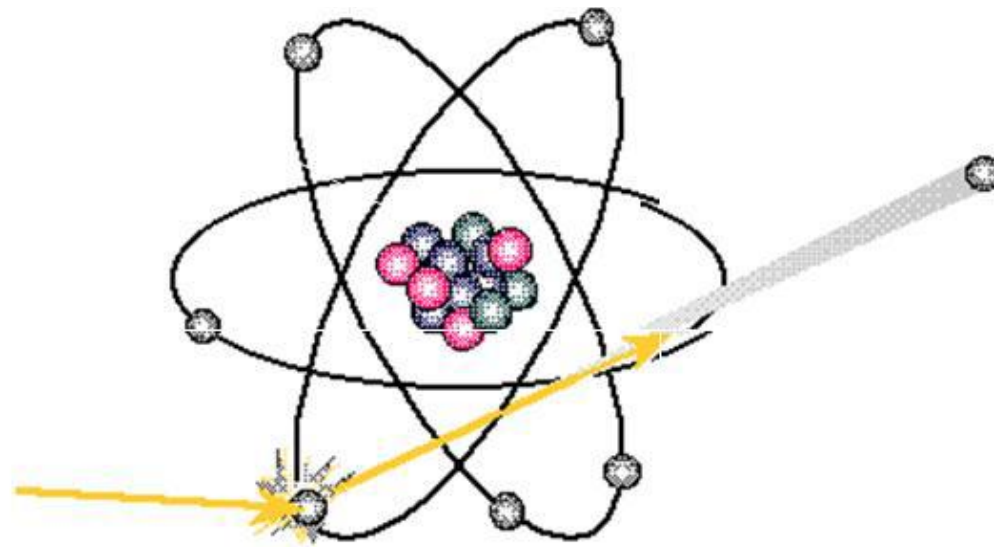


بهداشت پرتوها

کارشناسی پیوسته بهداشت حرفه ای

دانشگاه علوم پزشکی ایلام

مبحث – پرتوهای یونساز (راهنمای حفاظت در برابر پرتو)



Presented By: Ahmad Mehri

راهنمای حفاظت در برابر تابش

2

- سازمان بین المللی بهداشت شغلی براساس حساسترین آزمونهای پذیرفته شده بین المللی **بیشینه تراکم مجاز ماده** را چنین تعریف کرد که تراکم متوسط آن ماده در هوا است که در طول کار مداوم روزانه نتواند هیچگونه نشانی از آسیب بدنی یا علامت بیماری در هیچ یک از کارکنان، به استثنای کسانی که حساسیت خیلی زیادی دارند، ایجاد کند.
- آنطور که ICRP آمده است محدودیت دز توصیه شده بر ۳ اصل متکی است:
 1. هیچ اقدامی (که منجر به پرتوگیری می شود) نباید انجام شود **مگر اینکه نتیجه مثبت و صریحی** در برداشته باشد.
 2. کلیه پرتوگیرها باید تا حد **معقول و ممکن، پایین نگه داشته** شود.
 3. دز معادل (equivalent dose) برای افراد مختلف **نباید از آنچه ICRP با** مراعات جنبه های احتیاطی پیشنهاد کرده است بیشتر شود.
- لازم به تذکر است که بند ۲ بالا بر این نکته اصرار دارد که حدود واقعی دز در هر **فعالیت پرتوشناختی باید خیلی محدودتر از حد بیشینه** دز توصیه شده باشد. این روش عملی به روش ALARA (روش تا حد معقول و ممکن پایین) (as low as reasonably achievable) معروف است.

راهنمای حفاظت در برابر تابش

3

- معیارهای اصلی ایمنی تابش

ICRP به منظور تعیین استانداردهای ایمنی تابش سه نوع پرتوگیری را مشخص کرده است:

۱- **پرتوگیری شغلی** اشخاص بالغ هنگام کار با تابش یوننده. این افراد که می توان آنها را کارگران تابش نامید به نوبه خود به دو زیر گروه تقسیم می شود:

الف) زنان باردار

ب) سایر کارگران تابش

۲- **پرتوگیری عامه مردم در جامعه**

۳- **پرتوگیری پزشکی**. این دسته شامل بیماران و اشخاصی می شوند که به خاطر مسائل تشخیصی و درمانی ناچار از پرتوگیری هستند.

نکته: کسانی که ضمن پرتوگیری بیماران خود به طور اتفاقی پرتو می گیرند جز این دسته به حساب نمی آیند و جز پرتوگیری شغلی در نظر گرفته می شوند.

دوز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد قدیمی (Rem)

- نه تنها نوترون‌ها در تولید آب مروارید مؤثرتر از اشعه ایکس هستند، بلکه تشعشعات آلفا نیز مؤثرتر از پرتوهای بتا یا گاما هستند.
- در مقایسه سمیت نسبی یا پتانسیل ایجاد آسیب یک دز جذب شده معین از پرتوهای مختلف، مشخص شده است که هر چه میزان LET پرتو بیشتر باشد، در تولید آسیب بیولوژیکی مؤثرتر است.
- نسبت مقدار انرژی از پرتوهای ایکس 250Kev مورد نیاز برای ایجاد یک اثر بیولوژیکی معین به مقدار انرژی از هر تابش دیگر برای ایجاد همان اثر، اثربخشی بیولوژیکی نسبی (RBE, Relative biological effectiveness) آن تابش نامیده می شود.
- RBE هر تشعشع خاص به اثر بیولوژیکی دقیق روی یک گونه معین از ارگانیسم تحت مجموعه خاصی از شرایط آزمایشی بستگی دارد.
- به عنوان مثال، RBE برای نوترون‌های 14Mev برای کشتن جنین‌های سوسک آمریکایی ۱۶ است، یعنی اثر بخشی بیولوژیکی نسبی آن ۱۶ برابر بیشتر از حد معیار پرتو ایکس 250Kev است.
- با این حال، برای کشندگی در موش‌ها، RBE نوترون‌های سریع تنها حدود ۲ (در مقایسه با پرتو ایکس 250Kev) است.

دوز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد قدیمی (Rem)

5

- برای اهداف فیزیک بهداشت، یک حد محافظه کارانه تر از RBE برای اثر بیولوژیکی پرتوها نسبت پرتو ایکس مرجع (۲۵۰ Kev) در نظر گرفته می شود که آن را فاکتور کیفیت می نامند و توسط کمیسیون تنظیم مقررات هسته ای ایالات متحده (Nuclear Regulatory Commission (NRC)) با حرف Q نشان داده می شود.
- NRC ایالات متحده، واحدهای وزنی پرتو (H) را براساس واحدهای قدیمی دوز معادل پرتو یعنی rem بیان می کند،
- در واحد قدیمی دوز معادل، که دوز جذب شده را بر حسب راد (D_T) بیان می کند، دوز معادل (H_T) در یک بافت یا اندام T، براساس فاکتور کیفیت (Q_R) تعریف می شود.

$$H_T(\text{rems}) = D_T(\text{rads}) \times Q_R$$

دوز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد جدید (SIEVERT)

6

- ICRP واحد جدید دوز معادل (H_T) می نامد و آن را Sievert (Sv) نامیده است.
- دوز در بافت یا اندام مورد نظر (T)، توسط ICRP به صورت معادله زیر تعریف می شود که در آن $D_{T,R}$ میانگین دوز جذبی (بر حسب گری) ناشی از پرتو R در داخل بافت یا اندام T می باشد.

$$H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R}$$

- اگر اندام یا بافت تنها توسط یک نوع پرتو تابش شود، معادله به صورت زیر ساده می گردد:

$$H_T = w_R \times D_T$$

- با توجه به معادله بالا و مقادیر w_R در جدول اسلاید بعد، دوز جذب شده ۱ میلی گری پرتوهای X ، بتا یا گاما برابر با دوز معادل ۱ mSv است .
- در حالی که دوز جذب شده ۱ میلی گری از نوترون های ۵Mev/۰ برابر با دوز معادل ۲۰ mSv را می دهد.
- حدود دوز در سیستم SI به صورت سیورت یا میلی سیورت بیان می شود.

فاکتور کیفیت برای دز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد قدیم و جدید

7

- مقادیر اختصاص داده شده به Q توسط NRC پیشنهاد شده و w_R و $*w_R$ پیشنهادی توسط ICRP در جدول زیر نشان داده شده است:

TABLE 7-15 Quality (Q) and Radiation Weighting Factors (w_R) for Various Radiations

RADIATION	Q	w_R	$*w_R$
X, gamma, beta—all energies	1	1	1
Neutrons			
Thermal	2	5	4.4
0.01 MeV	2.5	10	3
0.1 MeV	7.5	10	10
0.5 MeV	10	20	19
>0.1–2 MeV		20	
>2–20 MeV		10	
>20 MeV		5	
Unknown energy	10		
High-energy protons	10	5	2
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20	20

Sources: Q: Adapted from NRC Regulations (10 CFR Part 20); w_R : Adapted with permission from ICRP Publication 92. *Ann ICRP*. 2003;33(4): 1–121. Copyright © 2003 International Commission on Radiological Protection; $*w_R$ Note that neutron radiation weighting factors are calculated for all values. Data from ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP*, 37 (2–4).

دوز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد جدید (Sivert)

8

- قابل ذکر است که ICRP فاکتور کیفیت را با نماد w_R (براساس ICRP 92) سال ۲۰۰۳ و w_R^* (براساس ICRP 103) سال ۲۰۰۷ می باشد تغییر داده است.
- مقادیر w_R^* برای نوترون براساس ICRP 103 با استفاده از فرمول زیر بیان شده است:

$$\begin{aligned} E_n < 1 \text{ MeV}, \quad w_R &= 2.5 + 18.2e^{-\left(\frac{[\ln(E_n)]^2}{6}\right)} \\ E_n = 1 - 50 \text{ MeV}, \quad w_R &= 5.0 + 17.0e^{-\left(\frac{[\ln(2E_n)]^2}{6}\right)} \\ E_n > 50 \text{ MeV}, \quad w_R &= 2.5 + 3.25e^{-\left(\frac{[\ln(0.04E_n)]^2}{6}\right)} \end{aligned}$$

دز معادل (equivalent dose) بر حسب واحد جدید (Sivert)

9

- مثال: آهنگ دز یک سیکلوترون برابر با $5\mu\text{Gy/h}$ (0.5m rad/h) برای گاما، $2\mu\text{Gy/h}$ (0.2mrad/h) برای نوترون های حرارتی، و $1\mu\text{Gy/h}$ (0.1mrad/h) برای نوترونهای سریع با انرژی بیشتر از 2 MeV می باشد، آهنگ دز معادل پرتوهای ترکیبی با توجه به مقادیر ۹۲ ICRP برای w_R چقدر است؟
- همانطور که در جدول زیر نشان داده شده است، اگر آهنگ دز جذب شده را در فاکتور وزنی پرتوگیری مناسب ضرب کنیم، آهنگ دز معادل برابر با $25\mu\text{ Sv /h}$ بدست آمد.

$$D \times w_R = H$$

Gamma rays

$$5\mu\text{Gy/h} \times 1 = 5\mu\text{Sv/h}$$

Thermal neutrons

$$2\mu\text{Gy/h} \times 5 = 10\mu\text{Sv/h}$$

Fast neutrons

$$1\mu\text{Gy/h} \times 10 = 10\mu\text{Sv/h}$$

$$\text{Equivalent dose rate, } H = 25\mu\text{Sv/h}$$

راهنمای حفاظت در برابر تابش

10

پرتوگیری مواجهه شغلی

ICRP در مورد پرتوگیری شغلی، حدود دز معادل سالانه را به ترتیب زیر توصیه می کند:

۱- برای جلوگیری از اثرات **غیر تصادفی**:

الف) حد $SV \ 5/0$ ($rem \ 50$) برای مواجهه هریک اعضای بدن به جز عدسی چشم.

ب) حد $SV \ 15/0$ ($rem \ 15$) برای عدسی چشم.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

۲- برای محدود کردن اثرات **تصادفی**، حد دز معادل ناشی از تابش دهی یکنواخت تمام بدن برابر $mSv \ 50$ ($rem \ 5$) در سال تعیین می شود.

نکته مهم: **دز معادل** برای ارزیابی خطرات بیولوژیکی پرتوهای مختلف بر **یک عضو خاص** استفاده می شود.

راهنمای حفاظت در برابر تابش

11

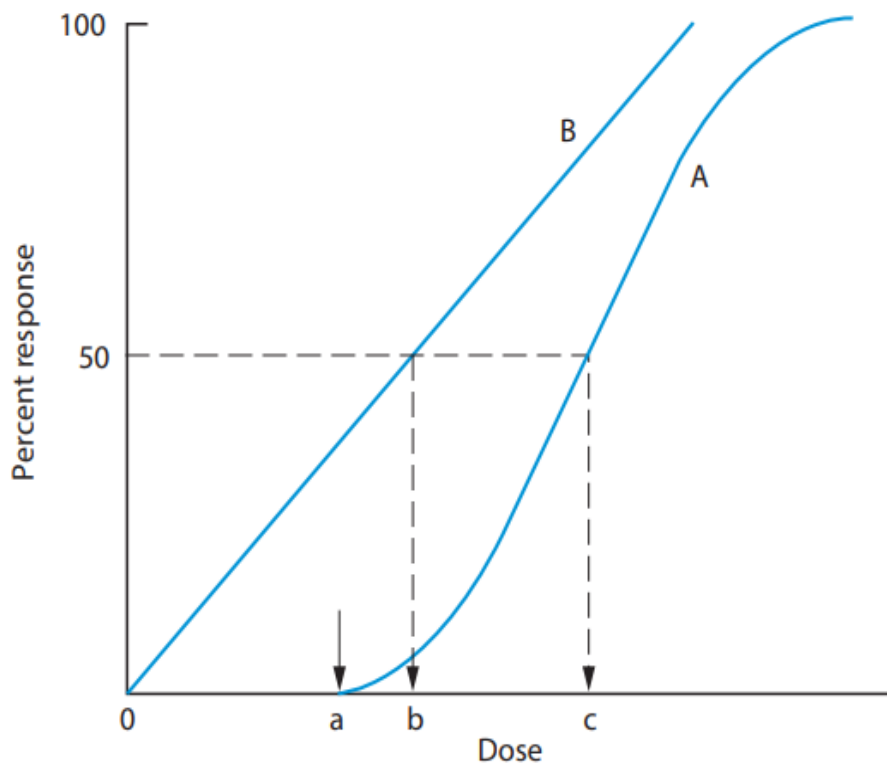


Figure 7-1. Dose–response curves. Curve A is the characteristic shape for a biological effect that exhibits a threshold dose—point *a*. The spread of the curve from the threshold at point *a* until the 100% response is thought to be due to “biological variability” around the mean dose, point *c*, which is called the 50% dose. Curve B represents a zero-threshold, linear response. Point *b* represents the 50% dose for the zero-threshold biological effect being studied.

نکته: **اثرات تصادفی** (limit stochastic effects) پرتوها به اثراتی اشاره دارد که به صورت تصادفی و به دنبال مواجهه با اشعه ایجاد می شوند، **اما شدت این اثرات وابسته به مقدار دز پرتو نیست**. به عبارت دیگر، افزایش دز پرتویی فقط احتمال بروز اثرات تصادفی را افزایش می دهد، نه شدت آن را.

به عنوان مثال سرطان و اثرات ژنتیکی (انتقال ناهنجاری ژنتیکی به نسل دیگر).

اثرات غیرتصادفی (non-stochastic effects): به اثراتی اشاره دارد که رابطه مستقیمی با دزهای دریافتی دارند و بر خلاف اثرات تصادفی، شدت این اثرات با افزایش دز پرتویی بیشتر می شود. این اثرات زمانی رخ می دهد که دز پرتویی به یک آستانه مشخص برسد. یعنی زیر این آستانه، اثرات قابل توجهی دیده نمی شود.

برخی از مهمترین ویژگیهای اثرات غیرتصادفی شامل وجود آستانه و شدت وابسته به دز است.

دوز موثر (Effective Dose)

12

- دوز موثر (effective dose)، یکی از معیارهای کلیدی در ارزیابی خطر تابش یونساز است. این مقدار به ما کمک می کند تاثیر تابش بر بدن انسان را نه تنها براساس مقدار تابش و نوع تابش (ضرایب وزنی تابش (Q، WR، WR*) بلکه براساس حساسیت اندامها (ضرایب وزنی بافت) مشخص کنیم.

- نکته مهم: یعنی دوز موثر علاوه بر ضرایب وزنی تابش (Q، WR)، ضرایب وزنی بافت را هم در نظر می گیرد.

تفاوت دوز معادل و دوز موثر:

۱- تمرکز: دوز معادل بر تاثیر پرتو بر یک عضو خاص تمرکز دارد، در حالی که دوز موثر به خطرات کلی پرتوگیری بر کل بدن می پردازد.

۲- محاسبه: دوز معادل فقط نوع پرتو و مقدار تابش را در نظر می گیرد، اما دوز موثر علاوه بر نوع پرتو و مقدار تابش، حساسیت بافت ها (فاکتور وزنی برای بافت) را در نظر می گیرد.

۳- کاربرد: دوز معادل برای ارزیابی خطرات موضعی و دوز موثر برای ارزیابی خطرات کلی استفاده می شود.

$$H_E = \sum_T w_T H_T$$

- بنابراین H_E یا دوز موثر به صورت زیر می باشد:

WT: فاکتور وزنی برای بافت

HT: دوز معادل بافت T است

دوز موثر (Effective Dose)

13

- همانطور که در جدول زیر مشاهده می گردد، فاکتور وزنی برای هر بافت بیان شده است.
- اگر دز تابش در سراسر بدن یکنواخت باشد، آنگاه فاکتور وزنی بافت ۱ در نظر گرفته می شود.

TABLE 8-3 Tissue Weighting Factors, w_T

TISSUE, w_T	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103
Gonads	0.25	0.20	0.08
Breast	0.15	0.05	0.12
Red bone marrow	0.12	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12	0.12
Thyroid	0.03	0.05	0.04
Bone surface	0.03	0.01	0.01
Colon	—	0.12	0.12
Stomach	—	0.12	0.12
Bladder	—	0.05	0.04
Liver	—	0.05	0.04
Esophagus	—	0.05	0.04
Skin	—	0.01	0.01
Salivary glands	—	—	0.01
Brain	—	—	0.01
Remainder*	0.30	0.05	0.12
Total	1.00	1.00	1.00

حد مجاز دز موثر (Effective Dose)

14

TABLE 8-2 ICRP 26/60/103/130 Recommended Dose Limits

APPLICATION	ICRP 26 OCCUPATIONAL	ICRP 26 PUBLIC	ICRP 60 OCCUPATIONAL	ICRP 60/103 PUBLIC	ICRP 103/130 OCCUPATIONAL
Whole body	50 mSv	1 mSv	2 mSv/yr averaged over 5 years, maxi- mum dose in any year 50 mSv	1 mSv	2 mSv/yr averaged over 5 years, maxi- mum dose in any year 50 mSv

حد مجاز دز موثر (Effective Dose)

15

- حدود دز توصیه شده ICRP 26 در سال ۱۹۹۰ توسط ICRP 60 در سال ۲۰۰۷ و سپس توسط ICRP 103 در سال ۲۰۱۵ جایگزین شد و مجدداً در سال ۲۰۱۵ با حدود توصیه شده ICRP 130 جایگزین شد.
- توصیه های ICRP 60، 103 و 130 بر اساس در نظر گرفتن اثرات تصادفی و غیر تصادفی است.
- محدودیت های دز در ICRP 60، 103 و 130 بر اساس دزی است که اگر از آن فراتر رود، ممکن است برای یک فرد منجر به عواقب غیر قابل قبولی چه تصادفی یا غیر تصادفی گردد که این محدودیت های دز در جدول ۲-۸ در اسلاید قبلی نشان داده شده است.

دز موثر (Effective Dose)

16

- مثال: در نتیجه یک حادثه آزمایشگاهی، $(5 \mu\text{Ci})$ 185 kBq از ^{131}I در یک تکنسین ایزوتوپ رادیویی رسوب شد که $(1 \mu\text{Ci})$ 37 kBq آن در غده تیروئید و مابقی آن به میزان $(4 \mu\text{Ci})$ 148 kBq به طور یکنواخت در بقیه بدن او رسوب کرد. با استفاده از داده های اندازه گیری ها غلظت سنجی و اسکن بدن، فیزیکیان بهداشت دز معادل تیروئید (6.15 rems) 61.5 mSv و دز معادل کل بدن (13 mrem) 0.13 mSv را محاسبه کرده است:

- الف) دز موثر تکنسین براساس ICRP 60 چقدر است؟

- ب) آیا پرتوگیری تکنسین بیش از حدودی است که با معیارهای ICRP 60 توصیه شده است؟

- با استفاده از فاکتورهای وزنی 0.05 برای تیروئید و 0.95 برای بقیه بدن:

$$H_E = \sum_T w_T H_T = (0.05 \times 61.5) + (0.95 \times 0.13) = 3.2 \text{ mSv}$$

طبق دستورالعمل ICRP 103، فاکتورهای وزنی بافت به ترتیب 0.04 و 0.96 است.

از آنجایی که دز مؤثر محاسبه شده بسیار کمتر از ماکزیمم در هر سال می باشد، اگر یک بار در سال مواجهه در سال داشته باشد کمتر از حد ماکزیمم مجاز توصیه شده می باشد. اما اینکه آیا دز کل او در سال (شاید چندین حادثه اتفاق افتاده باشد)، از حد مجاز ICRP 60 or 103 فراتر رود، بستگی به سابقه مواجهه قبلی او دارد.