



ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**DIŞ IŞINLAMAYA BAĞLI VERİLEN
DOZ HESABI**

**'Fotonlar Nedeniyle Eşdeğer Doz
Hızı Hesabı'**

101538

PROF. DR. HALUK YÜCEL

2. Fotonlar Nedeniyle Eşdeğer Doz Hızı Hesabı

$$\dot{H} = \int_{E=0}^{E=\infty} dE \cdot \varphi(E) \cdot E \cdot \mu_a(E)$$

Burada: $\mu_a(E)$ Enerjisi E olan foton için dokudaki enerji soğurma katsayısı (m^2/kg) fotonlar için $Q(E) = 1$ alınır ve dE/dx yerine $E \cdot \mu_a(E)$ kullanılır. Enerji grupları için:

$$\dot{H} = \sum_g \varphi_g \cdot E_g \cdot \mu_a^{dokü}(E_g) \text{ [Sv/s]}, \varphi_g = \int_{E_g}^{E_{g-1}} \phi(E) dE \text{ [#foton/m}^2\text{s]}$$

Doz dönüşüm faktörü:

$$\frac{[Sv/s]}{[gama/m^2s]} = \left[\frac{100 \times 3600 \times 10^4}{3.6 \times 10^9} \right] \times \frac{[rem/h]}{[gama/cm^2s]}$$

$$\dot{H} = \int_{E=0}^{E=\infty} dE \cdot \varphi(E) \cdot C(E)$$

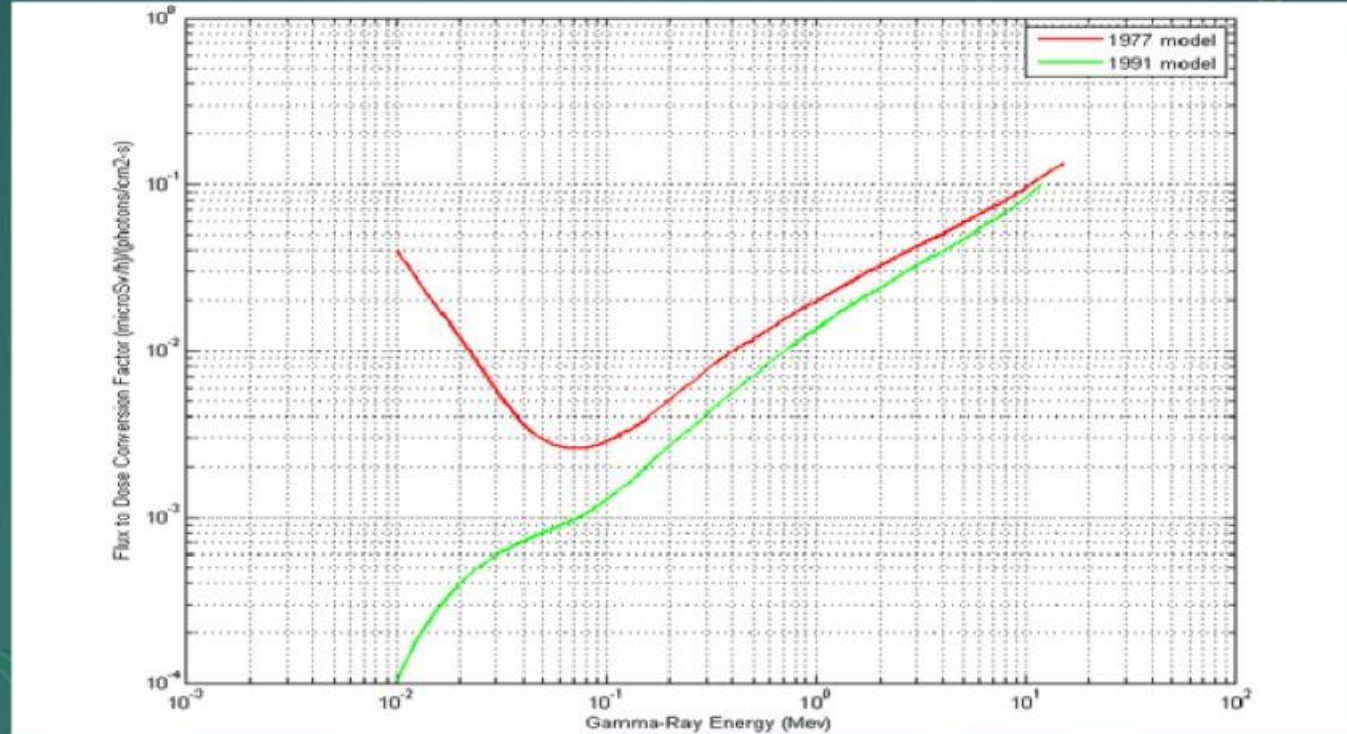
Grup için,

$$\dot{H} = \sum_g \varphi_g \cdot C_g$$

- Gama ışın akısı – Doz hızı dönüşüm katsayısı tablosu,

Foton Enerjisi (MeV)	$\frac{[Sv/s]}{[gama/m^2s]}$	Foton Enerjisi (MeV)	$\frac{[Sv/s]}{[gama/m^2s]}$
0.01	2.20×10^{-18}	0.60	1.98×10^{-16}
0.015	5.70×10^{-18}	0.80	3.24×10^{-16}
0.02	9.12×10^{-18}	1.00	3.27×10^{-16}
0.03	1.38×10^{-17}	1.50	4.68×10^{-16}
0.05	1.80×10^{-17}	2.00	5.93×10^{-16}
0.08	2.20×10^{-17}	3.00	8.19×10^{-16}
0.10	2.37×10^{-17}	4.00	1.02×10^{-15}
0.15	4.36×10^{-17}	5.00	1.21×10^{-15}
0.20	6.02×10^{-17}	6.00	1.40×10^{-15}
0.30	9.49×10^{-17}	8.00	1.78×10^{-15}
0.40	1.30×10^{-16}	10.0	2.16
0.50	1.64×10^{-16}		

- Doz dönüşüm faktörleri,



Soru: 1 Ci (3.7×10^{10}) Bq aktiviteli ^{137}Cs kaynağının 1 m de verdiği doz hızını

- a) Su ortamında
- b) Hava ortamında

Hesaplayınız ^{137}Cs için $E_\gamma = 0.662$ MeV ve $f_\gamma = 0.85$ alınız.

Çözüm: Doz hızı $\dot{H} = \sum_g \varphi_g \cdot C_g$ foton akısı – doz hızı dönüşüm faktörlerinden, lineer interpolasyon yapılarak,

Foton Enerjisi (MeV)	$\frac{[Sv/s]}{[gama/m^2s]}$
0.60	1.98×10^{-16}
0.662	?
0.80	2.64×10^{-16}

Ara değerlendirme sonucunda $? = 2.185 \times 10^{-16}$ olarak bulunur.

$$\varphi_g = \frac{B.S.e^{-\mu r}}{4\pi r^2}$$

B= doz doz birikme faktörü

$$B = 1 + a(\mu r)x \exp[b.\mu r]$$

Tablodan, a= 1.96, b=0.054

a) Su için $\mu_{su}(0.662) = 0.0086 \text{ m}^2/\text{kg}$

Sudaki ortalama serbest yol $\Rightarrow \mu r = 8.61 \text{ mfp}$

$$B(\text{su içinde}) = 1 + 1.96 * 8.61 * \exp[0.054 * 8.61] = 27.8$$

$$\dot{H}_{su} = \dot{D}_{su} = 27.86 \times 3.7 \times 10^{10} \times 0.85 \left[\frac{e^{4.61}}{4\pi 1^2} \times 2.185 \times 10^{-16} \right] = 3.07 \times 10^{-9} \text{ Sv/s} = 1.01 \frac{\text{mrem}}{\text{h}}$$

b) Havadaki doz hızı

$$\mu_{0.662} = 0.0082 \text{ m}^2/\text{kg} \quad 0.082 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu r = \left(0.082 \text{ m}^2/\text{kg}\right) 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \text{ m} = 0.01 \text{ mfp}$$

- Doz Birikim Buildup faktörü,

$$B(\text{havada}) = 1 + 1.96 * 0.01 * \exp[0.054 * 0.01] = 1.02$$

- Havadaki doz hızı,

$$\dot{H} = \dot{D} = \frac{BxS}{4\pi x r^2} x e^{-\mu r} = 1.02 x \frac{3.7 \times 10^{10} \times 0.85}{4\pi x 1^2} x e^{-0.01} 2.185 \times 10^{-16} \frac{(\text{Sv/s})}{(\gamma/\text{m}^2\text{s})} = 0.57 \times 10^{-9} \text{ Sv/s} = 0.20 \frac{\text{rem}}{\text{h}}$$

1 m sudaki mfp => 8.61, B=27.86 iken
1 m havada mfp => 0.01 B = 1.02

Örnek: Bir X ışını tüp sistemi yakınında duran bir operatör için: 50 kVp demet kalitesinde $\phi_{\text{flux}} = 2.4 \times 10^5$ X-ışını/cm²s doz dönüşüm faktörü 8×10^3 X-ışını/cm²s = 1 mR/h @ 50 keV

$$\text{Işınlama Hız } \dot{X} = \frac{2.4 \times 10^5}{8.8 \times 10^3} \times 1 = 30 \text{ mR/h}$$

Grafikten kemik için $f = 3.3$, kas için $f = 0.93$, fat için $f = 0.90$ $Q = 1$ olduğundan

Doz eş değeri kemik

$$\dot{D} = \frac{30 \text{ mR}}{h} \times 3.3 = 99 \frac{\text{mrem}}{h}$$

Kas doku için

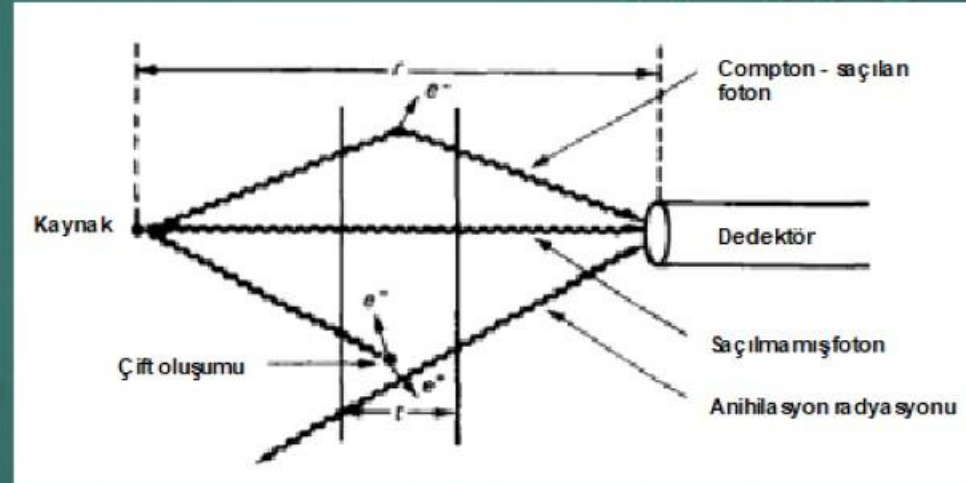
$$\dot{D} = \frac{30 \text{ mR}}{h} \times 0.93 = 27.9 \frac{\text{mrem}}{h}$$

Yağ doku için

$$\dot{D} = \frac{30 \text{ mR}}{h} \times 0.90 = 27 \frac{\text{mrem}}{h}$$

BİRİKME (BUILD-UP) FAKTÖRLERİ

- Monoenerjetik bir nokta kaynak, detektörden r mesafesi kadar uzağa yerleştirilmiş olsun. Dedektör ile kaynak arasına t kalınlığında bir zırh malzemesi konulursa dedektöre çarpan toplam gama-ışın demeti iki bileşenden oluşur: saçılmamış ve saçılmış demet.



1. Saçılmamış (unscattered/uncollided) demet (ϕ_u): Herhangi bir etkileşmeye girmeksizin zırhı geçen demet.

$$\phi_u = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu t}$$

2. Saçılmış (scattered/collided) demet (ϕ_s): Zırh içinde etkileşmeler vasıtasıyla üretilen diğer fotonlar (X-ışınları ve Anihilasyon radyasyonu) ve saçılıp gelen fotonlardır.

- Dedektöre çarpan toplam akı,

$$\phi_{toplam} = \phi_u + \phi_s \quad (1)$$

- Gamaların enerji aktarımının(deposition) doğru hesaplanması için birikim(build-up) faktörü gereklidir. Pratikte, belirli bir malzeme radyasyonla ısınma hızının veya bireylere verilen radyasyon dozunun doğru belirlenmesi için gerekli bir terim olan yığılma(build-up) faktörünün, B, başlangıçtaki saçılmamış akı, ϕ_u , cinsinden toplam akının ifade edilmesi yaygın bir tecrübeye daha çok avantajlı olduğu görülmüştür.

$$\phi_{top} = B * \phi_u \quad (2)$$

- (1) ve (2) eşitliğinden build-up faktörü,

$$B = \frac{\phi_{top}}{\phi_u} = 1 + \frac{\phi_s}{\phi_u} \geq 1$$

- Build-up faktörü saçılmış akı belirlenerek bulunur. Ancak genelde B-yığılma faktörleri birçok durum ve malzeme için çizelge değerleri olarak verilir. Çalışılan bir durum için uygun B-faktörü uygulanır ve $\phi_{toplam} = B * \phi_u$ hesaplanır.

- B-yığılma faktörü $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ Gelen fotonun enerjisine} \\ \bullet \text{ Zırh içinde fotonun gidebileceği ortalama serbest yola} \\ \bullet \text{ Kaynağın geometrisine (paralel demet veya noktasal isotropik)} \\ \bullet \text{ Zayıflatıcı ortamın geometrisine (sonlu ortam, sonsuz ortam, slab) bağılıdır.} \end{array} \right.$
- B-faktörünün genel tanımı,

$$B(E, \mu r) = \frac{\text{Toplam akı nedeniyle ilgilenilen nicelik}}{\text{Saçılmamış akı nedeniyle ilgilenilen nicelik}}$$

- Yığılma faktörü tipleri,

İlgilenilen Nicelik	Karşılık Gelen Yığılma Faktörü
Akı, ϕ (γ/cm^2s)	Sayı yığılma faktörü (number build-up factor) $B_N(E_0, \mu r) = \frac{\int_0^{E_0} \phi_{top}(r, E) \cdot dE}{\frac{S}{4\pi r^2} \cdot e^{-\mu t}}$
Ortama aktarılan enerji	Enerji birikimi yığılma faktörü (energy deposition build-up factor) $B_E(E_0, \mu r) = \frac{\int_0^{E_0} \phi_{top}(r, E) \cdot E \cdot \mu_a^{ortam}(E) \cdot dE}{\frac{S}{4\pi r^2} \cdot e^{-\mu t} \cdot \mu_a^{ortam}(E_0) \cdot E_0}$
Doz (soğurulan)	Doz yığılma faktörü (doze build-up factor) $B_D(E_0, \mu r) = \frac{\int_0^{E_0} \phi_{top}(r, E) \cdot E \cdot \mu_a^{doku}(E) \cdot dE}{\frac{S}{4\pi r^2} \cdot e^{-\mu t} \cdot \mu_a^{doku}(E_0) \cdot E_0}$

- Tabloda bulunan matematiksel ifadelerde yer alan $\phi(r, E)$, foton akısı r konumunun ve E enerjisinin bir fonksiyonudur.
- Tüm fotonların aynı noktadan aynı E_0 enerjisiyle başlayarak geçtiği kabul edilir.
- $\mu r \rightarrow 0$ 'a giderken $B(E_0, \mu r) \rightarrow 1$ 'e yaklaştığına dikkat edilmelidir.
- Enerji birikimi yığılma faktörü ve doz yığılma faktörü arasındaki yegan fark gama soğurma katsayısının tipidir;
 - Enerji birikimi için ortamın gama soğurma katsayısı, $\mu_a^{ortam}(E)$ kullanılır,
 - Soğrulan doz için dokudaki soğrulma katsayısı $\mu_a^{doku}(E)$ kullanılır.

- Yığılma faktörlerinin hesaplanması için çeşitli çalışmalar yapılarak, gama enerjileri, ortamlar ve mesafeler dikkate alınarak çeşitli çizelgeleştirilmiş sonuçlar literatürde mevcuttur. Bununla birlikte B-faktörlerinin hesaplanması için analitik formüller de üretilmiştir.

- B-faktör hesabı için,

- Berger Formülü: $B(E_0, \mu r) = 1 + a(E) * \mu r * e^{b(E) * \mu r}$

- Taylor Formülü: $B(E_0, \mu r) = A(E) * e^{-a_1(E) * \mu r} + [1 - A(E)] e^{-a_2(E) * \mu r}$

- $a(E)$, $b(E)$, $A(E)$, a_1 ve a_2 fit katsayılarıdır.

- Doz yığılma faktörleri için Berger formülü fit katsayılarına örnek değerler,

E(MeV)	Beton		Hava		Su		Demir		Kurşun	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
0.1	1.83	0.028	5.93	0.114	6.11	0.120	0.24	-0.030	0.20	0.479
0.5	1.73	0.055	2.29	0.067	2.32	0.068	1.16	0.036	0.15	-0.028
5	0.49	0.004	0.53	-0.002	0.52	-0.002	0.49	0.007	0.24	0.062

* Radiation Shielding. J. Kenneth Shultis, Richard E. Faw, 1996

- Gama yığılma faktörünün en iyi temsil edildiği gösterimi 'Geometric Progression (G-P)' fonksiyonudur.
- G-P fonksiyonu,

$$B(E, x) = 1 + \frac{(b - 1)(K^x - 1)}{K - 1}, \quad K \neq 1$$

$$B(E, x) = 1 + (b - 1)x, \quad K = 1$$

$$K(x) = cx^a + d \frac{\tanh\left[\frac{x}{X_k} - 2\right] - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)}$$

Burada,

- $x = \mu r$, ortalama serbest yol biriminde radyasyonun malzemedeki gittiği mesafe
- b , $x = 1$ için B değeri
- K , ortalama serbest yol başına çoğalma faktörü
- a, b, c, d, X_k, E enerjisine bağlı parametreler

Örnek: 1Ci ^{137}Cs kaynağı büyükçe bir su tankı içinde muhafaza edilirse, kaynağın 0.5m mesafede ^{137}Cs 'nin gama ışınları nedeniyle enerji birikimi ne olur?

$$\mu r = 0.00862 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} * 0.5\text{m} = 4.31 \text{ mfp}$$

$$a = 1.96$$
$$b = 0.054$$

$$\mu_a^{su}(0.662) = 0.00327 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$$

^{137}Cs için enerji birikimi yığılma faktörü,

$$B(E, \mu r) = 1 + a * \mu r * e^{b\mu r},$$

$$B(0.662, 4.31) = 13.5$$

Enerji birikimi,

$$E_d \left(\frac{\text{MeV}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \right) = \frac{3.7 * 10^{10}}{4\pi 0.5^2} * 0.85 * e^{-4.31} * 0.00327 * 0.662 * 13.5 = 7.4 * 10^{-7} \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$$