

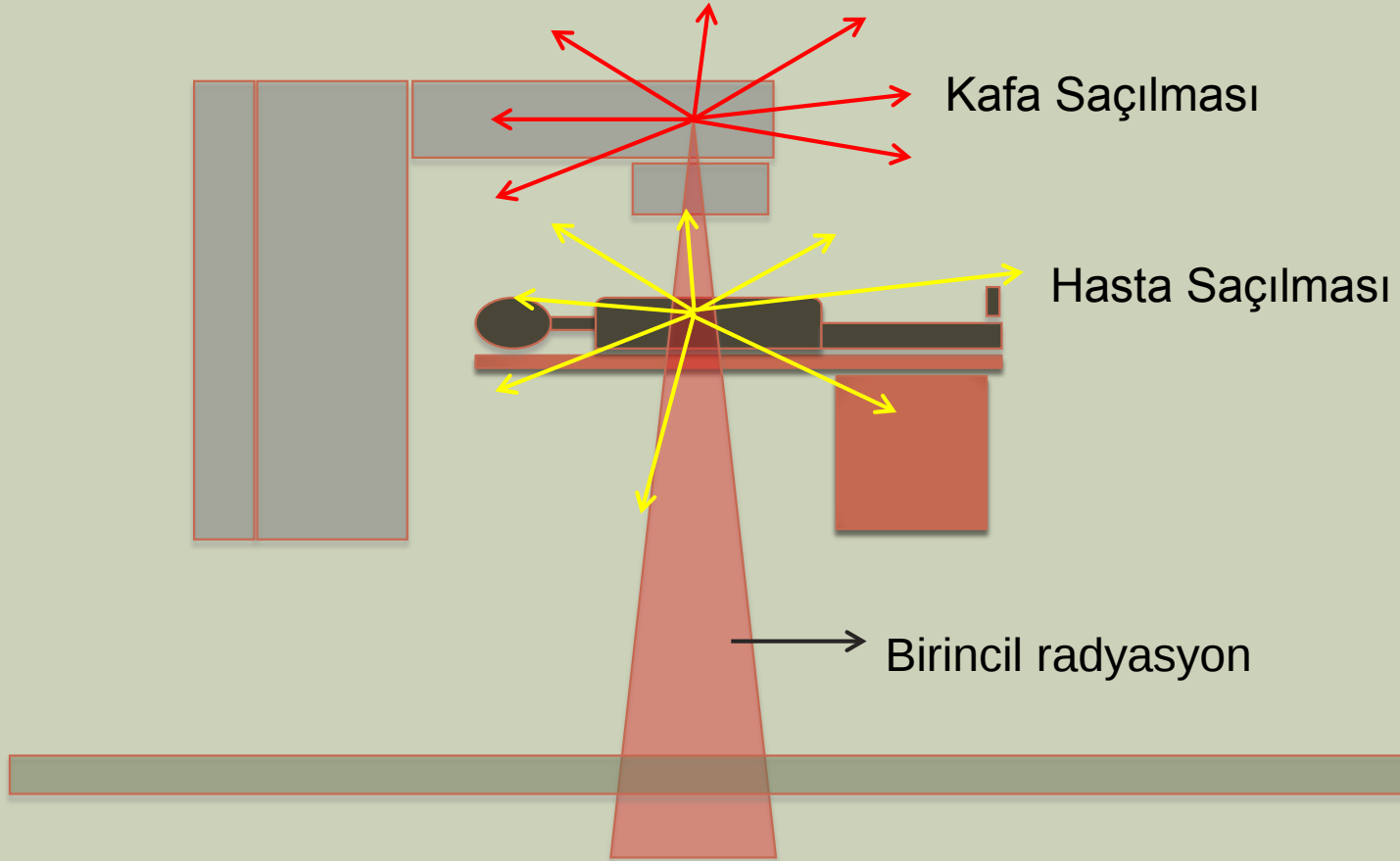
Radyoterapide Zırhlama Hesapları (NCRP 151)

Medikal Fizik Uzmanı Güngör ARSLAN

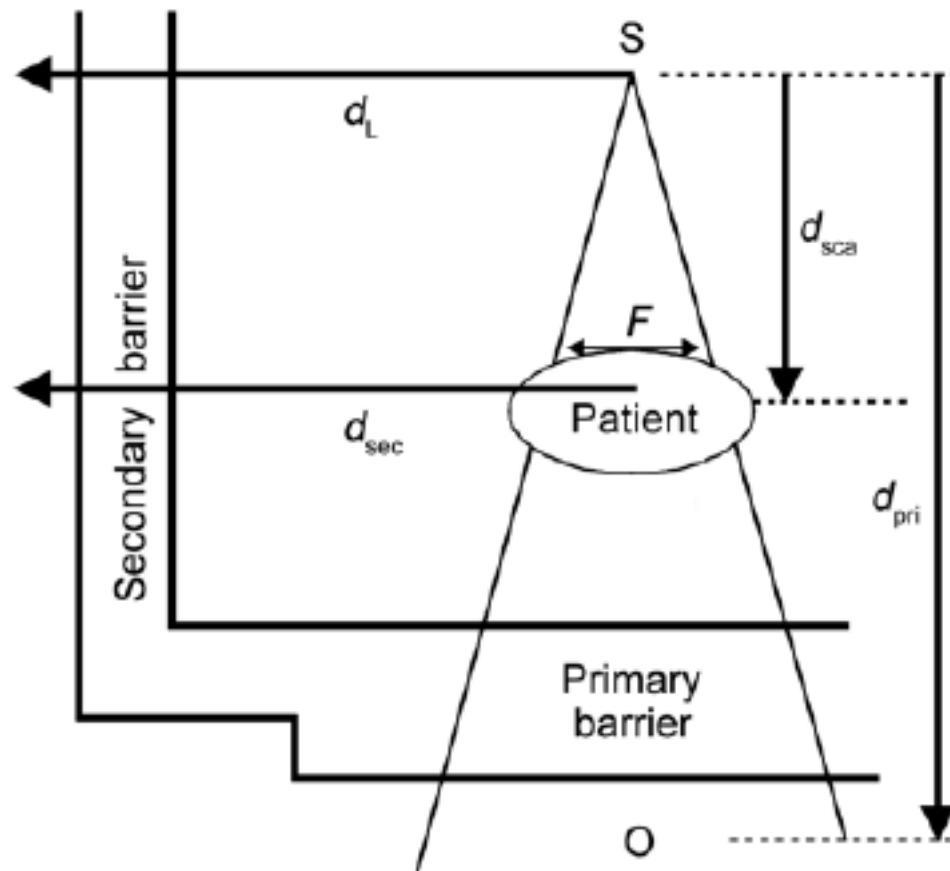
Radyasyon Kaynakları

- Birincil Radyasyon ; Cihaz kolimatörleri ile yönlendirilen ve tedavi amacıyla kullanılan radyasyon demeti,
- İkincil Radyasyon ;
 - 1- sızıntı radyasyon
 - 2- hastadan saçılan radyasyon
 - 3- duvarlardan saçılan radyasyon
 - 4- Cihaz kafası veya oda duvarlarından saçılma ile oluşan foto-nötron ve nötron capture gamma ışınlarını ifade eder.

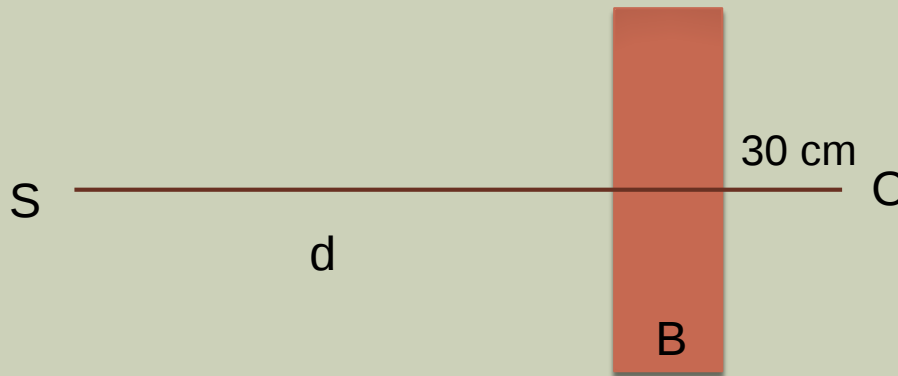
HESAPLAMA METODU



BARIYERLER



HESAPLAMA METODU



$$B(\text{Geçirgenlik Faktörü}) = \frac{\text{O noktasındaki Müsaade edilen Doz}}{\text{O noktasındaki Doz}}$$

$$\text{O noktasındaki Doz} = \frac{\text{S noktasındaki Doz}}{d^2}$$

- S= Kaynak
- O= Cismin olduğu nokta
- B= Bariyer
- d= Mesafe

BİRİNCİL BARIYER

$$B = \frac{P.(d + SAD)^2}{W.U.T}$$

P (Sv.hafta⁻¹) = bariyerden 30 cm uzakta haftalık müsaade edilen radyasyon dozu

d (m) = izomerkezden bariyerden sonraki noktaya kadar olan mesafe

SAD (m) = İzomerkez mesafesi,

W (Gy.hafta⁻¹) = 1 m deki haftalık iş yükü

U = Tüm tedaviler boyunca demetin ilgili duvara yönlenme kesri (kullanma)

T = Duvarın arkasının kişiler tarafından kullanma (meşguliyet) faktörü

n (TVL sayısı) = $\log_{10}(1/B)$

Beton kalınlığı = $TVL_1 - (n-1) TVL_e$

İKİNCİL BARIYER

$$B_p = \frac{P}{a.W.T.\left(\frac{F}{400}\right)} (d_{\text{sec}})^2 . (d_{\text{sca}})^2$$

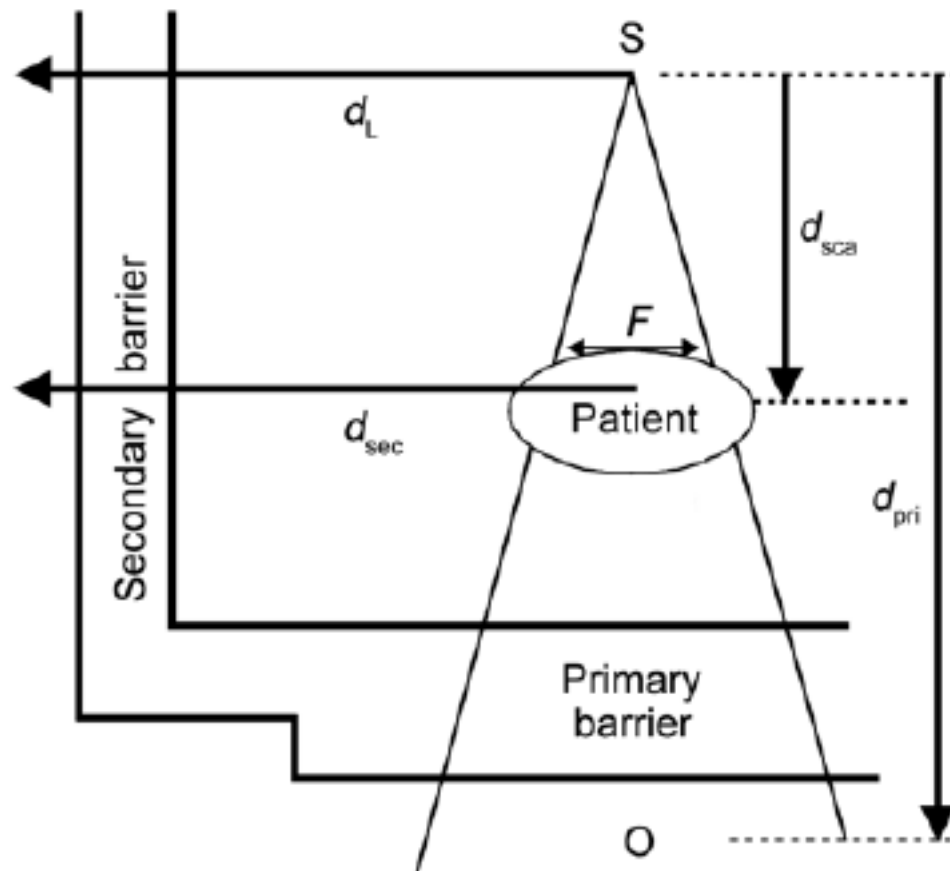
d_{sca} (m) = Kaynak hasta mesafesi (SAD)

d_{sec} (m) = Hasta ile ilgilenilen noktaya olan uzaklık

a = Birincil radyasyonun hastadan saçılma kesri

F (cm²) = hasta üzerindeki radyasyon alanı

BARIYERLER



SIZINTI RADYASYON

$$B_L = \frac{1000. P.d_s^2}{W.T}$$

- Sızıntı radyasyon faydalı demetin yaklaşık % 0,1'i kadardır.
- Sızıntı radyasyonun enerjisi birincil radyasyondan küçük miktarda azdır.
- $d_s(m)$ = İzo-merkezden ilgili noktaya olan uzaklık.
(Cihaz kafasının her yönde eşit olasılıkla kullanıldığı düşünülüyor)

BİRİNCİL RADYASYONUN DUVARDAN SAÇILMASI

$$B_w = \frac{P \cdot d_w^2 \cdot d_r^2}{\alpha \cdot A \cdot W \cdot U \cdot T}$$

d_w (m) = kaynak ile birincil radyasyonun saçıldığı duvar arasındaki uzaklık

d_r (m) = duvar ile ilgili noktaya olan uzaklık

α = duvar saçılma faktörü (duvar cinsine, açısına bağlı)

A (m²) = duvarda, radyasyonun düştüğü saçılan yüzey alanı

İŞYÜKÜ (W)

- Haftada isomerkeze verilin soğurulmuş doz.
- Eğer iş yükü belirlenemeyen hızlandırıcılar için
- NCRP 49 $W = 1000 \text{ Gy/hafta}$ 10 MV'e kadar
- NCRP 51 $W = 500 \text{ Gy/hafta}$ yüksek enerjili hızlandırıcılar

$$W(H) = 30 \text{ (hasta/gün)} \times 3 \text{ (Gy/hasta)} \times 5 \text{ (gün/hafta)} = 450 \text{ Gy/hafta}$$

$$W(L) = 15 \text{ (hasta/gün)} \times 3 \text{ (Gy/hasta)} \times 5 \text{ (gün/hafta)} = 225 \text{ Gy/hafta}$$

kULLANMA FAKTÖRÜ (U)

- Gantry açısına bağlı, gantrinin duvarın ortalama % kullanım faktörü

TABLE 3.1—*High-energy (dual x-ray mode) use-factor distribution at 90 and 45 degree gantry angle intervals.^a*

Angle Interval Center	U (%)
<i>90 degree interval</i>	
0 degree (down)	31.0
90 and 270 degrees	21.3 (each)
180 degrees (up)	26.3
<i>45 degree interval</i>	
0 degree (down)	25.6
45 and 315 degrees	5.8 (each)
90 and 270 degrees	15.9 (each)
135 and 225 degrees	4.0 (each)
180 degrees (up)	23

^aRodgers, J.E. (2001). Personal communication (Georgetown University, Washington). Unpublished reanalysis of the survey data in Kleck and Elsalim (1994).

ÖZEL UYGULAMALAR

■ (Tüm vücut ışınlaması) $W_{TBI} = D_{TBI} \times D_{TBI}^2$

■ IMRT uygulaması

$$MU_{IMRT} = \sum_i \frac{MU_i}{(D_{pre})_i}$$

$$C_i = \frac{MU_{IMRT}}{MU_{conv}}$$

IMRT factorü, 2 ile 10 arasında veya daha fazla

ÖZEL UYGULAMALAR

■ Birincil duvar ve duvar saçılması için işyükü

$$WU]_{\text{pri}} = WU]_{\text{wall scat}} = (W_{\text{conv}} U_{\text{conv}} + W_{\text{TBI}} U_{\text{TBI}} + W_{\text{IMRT}} U_{\text{IMRT}} + W_{\text{QA}} U_{\text{QA}} \dots)$$

■ İkincil duvar (hasta veya fantom saçılması) için işyükü

$$W]_{\text{pat scat}_{\text{iso}}} = W_{\text{conv}} + W_{\text{IMRT}} + W_{\text{QA}} + \dots$$

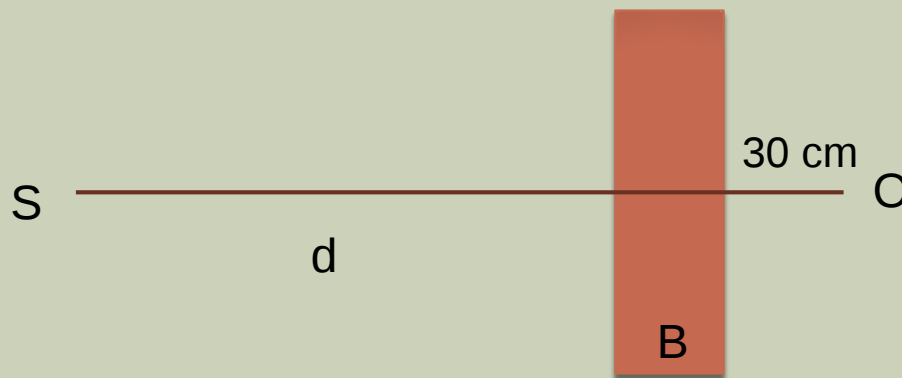
ÖZEL UYGULAMALAR

- İkincil duvar (sızıntı radyasyon) için iş yükü

$$W_L = W_{\text{conv}} + W_{\text{TBI}} + C_I W_{\text{IMRT}} + C_{\text{QA}} W_{\text{QA}} + \dots$$

ANLIK DOZ HIZI (IDR ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$))

- Bariyerden 0.3 m ötede, cihaz $\dot{D}_0$ doz hızı ile çalışırken, ölçüm cihazları ile 20 veya 60 s süresince ölçülen anlık doz hızı;
- $\dot{D}_0 = 1$ m deki (izomerkez) (Gy/h) olarak soğurulmuş doz hızı



ZAMAN ORTALAMALI EŞDEĞER DOZ HIZI (TADR) (R)

- BİRİNCİL RADYASYON İÇİN

- HAFTALIK TADR (R_w)

$$R_w = \frac{IDR * W_{pri} U_{pri}}{\dot{D}_0}$$

- R_w (Sv/Hafta)= bir haftalık ortalama TADR

- W_{pri} =Haftalık iş yükü Gy/hafta

HERHANI BİR SAATTEKİ TADR

- TADR (R_h)

$$R_h = \left(\frac{M}{40} \right) * R_w$$

- Herhangi bir saateki ortalama hasta sayısı =

$$45 \text{ hasta.d}^{-1} / 8 \text{ h.d}^{-1} = 5,6$$

- En iyi yaklaşımla bir saat içinde 10 hastadan fazla hasta tedavi edilemez $M = 10 / 5.6 = 1.8$

ÖRNEK

- 6 ve 18 MV dual x-ışını enerjili lineer hızlandırıcı

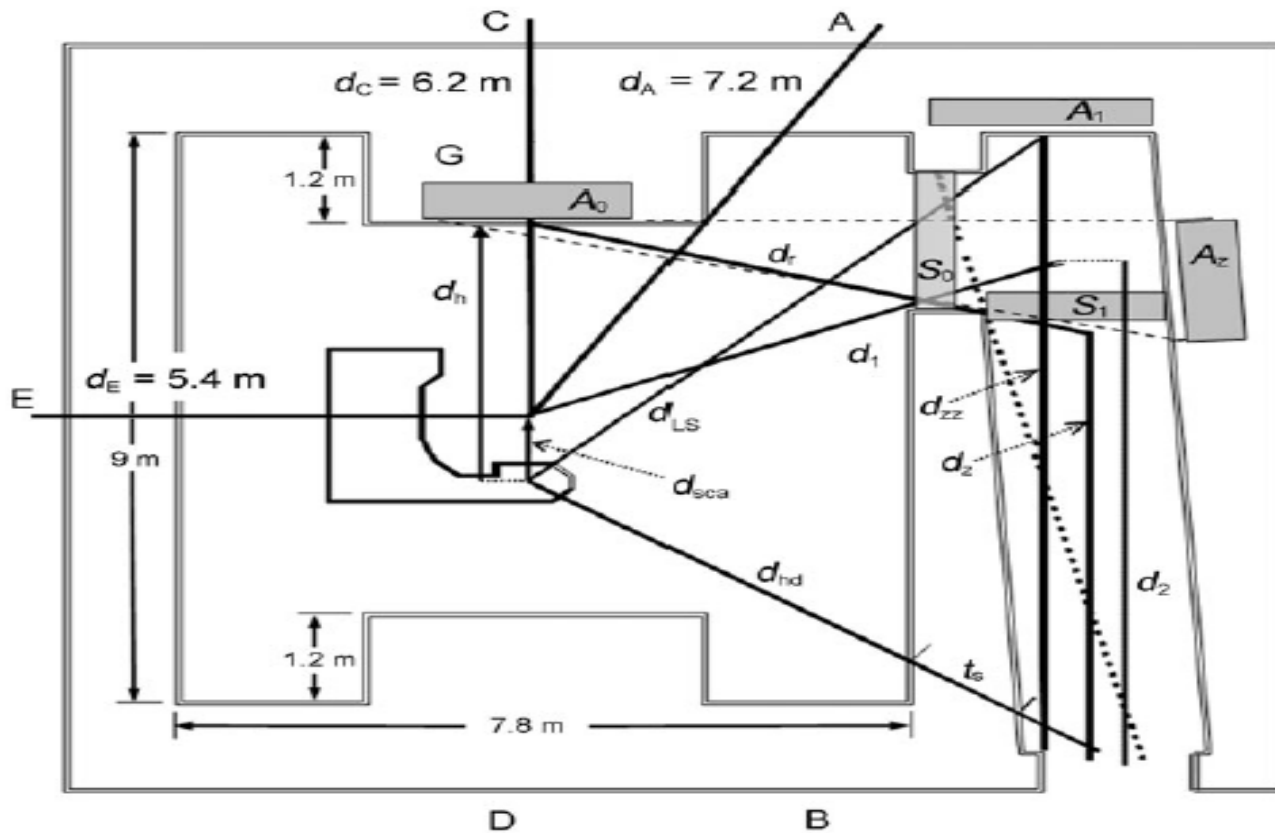


Fig. 7.1. Example for a dual-energy linear accelerator room with maze barrier.

ÖRNEK

Enerji = 6 and 18 MV

P_c = 0.02 mSv hafta⁻¹ Kontrolsüz alan (halk)

P_{uc} = 0.1 mSv hafta⁻¹ Kontrollü alan (çalışan)

$R_h(\text{max})$ = 0.02 mSv (20 µSv) (kontrolsüz alan için zırhlama proje hedefi)

W_{18MV} = 450 Gy/week

W_{6MV} = 225 Gy/week

SAD = 1 m

$\dot{D}_{\text{max}} = 12 \text{ Gy/min}$ veya 720 Gy/h $\dot{D}_{\text{normal}} = 5 \text{ Gy/min}$ veya 300 Gy/h

18 MV için C noktasına göre birincil duvar hesabı

$$\begin{aligned}d_c &= 6.2 \text{ m} \\U &= 0.25 \\T &= 1/40 = 0.025 \text{ park alanı}\end{aligned}$$

$$B = \frac{P.(d + SAD)^2}{W.U.T} = \frac{(20 \times 10^{-6}) \times (6.2 + 1)^2}{(450) \times (0.25) \times (0.025)} = 3.69 \times 10^{-4}$$

$$n = \log\left(\frac{1}{3.69 \times 10^{-4}}\right) = 3.43$$

$TVL_1 = 45 \text{ cm}$, $TVL_e = 43 \text{ cm}$ 18 MV ve standart beton için

Beton kalınlığı $= TVL_1 - (n-1) TVL_e$

$$t_{pri} = 45 + (3.43-1) 43 = 149.6 \text{ cm} = 150 \text{ cm}$$

$$t_{pri} = \mathbf{150 \text{ cm}}$$

C noktasının analizi

1. Acaba C noktası 6MV için uygun bir kalınlıktamıdır?

$TVL_1 = 437 \text{ cm}$, $TVL_e = 33 \text{ cm}$ 6 MV standart beton

$$H(6MV) = B_{pri} WUT (1 + d)^{-2}$$

$$B = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(t - TVL_1)}{TVL_e} \right] \right\}}$$

$$B_{pri}(6MV) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(150 - 37)}{33} \right] \right\}} = 3.76 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} H(6MV) &= (3.76 \times 10^{-5})(225)(0.25)(0.02)(1 + 6.2)^{-2} \\ &= 1 \times 10^{-6} \text{ Sv/week} = 1 \mu\text{Sv/hafta} \end{aligned}$$

$$H(6MV) (1 \mu\text{Sv}) \ll R_h(\text{max}) (20 \mu\text{Sv})$$

6 MV x-ışını için kalınlık yeterli

2) C noktası için TADR değerlendirmesi

$$IDR(18MV) = \frac{\dot{D}_{\max} B_{pri}(18MV)}{(1+d)^2} = \frac{720 \times 3.69 \times 10^{-4}}{(1+6.2)^2} = 5 \times 10^{-3} \text{ Sv/h} = 5 \text{ mSv/h}$$

$$R_w((18MV)) = \frac{IDR W_{pri} U_{pri}}{\dot{D}_{\max}} = \frac{5 \times 10^{-3} \times (450) \times (0.25)}{720} = 800 \times 10^{-6} \text{ Sv/hafta}$$

$$IDR(6MV) = \frac{\dot{D}_{\max} B_{pri}(6MV)}{(1+d)^2} = \frac{720 \times 3.76 \times 10^{-5}}{(1+6.2)^2} = 5.2 \times 10^{-4} \text{ Sv/h} = 0.52 \text{ mSv/h}$$

$$R_w(6MV) = 41 \times 10^{-6} \text{ Sv/hafta} \quad R_h = \left(\frac{M}{40} \right) R_w(\text{toplama}) = \left(\frac{M}{40} \right) [R_w(6MV) + R_w(18MV)]$$

$R_h = 38 \mu\text{Sv}$ Herhangi bir saatte

$R_h (38 \mu\text{Sv}) > R_h(\text{max}) (20 \mu\text{Sv})$ olduğundan dolayı 1 HVL eklenir.

En kötü olasılık düşünülür ise 18 MV iş yükü için 2 HVL eklenir.

$$t_{\text{pri}}(C) = 150 + 2(0.301)(43) = 176 \text{ cm}$$

$$t_{\text{pri}}(C) = 176 \text{ cm}$$

Ek beton ile $R_h = 9 \mu\text{Sv}$ Herhangi bir saatte, 20 μSv TADR limitimin yeterince altında .

1) Hasta saçılması yaklaşımı

$$d_{sca} = 1 \text{ m}$$

$$d_{sec} = 6.2 \text{ m}$$

$$\alpha(18\text{MV}) = 1.42 \times 10^{-2} \text{ (Tablo B.4 den 2.5 cm derinlikten 10 derece ile saçılan 18 MV için)}$$

$$\alpha(6\text{MV}) = 1.04 \times 10^{-2} \text{ (aynı tablodan 6MV için)}$$

$$T = 1/40 = 0.025$$

$$U = 0.25$$

$$F = (40 \times 40) \text{ cm}^2$$

$$\text{TVL}_{sca}(6 \text{ MV}) = 35 \text{ cm Beton}$$

$$\text{TVL}_{sca}(18 \text{ MV}) = 45 \text{ cm Beton}$$

$$B_{sca}(6\text{MV}) = 10^{-\left(\frac{176}{35}\right)} = 9.36 \times 10^{-6}$$

$$H_{sca}(6\text{MV}) = \frac{B_{sca} \cdot a \cdot W \cdot U \cdot T \cdot \left(\frac{F}{400}\right)}{d_{sec}^2 d_{sca}^2} = 0.014 \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$$

$$B_{sca}(18\text{MV}) = 10^{-\left(\frac{176}{45}\right)} = 1.23 \times 10^{-4}$$

$$H_{sca}(18\text{MV}) = 0.51 \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$$

Her iki enerji içinde 20 $\mu\text{Sv/hafta}$ 'nın yeterince altında.

2) Sızıntı Radyasyon Yaklaşımı

$$d_L = 6.2 \text{ m}$$

$$\text{TVL}_L (6 \text{ MV}) = 34 \text{ cm (TVL}_1) \text{ ve } 29 \text{ cm (TVL}_e)$$

$$\text{TVL}_L (18 \text{ MV}) = 36 \text{ cm (TVL}_1) \text{ ve } 34 \text{ cm (TVL}_e)$$

$$B_L (6 \text{ MV}) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(176-34)}{29}\right]\right\}} = 1.27 \times 10^{-6}$$

$$H_L (6 \text{ MV}) = \frac{B_L \cdot 10^{-3} \cdot W \cdot T}{d_L^2}$$
$$= 1.9 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$$

$$B_L (18 \text{ MV}) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(176-36)}{34}\right]\right\}} = 7.63 \times 10^{-6}$$

$$H_{\text{sca}} (18 \text{ MV}) = 2.2 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$$

Her İki enerji içinde 20 $\mu\text{Sv/hafta}$ 'nın yeterince altında.

3) IMRT hesaplaması

6 MV lerin %80'i 6MV ve 18 MV lerin %40'ının IMRT ile tedavi edildiğini düşünürsek.

$$C_I = 5$$

$$W_L = W_{\text{conv}} + C_I W_{\text{IMRT}}$$

$$W_L(6MV) = (0.2)(225 \text{ Gy/hafta}) + (5)(0.8)(225 \text{ Gy/hafta})$$

$$W_L(6MV) = 945 \text{ Gy/hafta} \text{ is yükü 4.2 kat artar}$$

$$W_L(18MV) = (0.6)(450 \text{ Gy/hafta}) + (5)(0.4)(450 \text{ Gy/hafta})$$

$$W_L(18MV) = 1170 \text{ Gy/week is yükü 2.6 kat artar}$$

$$H_L(6MV) = 8 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{Sv/hafta} \quad H_{\text{sca}}(18MV) = 5.7 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$$

Her iki enerji içinde $20 \text{ } \mu\text{Sv/hafta}$ 'nın yeterince altında.

DİZAYN DOZ LİMİT

Çalışma süresi = 8 saat/gün, 5 gün/hafta, 50 hafta/yıl

	Annually	weekly	TADR
Kontrollü, alan	5 mSv	0.1 mSv = 100 µSv	100 µSv/h
Halkın Kullandığı Alan	1 mSv	20 µSv	20 µSv/h

Örnek

- İyon odası veya GM ile bir noktada ölçüm yapılsın ve
- Ölçüm (IDR) = 100 $\mu\text{Sv/h}$ olsun
- İş yükü ($W_{18\text{MV}}$)= 450 Gy/week
- Kullanma Faktörü (U)= 0,25
- Doz hızı ($\dot{D}$) = 5 Gy/dakika veya 300 Gy/saat

$$R_w = \frac{IDR * W_{pri} U_{pri}}{\dot{D}_0}$$

$$R_w(TADR) = \frac{100 \times 10^{-6} \times 0,25}{300} = 0,83 \text{ } \mu\text{Sv/ hafta}$$

KAPI HESABI

■ Kapı hesabında dikkate alınacak parametreler

A. X-ışını radyasyonu

1. Birincil radyasyonun duvara çarparak saçılması
2. Sızıntı Radyasyon
3. Sızıntı radyasyonun duvarlardan saçılması
4. Hasta Saçılması
5. Maze duvarından geçen sızıntı radyasyon

KAPI HESABI

Kapı hesabında kullanılacak dozlar

A. X-ışını radyasyonu

1. Birincil radyasyonun duvara çarparak saçılması
2. Sızıntı Radyasyon
3. Sızıntı radyasyonun duvarlardan saçılması
4. Hasta Saçılması
5. Maze duvarından geçen sızıntı radyasyon

B. Nötron Capture gamma doz

C. Nötron Dozu

X-ışını Dozu

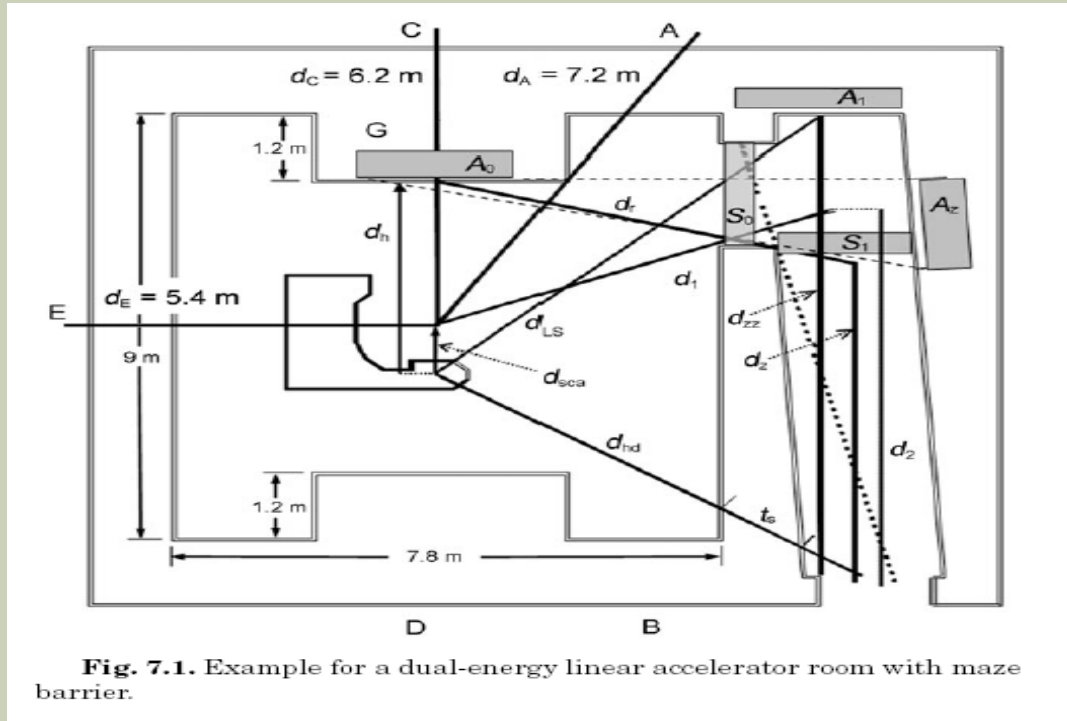


Fig. 7.1. Example for a dual-energy linear accelerator room with maze barrier.

$$H_g = f x H_s + H_{LS} + H_{ps} + H_{LT}$$

$$H_{tot} = 2,64 x H_G$$

Capture gamma Doz

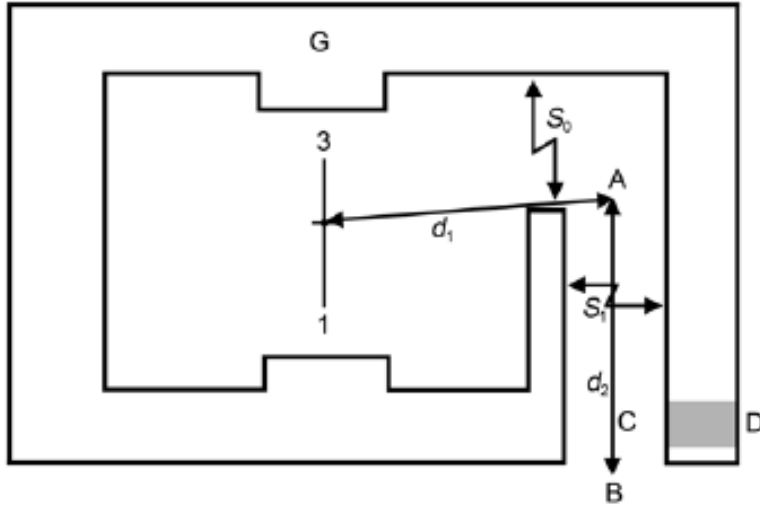


Fig. 2.8. Room layout for calculating neutron capture gamma-ray and neutron dose equivalents at the maze door.

$$h_q = K \times Q_A \times 10^{-\left(\frac{d_2}{TVD}\right)}$$

$K = 6.9 \times 10^{-16} \text{ Sv m}^2$ A noktasında toplam nötron akısı için nötron capture gamma ışını oranı (22 tesiste yapılan çalışmalar sonrası bulunmuş ortalama bir değer)

Q_A = A noktasındaki toplam nötron akısı

d_2 = A noktasından kapıya kadar olan mesafe

TVD = nötronu onda bire düşüren mesafesi

3,9 m 15 MV için, 5,4 m (18-25 MV arası)

Capture gamma Doz

$$\phi_A = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4\beta Q_n}{2\pi S_r} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S_r}$$

β = Nötronun cihaz kafasından geçme oranı Kurşun için 1 Tugsten için 0,85

d_1 = izomerkezden maze girişine olan mesafe

Q = Gy başına cihaz kafasından yayınlanan nötron şiddeti

S_r = Tedavi odasının m² olarak toplam alanı

$$H_{\alpha g} = W_L x h_q$$

TABLE B.9—Neutron dose equivalent (H_0) at 1.41 m from the target per unit absorbed dose of x rays at the isocenter (mSv Gy^{-1}) and total neutron source strength (Q_n) emitted from accelerator head. A graph of Q_n as a function of nominal endpoint energy for the data in Table B.9 is presented in Figure B.1.

Vendor	Model	Endpoint Energy (MV)		H_0	Q_n	Reference
		Nominal	Using AAPM (1983)	mSv / Gy	Neutrons per gray ($\times 10^{12}$)	
Varian	1800	18	16.6	1.02 – 1.6	1.22	McGinley (2002)
	1800	15		0.79 – 1.3	0.76	McGinley (2002)
	1800	10		0.04	0.06	McGinley (2002)
	2100C ^a	18			0.96	Followill <i>et al.</i> (2003)
	2100C ^a	18			0.87	Followill <i>et al.</i> (2003)
	2300CD	18			0.95	Followill <i>et al.</i> (2003)
	2500	24			0.77	Followill <i>et al.</i> (2003)
Siemens	KD	20	16.5	1.1 – 1.24	0.92	McGinley (2002)
	MD ^a	15		0.17	—	McGinley (2002)
	MD2	10			0.08	Followill <i>et al.</i> (2003)
	MD ^a	15			0.2	Followill <i>et al.</i> (2003)
	KD	18			0.88	Followill <i>et al.</i> (2003)
	Primus	10			0.02	Followill <i>et al.</i> (2003)
	Primus ^a	15			0.12	Followill <i>et al.</i> (2003)
Philips/Electa	Primus ^a	15			0.21	Followill <i>et al.</i> (2003)
	SL25 ^a	25	22	2.0	2.37	McGinley (2002)
	SL20	20	17	0.44	0.69	McGinley (2002)
	SL20	18			0.46	Followill <i>et al.</i> (2003)
	SL25	18			0.46	Followill <i>et al.</i> (2003)
GE	SL25 ^a	25			1.44	Followill <i>et al.</i> (2003)
	Saturne41	12	11.2	0.09	0.24	McGinley (2002)
	Saturne41	15	12.5	0.32	0.47	McGinley (2002)
	Saturne43 ^a	18	14.0	0.55	1.50	McGinley (2002)
	Saturne43 ^a	18			1.32	Followill <i>et al.</i> (2003)
	Saturne43	25	18.5	1.38	2.4	McGinley (2002)

^aTwo separate units of the same model and nominal endpoint energy.

Nötron Dozu (Kersey metodu)

$$H_{n,D} = H_0 \times \left(\frac{S_0}{S_1} \right) \times \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^2 \times 10^{-\left(\frac{d_2}{5} \right)}$$

H_0 = Eşdeğer Nötron Dozu

S_0 and S_1 maze kesit alanı m^2 olarak

d_0 , d_1 ve d_2 mesafeler

$$H_n = W_L \times H_{n,D}$$

Kapı Hesabı

$$H_w = H_{tot} + H_{cg} + H_n$$

BPE kalınlığını hesaplar iken H_n (μSv) değeri kullanılacak

Nötron dozunu $P/2 = 50 \mu\text{Sv/haftaya}$ düşürmek için gerekli TVL sayısı (n)

$$n = \log_{10} \left(\frac{H_n}{50} \right)$$

$$\text{TVL(BPE)} = 45 \text{ mm}$$

$$\text{kalınlık} = n \cdot \text{TVL}$$

X-ışını dozları ve capture gamma dozu toplamı ile de kurşun kalınlığı bulunur
TVL for lead = 6 mm.

$$n = \log_{10} \left(\frac{(H_{top} + H_{cg})}{50} \right)$$

İLGİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM