



A.E.K.

ANKARA NÜKLEER ARAŞTIRMA VE
EĞİTİM MERKEZİ

5 Ci Pu-Be İZOTOPIK KAYNAK İLE
NÖTRON RADYOGRAFİ

Dr. F. ÖZEK

İ. ÇELENK

1981

FİZİK BÖLÜMÜ- 2 - 82

5 Ci Pu-Be İZOTOPIK KAYNAK İLE
NÖTRON RADYOGRAFI

Dr. F. ÖZEK

İ. ÇELENK

1981

FİZİK BÖLÜMÜ- 2 - 82

NÖTRON RADYOGRAFI NEDİR?

Genel olarak radyografi, bir radyasyon demetinin yolu üzerindeki bir cisim tarafından zayıflatılması (attenuation) ve zayıflatılmış demetin radyografi filmi gibi bir dedektöre kayıt edilmesi prensibine dayanır. Cisim oluşturan maddelerin atomları radyasyon demetini farklı derecelerde absorplar ve/veya saçar. Böylece film üzerinde, değişen derecelerde kararmalardan oluşan ve cismin iç yapısını yansıtan bir görüntü (radyograf) elde edilmiş olur.

Nötron radyografinin (NR), gama radyografiden (GR) farklılığı, gama ve nötronların absorplama ve saçılma mekanizmalarının bütünü ile değişik olmasından kaynaklanır: Gama fotonları çekirdek etrafındaki elektronlar ile, nötronlar ise çekirdeğin kendisi ile etkileşir. Başka bir deyişle, gama zayıflaması öncelikle çekirdek etrafındaki elektron sayısına (atom numarası Z 'ye), nötron zayıflaması ise çekirdeğin yapısına ve nötron enerjisine bağlıdır.

Şekil 1'de, elementlere ait kütle zayıflama katsayıları (mass attenuation coefficient) çeşitli gama enerjileri ve termal nötronlar için verilmiştir. Görülmektedir ki, kütle zayıflama katsayısı gamalar için düzgün bir değişim gösterirken, nötronlar için rastgele (random) bir dağılım göstermektedir. Pratik açıdan bakıldığında, örneğin atom numaraları (yaklaşık yoğunlukları) birbirine çok yakın olan Cd ve Ag elementleri GR'de benzer kararlar oluştururken, NR'de farklı kararlar oluştururlar. Diğer bir önemli nokta ise, hidrojen gibi hafif elementler için NR'nin daha duyarlı olmasıdır.

NÖTRON DEDEKSİYONU

Nötronların film üzerine doğrudan etkisi hemen hemen yoktur. Bu nedenle nötronlar, α , β , γ gibi film ile dedekte edilebilir bir biçime "dönüştürülür". Genel olarak uygulanan yöntem, filmin hemen üzerine bir

"çevirici" (converter) yerleştirmektir. Çevirici, (n, γ), (n, α), v.b. bir reaksiyon sonucu "nötron görüntüsü"nün film üzerine kayıt edilebilmesini sağlar.

Çeviriciler ya cisim ile film arasına (front screen) veya filmin arkasına (back screen) konulabilir (Şekil 2). "Front" durumunda daha kısa ışınlama süresi, "back" durumunda ise daha uzun ışınlama süresi ancak daha iyi çözme (resolution) elde edilir.

Tablo 1'de NR'de genellikle kullanılan filmler verilmiştir. Burada belirtilmesi gereken önemli nokta, film hızı ile çözme gücünün ters orantılı oluşlarıdır. Tablo 2'de ise çeviriciler ve özellikleri sunulmuştur.

NÖTRON RADYOGRAFİ TEKNİKLERİ

- (a) Doğrudan ışınlama tekniği Çevirici, nötron ışınlaması sırasında film üzerine yerleştirilir (front veya back durumunda). Genellikle Gd, Ag veya ${}^6\text{LiF} + \text{ZnS}(\text{Ag})$ sintilatörü gibi bir çevirici kullanılır. Sintilatörler özellikle düşük nötron akılarında çok yararlıdır ve "back screen" durumunda oldukça yeterli çözme gücü sağlarlar. Ayrıca, nötron demeti içinde mevcut olabilecek gamaların filmi etkileyip görüntüyü bozmamaları için, kolimatör çıkışı ile cisim arasına Pb filtre yerleştirmek yararlıdır.
- (b) Transfer tekniği Önce yalnızca çevirici, cisim ile birlikte nötron demeti içinde ışınlanır. Işınlama sonunda, çevirici karanlık odaya transfer edilir ve film üzerinde (ve kaset içinde) yeterli bir süre bırakılarak çeviricinin "otoradyografisi" alınır. Bu teknik, nötron demeti içindeki gama dozunun çok yüksek olması durumunda veya reaktör yakıt çubukları gibi radyoaktif maddelerin NR'sinde çok yararlıdır.

Her iki teknik, Şekil 3'de şematik olarak açıklanmıştır.

ANAEM NÖTRON RADYOGRAFI SİSTEMİ

5 Ci (1.35×10^7 n/s) şiddetindeki ^{238}Pu -Be izotopik nötron kaynağının kullanıldığı ANAEM NR sisteminin dizaynı Şekil 4'de sunulmuştur. 7 mm Pb filtre kullanıldığında kolimatör çıkışındaki termal nötron akışı 70 n/($\text{cm}^2 \cdot \text{sn}$), kadmiyum oranı 1.8 ve gama "exposure" hızı 0.4 mR/saat'tir.

Çalışmalarda, çevirici olarak Nuclear Enterprises NE 425 sintilatörü, AGFA Curix RP1 tipi film ile birlikte, "back" durumunda ve doğrudan ışınlama tekniği kullanılmaktadır.

GÖRÜNTÜ KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Görüntü kalitesinin belirlenmesinde en pratik yol, test cisimleri (test-objects) kullanmaktır. Test cisimleri genellikle kadmiyum metalinden yapılır ve üzerinde değişik çaplarda delikler bulunur. Film üzerinde gözlenebilen en küçük delik çapı, NR sisteminin çözme gücünün bir ölçüsüdür. ANAEM'de yapılan NR çalışmalarında kullanılan test cisminin özellikleri Şekil 5'de verilmiştir. Alınan radyografilerde (a, b) delikleri ile (c) aralığı rahatlıkla kayıt edilebilmiştir. AGFA Curix RP1 filmine ait karakteristik eğri ise Şekil 6'da sunulmuştur.

GENEL UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ENDÜSTRİYEL

1. Benzer yoğunluktaki maddelerin incelenmesi:
Cd-Ag, Cu-Ni alaşımları gibi.
2. Baskı devrelerindeki bazı kusurların bulunması.

NÜKLEER

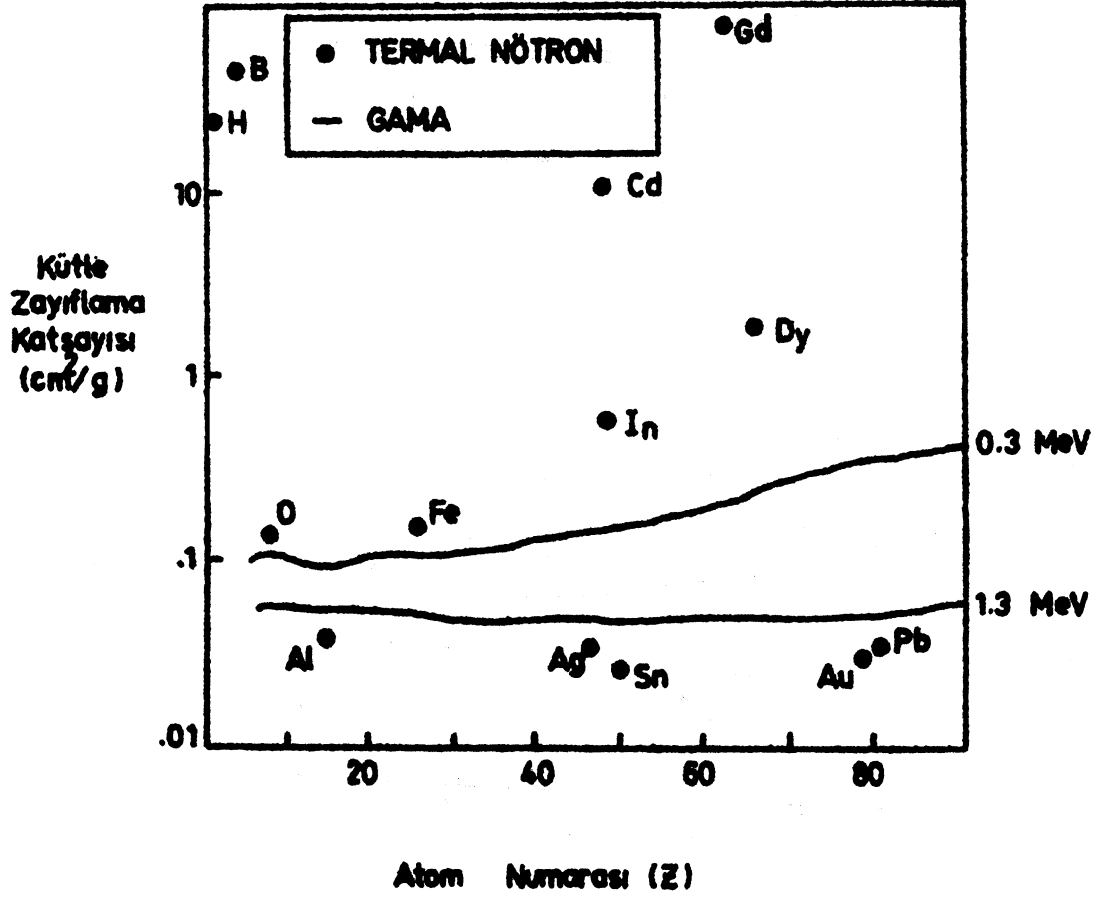
1. Reaktör kontrol çubuklarında ^{113}Cd "burn-up" incelemesi
2. Reaktör kontrol malzemelerinde ^{10}B dağılımı ölçülmesi

MEDİKAL + BİYOLOJİK

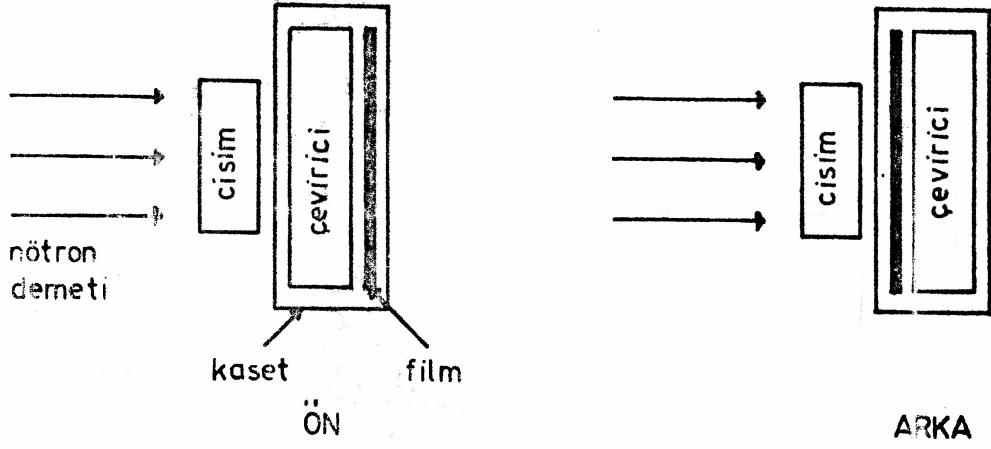
1. Tümörlerde, yüksek hidrojen konsantrasyonlu bölgelerin bulunması
2. Bitki dokularının ve küçük boyutlu hayvanların incelenmesi

BİLGİ KAYNAKLARI

1. Neutron radiographic inspection of radioactive irradiated reactor fuel specimens
H. Berger, W.N. Beck
Nucl. Sci. Eng. 15 , 411-414 (1963)
2. Determination of cadmium burnup in reactor control rods by neutron radiography
H. Berger, J.H. Talboy, J.P. Tylka
Nucl. Sci. Eng. 18 , 236-241 (1964)
3. Nondestructive examination of radioactive material using neutron radiography
W. A. Carbiener
Nucl. Appls. 2 , 468-470 (1966)
4. Neutron radiography using nonreactor sources
J.P. Barton
Isot. Rad. Technol. 6 (2), 149-153 (1968-69)
5. The measurement of small dimensional changes by neutron radiography
R.S. Matfield, G.Constantine, S.C.Alexander
AERE-R 5792 (1969)
6. Utilization of small accelerator neutron generators to neutron radiography
G. Breynat, M.M.Dubus
Materials Evalvation p.220-224 (Oct.1969)
7. Foreseeable application of Cf-252 to n-radiography
J.P. Barton
Isot. Rad. Technol. 7 (3), 285 (1970)
8. A visual image quality indicator (VISQI) for n-radiography
J.P. Barton
Journal of Materials 7 (1), 18 (1972)

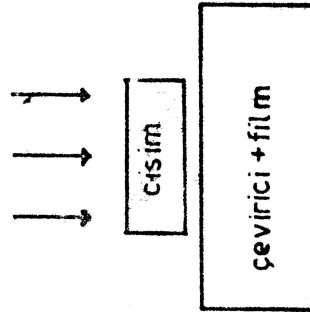


Sekil 1. Kütle zayıflama katsayısının atom numarası ile değişimi

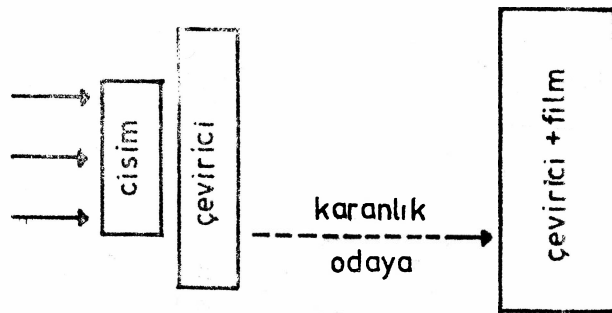


Şekil 2. Film ile çeviricinin ön (front) ve arka (back) kombinasyonları

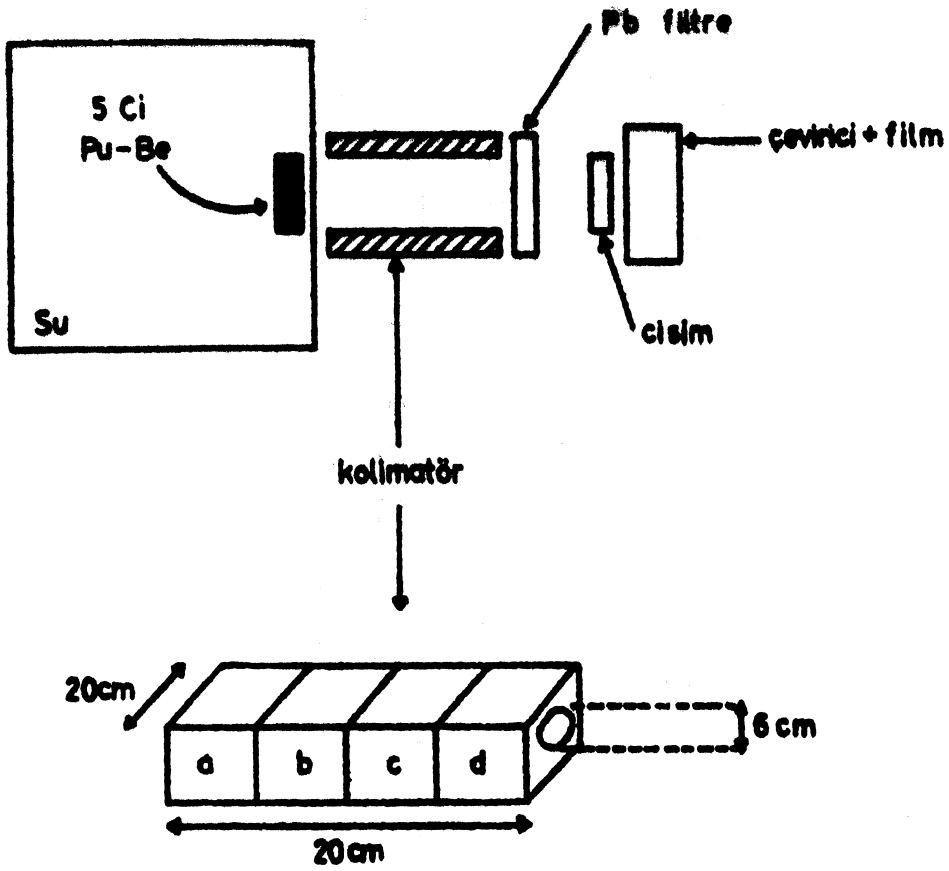
DOĞRUDAN
ISINLAMA



TRANSFER

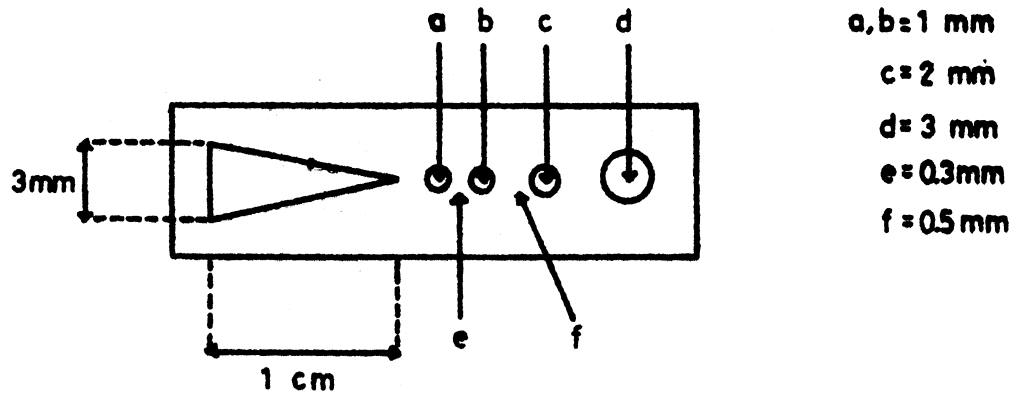


Şekil 3. Nötron radyografi teknikleri

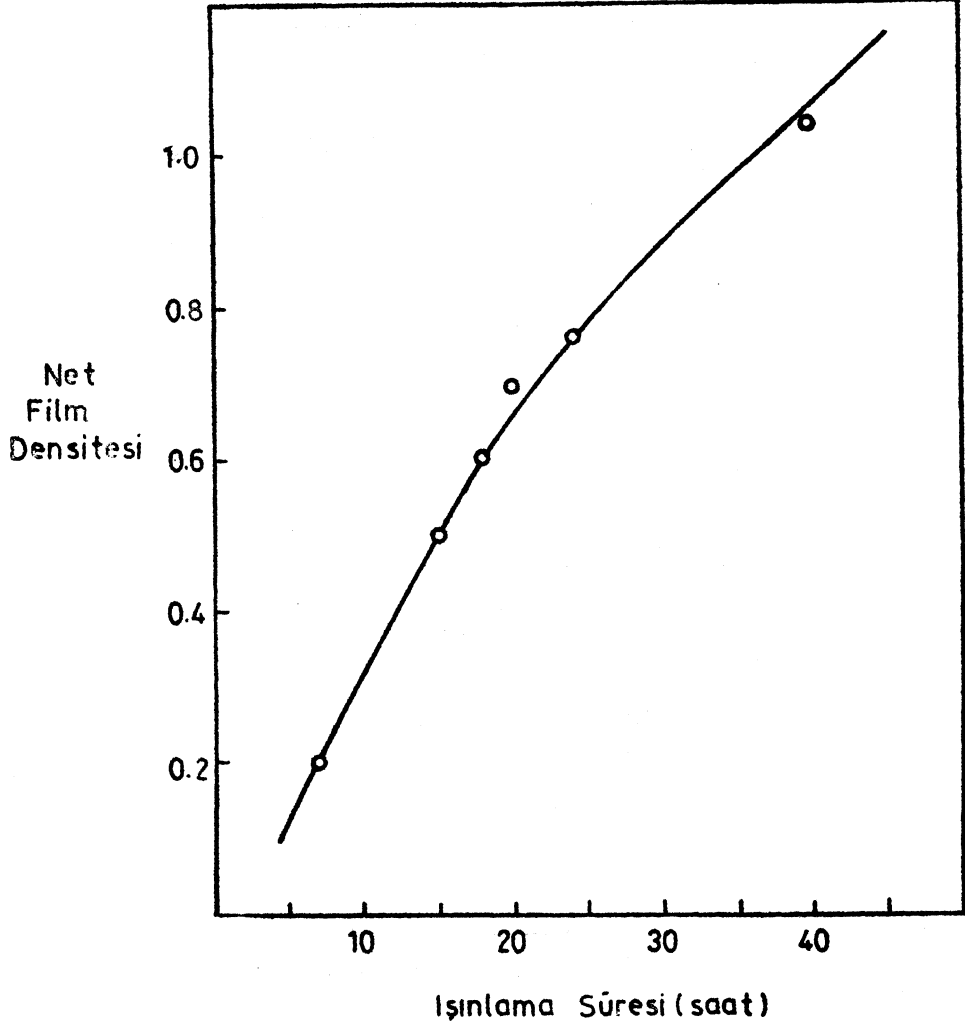


- a : 10% Li + 90 % Polietilen
- b : 5% B + 95 % Polietilen
- c : 30% B + 1% Pb + Polietilen
- d nötron 'clay'

Şekil 4. ANAEM nötron radyografi sistemi



Şekil 5. Test cismi = 1 mm kalınlığında kadmiyum foil



Şekil 6. Karakteristik eğri

Film : AGFA Curix RP1

Çevirici : Li F + ZnS (Ag) sintilator

Termal akı: $70 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{sn}^{-1}$

Tablo 1. Bazı film tipleri ve karşılaştırılması
(aşağıya inildikçe film hızı azalmakta, çözme gücü artmaktadır)

Kodak (UK)	Ilford (UK)	Eastman Kodak (USA)	Du Pont (USA)	Gavaert Agfa (BELÇİKA)
Royal Blue	Gold Seal	Royal Blue		Curix Rapid
Blue Brand	Red Seal	Blue Brand	Type 508	Curix
Industrex S	Industrial A		Type 504	Structurix-S
Standard	Standard			
Kodirex- Auto Process	Ilfex	Type KK		Osray
Kodirex	Industrial G			Structurix-D10
Industrex D	Industrial B	Type F		Structurix-D 8
Crystalex	Industrial CX	Type AA	Type 506	Structurix-D 4

Tablo 2. Bazı metalik foil çevirici tipleri

DOĞRUDAN İŞINLAMA

Element	Reaksiyon	$T_{1/2}$	Optimum Kalınlık (mm)
Cd	$^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$	kararlı	0.25
Gd	$^{155}\text{Gd}(n,e)^{116}\text{Gd}$ $^{157}\text{Gd}(n,e)^{158}\text{Gd}$	kararlı	0.02

TRANSFER

In	$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$	14 sn	0.40
	$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116\text{m}}\text{In}$	54 dak.	
Dy	$^{164}\text{Dy}(n,\gamma)^{165}\text{Dy}$	2.3 saat	0.15
	$^{164}\text{Dy}(n,\gamma)^{165\text{m}}\text{Dy}$	1.26 dak	