



ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**DIŞ IŞINLAMAYA BAĞLI VERİLEN  
DOZ HESABI**

**'Nötronlar Nedeniyle Eşdeğer Doz  
Hızı Hesabı'**

101538

PROF. DR. HALUK YÜCEL

# NÖTRONLAR NEDENİYLE EŞDEĞER DOZ HIZI HESABI

- Nötronlar esnek ve esnek olmayan çarpışmalarla insan vücuduna enerjisini verir ayrıca nötronlar vücutta yakalanıp soğurulduktan sonra oluşan radyoizotoplar tarafından yayınlanan 'ikincil radyasyon' vasıtasıyla da enerjisini verir.

Hızlı Nötronlar: İnsanlar yüksek enerjili (fast/hızlı) nötronlara maruz kaldığında, enerji aktarımının çoğu vücuttaki hidrojenle elastik çarpışmalarla (~90%), çok az miktarı oksijen ve karbon ile çarpışarak olur.

$^1\text{H}$  Hidrojenle çarpışma başına ortalama kaybedilen enerji,  $\bar{E}_{kayıp} = \frac{\%50}{\text{çarpışma başına}} * E(\text{gelen nötron enerjisi})$

$^{12}_6\text{C}$  Karbonla çarpışma başına ortalama kaybedilen enerji,  $\bar{E}_{kayıp} = \frac{\%14}{\text{çarpışma başına}} * E(\text{gelen nötron enerjisi})$

$^{16}_8\text{O}$  Oksijenle çarpışma başına ortalama kaybedilen enerji,  $\bar{E}_{kayıp} = \frac{\%11}{\text{çarpışma başına}} * E(\text{gelen nötron enerjisi})$



- Bu geri tepen çekirdekler enerji kazanmış yüklü parçacıklardır ve doku içinde hareket ederek yavaşlarlar. Bu yavaşlama yaklaşık 20keV'e kadar olan nötronlar için geçerlidir.
- Nötron enerjisi daha da yavaşlar ve birkaç keV enerjinin altına düşerse artık elastik çarpışmanın önemi azalır ve  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  reaksiyonu önemli etkiler meydana getirir. Çünkü bu reaksiyon ısı veren bir tepkimedir ve kinetik enerjisi  $E_p = 584\text{keV}$  olan protonlar üretilir. Aynı zamanda radyoaktif olan  $^{14}\text{C}$  (5450 yıl),  $E_{\beta_{max}} = 156\text{keV}$ 'lik betalar üretilir. Bu enerjetik protonlar biyolojik hasarın asıl nedenidir. Tabii ki  $^{14}\text{C}$ 'den yayınlanan betalar da biyolojik hasara daha az da olsa katkı verir.

**Termal Nötronlar:** İnsan vücudunun önemli bir kısmı sudan(%61) oluşur ve dolayısıyla enerjisi  $E_{th} = 0.025eV$  olan nötronların bir kısmı hidrojen tarafından soğrulur.



Buradan ani gama ışınları,  $E_\gamma = 2.23\text{MeV}$  gama ışınları, nötron soğurulmasıyla eş zamanlı yayınlanır ve biyolojik hasara katkı verir.

- İkincil önemdeki termal nötron reaksiyonu ise,



Bu reaksiyondan  $E_\gamma = 1.37\text{MeV}$  ve  $E_\gamma = 2.75\text{MeV}$ 'lik iki enerjili gama yayınlanır. Bu gama ışınları termal nötronların soğurulmasının ardından yayınlanır ve biyolojik hasarın asıl nedenidirler.



- Nötronlar nedeniyle eşdeğer doz hızı eşitliğinin en genel formu,

$$H(r, E) = \sum_{i=1}^M \phi(r, E) * \left[ \Sigma_{saçılma}^i(E) * \frac{2A_i * E}{(A_i + 1)^2} + \Sigma_{n,\gamma}^i(E) * f_{\gamma}^i * E_{\gamma}^i + \Sigma_q^i(E) Q_i + \dots \right] * Q(E)$$

Bu denklemde,

- $\phi(r, E)$ =E enerjili nötronların r noktasındaki akısı (#n/m<sup>2</sup>s)
- $\Sigma_{saçılma}^i(E)$ =i'nci izotop için E enerjili nötronların saçılma makroskobik tesir kesiti
- $\Sigma_{n,\gamma}^i(E)$ = i'nci izotop için E enerjili nötronların nötron yakalama makroskobik tesir kesiti
- $\Sigma_q^i(E)$ = i'nci izotop için E enerjili nötronların yüklü parçacık üretme reaksiyonu makroskobik tesir kesiti
- $Q_i$ =Yüklü parçacık reaksiyonun Q-reaksiyon enerjisi değeri
- $Q(E)$ =E enerjili nötronlar için kalite faktörü
- M=mevcut izotopların toplam sayısı

- Genel nötron doz hızı eşitliğindeki inelastik saçılma dokuda ihmal edilebilir enerji bıraktığı varsayılarak dikkate alınmamıştır.
- Çok farklı enerjili nötronlar söz konusu ise (örneğin,  $^{241}\text{Am}$ -Be nötron kaynağı), nötron doz hızı eşitliği tüm enerjiler üzerinden toplam alınarak tekrarlanır ve inelastik katkı toplam nötron doz hızının vermek üzere hesaplanır.
- Nötron akısı-doz hızı dönüşüm faktörleri kullanılarak genel nötron doz hızı eşitliği grafik ve çizelgeler yardımıyla nötron eşdeğer doz hızı,

$$\dot{H}(r, E) = \varphi(r, E) * C(E)$$

- Eğer nötron spektrumu enerji grupları cinsinden ifade ediliyorsa nötron eşdeğer doz hızı,

$$\dot{H}(r) = \sum_g \varphi_g * C_g$$

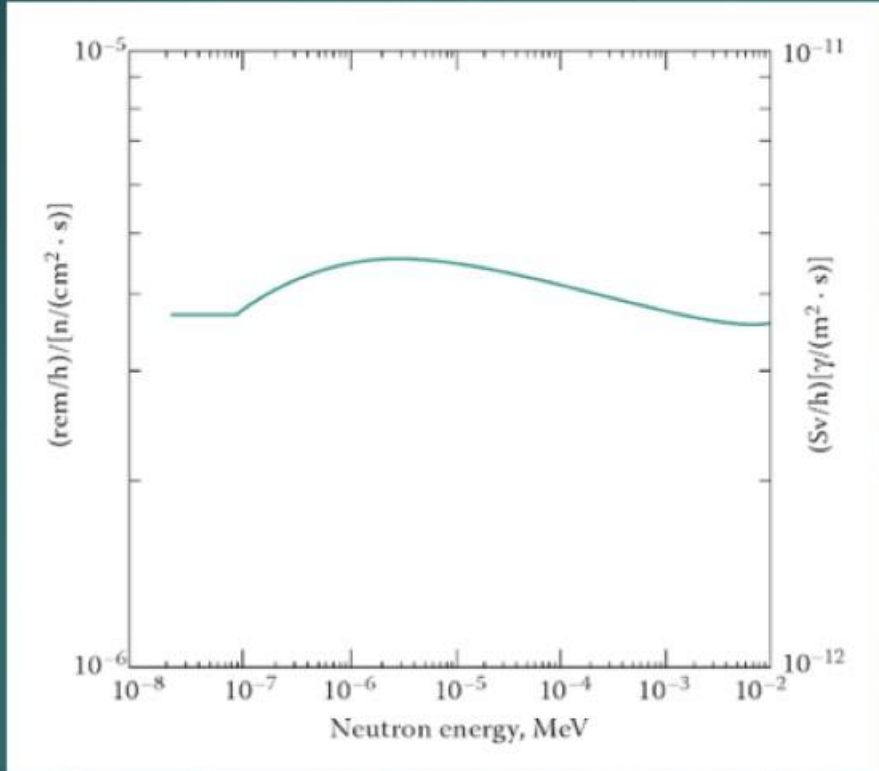
- Günlük nötron doz hızı hesabında genel nötron doz hızı eşitliğinin kullanılması o kadar kolay değildir ve kullanılamaz.

- Nötron akısı-doz hızı dönüşüm faktörleri

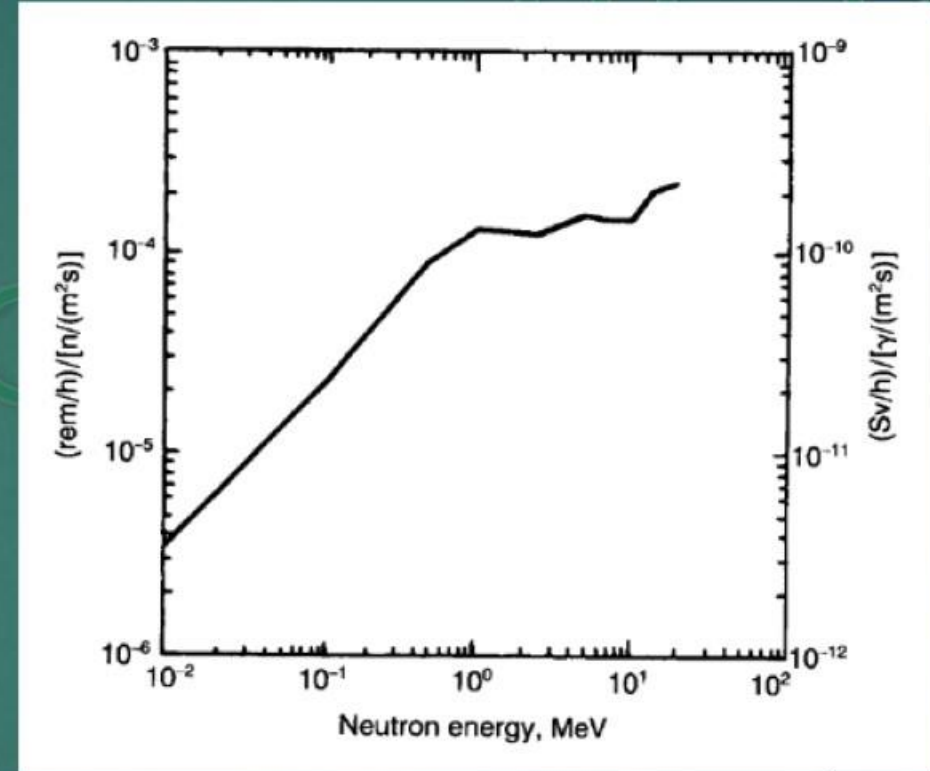
E(MeV)	$Sv/s/nötron/m^2s$	$rem/h/nötron/cm^2s$	E(MeV)	$Sv/s/nötron/m^2s$	$rem/h/nötron/cm^2s$
$2.5 \times 10^{-8}$	$1.02 \times 10^{-15}$	$3.67 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-1}$	$2.56 \times 10^{-14}$	$9.23 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-7}$	$1.02 \times 10^{-15}$	$3.67 \times 10^{-6}$	1.0	$3.69 \times 10^{-14}$	$1.33 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-6}$	$1.23 \times 10^{-15}$	$4.44 \times 10^{-6}$	2.5	$3.44 \times 10^{-14}$	$1.24 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-5}$	$1.23 \times 10^{-15}$	$4.44 \times 10^{-6}$	5.0	$4.33 \times 10^{-14}$	$1.56 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-15}$	$4.28 \times 10^{-6}$	7.0	$4.17 \times 10^{-14}$	$1.50 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-15}$	$3.67 \times 10^{-6}$	10.0	$4.17 \times 10^{-14}$	$1.50 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-2}$	$9.89 \times 10^{-15}$	$3.56 \times 10^{-6}$	14.0	$5.89 \times 10^{-14}$	$2.12 \times 10^{-4}$
$1.0 \times 10^{-1}$	$5.89 \times 10^{-15}$	$2.12 \times 10^{-5}$	20.0	$6.25 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-4}$



- $10^{-8}$ - $10^{-2}$  MeV için nötron akısı-doz hızı dönüşüm faktörleri



- $10^{-2}$ -20 MeV için nötron akısı-doz hızı dönüşüm faktörleri



\*ANSI/ANS-6.1.1,1991



**Örnek:** Bir araştırma reaktörü demet çıkışında, verilen bir güçte 100 keV enerjili nötronların akısı  $1.6 \times 10^8$  n/m<sup>2</sup>s'dir. Ortalama enerjisi 0.025 eV termal nötronların akısı  $3.5 \times 10^8$  n/m<sup>2</sup>s'dir. Belirtilen noktadaki nötron doz hızı nedir?

Çizelgeden 100 keV için dönüşüm faktörü,  $5.89 \times 10^{-15}$  Sv/s

Çizelgeden 0.025 keV için dönüşüm faktörü,  $1.02 \times 10^{-15}$  Sv/s

$$\dot{H}(r) = \sum_g \varphi_g(r) * C_g$$

$$\dot{H} = [(1.6 \times 10^8) \times (5.89 \times 10^{-15})] + [(3.5 \times 10^8) \times (1.02 \times 10^{-15})]$$

$$\dot{H} = 1.30 \times 10^{-6} \text{ Sv/s}$$

$$\dot{H} = 0.467 \text{ rem/h}$$