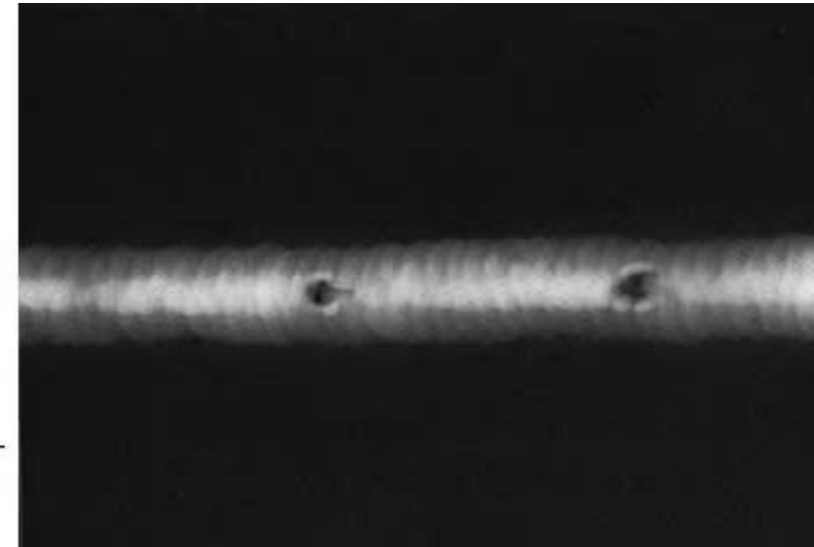
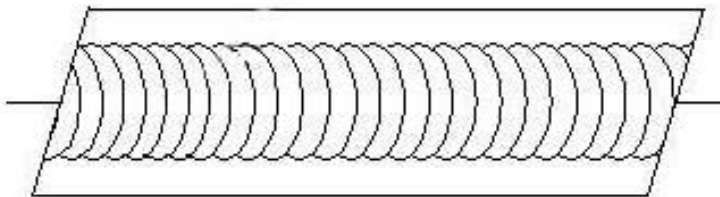
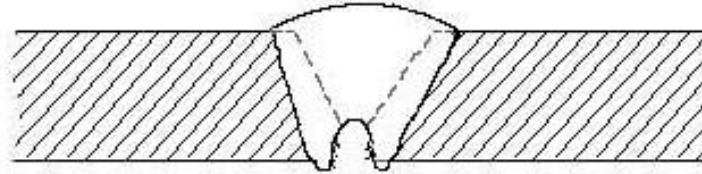
Örnek Görseller:

Kaynak dikişlerindeki kusurların Radyografik Muayene ile tespiti

- **Üstte:** Nüfuziyet noksanlığı
- **Altta:** Kaynak edilirken aşırı ısı nedeniyle dikişin iç (arka) kısmında eriyip kopmuş bölümler



Nüfuziyet noksanlığı / Incomplete penetration



Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (1)

X-RAY tüpü ile sahada uygulama: Metallerin kaynaklı bağlantı noktalarının, montaj ve inşaat yapılarının, demir ve demir dışı metallerin döküm ve dövme malzemelerin radyografik kalite kontrolü

- Kullanılan **X-Işını Jeneratörü** silindirik alüminyum gövde içerisinde iletken olmayan yağ ile izole ve yüksek frekanslı yüksek voltaj tüpü içerir.

Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (1.1)



Kaynak: ndtteknik.com

<https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts>

Radyografik Muayene

Radyografik
görüntüleme
örnek (1.2)



Radyografik Muayene

Radyografik
görüntüleme
örnek (1.3)



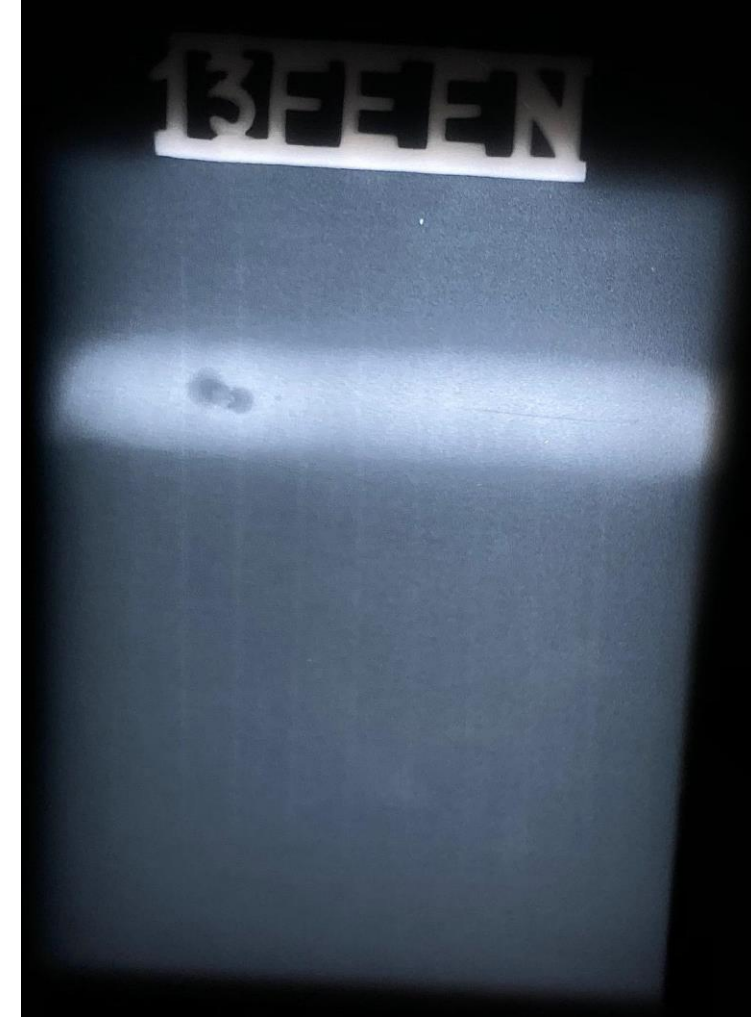
Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (1.4)

(10FEEN – 13FEEN: *Wire
penetrameter*)

Penetremetre: Görüntülerde keskinliği (film ve dijital görüntüler) ve temel uzaysal çözünürlüğü değerlendirmek için kullanılır.

(* Platin ve/veya tungsten telleri tam olarak her çiftin çapına karşılık gelecek şekilde yerleştirilir. Keskinlik derecesi, görülebilen tel çiftlerinin sayısı ile gösterilir. Keskinlik arttıkça, teller tek bir görüntü oluşturmak için birleşir.)



Radyografik Muayene

Penetremetre (*Penetrameter*)

Örnek GörSEL: Film (algılayıcı) tarafına yerleştirilen penetremetre >>>

M_f: Teller arası mesafe

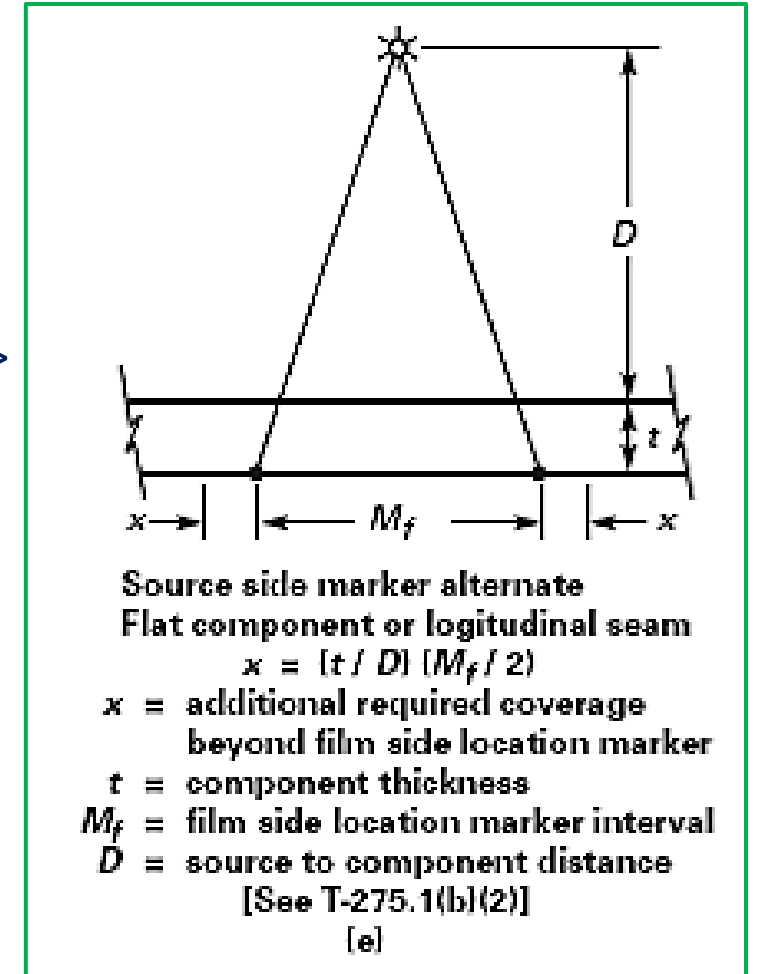
D: Işın kaynağı ile parça yüzeyi arasındaki mesafe

t: Malzeme kalınlığı

Kalınlık ve x-ışını kaynağına olan uzaklığa bağlı olarak uygun penetremetre seçimi yapılır.

X-ışını Nüfuziyet durumu ve görüntü kalitesinin tespit edilmesini sağlar.

Kaynak: <https://www.inspection-for-industry.com/radiographic-testing.html>



Radyografik Muayene

Penetremetre (*Penetrameter*)

Örnek Görsel: Wire Type IQI penetremetre >>>

IQI: Image Quality Indicator

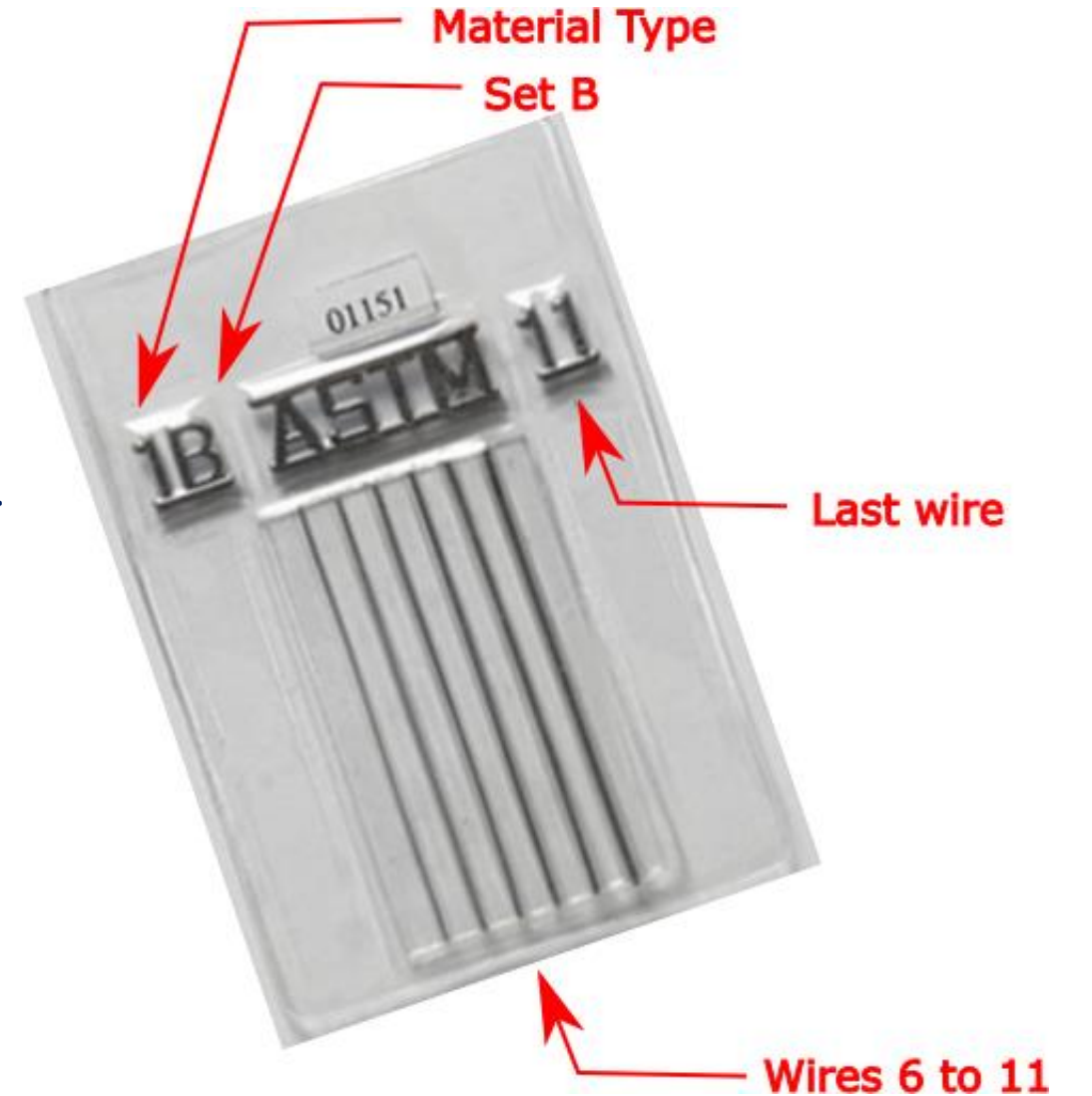
Görseldeki, her biri farklı çapta altı tel içermektedir.

IQI, radyografik görüntüsü çekilecek malzemeyle aynı malzemedен veya radyografik olarak benzer bir malzemedен olmalıdır.

ASTM: Amerikan Standardı

FEEN: FE - Çelik / EN – European Norm (Avrupa Stndrd)

Kaynak: <https://apiexam.com/2016/02/28/asmе-v-radiology-part-2/>



Radyografik Muayene

Penetremetre (*Penetrameter*)

Örnek Görsel: Hole Type IQI penetremetre
>>>

Delik Tipi Penetremetre

Penetremetreler çoğunlukla metal ve çelik esaslı malzemelerin muayenesinde, kaynak dikişi muayenesi vb. yerlerde kullanılmaktadır.



Radyografik Muayene

Penetremetre (Penetrameter)

Örnek Görsel: IQI Penetremetre
Seçim Tablosu >>>

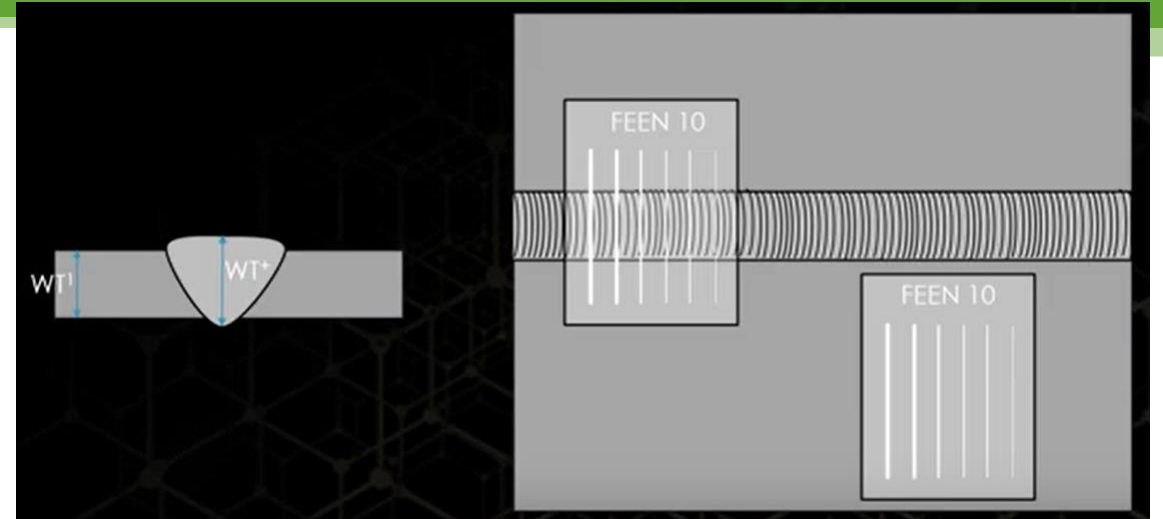


Table T-276
IQI Selection

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (2)

X-Ray tüpü ile uygulama: Demir ve demir dışı metallerin kaynaklı bağlantı noktalarının, montaj ve inşaat yapılarının, döküm ve dövme malzemelerin saha veya atölye/laboratuvar koşullarında radyografik kalite kontrolü

- Geleneksel Film ve/veya Dijital Radyografi uygulamalarında kullanılabilir
- Boru kaynak dikişlerinin kontrolü uygulaması

Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (2)



Kaynak: [ndttechnik.com](https://www.ndttechnik.com)

<https://www.linkedin.com/company/ndttechnik/posts>

Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (3)



Kaynak: ndtteknik.com

<https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts>

Radyografik Muayene

Radyografik
görüntüleme
örnek (4.1):
Basınçlı
kaplarda dijital
radyografi
uygulaması

Kaynak: ndtteknik.com

<https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts>



Radyografik Muayene

Radyografik
görüntüleme
örnek (4.2):
Basınçlı
kaplarda dijital
radyografi
uygulaması

Kaynak: ndtteknik.com

<https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts>



Radyografik Muayene

Radyografik
görüntüleme
örnek (4.3):
Basınçlı
kaplarda dijital
radyografi
uygulaması

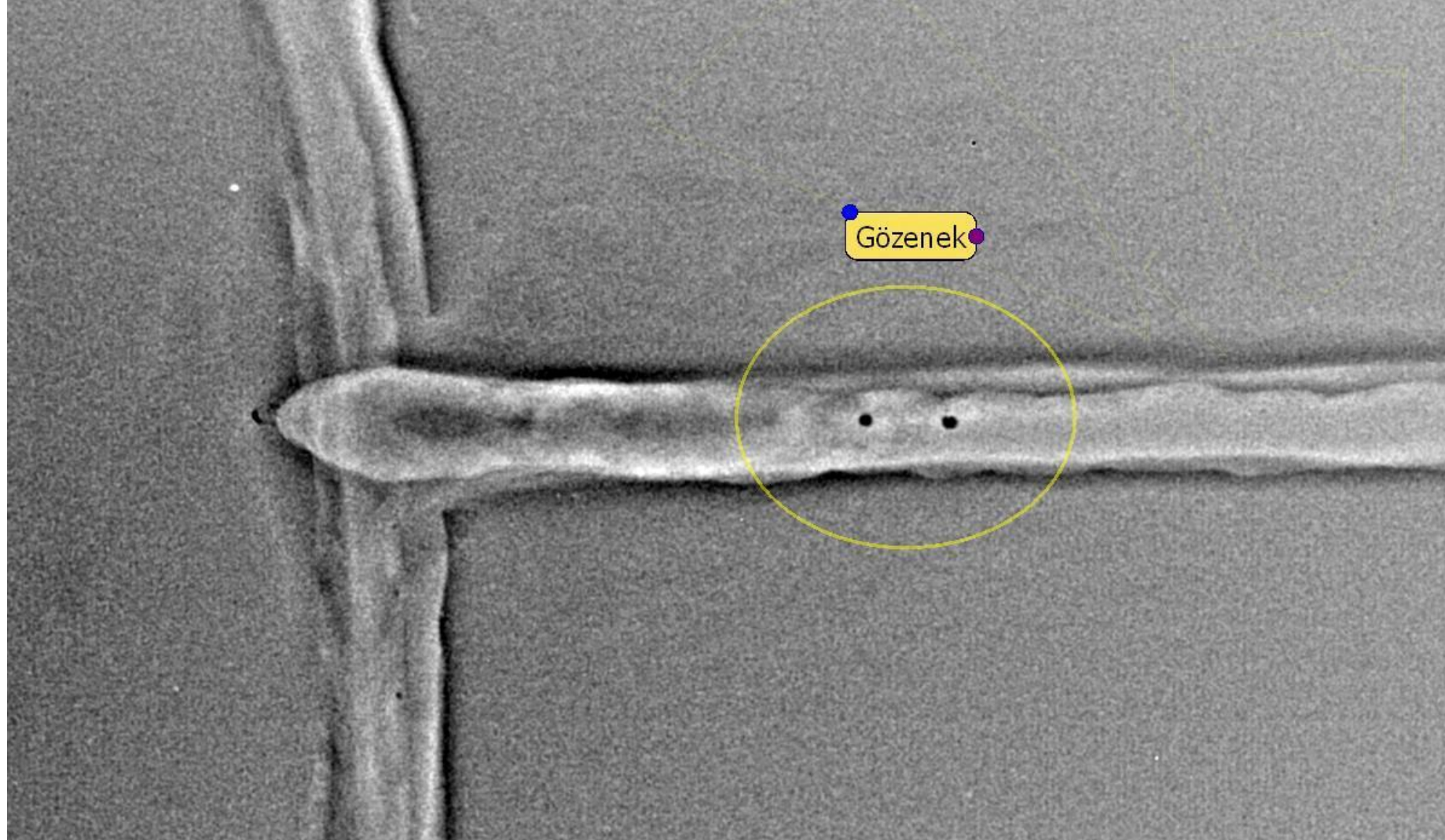
Kaynak: ndtteknik.com

[https://www.linkedin.com/company/
ndtteknik/posts](https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts)



Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (4.4): Basınçlı kaplarda dijital radyografi uygulaması



Kaynak: ndtteknik.com

<https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts>

Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (5):

Döküm tekniği ile imal edilmiş parçaların laboratuvar / atölye ortamında radyografik muayenesi

Kaynak:

<https://labtesting.com/resources/testing-methods/x-ray-inspection-lets-you-know-whats-inside/>



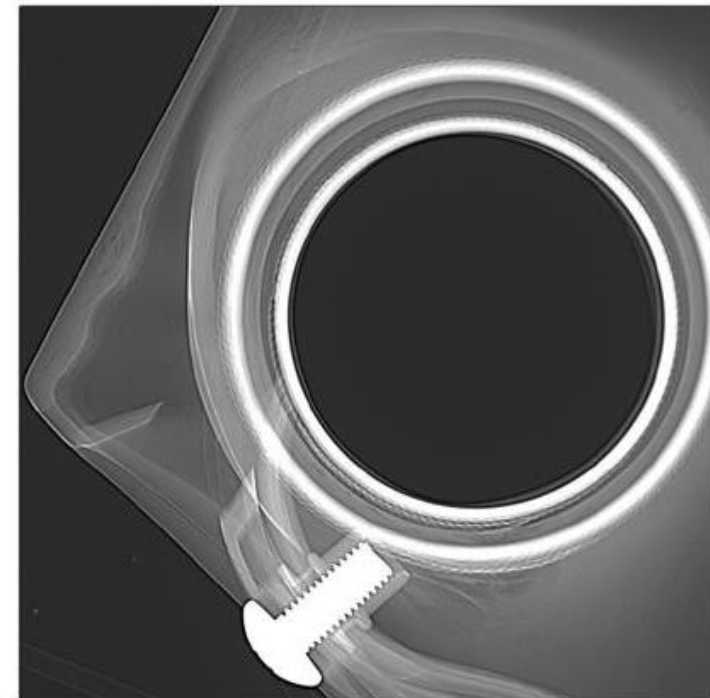
Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (6): Kompozit Malz.

Kompozit bir bisiklet pedal göbeğindeki (solda) metal vida ve destek halkasını gösteren pozitif (sol üst) ve negatif (sağ üst) görüntüleri.

Kaynak: Yxlon

<https://www.compositesworld.com/articles/x-rays-for-ndt-of-composites>

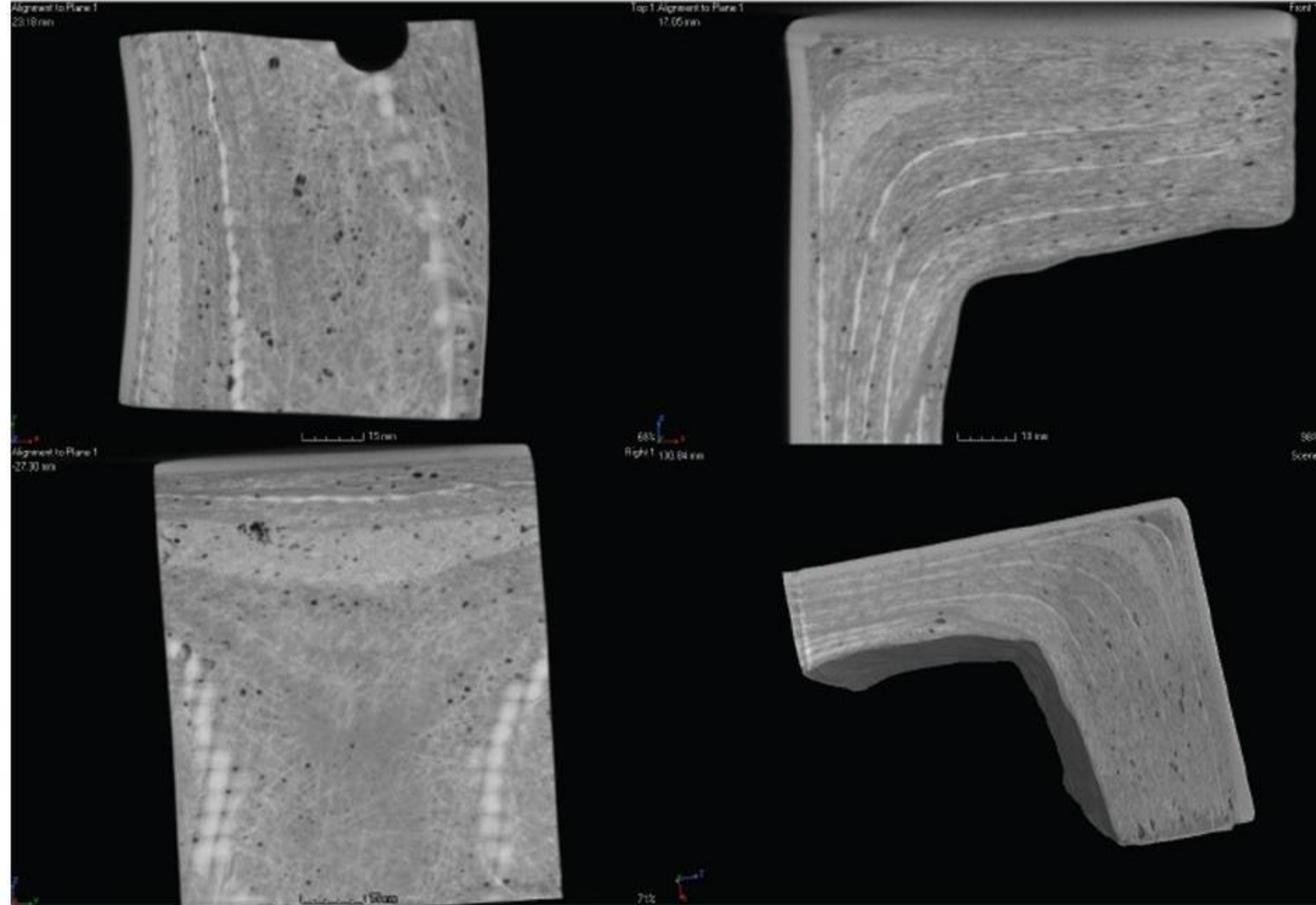


Radyografik Muayene

Radyografik görüntüleme örnek (7): Kompozit Malz. Helikopter rotor palinin, pervane göbeğine bağlantı bölümünün CT taraması, gözeneklilik (konum ve boyut da ölçülebilir) ve laminant katları açıkça gözükmemektedir.

Kaynak:

<https://www.compositesworld.com/articles/x-rays-for-ndt-of-composites>



RADYOGRAFİK TARAMA UYGULAMASI

Örnek Video: Robotik X-Işını Taraması

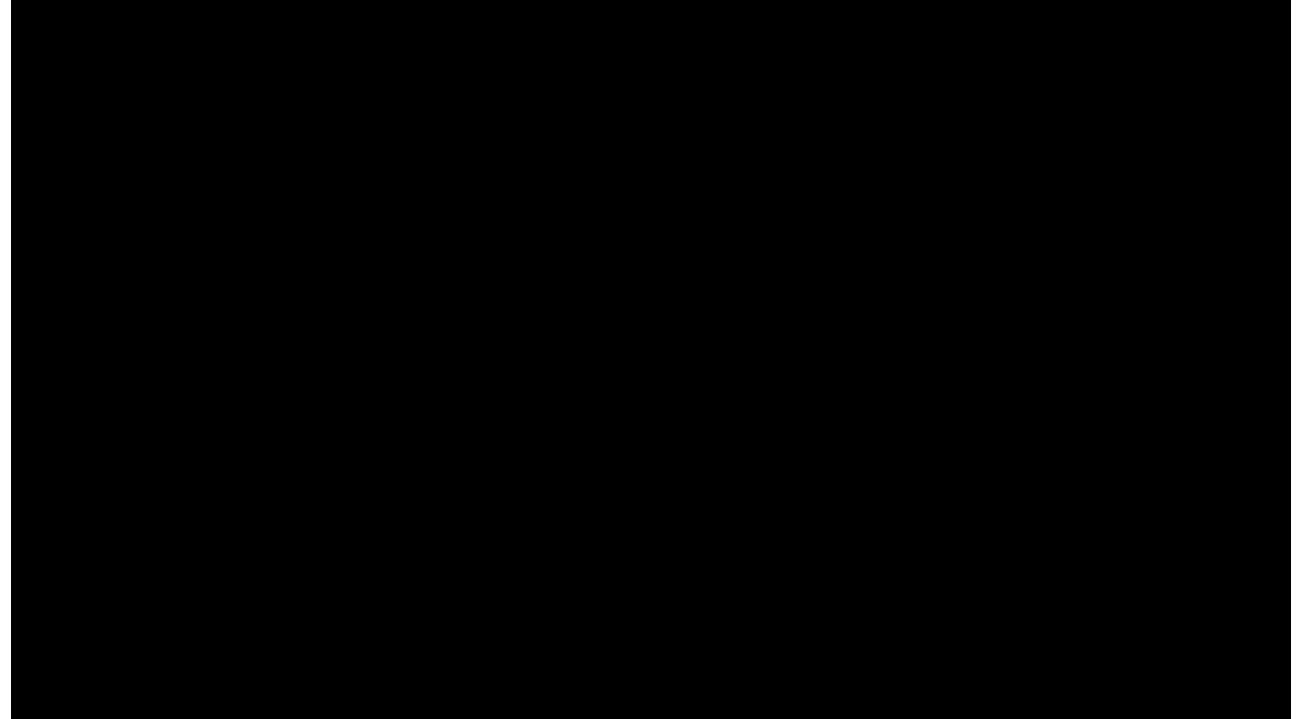
<https://www.youtube.com/watch?v=fUYc8SSFa1s>

00:25 – 01:35

(Robotic X-ray scanning of AL600 light aircraft)

RADYOGRAFİK TARAMA UYGULAMASI

Robot Kollar Yardımıyla
Radyografik (Tarama)
Muayene
(*X-Ray Scan*)



Kaynakça:

- Tahribatsız Malzeme Muayenesi Cilt-2, Doç. Dr. Özlem Karadeniz, Prof. Dr. Süleyman Karadeniz, [MMO Yayınları](#) 685-2, İzmir, 2018
- <http://www.ndtteknik.com/ndt-kutuphane.html> (Tarih: 07.02.2020)
- <https://www.linkedin.com/company/ndtteknik/posts/?feedView=images>
- <https://www.szutest.com.tr/tahribatsiz-muayeneler> (Tarih: 01.02.2020)
- <http://ndt.wtndt.metu.edu.tr/tahribatsiz-muayene-yontemleri> (Tarih: 01.02.2020)
- <http://www.epsilon-ndt.com/urunler/1043/dijital-radyografi-dr/1325/go-scan-c-view.aspx>
- <http://www.epsilon-ndt.com/urunler/1043/dijital-radyografi-dr/1323/flatscan-xs.aspx>
- https://www.ktuweb.com/page_showdoc?course=ME367&dopage=study
- <https://www.ktunotes.in/ktu-non-destructive-testing-me367-notes/>
- https://aybu.edu.tr/mranjbar/dosya_listesi-297-531-mce-476---nondestructive-testing-methods.html (MCE 476 - Doç.Dr. Mostafa RANJBAR)
- https://tr.wikipedia.org/wiki/X_%C4%B1%C5%9F%C4%B1n%C4%B1
- https://tr.wikipedia.org/wiki/Gama_%C4%B1%C5%9F%C4%B1n%C4%B1
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Radyografi>
- https://en.wikipedia.org/wiki/CT_scan
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Radiography>
- <https://www.ndt.net/article/turkey2008/papers/15-ndt-21.pdf>
- <https://turkradyolojiseminerleri.org/content/files/sayilar/14/buyuk/1-22.pdf>
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/19124/mod_resource/content/0/6-X%20I%C5%9EINLARI.pdf