مجلـه دانشکده پزشکی ــ دانشگاه ملی ایران
سال سوم ــ شماره دوم صفحه ۱۱٤ ــ ۱۲٦

تکنیکهای کم کردن دوز اشعه در محیط کار

دکتر مهدی همایونفر *

مقدمه :

گسترش روزافزون مصارف پرتوهـای یونساز در پزشکی چه ازنظر تشخیص بیماری ، عوارض وضایعات در قسمت رادیودیاگنوستیك (عکسبرداری ازاعضاء مختلف بدن بوسیله اشعه ایکس) ، سنتیوگرافی یااسکنینگ (عکسبرداری از اعضاء مختلف بدن بوسیله مواد رادیوایزوتوپ) ، مطالعه درطرز کار غدد واعضاء اصلی بدن از قبیل Uptake و Dynamic Function و همچنین Radioimmunoassay و Trace Element وچه‌ازنظردرمانی‌مانندرمان‌تومورهای بدخیم بااشعه (پرتو درمانی یارادیوتراپی) وغـیره از طرفی ، مصارف سریع این پرتوها در صنعت ، کشاورزی ، تکنولوژی وغیره از قبیل مطالعه ساختمان کـریستالها ــ فلزات وسایر مواد ــ کارخانه‌های برق اتمی ــ راکتورهاـ مصارف بیوفیزیکی وبیوشیمی و لابراتـواری ــ وسائل و دستگاههای شب‌نما ــ معادن رادیواکتیو ــ مصالح‌ساختمان وگسترش سنگهای معدن مشکوك درساختمانها ، افـزایش آزمایشات هسته‌ای ، توزیع ، انبار ، حمل ونقـل مواد رادیو ایزوتوپ و سورس‌های مولد اشعه α و β و γ وغیره ازطرف دیگر همگی باعث میشوند که در ازدیاد توزیـع مقدار دوز به‌فرد وجامعه مستقیم وغیرمستقیم دخالت موثری داشته باشند .

خطرات و بیماریهای ناشی از این ازدیاد افزایش مقدار دوز در شماره اول سال سوم مجله پزشکی ــ دانشگاه ملی ایران آذرماه ۱۳۵۳ بوسیله نویسنده مورد بررسی قرار گرفت . آمار ومطالعات بیولوژیکی و مخصوصاً بیماریهای ژنتیکی وتولید انواع سرطان چه در فرد وچه در جامعه‌که درآن مقاله ذکر شده‌بود نمایانگر زنگ خطری است کـه هرچه زودتر باید درمورد جلوگیری و محافظت و کنترل مقدار دوز اقدامات علمی وضروری انجام‌گیرد .

حال باید دیدکه باتوجه به‌این خطرات و باتوجـه به‌اهمیت الزامی کاربرد این پرتوهای یونساز چگونه و بچه طریق از توزیع اضافی دوز اشعه ناشی از مصرف آنهـا در محیط چه بطور فردی وچه بطور جمعی اقدامات‌احتیاطی واساسی صورت‌گیرد .

طرق جلوگیری و محافظت وکنترل اشعه وکاهش مقدار دوز به‌دوصورت امکان‌پذیر است :

قسمت اول : شامل رعایت اصول ساختمانی برای کنترل پرسنل وافرادی‌که بطور مستقیم کارشان در محیط اشعه است وهم‌چنین افراد دیگری که بنحوی از انحاء در مجاورت مراکز تولید ویا مصرف پرتوهای یونساز قـرار گرفته و میگیرند .

قسمت دوم : شامل رعایت اصول حفاظتی و طرق تکنیکی و آشنائی به سیستم‌های علمی کم کردن مقدار دوز درهریك ازآزمایشات رادیولوژیکی و تکنیکهای‌اندازه‌گیری مقدار دوز درهرنقطه موردنظر میباشد .

تهیه این مقاله‌متکی بسالهامطالعه ــ تحقیق‌وتجربیات دربازرسی و دوزیمتری ــ تدریس ــ شرکت در کنگره‌های داخلی‌وخارجی‌نگارنده وهم‌چنین بررسی‌مقالات ــ سمینارها کتب منتشره در این رشته ، توصیه‌های انجمن‌های ملی و بین‌المللی کشورهای مختلف مانند ICRU و ICRP
(International Commission on Radiation Unit & Measurement)
(International Commission on Radiation (Protection),
(National Committee on Radiation Protection) NCRP,
U.S. Atomic Energy, Health Physics Society.
(International Atomic Energy Agency) IAEA,
(National Bureau of Standards) NBS
ومآخذ ومنابع دیگری‌که دربیبلیوگرافی آمده است بوده و برای استفاده همکاران رادیولوژیست ، مدیکال فیزیسیست مسئولین طراح و مهندسین معمار ساختمان‌های بیمارستانی و درمانگاهی ــ سازندگان مراکز پزشکی و بالاخره سایـر علاقمندانی که بنحوی از انحاء با پرتوهای یونساز بطور مستقیم یاغیرمستقیم سروکار دارند منتشر میشود .

---

* دانشیار گروه رادیولوژی وپزشکی هسته‌ای ــ دانشکده‌پزشکی دانشگاه ملی ایران . کارشناس ومتخصص حفاظت و کنترل پرتوهای یونساز .

اصول اساسی کنترل و محافظت از خطرات پرتوهای یونساز :

منظور اساسی ونهائی ازکنترل و محافظت فرد و جامعه ازخطرات پرتوهای یونساز آنست که مقداردوز جذب شده دربدن انسان چه بطور فردی وچه بطور جمعی بحداقل مقدار ویا درسطح حداکثر دوز مجاز که توسط انجمن‌های ملی وبین‌المللی وکارشناسان بیولوژیکی و ژنتیکی علوم پزشکی بی‌خطر ویاکم‌خطر اعلام شده است تثبیت گردد . (جداول ۱ ــ الف و ب) .

جدول (۱ــالف) حداکثر دوزتوصیه شده N.C.R.P. درسال۱۹۷۱ برای کارکنانیکه مستقیما با پرتوهای یونساز سروکار دارند .

۱	تمام بدن	۵ Rem برای هرسال ۳ Rem برای ۱۳ هفته متوالی ۱۰۰ mRem برای یك‌هفته
۲	تمام بدن بطور حاصل جمع در N سالگی	۵ (N ــ ۱۸) Rem
۳	پوست تمام بدن	۱۵ Rem درهرسال
٤	دستها	۷۵ Rem در یکسال ۲۵ Rem درسه ماه متوالی ۱/۵ Rem در هفته
۵	بازوها	۳۰ Rem در یکسال ۱۰ Rem درسه ماه متوالی
٦	بقیه بافتها	۱۵ Rem در یکسال
۷	عدسی چشم	۳ Rem در یکسال
۸	دستگاه‌تناسلی‌زنان	۵۰۰ mRem دردوره gestation
۹	بیضه‌ها	۱۷۰ mRem در یکسال

جدول (ا ــ ب) حداکثر دوزمجاز توصیه شده توسط N.C.R.P. در سال ۱۹۷۱ برای افراد دیگر جامعه .

۱	هر فرد ازجامعه	۵۰۰ mRem در یکسال وکمتراز ۱۰ mRem در یك هفته
۲	محصلین (تاپایان سطح دبیرستان)	۱۰۰ mRem دریکسال وبمراتب کمتراز۱۰mRem در یك هفته
۳	هر فرد از نظر ژنتیکی	۱۷۰mRem در یکسال
٤	حداکثر دوز اورژانس که خطر مرگ ندارد	۱۰۰ Rem برای افراد ٤۵ سال ببالا
۵	حداکثر دوز اورژانس برای دستها و پاها که خطر مرگ ندارد	۲۰۰ Rem
٦	خانواده بیمارانی که‌ازداروی‌رادیو-ایزوتوپ استفاده کرده‌اند .	کمترازه٤سال ۵۰۰mRem دریکسال بیشتراز ٤۵سال ۵۰mRem دریکسال

عوامل وفاکتورهای مؤثر :

الف ــ ازدیاد فاصله شخص از منبع مولد پرتو یونساز .

ب ــ کاهش زمان قرار گرفتن در مسیر اصلی و ثانوی اشعه .

ج ــ قراردادن ضخامت معین‌ولازمی‌ازماده حاجب و جذب‌کننده اشعه بین منبع و شخص استفاده‌کننده و افراد مجاور .

د ــ اندازه‌گیری قدرت اشعه اولیه وثانویه‌پراکنده هر نوع مولد اشعه واحاطه به مقدار دوزتابشی در نقاط موردنظر .

ه ــ اندازه‌گیری مقدار اشعه خروجی از نقاط مختلف مولد مخصوصاً اشعه هرز ازسر دستگاه ویامحوطه‌های انبار سورس‌ها (Leakage Radiation).

و ــ تقلیل مقدار دوز اصلی ومیدان آن باکاهش اندازه دیافراگم در حدی که حقیقتاً لازم است .

ز ــ استفاده از وسائل و تکنیك‌های بهتر که در کاهش توزیع مقدار دوز مؤثرند مانند استفاده از Image intensifires و تلویزیون در رادیوسکپی وغیره .

ح ــ دقت‌کافی در اندازه‌گیری وتکنیك‌ها هنگام کار بامواد رادیو ایزوتوپ .

ط ــ ضرورت موجود بودن و بکار بردن وسائل دقیق اندازه‌گیری دوز در شرایط احتمالی ریختن مواد در محوطه آزمایشگاه ــ انبار ــ بخش ــ حمل و نقل و غیره .

ی ــ مصرف وبکاربرد وسائل دقیق اندازه‌گیری دوز تابشی به بدن در تمام ساعات کار با اشعه از قبیل Ionizing Chamber , Pocket Dosimeter , Film Badgeو غیره .

ك ــ تقلیل مقدار دوز به‌نقاط وبافت‌های حساس بدن مانند عدسی چشم ــ مراکز خونساز ــ تخمدان‌ها ــ بیضه‌ها و غیره بااستفاده ازوسائل شیلدینگ کافی وبالاخره صدها طرق دیگر که شرح وذکر آنها دراین مختصر نمیگنجد.

برای آنکه بتوان از یك دیسیپلین و مقررات خاصی برای هریك از فاکتورهای اشاره شده بالا پیروی کرد اجازه بفرمائید مطالب را فرمول‌وار مورد بحث قرار دهیم .

۱ــ میدان اشعه اصلی ومفید :

ضخامت آن مقدار از ماده که باید بین منبع مولد وشخص قرارگیرد و دراصطلاح Primary-Protective Barrier گفته میشود ، موقعی قابل تعیین است که مقدار دوز اشعه پس‌از عبور از این ضخامت ماده ، معین واندازه‌گیری‌شده باشد . این مقدار دوز ازفرمول(۱) برای اشعه ایکس واز فرمول (۲) برای پرتوهای یونساز حاصل از مواد رادیوایزوتوپ و رادیواکتیو بدست میآید .

$$(1)\quad K = \frac{P \times d^2}{W \times U \times T} \quad \text{و} \quad B = \frac{Pd^2}{W \times U \times T} \quad (2)$$

دراین فرمولها p معرف مقدار حداکثر دوزتابشی مجاز هفتگی است‌برحسب رونتگن که مقدارش برای مراکز استفاده اشعه بطور مستقیم که دراصطلاح مناطق کنترل شده محسوب میشود ومعمولا داخل بخش ومراکز مولد اشعه قرار گرفته‌اند ۰/۱ رونتگن در هفته وبرای مناطق مجاور که در اصطلاح مناطق کنترل نشده محسوب میگردد ۰/۰۱ رونتگن درهفته میباشد .

d فاصله سورس مولد اشعه تا نقطه موردنظر بر حسب مترو T (Occupancy Factor) فاکتور زمان و موقعیت جغرافیائی کار بااشعه بطور مستقیم یا غیر مستقیم ، U (Use Factor) فاکتور زمان تابش اشعه اصلی به نقطه موردنظر و W (Workload) مقدار متوسط هفتگی حاصل از دوز تابشی سالیانه منبع یامولد اشعه‌برحسب رونتگن درهر هفته درفاصله یك‌متر ازمنبع برای پرتوهای یونساز حاصل ازمواد رادیواکتیو و رادیو ایزوتوپ و بر حسب میلی‌آمپر درهر دقیقه در هفته برای اشعه ایکس می‌باشد .

Kمقدار نسبی دوز عبور کرده از ضخامت مورد نظر را در فاصله یکمتری برحسب رونتگن بازاء هر میلی آمپر ــ دقیقه برای B, X-Ray همان مقدار را برحسب رونتگن در هفته دریکمتری برای مواد رادیوایزوتوپ و رادیواکتیو نشان میدهد .

مقادیر T و U در جداول ۲ و۳ نشان داده شده است .

جدول ۲ ــ مقدار T (Occupancy Factor)

T = ۱	اطاق کنترل ــ اطاق طبیب ــ اطاق نرسینگ ــ راهروهای بخش ــ اطاق انتظار ــ اطاق کار تکنیسین‌ها ــ تاریکخانه ــ توالت‌های داخل بخش ــ چایخانه داخل‌بخش ــ اطاق‌تزریقات ــ اطاق کنفرانس وقرائت فیلم ــ اطاق منشی وبایگانی فیلم ــ اطاقهای‌مجاور مستقیم ومتصل به‌بخش وغیره .
T = ۱/۴	راهروهای مجاور بخش که فقط برای عبور آنی استفاده میشود ــ محوطه پارکینگ ــ آسانسور ــ رختکن بیماران وپرسنل ــ توالت‌های مجاور بخش و غیره .
T = ۱/۱۶	راه پله‌ها ــ دستشوئی وتوالتهائیکه پرسنل بخش استفاده نمی‌کنند ــ پیاده رو خیابان وغیره

جدول ۳ ــ مقدار U (Use Factor)

	رادیوتراپی	دندانپزشکی	رادیولوژی
کف اطاق	۱	۱/۱۶	۱
دیوارها	۱/۳	۱/۴	۱/۴
سقف	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶

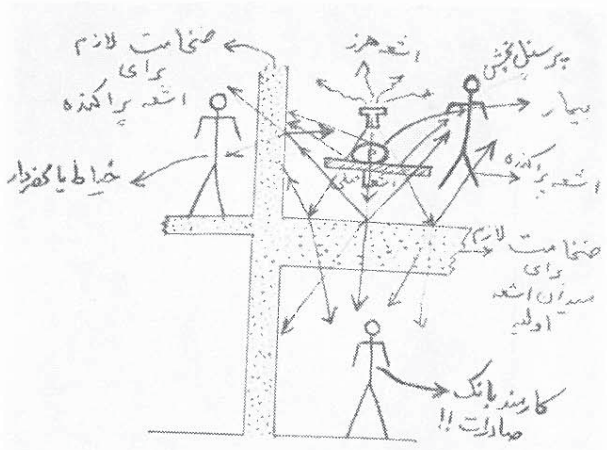
توجه : مقادیر فوق‌الذکر برای‌کلیه مواردیکه اشعه مستقیما بآن قسمت میتابد ، باید یك فرض شود .

۲ــ اشعه ثانویه وپراکنده :

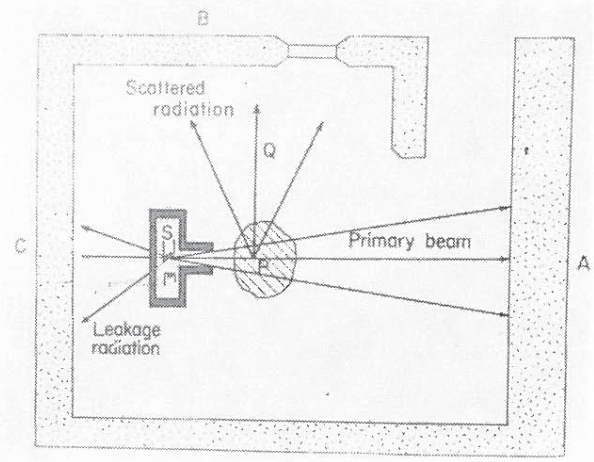
Secondary and Scattered Radiation

اشعه اصلی واشعه هرز خارج شده از سردستگاه هنگام تشعشع در داخل اطاق یا محوطه مورد استفاده درسر راه خود هنگام عبور از هوا به‌اشیائی از قبیل میز ــ وسائل

معاینات پزشکی ــ دیوارها وغیره وحتی بدن بیمار مورد معاینه برخورد نموده وقسمتی ازآن منعکس ومتفرق شده و در جهات مختلف مجدداً منتشر میگردد (شکل ۱ و۲) .



شکل ۱ ــ دراین عکس موقعیت قرارگرفتن یکدستگاه ماشین مولد اشعه ایکس وضخامت نسبی دیوارها نسبت به‌اشعه اصلی واشعه پراکنده نشان داده شده‌است . بدیهی است در صورتیکه سردستگاه بسمت دیوار سمت چپ منحرف شود از نظر حفاظتی ضخامت دیوارها وکف اطاق جابجا میشوند . بانك صادرات صرفاً بخاطر تعداد شعبه‌های زیاد آن بعنوان مثال انتخاب شده‌است .



شکل ۲ ــ دراین تصویر موقعیت و ضخامت نسبی دیوارها نسبت به‌اشعه اصلی ــ متفرق وهرز خارج شده از سردستگاه نشان داده میشود .

بدیهی است این امر ممکن است یك یاچند بار در داخل اطاق صورت گیرد لذا باید دیوار ــ دربها ــ پنجره وسایر قسمتهائی‌که درمعرض اشعه پراکنده قرار میگیرنـد نیز به نسبت معینی برای عبور اشعه محافظت و کنترل گردد.

البته چون‌تشعشعات ثانویه وپراکنده باانرژی‌کمتری تابش میکنند دارای طول موج بزرگتر بوده ودر نتیجـه جذب آنها در پوست و زیر پوست فوق‌العاده زیاد است و لذا محافظت بدن در مقابل این اشعه خیلی بااهمیت بایـد تلقی شود . گرچه باتوجه بشرح فوق محاسبه حقیقی‌مقدار ضخامت برای جلوگیری از عبور اشعه ثانویه و پراکنده نسبتاً مشکل است معذالك برای کنترل ومحافظت بدن ازاین تشعشعات باید اقدام لازم صورت گیرد . معمولا شدت و قدرت اشعه تابشی‌پراکنده در فاصله یکمتری از منبع منعکس و پراکنده‌کننده ۰/۱٪ شدت اشعه درست درلحظه تفـرق و پراکندگی فرض میشود . برای مولدهای اشعه ایکس بـا KV بین ۵۰ تا ۵۰۰ کیلووات بهتر است ضخامت دیوارها و سایر قسمتهائی که باید بین اشعه و شخص قرار گیـرد تقریباًمعادل همان‌ضخامت میدان‌اصلی اشعه درنظرگرفته شود. معذالك‌درجدول (٤) مقدارحداقل ضخامت‌لازم‌برای‌اشعه‌اصلی واشعه پراکنده برای یك بخش رادیولوژی باتوجه به فاصله تیوب X-Ray از نقطه موردنظر برای مناطق کنترل شده داخل بخش و بخشهای مجاور آن ازدوماده سرب و بتون با وزن مخصوص ۲/۳۵gm/c.c. نسبت به‌زمان کار مفیـد اشعه W×U×T برحسب هفته/ mA-min داده شده‌است .

۳ــ اندازه‌گیری بازده یاقدرت دوز تابشی اشعه :

اندازه‌گیری مقدار دوز تابشی در واحد زمان ویا بعبارت دیگر Dose Rate درکلیه مولدهای اشعه ایکس هرچند مدت یکبار الزامی است . این اندازه‌گیری بـرای کلیه مراکزی‌که سورس‌های مـواد رادیواکتیـو و رادیو ایزوتوپ مصرف میکنند به‌مراتب ضروری‌تر و الزامی‌تـر میباشد . بدیهی است برای اندازه‌گیری مقدار دوز تابشی یا output باید حتی‌الامکان از وسائل دقیق دوزیمتری استاندارد شده با رعایت کلیه عوامل و فاکتورهای فیزیکی و بوسیله اشخاص متخصص دراین رشته انجـام گیـرد . معذالك حدود مقادیر output ماشین‌های مختلف مولـد اشعه ایکس که بطور روتین درکلینیکهای رادیولژی‌پزشکی ودندانپزشکی بکار میرود در فواصل مختلف F.S.D. (فاصله کانون مولد تا پوست بدن) وبا ۲/۵ میلیمتر فیلترآلومینیوم و K.V.P.های مختلف‌اندازه‌گیری شده در جداول (۵و۶) خلاصه شده‌است .

٤ــ عوامل وفاکتورهای فیزیکی و تکنیکی تقلیل‌دهنده در بازده

عوامل وفاکتورهای فیزیکی مانند F.S.D. وفیلتر و mA و KV که در توزیع دوز موثرند در یك مثال ازنظر مقایسه در نقش هریك در بازده دوز تابشی در روی پانل‌ــ فلئورسکپ که در آزمایشات روتین فلئورسکپی اندازه‌گیری شده در جدول ۷ مشاهده میشود . بدیهی است این مقادیر با استفاده از Image intensifires و تلویزیون و سیستم‌های ریموت کنترل وغیره میتواند به‌مراتب کمتراز مقادیر جدول (۷) شده ودر عین‌حال نتایج حـاصل از

جدول ٤ ــ ضخامت شیلدینگ لازم ساختمانی برای یك بخش رادیولوژی

فاصله تیوپ اشعه ایکس تانقطه موردنظر برحسب متر										
			۱۲	۸/٤	٦	٤/۲	۳	۲/۱	۱/٥	
		۱۲	۸/٤	٦	٤/۲	۳	۲/۱	۱/٥		
	۱۲	۸/٤	٦	٤/۲	۳	۲/۱	۱/٥			
۱۲	۸/٤	٦	٤/۲	۳	۲/۱	۱/٥				
۸/٤	٦	٤/۲	۳	۲/۱	۱/٥					
ضخامت شیلدینگ لازم برای اشعه اصلی و مفید										
→۰	۰/۳	۰/٥	۰/۷٥	۱	۱/۲	۱/٤	۱/٦٥	۱/۹		
۰/٥	۰/۸	۱	۱/۲٥	۱/٥	۱/۷	۱/۹٥	۲/۲	۲/٤	۲/٦٥	
۱	۲/٥	٤/۱	٥/۳	٦/۹	۸/٤	۱۰	۱۱/۷	۱۳	۱٥	
٥/٦	۷/٤	۸/۹	۱۰/٤	۱۲/۲	۱۳/۷	۱٥	۱۷	۱۸/٥	۲۰	
ضخامت شیلدینگ لازم برای اشعه هرز و متفرق										
۰	۰	۰	۰	→ ۰	۰/۱	۰/۲	۰/٤	۰/٥٥		
۰	۰	۰	۰/۱	۰/۲٥	۰/٤٥	۰/٦	۰/۸	۱	۱/۲	
۰	۰	۰	۰	۰	→ ۰	۰/٥	۲	۳/٦	٤/۸	
۰	۰	→ ۰	۱	۲/٥	۳/۸	٥/۳	٦/٦	۸/۱	۹/۷	

هفته/ mA.min		W × U × T
۱٥۰ KV	۱۲٥ KV	۱۰۰وکمتر KV
۲۰۰	٤۰۰	۱۰۰۰
۱۰۰	۲۰۰	٥۰۰
٥۰	۱۰۰	۲٥۰
۲٥	٥۰	۱۲٥
۱۲/٥	۲٥	٦۲/٥
ماده موردنظر		محل موردنظر
سرب برحسب میلیمتر		منطقه داخل بخش
سرب برحسب میلیمتر		« مجاور بخش
بتون باوزن مخصوص ۲/۳٥g/c.c برحسب سانتی‌متر		منطقه داخل بخش
بتون باوزن مخصوص ۲/۳٥g/c.c برحسب سانتی‌متر		منطقه مجاور بخش
سرب برحسب میلیمتر		منطقه داخل بخش
سرب برحسب میلیمتر		« مجاور بخش
بتون برحسب سانتی‌متر		منطقه داخل بخش
بتون برحسب سانتی‌متر		« داخل بخش

جدول (۵) ــ مقدار متوسط بازده مولدهای اشعــه ایکس مصــرف شده در دیاگنوستیك برحسب R/100 mAs با ۲/۵ میلیمتر فیلتر آلومینیوم .

KVP							فاصله کانون تا نقطه موردنظر برحسب سانتی‌متر
۱۲۵	۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	
۱۵/۲	۹/۸	۸	۵/۸	۴/۲	۲/۸	۱/۸	۳۰
۶/۷	۴/۲	۳/۴	۲/۵	۱/۸	۱/۳	۰/۸	۴۶
۳/۸	۲/۳	۱/۹	۱/۴	۱/۱	۰/۷	۰/۴	۶۱
۱/۷	۱/۱	۰/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۹۱
۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۱۳۷
۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱		۱۸۳

جدول ۶ ــ مقدار متوسط بازده مولدهای مصرف شده در دندانپزشکی بر حسب R/60 mAs.

KVP	F.S.D.	مجموع فیلتر mm.AL	بازده
۵۰	۱۰	۱/۵	۱۲
۷۰	۲۰	۱/۵	۸/۳
۷۰	۴۰	۱/۵	۲/۱
۹۰	۲۰	۲/۵	۸/۴
۹۰	۴۰	۲/۵	۲/۱

جدول ۷ ــ تأثیر KVP ــ فیلتر ــ F.S.D. درمقداربازده مولد اشعه ایکس درروی پانل فلئورسکپ

KVP	mA	F.S.D. (cm)	مجموع کل فیلتر معادل آلومینیوم			
			۱ mm	۲ mm	۳ mm	۴ mm
۸۰	۳	۳۰	۲۷/۵R/min	۱۴/۶R/min	۹ R/min	۶/۱R/min
		۳۸	۱۷/۶ «	۹/۳ «	۵/۸ «	۳/۹ «
		۴۶	۱۲/۴ «	۶/۵ «	۴ «	۲/۷ «
۱۰۰	۳	۳۰	۳۸/۵ «	۲۲/۸ «	۱۵/۵ «	۱۱/۲ «
		۳۸	۲۴/۶ «	۱۴/۶ «	۹/۹ «	۷/۲ «
		۴۶	۱۷/۱ «	۱۰/۱ «	۶/۹ «	۵ «
۱۲۰	۳	۳۰	۵۵ «	۳۳/۱ «	۲۲/۷ «	۱۶/۸ «
		۳۸	۳۵/۲ «	۲۱/۲ «	۱۴/۵ «	۱۰/۷ «
		۴۶	۲۴/۵ «	۱۴/۷ «	۱۰/۱ «	۷/۵ «

توجه : مجموع کل فیلترمعادل‌آلومینیوم = معادل آلومینیوم‌میز + فیلتر اصلی موجود درمولد + فیلتر اضافی‌کــه دردیافراگم‌قرارمیگیرد.

آزمایشات رادیوسکپی فوق‌العاده جالب‌ومفید باشد . همانطور که از ارقام این جدول مشاهده میشود بهترین فاصله **F.S.D.** در فلئورسکپی ٤٦ سانتی‌متر و مجموع کل فیلتر ٤میلیمتر می‌باشد تا مقـدار دوز تابشی روی پوست بدن آزمایش شونده به‌حداقل مقدار خود برسد .

٥ــ رعایت اصول ساختمانی :

کلیه بخش‌ها ــ مراکز ــ کارگاهها ــ انبارهای مواد رادیواکتیو و رادیوایزوتوپ چه در بیمارستانهـا ــ مراکز پزشکی ــ مطب ــ کارخانه‌ها ــ انبارها لابراتوارها وغیره باید طوری ساخته شوندکه مقدار دوز جذب شده به بدن افراد در داخل محوطه‌که دراصطلاح مناطق کنتـرل شده اتلاق میشوند برای کلیه پرسنلی‌که مستقیماً در ایـن محوطه بهرنحو مشغول کار میباشند از ۱۰۰ m Rem درهفته وبرای کلیه افرادیکه درمجاورت این مراکز قرار دارند از ۱۰ میلی رم درهفته بیشتر نباشد .

برای محاسبه ضخامت دیوارها ازفرمول (۱) و(۲) ومشخصات output ــ نوع انرژی اشعه ــ جنس و وزن مخصوص ماده موردنظر ــ ضریب جذب خطی و جرمـی ماده وعوامل دیگر ــ استفاده میشود .

برای سهولت در محاسبات ابتدا در جـدول (۸) حداقل ضخامت مواد ساختمانی معادل سرب برای کنتـرل ومحافظت دریك بخش رادیولوژی را مشاهده میکنیم وسپس در عکسهای (۳) تا (۱۰) طرزمحاسبه ضخامت موردنظر را برای مواد ساختمانی ویا سرب‌کوبی معادل آن را بـررسی مینمائیم .

مثال ۱ ــ فرض کنیم یك مولد اشعه ایکس بـا کیلوولت ۳۰۰ دریك بخش رادیوتراپی با حداکثر ۱۵ میلی آمپر ٥ ساعت در روز و٥ روز درهفته کارکند . اگر در شکل ۲ نقطه A درچهار متری سردستگاه باشد تعیین کنید مقدار ضخامت سرب یا بتون دیوار چقدر باید باشد .

$$W = ۱۵ \times ۵ \times ۶۰ \times ۵ = ۲۲۵۰۰ \text{ mA-min/Week}$$

(mA) (ساعت) (دقیقه) (روز)

$U = ۱$ ← (ازجدول ۳)

$T = \frac{۱}{۴}$ ← (ازجدول ۲)

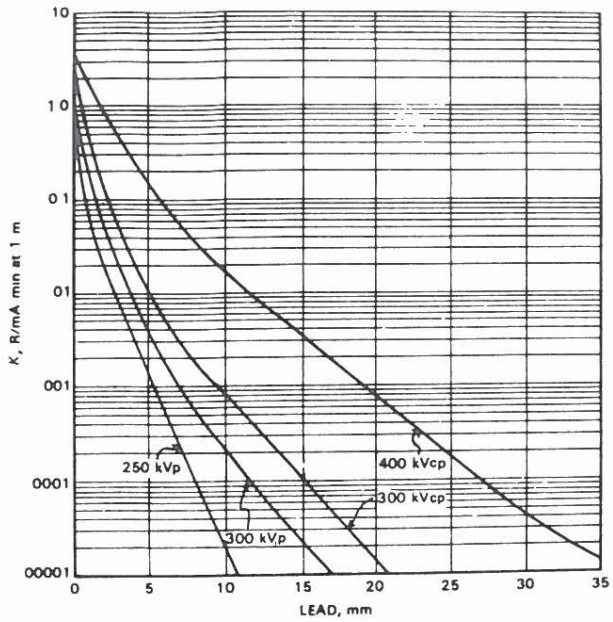
$d = ۴$ متر

$K = \frac{۰/۱ d^2}{W.U.T.}$ از فرمول (۱)

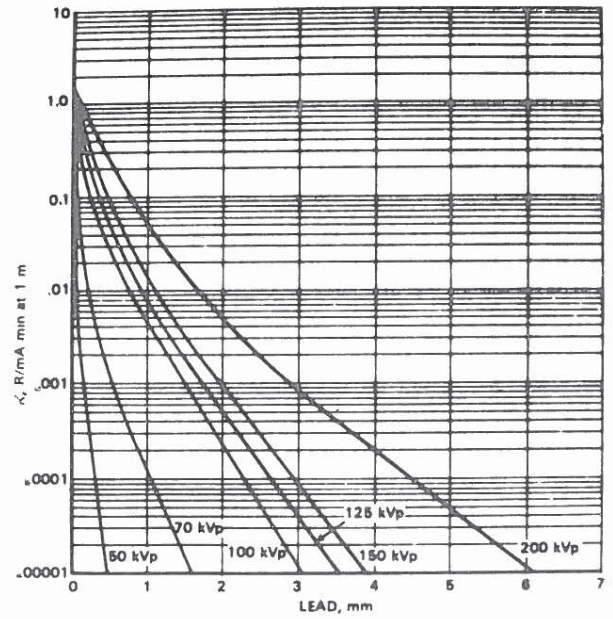
$$K = \frac{۰/۱ \times ۱۶}{۲۲۵۰۰ \times ۱ \times \frac{۱}{۴}} =$$

$۲/۸۵ \times ۱۰^{-۴} \approx ۰/۰۰۰۳ \frac{R/}{mA\text{-min}}$ دریك‌متری

بامراجعه به شکل ٤ و٥ روی محور عرضها مقدار



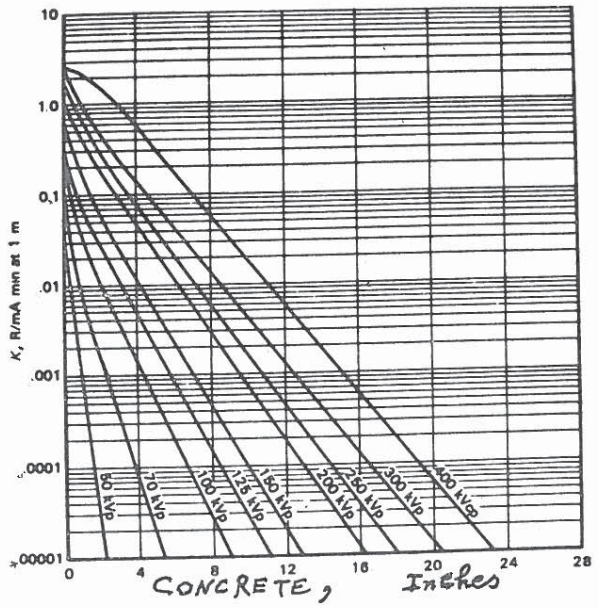
شکل ۳ ــ ضخامت سرب لازم برحسب میلیمتر برای جذب اشعه ایکس اصلی باقدرت KVP از ٥۰ تا۴۰۰ کیلوولت . محور طولها معرف ضخامت سرب لازم برحسب میلیمتر و محور عرضها معرف مقدار قدرت اشعه پس‌از عبور از این ضخامت سرب برحسب رونتگن بازاء هر mA دریك دقیقه ودریك متری میباشد . محور طولها بطور خطی و محور عرضها بطور لگاریتمی رسم وتقسیم‌بندی شده‌است .



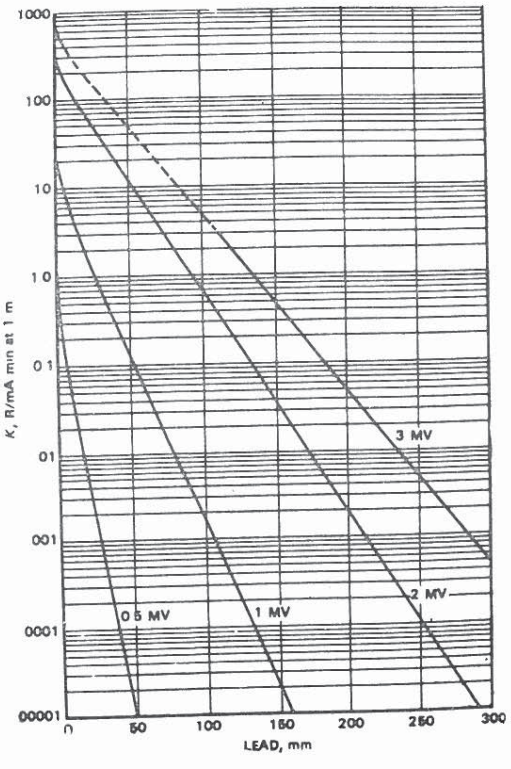
شکل ٤ ــ ضخامت سرب لازم برحسب میلیمتر برای جـذب اشعه ایکس اصلی باقدرت KVP از ۲٥۰ تا ٤۰۰ کیلوولت (برای توضیح بیشتر به‌زیرنویس شکل ۳ مراجعه شود .)

جدول ۸ـ حداقل ضخامت مواد ساختمانی معادل سرب برای کنترل و محافظت در یک بخش رادیولوژی

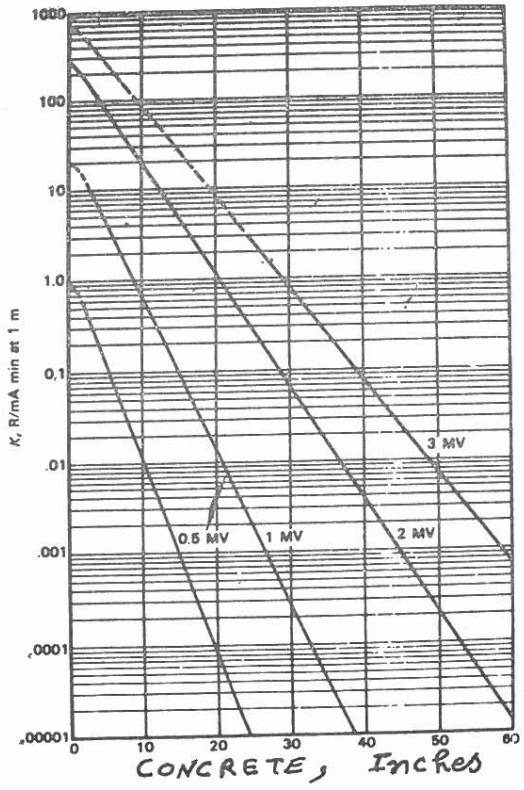
ماده مورد نظر	وزن مخصوص متوسط	ضخامت سرب	ضخامت معادل سرب هر ماده			
			۵۰ KV	۱۰۰ KV	۱۵۰ KV	۲۰۰ KV
آلومینیوم	gm/c.c	mm	mm	mm	mm	mm
	۲/۷	۱	۹۶	۶۰	۶۵	۷۰
		۲	۱۹۲	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰
		۳	۲۸۸	۱۸۰	۱۹۵	۲۱۰
برنج	۸/۴	۱	۶/۵	۴/۵	۶	۶/۵
		۲	۱۳	۹	۱۳/۵	۱۶
		۳	۲۰	۱۴	۲۱/۵	۲۷
		۴	۲۷	۱۹	۳۰	۴۰
فولاد	۷/۸	۱	۱۱/۵	۶/۵	۹/۵	۱۱/۵
		۲	۲۵	۱۵	۲۱/۵	۲۵
		۳	۳۸/۵	۲۳/۵	۳۴	۳۹
		۴	۵۵/۵	۳۲	۴۷	۵۳
شیشه سربی	۳/۴ تا ۴/۶	۱	۷/۵ تا ۴			
		۲	۱۵ تا ۸			
		۳	۲۲/۵ تا ۱۲			
		۴	۳۰ تا ۱۶			
لاستیک سربی	۳/۳ تا ۵/۸	۱	۵ تا ۲			
		۲	۱۰ تا ۴			
		۳	۱۵ تا ۶			
		۴	۲۰ تا ۸			
بتون مخلوط با باریم ۲ قسمت سولفات باریم زبر ۲ قسمت سولفات باریم نرم ۱ قسمت سیمان پرتلند	۳/۵	۱	۱۰	۴	۷/۵	۹
		۲	۲۱	۹	۱۸	۲۵
		۳	۳۲/۵	۱۴/۵	۲۹	۴۳
		۴	۵۰	۲۰	۴۱	۶۵
بتون ۲ قسمت خرده سنگ ۲ قسمت شن ۱ قسمت سیمان	۲/۲	۱	۱۰۰	۷۰	۷۵	۸۰
		۲	۱۹۰	۱۳۰	۱۴۵	۱۵۰
		۳	۲۸۰	۱۹۰	۲۱۵	۲۲۰
بتون ۴ قسمت موزائیک ۱ قسمت سیمان	۱/۵	۱	۱۳۵	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰
		۲	۲۷۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰
بتون ۴ قسمت گرانیت ۱ قسمت سیمان	۲/۱	۱	۱۱۰	۷۰	۸۰	۸۵
		۲	۲۲۵	۱۴۵	۱۶۰	۱۷۰
		۳	۳۳۵	۲۱۵	۲۴۰	۲۶۰
بلوکهای سیمانی مخلوط با پوکه	۱/۲	۱	۲۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
		۲	۴۰۰	۲۲۰	۲۴۵	۲۷۰
آجر فشاری قرمز همراه با ملات سیمان	۱/۹	۱	۱۲۵	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰
		۲	۲۵۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۵۰
آجرفشاری زرد همراه با ملات سیمان	۱/۵	۱	۱۷۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰
		۲	۳۶۰	۲۸۰	۳۵۰	۴۵۰



شکل ۵ ــ ضخامت بتون Concrete لازم باوزن مخصوص ۲/۳۵ gm/c.c. برحسب اینچ (In =۲/۵٤ Cm) برای جذب اشعه ایکس اصلی باقدرت KVP از ۵۰ تا ٤۰۰ کیلوولت (برای توضیح بیشتر به زیرنویس شکل ۳ مراجعه شود) .



شکل ٦ ــ ضخامت سرب لازم برحسب میلیمتر برای جذب اشعه ایکس اصلی با قدرت KVP بین ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوولت یا ۰/۵ تا ۳ مگاولت MeV (برای توضیح بیشتر به زیرنویس شکل ۳ مراجعه شود) .

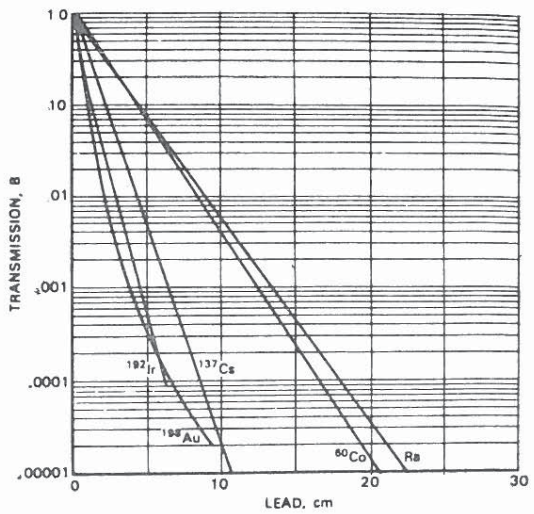


شکل ۷ ــ ضخامت بتون آرمه Concrete لازم برای جذب اشعه ایکس اصلی باقدرت **KVP** از ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوولت (۰/۵ تا ۳ مگاولت MeV) برای توضیح بیشتر به زیرنویس های شکل ۳ و ۵ مراجعه شود .

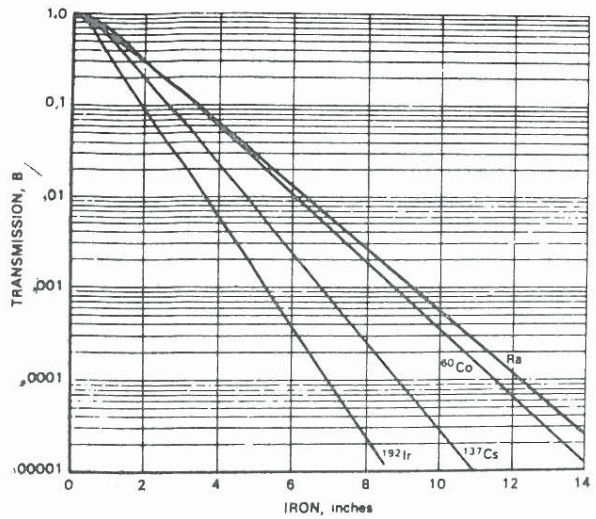
۰/۰۰۰۳ راکه ۲خط بالاتر ازخط ۰/۰۰۰۱ میباشد پیدا میکنیم . از محل تقاطع این خط و منحنی مربوطبه KV ۳۰۰ اشعه ایکس خطی عمود بهمحور طولها رسم مینمائیم . از شکل ٤ مقدار ضخامت سرب‌کوبی لازم را برابر ۹میلیمتر وازشکل ٥ مقدار ضخامت بتـون لازم را ۱۵/٦ اینچ یـا ۳۹/٦ سانتی‌متر بدست میآوریم .

حال فرض شود همین دیوار A شکل ۲ بوسیلـه معمار ساختمان به‌کلفتی معادل ۲۰/۳ سانتی‌متر یا ۸ اینچ از بتون ساخته شده باشد چقدر باید به‌این دیوار سرب‌کوبی شود تا مقدار دوز هفتگی پشت دیوار A به ۱۰۰ میلـی رونتگن برسد .

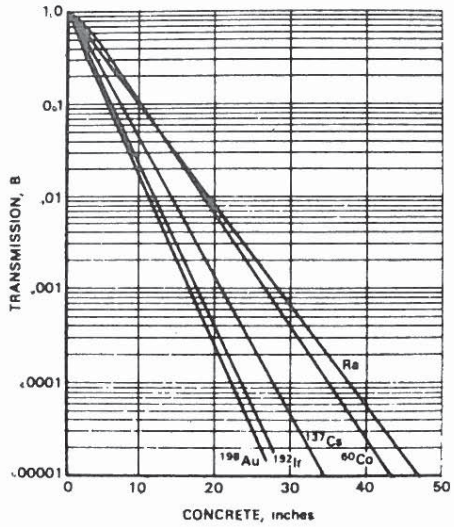
مقدار کمبود ضخامت بتون از رابطه



شکل ۸ ــ ضخامت سرب لازم برای جذب اشعه گاما حاصله از رادیوایزوتوپهای طلا ۱۹۸ سزیوم ۱۳۷ ، ایریدیوم ۱۹۲، کبالت ٦۰ ورادیوم ۲۲٦ برحسب سانتی‌متر . محور عرضها معرف مقدارنسبی قدرت اشعه‌خروجی B ازاین ضخامت سرب برحسب رونتگن درهفته در یك متری میباشد . محورطولها بطور خطی ومحور عرضها بطور لگاریتمی تقسیم‌بندی شده است .



شکل ۹ ــ ضخامت آهن لازم برای جذب اشعه گاما حاصله از رادیو ایزوتوپهای شکل ۸ برحسب اینچ . (برای‌توضیح بیشتر به‌زیرنویس شکل ۸ مراجعه شود) .



شکل ۱۰ ــ ضخامت بتون‌آرمه Concrete لازم برای‌جذب اشعه گاما حاصله از رادیو ایزوتوپهای شکل ۸ برحسب‌اینچ. (برای توضیح بیشتر به‌زیرنویس شکل ۸ مراجعه شود)

سانتی‌متر ۱۹/۳=۲۰/۳ـ۳۹/٦
بدست میآید .

این مقدار ضخامت بتون با مراجعه به جدول(۸) برابر ٦ میلیمتر سرب است . بعبارت دیگر معادل ٦ میلیمتر روی دیوار A باید سرب‌کوبی شود .

مثال ۳ ــ یکدستگاه تله‌رادیوتراپی کبالت ٦۰ با قدرت ٤۰۰۰ Rhm دریك بخش رادیوتراپی نصب شده‌است . چه ضخامتی از بتون ویا سرب درنقطه A برای دیوار مثال۱ به‌فاصله ٥ متری برای محافظت پرسنل بخش لازم است تادوز هفتگی حداکثر ۱۰۰ میلی رونتگن باشد درصورتیکه دستگاه ٤ ساعت در روز و٥ روز درهفته کارکند .

$$B=\frac{\cdot/۱\ d^2}{W.U.T.}$$ با استفاده از فرمول۲

$$W=۴۰۰۰\times ۴\times ۵=۸۰/۰۰۰ \text{ R/دریك‌متری}$$
(Rhm ↓ ساعت ↓ روز ↓) هفته

$U=۱$ ← ازجدول ۳

$T=۱$ ← ازجدول ۲

$d=۵$ متر

$$B=\frac{\cdot/۱\times\frac{۲}{۵}}{۸۰۰۰۰\times ۱\times ۱}=$$

$۳/۱\times ۱۰^{-۵}=\cdot/\cdot\cdot\cdot\cdot۲ \text{ R/دریك متری week}$

بامراجعه به شکل (۹) ورعایت دستورات مثال ۱ مقدار عددی ضخامت بتون برابر ۳۹ اینچ ویا ۹۹ سانتی‌متر و از شکل ۸ مقدار ضخامت سرب‌کوبی لازم برابر ۱۸/٥ سانتی‌متر حاصل میشود .

مثال ۳ ــ درهمین مثال ۲ اگر دستگاه در حین درمان یك‌گردش کامل بنماید و Beam Stopper هم نداشته باشد ضخامت سقف چقدر باید باشد تا اشخاص طبقه بالای دستگاه کبالت کاملا محافظت شده‌باشند درصورتی که فاصله سقف ازسورس حداکثر ٤متر باشد .

$T=۱$

$U=\cdot/۰۲$

$W=۸۰/۰۰۰$

$$B=\frac{\cdot/۰۱\times ۴^2}{۸۰۰۰۰\times\cdot/۰۲}=۱\times ۱۰=\cdot/۰۰۰۱$$

که بامراجعه به‌اشکال ۹ و۸ ضخامت بتون و سرب موردنظر به‌ترتیب ۳٥ اینچ یا ۸۹ سانتی‌متر و ۱٥ سانتی‌متر میباشد .

مثال ٤ ــ اطاق‌کنترل‌یکدستگاه ماشین رادیولوژی که باقدرت ۱۰۰ KV ومتوسط ۳۰۰ میلی‌آمپر در آزمایشات روتین رادیولوژی برای زمان کار مفید ۷۰ دقیقه روزانه و ٥ روز درهفته میباشد در فاصله ۲ متری از سردستگاه مولد قرار گرفته . ضخامت سرب‌کوبی لازم اطاق کنترل چقدر باید باشد . درصورتیکه حداکثر دوز مجاز هفتگی پرسنل ۱۰۰ میلی رونتگن است .

$$K=\frac{\cdot/۱\ d^2}{W.U.T.}$$ فرمول (۱)

$U=\frac{۱}{۴}$ ← از جدول ۳

$T=۱$ ← از جدول ۲

$$W=\underset{mA}{۳۰۰}\times\underset{min}{۷۰}\times\underset{روز}{۵}=۱۰۵۰۰۰ \text{ mA-min /هفته}$$

$$K=\frac{\cdot/۱\times ۲^۲}{۱۰۵۰۰۰\times\frac{۱}{۴}\times ۱}=$$

$۱/۵۲\times ۱۰^{-۵}=\cdot/\cdot\cdot\cdot\cdot۱۵$

که بامراجعه به‌شکل ۳ ضخامت دیوار اطاق کنترل معادل ۲/۹ میلی‌متر سرب ویا ۹ اینچ‌که برابر ۲۳سانتی‌متر است از بتون باید باشد .

توصیه‌های ضروری و مفید در آزمایشات رادیوسکوپی :

بامراجعه به‌جدول (۷) که مقدار بازده یك‌دستگاه اشعه ایکس فلئورسکپی معمولی را روی پانل فلئورسکپ‌نشان میدهد وبا توجه به‌ارقام زیاد وهمچنین حضور اجباری پرسنل درمحوطه اطاق وقرار گرفتن قسمتی از بدن درمقابل اشعه اصلی ومخصوصاً اشعه متفرق وهرز الزاماً دقت‌بیشتری برای‌کاهش دوز به‌پرسنل ضرورت دارد .

به‌منظور کاهش دوز به‌پرسنل ومریض توصیه‌های زیر کمك بسیار شایانی مینماید .

۱ــ فاصله کانونی تیوپ اشعه تاروی میز هرگز از ۳۰ سانتی‌متر کمتر نباشد .

۲ــ فاصله کانونی تیوپ اشعه تا روی میزمیبایست از ۳۸ سانتی‌متر به‌بالا انتخاب شود .

۳ــ بهترین فاصله علمی وتکنیکی بین ٤۰ تا ٤٦ سانتی‌متر است .

٤ــ حداقل فیلتر مورد استفاده ۲/٥ میلیمتر آلومینیوم یامعادل آن باشد .

٥ــ ضخامت صفحه فلئورسکپ از نظر معادل سرب باید حداقل ۱/٥ میلیمتر برای $KV\leq ۱۰۰$ و ۱/۸ میلیمتر برای $۱۰۰<KV<۱۲۵$ و ۲mm برای $KV=۱۲۵$ باشد .

٦ــ قدرت اشعه روی پوست بدن بیمار با KV =۸۰ هرگز نباید از R/ma-min ۳/۲ بیشتر و میبایست در حدود R/ma-min ۲/۱ باشد .

۷ــ در مسیر اشعه ایکس بین تیوب و میز نباید اشیاء دیگری قرار گیرد . رعایت این توصیه در کاهش

مقدار اشعه پراکنده کمك شایانی میکند .

۸ــ باید از یك Sliding Panel که معادل 0/5 ≥ میلیمتر سرب باشد استفاده کرد .

۹ــ درفاصله ۵ سانتی‌متری کنار لبه میز یا پشت Viewing Screen مقدار اشعه نباید هرگز از مقدار ۱۰m R/h بیشتر باشد .

۱۰ــ استفاده از Apron باند دوطرفه حداقل‌معادل ۰/۲۵ میلیمتر سرب اجباری است . بهتراست ضخامت سمت جلو ۰/۵ میلیمتر وپشت ۰/۲۵ میلیمتر معادل سرب باشد .

۱۱ــ قبل از فلئورسکپی برای مدت معینی حتماً باید در نورکم قرارگرفت تا تطابق لازم برای چشم حاصل شود وتحت هیچ شرائطی نباید از mA زیاد برای وضوح بیشتر محل عارضه استفاده‌کرد .

۱۲ــ اندازه‌گیری دوز هرز اطراف سردستگاه Leakage Radiation و اشعه پراکنده Scattered Radiation در نقاط مختلف‌اطاق هرچند مدت یکبار قویاً توصیه میگردد .

۱۳ــ در مواقع امتحانات رادیولوژیکی حتماً باید از دستکش حداقل معادل ۰/۲۵ میلیمتر استفاده‌کرد .

۱۴ــ فلئورسکپی باید تحت نظر مستقیم یك رادیولوژیست متخصص صورت گیرد .

۱۵ــ دیافراگم حتماً به‌اندازه لازم باز شده و حتی‌الامکان اندازه فیلدکوچك انتخاب شود .

۱۶ــ از میلی‌آمپر کم وولتاژ زیاد استفاده شود .

۱۷ــ کلیه نورهای مزاحم دراطاق فلئورسکپی باید بحداقل مقدار خود برسد .

۱۸ــ استفاده از Image Intensifires قویاً توصیه میشود زیرا زمان رادیوسکپی راکم نموده و در نتیجه دوز به مریض به نسبت زیادی تقلیل پیدا میکند و بعلاوه به‌پرسنل نیز اشعه‌کمتری میرسد .

۱۹ــ برای کاهش دوز به قسمتهای حساس بدن مانند Fetus - gonads - embryo - مراکزخونساز و غیره قویاً توصیه میشود ازوسائل حفاظتی مخصوص Shielding استفاده شود .

۲۰ــ در صورت قرار گرفتن پشت Viewing Screen حتی‌الامکان سعی شود فاصله چشم تاصفحه از ۵ سانتی‌متر کمتر نشده وبرای حفاظت پاها و قسمت‌های تحتانی بدن اقدام لازم بعمل آید . استفاده از عینك محافظ چشم‌ها قویاً توصیه میشود .

SUMMARY

The principal objective of radiation protection is to ensure that the dose received by any individual does not exceed the applicable M.P.D. values.

We will discuss in this paper the presents recommendations and technical information related to the design and installation of structural shielding with taking into account the concept of Maximum Permissible Dose equivalent (MPD) as expressed and given in the Medical Journal of the National University of Iran, Vol. 3. No. 1, January 1975.

The numerical values of the MPD are such that the probability of adverse biological effects is extremely low in light of the present scientific knowledge of Radiation Biological Effects (R.B.E.) in safety use. It includes a discussion of the various factors to be considered in the selection of appropriate shielding materials and in the calculation of barrier thickness. The paper is prepared after reviewing many literatures: i.e., all NBS, ICRP, ICRU, NCRP, published Journals and reports, all international recommendations in this subject for the use of radiologists, radiological physicists, health physicists, inspectors and regulatory personnel, architects, hospital administrators in the light of planning and designing new facilities, remodelling existing facilities, possible future needs for new equipments, higher radiation source of machine and even increasing work load.

REFERENCES

1. Braestrup C.B. and Wyckoff H. O. "radiation protection", Charles Thomas, publisher, Springfield, Ill. (1958).
2. Brucer. M. "Teletherapy design problems, radiology 62, 91, (1954).
3. Evans W.W. et al. "Absorption of 2 Mev

constant potential roentgen rays by lead and concrete", radiology 58, 560, (1952).
4. Frantz F.S. and Wyckoff W.W. "Attenuation of scattered Cs 137 gamma rays", Radiology 73, 263, (1975).
5. Gallaghar R.G., Saenger E.L., "Radium capsules and their associated hazards", Am. J. roentg 77, (511, (1957).
6. ICRU, report 11, 1968, report 10a, (1962).
7. ICRU, report of RBE committee health physics, 9:357, 1963.
8. ICRP: "recommendations of the international commission on radiological protection": Bril. J. radiol. supp. No. 6, (1955).
9. ICRP: "protection against electromagnetic radiation above 3 Mev and electrons, neutrons, and protons". Report 4, Oxford pergamon, (1964).
10. ICRP: "Recommendation of the ICRP", publication No. 9, Oxford pergamon, (1966).
11a. ICRP: "The evaluation of risks from radiation", publication No. 8, Oxford pergamon, (1966).
11b. Johns H.E. and Cunningham J.R., "The physics of radiology", Charles Thomas, publisher, 3rd edition, second printing, (1971).
12. Karzmark C.J. and Capone T. "6 Mev x-rays" Bri. J. Radio, 41, 222, (1968).
13. Kennedy R.J., Wyckoff H.O. and Synder W.A. "concrete as a protective barrier for gamma rays from co-60," J. Res. NBS- 44, 157, (1950).
14. Kirm F. S., Kennedy R. J., and Wyckoff H.O. "attenuation of gamma rays at oblique incidence," Radiology 63, 94, (1954).
15. Kirm F.S. and Kennedy R.J. "Betatron x-rays: how much concrete for shielding", Nucleonics, 12, No. 6, p. 44, (1954).
16. Medical Research Council, "the hazards to man of nuclear and allied radiations", London, Her Majesty's Stationery Office, (1956).
17. Mooney R.T. and Braestrup C.B., "attenuation of scattered co-60 radiation in lead and building materials", AEC, report N.Y. 02165, (1957).
18. Miller C.E. and Marnelli, L.D., "gamma rays spectrum and human beings", Radiol., 66: 104, (1956).
19. Miller C.E., Kennedy R.J., "x-rays attenuation in lead, alumninium and concrete", Radiol. 65, 920, (1955).
20. Ministry of Health: "code of practice for the protection of persons against ionizing radiations arising from medical and dental use", London. Her Majesty's Stationery Office, (1964).
21. N.B.S., U.S. Handbooks 51, 57, 59, 60, 69, 73, 78, 84.
22. NCRP, U.S. reports, 8 through 35.
23. Ritz, H. broad and narrow beam attenuation of Ir-192 gamma rays in concrete, steel lead and Iron", non-destructive testing 16, 269, May-June, (1968).
24. Richards, A.G. "Dental X-ray Equipment", Oral. surg. 13:194-198, (1960).
25. Richards, A.G. "Secondary radiaion and the dentist", J.A.D.A., 57, 31-38, (1958).
26. Sax, N.I., "danger properties of indestrial materials", Reinhold pub. corp. New York, (1957).
27. Schall, W.E., "x-rays, their origin dosage and practical application", Bristol. John Wright & Son Ltd., stone bridge.
28. Shapiro, "Radiation Protection",: Harvard University Press, (1972).
29. Trout E.D., Kelly, J.P. and A.C. Lucas, Broad beam attenuation in concrete for 50 to 300 KVP x-rays and in lead for 300 KVP x-rays", Radiology: 72, 62, (1959).
30. Weisman M.I., "A simplified lead shield for gonadal protection in dental radiography", D. Diges 65: 546-457, (1959).
31. Wyckoff H.O., Kennedy R.J., and Bradford W.R., "Broad and narrow beam attenuation of 500-1400 KV x-rays in lead and concrete", Radiol: 51, 849, (1948).
32. Yale S.H. and Goodman. L.S., "Reduction of radiation output of the standard dental x-ray machine" J.A.D.A., 54:354, (1954).
33. U.S. Atomic Energy Commission sandards for protection against radiation" title 10, Code of Federal Regulation, pt. 20.Jan. 29, (1957).

۳۴ــ دکترمهدی همایونفر «کاربردپرتوهای یونساز وبهداشت جامعه» ــ مجله دانشکده پزشکی دانشگاه ملی ایران ــ سال سوم شماره اول آذرماه ۱۳۵۳ .