

طراحی نرم افزار رایانه‌ای جهت محاسبه حفاظ اضافی مورد نیاز بخش های پرتونگاری تشخیصی

سید علی رحیمی (M.Sc.)^{*} سعید سرکار (Ph.D.)^{**}محمدجواد ابوالحسنی (Ph.D.)^{**} شکرآ... سالار (M.Sc.)^{***}

چکیده

سابقه و هدف : حفاظ گذاری ساختمانی در بخش های پرتونگاری تشخیصی، معمولاً بر اساس پیشنهادات شورای ملی اندازه گیری و حفاظت در برابر تابش (NCRP49) اجرا می شود. در این پروژه با طراحی نرم افزار کامپیوتری، بر اساس مدل ترکیبی (Simpkin) که تضعیف پرتوهای ناشی از مصالح و تأسیسات ساختمان که از قبل در محل موجود می باشند و استفاده هم زمان از چند منبع پرتونگاری در پتانسیل های مختلف را مد نظر دارد (بر خلاف روش های دیگر)، حفاظ اضافی مورد نیاز محاسبه گردید.

مواد و روش ها : در نرم افزار طراحی شده جهت تعیین ضخامت حفاظ اضافی از اطلاعات مربوط به نمودارهای تضعیف تابش، حد دز مجاز منطقه مورد بررسی، حجم کار هفتگی، ضریب کاربرد، ضریب اشغال، فاصله منطقه اشغال شده از منبع اشعه و بیمار، حد دز معادل هفتگی (p) براساس نوع منطقه، جنس مصالح ساختمانی، ضخامت حفاظ ساختمانی موجود، زاویه پراکندگی، میزان مجاز نشت پرتو و میدان تابش استفاده گردید. در مرحله بعد یک بانک اطلاعاتی از تمام ضرایب جداول و نمودارهای مورد نیاز، که با استاندارد حفاظ گذاری مطابقت دارد ایجاد شد. معادلات حفاظ گذاری، به زبان (visual Basic) پیش رفته که تحت ویندوز نیز می باشد، تبدیل گردید. اطلاعات و متغیرهای مورد نیاز به نرم افزار داده شد و سپس با استفاده از نمودارهای تضعیف که به صورت بانک های اطلاعاتی می باشد تبدیل شد و نیز با استفاده از معادلات حفاظ گذاری، حفاظ اضافی مورد نیاز با دقت و در زمان اندک محاسبه گردید.

یافته ها : نتایج این پروژه، با توجه به بررسی های به عمل آمده در بخش پرتونگاری، حاکی از این است که در اکثر موارد در بخش های پرتونگاری حفاظ مورد نیاز به کار نرفته و در مواردی نیز بیش از حد نیاز حفاظ گذاری شده است. در حالتی که ضریب کاربرد مخالف صفر باشد، ضخامت حفاظ مورد نیاز با روش NCRP49 حدود ۲۰ درصد کم تر از مقدار مورد نیاز محاسبه می شود، که در این بررسی تخمین نادرست NCRP49 اصلاح شد. در حالتی که ضریب کاربرد برابر با صفر باشد (یعنی تنها مانع ثانویه مد نظر است) ضخامت حفاظ مورد نیاز در حدود ۱۵ درصد کم تر از ضخامت مانع سربی و در حفاظ بتونی مقدار ۸ درصد کم تر از ضخامت محاسبه شده روش McGuire می باشد؛ به طوری که تخمین بیش از حد حفاظ مورد نیاز روش McGuire نیز در این نرم افزار پیشنهادی اصلاح شد.

استنتاج : نتایج نشان داد که اختلاف بین مقادیری که محاسبات تئوری پیش بینی می کند با نتایج نرم افزار به کار رفته در این پروژه، مضربی ناچیز از $10^{-5} = \chi^2$ می باشد که نشان دهنده دقت و صحت بالای کارآیی این نرم افزار می باشد.

واژه های کلیدی : پرتونگاری تشخیصی ، حفاظ اضافی ، نمودارهای تضعیف ، مصالح ساختمانی

* کارشناس ارشد فیزیک پزشکی، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی مازندران
** متخصص فیزیک پزشکی، اعضای هیئت علمی و استادیار دانشگاه علوم پزشکی تهران
*** کارشناس ارشد فیزیک پزشکی بیمارستان ۱۷ شهریور آمل
✉ ساری : کیلومتر خزرآباد- دانشگاه بهداشت
تاریخ دریافت : ۸۳/۳/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۸۳/۸/۱۴ تاریخ تصویب : ۸۴/۱۰/۱۶

مقدمه

اشعه X قسمتی از طیف الکترومغناطیسی است که خاصیت یون سازی دارد. به دلیل آثار مخرب پرتوهای یونیزان ناشی از دستگاه های اشعه X، قوانین بین المللی در مورد کنترل و حفاظت در برابر پرتو، برای بیماران و کارکنان، در بخش های پرتونگاری (x-ray) وجود دارد (۱). در سال های اخیر، به دلیل خطرات ناشی از تابش گیری بیش از حد مجاز و اثرات مخرب آن، ضرورت تعیین استانداردهای حفاظ گذاری جهت کاهش پرتو دهی به بیماران و کارکنان و رعایت اصول حفاظت در برابر پرتو به طور جدی توسط متخصصین فیزیکی پزشکی مورد بررسی قرار گرفته است. تعیین استانداردهای حفاظ گذاری در بخش های پرتو نگاری اولین بار در شورای ملی اندازه گیری و حفاظت در برابر تابش (NCRP49)^۱ گزارش شد. پیش از این روش های تحلیلی دیگری برای طراحی حفاظت مورد استفاده قرار می گرفت که به علت عدم کارایی مناسب، محاسبه نادرست حفاظت مورد نیاز، در حال حاضر استفاده نمی شوند.

در NCRP49 فرض بر این است که پرتوهای اولیه که از منبع x-ray خارج می شوند مستقیماً به مصالح ساختمانی برخورد می کنند و از تضعیف پرتو اولیه توسط بیمار و سخت افزارهای مربوطه (نظیر کاست، نگه دارنده های کاست، تیوب پرتو X و میز پرتونگاری) صرف نظر شده است (۲). هم چنین حفاظ اولیه در حالت حداکثر پتانسیل بهره برداری در نظر گرفته شده و برای مقادیر پایین Kv (نظیر ماموگرافی) توضیح داده نشده است، ضمن این که به داده های تضعیف در ژنراتورهای سه فاز، که امروزه بیشترین استفاده را در منابع x-ray دارند نیز اشاره نشده است (۳).

طراحی حفاظ برای تأسیسات x-ray تشخیصی، عموماً براساس اصل ALARA^۲ انجام می شود. این اصل به این معنی است که میزان پرتو دریافتی براساس ملاحظات فنی و اقتصادی هر چه کم تر باشد، بهتر است. اخیراً

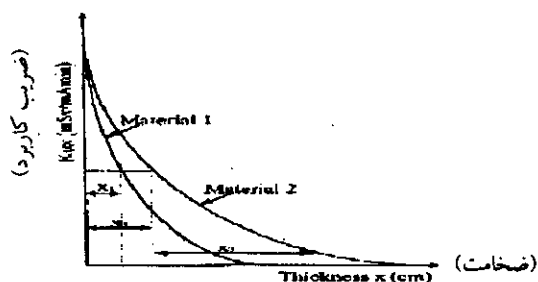
روش های تحلیلی دیگری برای طراحی حفاظ ساختمانی در برابر تابش برای تأسیسات x-ray تشخیصی به کار گرفته شده است (۳).

بررسی به عمل آمده نشان داد نرم افزارهای طراحی شده بر پایه گزارش NCRP49 قادر به محاسبه دقیق حفاظ اضافی مورد نیاز نمی باشد. Archer و همکاران (۱۹۸۳) با ارائه یک مدل جدید تخمین های نادرست مدل NCEP49 را اصلاح نمودند (۱). آن ها روشی را برای تعیین دقیق ضخامت مانع ثانویه مورد نیاز برای کاهش پرتوگیری تا حد مجاز (MPD) را ارائه نمودند. بررسی به عمل آمده نشان داد نرم افزار طراحی شده Archer و همکاران (۱۹۸۳) نیز به دلیل در نظر نگرفتن وجود چند منبع پرتونگاری که در یک اتاق واحد بهره برداری می شوند و در نظر نگرفتن حفاظ اضافی موجود قادر به محاسبه دقیق حفاظ اضافی مورد نیاز نمی باشد (۴).

روش پیشنهادی Archer توسط McGuire (۱۹۸۶) بررسی و تکمیل شد. McGuire روشی جهت انجام محاسبه حفاظ در اتاق های تشخیصی که از منابع چند گانه تابش تحت پتانسیل (Kvp) یکسان استفاده می کنند ارائه نمود. محقق یک راه حل عمومی برای محاسبه حفاظ اضافی مورد نیاز که باید به حفاظ اولیه موجود افزوده شود را نیز پیشنهاد داد. بررسی به عمل آمده نشان داد نرم افزار طراحی شده بر پایه مدل McGuire به دلیل در نظر نگرفتن سخت افزارهای موجود در بخش های پرتو شناسی (کاست، نگه دارنده های کاست، میز پرتونگاری) قادر به محاسبه دقیق حفاظ اضافی نمی باشد. ضمن این که بر پایه این مدل چند منبع x-ray که در یک اتاق واحد استفاده می شوند، همگی تحت پتانسیل یکسان در نظر گرفته می شوند، که در غالب موارد این طور نخواهد بود (۵). Simpkin و همکاران (۱۹۹۶) مدل های مذکور را در هم ترکیب کرده و یک مدل ترکیبی ایجاد نمودند (۶). در این مدل ترکیبی با در نظر گرفتن

1. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)
2. According to this all exposure shall be kept As Low As Reasonably Achievable.

که $P(x)$ کل پرتو دمی هفتگی ناشی از یک منبع x-ray در نقطه ای پشت حفاظ با ضخامت x است. ضمن اینکه $P(x)$ با حداکثر دز مجاز (MPD) طراحی جهت حفاظت کافی مساوی می باشد (۹). مقادیر K (تعداد رنتگن ها به ازای یک میلی آمپر در دقیقه در هفته در یک متری) پارامتر دمی شده منطبق با مدل آرشر بوده و به نوع ماده، ضخامت آن و مقادیر کیلو ولتاژ Kvp بستگی دارد (۱). x_1 ضخامت ماده یک است که باید در مقابل حفاظ موجود ۲ با ضخامت x_2 اضافه شود تا پرتوگیری در نقطه پشت مانع حفاظتی برابر با حداکثر دز مجاز شود (۷). نمودار شماره ۱ انتقال یکسان تابش x-ray از ماده ۲ با ضخامت x_3 را نشان می دهد (۷).



نمودار شماره ۱: نمایش کیفی انتقال پرتوهای اولیه و پراکنده از طریق ۲ ماده مختلف می باشد

به طور خلاصه هنگامی که تعدادی (M) تیوب X-ray تابش های مختلفی تشعشع نمایند، در صورت وجود حفاظ ناشی از مصالح ساختمانی، پرتوگیری در نقطه ای پشت دیوار حفاظتی با ترکیب مدل های پیشنهادی McGuire، Archer و Simpkin عبارت است از:

T_{2j} انتقال تابش اولیه یا پراکنده با کیفیت از ماده ثانویه می باشد و در صورتی که از قبل در محل حفاظ موجود نباشد برابر با یک می شود. (یعنی $X_2=0$) (۷-۱۰).

$$P_T = \sum_{j=1}^M \left[\left(\frac{K_{xj} x_1}{K_{0j}} \right) T_{2j} (P_p + P_s) + \exp \left(\frac{-x_1 \ln 2}{HVL_{1j}} \right) \exp \left(\frac{-x_2 \ln 2}{HVL_{2j}} \right) P_L \right] \quad (3)$$

تضعیف مصالح ساختمانی موجود، حفاظ اضافی مورد نیاز به صورت تئوریک با دقت بالا محاسبه گردید (۷). بررسی های به عمل آمده نشان داد مقدار حفاظ اضافی محاسبه شده با این روش قادر به کاهش پرتوگیری تا حد مجاز دوز (MPD) ^۱ می باشد، نرم افزار طراحی شده در این پروژه بر اساس این مدل می باشد.

بر اساس مدل ترکیبی Simpkin، در این پروژه طراحی نرم افزاری برای محاسبه حفاظ اضافی مورد نیاز چند منبع x-ray که در پتانسیل های بهره برداری مختلف استفاده می شوند، با در نظر گرفتن تضعیف پرتو ناشی از مصالح ساختمانی و تأسیساتی ساختمانی که از قبل در محل موجود باشند، مدنظر می باشد.

مواد و روش ها

در طراحی نرم افزار این پروژه از معادلات مدل ترکیبی Simpkin استفاده گردید (۷). فرض می کنیم P_{pj} ، P_{sj} و P_{lj} میزان پرتوگیری حفاظ گذاری نشده از تابش اولیه، پراکنده و نشتی تابش شده از هر تیوب j موجود در اتاق x-ray که توسط McGuire تعریف شده است باشد (۵). مدار $P(x)$ در معادله ۱ باید برابر با نسبت حد در طراحی سالیانه به فاکتور اشغال $\left(\frac{P}{T} \right)$ منطقه مورد حفاظت باشد (۷، ۸).

T_{Lj} ، T_{sj} ، T_{pj} خصوصیات انتقال تابش های اولیه پراکنده و نشتی نوع j منبع x-ray که از حفاظی با ضخامت x عبور می کند می باشند (۷).

$$\frac{P}{T} = P(x) = \sum_{j=1}^M (P_{pj} T_{pj}(x) + P_{sj} T_{sj}(x) + P_{lj} T_{lj}(x)) \quad (1)$$

یا به صورت تحلیلی:

$$P(x) = \sum_{j=1}^M (P_{pj} (K_{wp}(x) / K_{0j}) + P_{sj} (K_{wp}(x) / K_{0j}) + P_{lj} \exp(-x \ln 2 / HVL_j)) \quad (2)$$

1. Maximum Permissible Dose. (MPD)

وجود حفاظ بتونی با ضخامت ۷۸/۱ میلی متر (ناشی از مصالح ساختمانی موجود)، ضخامت حفاظ اضافی مورد نیاز با نرم افزار McGuire ۸۵/۵ میلی متر و ضخامت کل حفاظ بتونی مورد نیاز ۱۶۳/۶ میلی متر می شود. در این حالت ضخامت حفاظ اضافی مورد نیاز با نرم افزار طراحی شده ۷۷/۶ میلی متر و ضخامت کل حفاظ بتونی مورد نیاز ۱۵۵/۷ میلی متر محاسبه می شود که ۷/۹ میلی متر خطا نرم افزاری McGuire را کاهش می دهد.

جدول شماره ۱: داده های فرضی برای مقایسه حفاظ اضافی مورد نیاز براساس نرم افزاری پیشنهادی و روش های Archer ، NCRP49 و McGuire

مقدار	پارامترهای حفاظ گذاری
۱	(U) ضریب کاربرد
۱۰۰۰	(mA.min /week) ، کار کرد هفتگی (w)
۲	فواصل اولیه ، ثانویه و نشی نقطه کانونی منبع x-ray تا منطقه اشغال شده
۴	شدت جریان ماکزیمم دستگاه بر حسب میلی آمپر
۰/۰۲	پرتوگیری هفتگی (میلی سیورث در هفته)
۱۰۰۰	اندازه میان تابش بر حسب سانی متر مربع
۲	فاصله بیمار از منبع تابش بر حسب متر

مقایسه نرم افزار پیشنهادی و نرم افزار McGuire نشان داد در حالت کلی با افزایش عرض حفاظ موجود، روش McGuire منجر به ضخامت بزرگ تری جهت افزودن به حفاظ موجود شده و حفاظ نهایی بزرگ تر از حفاظ موجود می شود. این مسأله منجر به تخمین بیش از حد حفاظ مورد نیاز خواهد شد.

جدول شماره ۳ نشان می دهد، حتی در حالتی که ضخامت حفاظ موجود برابر با حفاظ مورد نیاز (در صورت موجود نبودن حفاظ اولیه) باشد، یعنی بتون موجود ۱۵۶/۱ میلی متر باشد، روش McGuire نیاز به حفاظ گذاری اضافه دارد که منجر به بزرگ تر شدن حفاظ از حالت قبلی می شود. بنابراین حفاظ کل ناشی از نرم افزار McGuire به ترتیب حدود ۱۵ درصد ضخیم تر از حفاظ سربی و ۸ درصد ضخیم تر از حفاظ بتون حاصل از نرم افزار طراحی شده این پروژه خواهد بود.

در موردی که ضخامت x_1 در مقابل ضخامت موجود x_2 و با همان جنس افزوده شود ، انتقال برابر با $[K_{ux}(X_3+X_2)/K_{ux}(X_3)]$ می گردد (۷). با استفاده از این معادله برای رساندن P_T به حداکثر دز مجاز می توان ضخامت حفاظ اضافی مورد نیاز (x_1) را محاسبه نمود. در حالتی که حفاظ ساختمانی با ضخامت (x_2) از قبل در محل موجود باشد ، با اطلاع از جنس ماده موجود و ضخامت آن، الگوریتم کامپیوتری از $x_1=0$ شروع شده و مقادیر x_1 مطابق با معادله (۳) با خطای قابل قبول $P_{TOT}=MPD=0.000001$ را به دست می آورد (۱۵-۱۱).

در مرحله بعد یک بانک اطلاعاتی از تمام ضرائب، جداول و نمودارهای تضعیف مورد نیاز ایجاد شد. سپس معادلات حفاظ گذاری مدل ترکیبی Simpkin به زبان Visual Basic که تحت ویندوز نیز می باشد، تبدیل شد با وارد کردن اطلاعات و متغیرهای مورد نیاز به نرم افزار طراحی شده و استفاده از نمودارهای تضعیف، مصالح ساختمانی موجود که به صورت بانک های اطلاعاتی ذخیره شده است، حفاظ اضافی مورد نیاز به سرعت محاسبه می شود.

یافته ها

در این پروژه با طراحی یک نرم افزار، حفاظ اضافی مورد نیاز برای هر سه نوع تابش (اولیه، پراکنده و نشی) بخش های پرتونگاری تشخیصی محاسبه شده است. حفاظ گذاری تأسیسات x-ray تشخیصی از تیوب های با آند تنگستن (w) و مولیبدن (mo) در محدوده ۱۵۰ Kvp - ۲۵ استفاده می شوند. جدول شماره ۱ داده های فرضی برای مقایسه ضخامت حفاظ اضافی مورد نیاز بر اساس نرم افزار طراحی شده و نرم افزارهای مشابه دیگر می باشد. نمودارها و جداول مقایسه نتایج محاسبات نرم افزار طراحی شده این پروژه با مدل های دیگر می باشد.

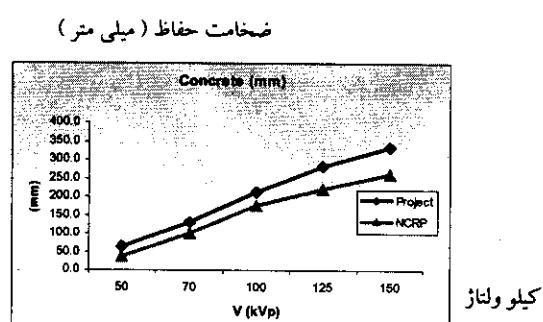
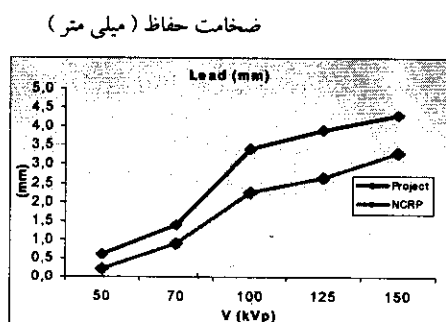
همان گونه که جدول شماره ۲ نشان می دهد، زمانی که هیچ حفاظی در محل موجود نباشد ضخامت مانع بتونی مورد نیاز ۱۵۶/۱ میلی متر خواهد بود. اما در صورت

جدول شماره ۲: مقایسه ضخامت حفاظ اضافی مورد نیاز بر اساس نتایج نرم افزار پی پیشنهادی با نرم افزار McGuire در حالتی که از مواد مشابه حفاظ موجود استفاده گردد.

ضخامت حفاظ بتونی موجود (میلی متر)	ضخامت حفاظ سربی موجود (میلی متر)	ضخامت حفاظ اضافی سربی با نرم افزار McGuire	ضخامت حفاظ اضافی بتونی با نرم افزار McGuire	ضخامت حفاظ اضافی سربی با نرم افزار این پروژه (میلی متر)	ضخامت حفاظ اضافی بتونی با نرم افزار این پروژه (میلی متر)
۰	۰	۲/۵	۱۵۶/۱	۲/۴	۱۵۵/۶
۷۸/۱	۱/۲	۱/۲	۸۵/۵	۱/۲	۷۷/۶
۱۵۶/۱	۲/۵	۰/۳	۲۹/۱	۰	۰
۲۱۲/۱	۳/۴	۰	۰	۰	۰

جدول شماره ۳: مقایسه ضخامت اضافی مورد نیاز در حالتی که از مواد غیر مشابه حفاظ موجود استفاده گردد بر اساس نتایج نرم افزار این پروژه با نرم افزار McGuire

ضخامت حفاظ بتونی موجود (میلی متر)	ضخامت حفاظ سربی موجود (میلی متر)	ضخامت حفاظ اضافی سربی با نرم افزار McGuire	ضخامت حفاظ اضافی بتونی با نرم افزار McGuire	ضخامت حفاظ اضافی سربی با نرم افزار این پروژه (میلی متر)	ضخامت حفاظ اضافی بتونی با نرم افزار این پروژه (میلی متر)
۳۷/۵	۱/۲	۱/۹	۸۳/۷	۱/۸	۸۲/۹
۷۸/۱	۲	۱/۳	۴۵/۱	۱/۱	۳۷/۱
۱۵۶/۱	۲/۵	۰/۳	۲۶/۷	۰	۰
۲۱۲/۱	۳/۴	۰	۰	۰	۰



نمودار شماره ۲: مقایسه نتایج مدل NCRP49 و نتایج نرم افزار طراحی شده برای دو ماده سرب و بتون

جدول شماره ۳: مقایسه حفاظ مورد نیاز بر اساس نتایج نرم افزار پی پیشنهادی با نرم افزار Archer

جنس حفاظ	کیلو ولتاژ (Kvp)	ضخامت حفاظ مورد نیاز روش Archer (میلی متر)	ضخامت حفاظ مورد نیاز با توجه به نتایج نرم افزار طراحی شده (میلی متر)
سرب	۷۰	۱	۰/۵۸
سرب	۱۰۰	۲/۵	۱/۸۲
سرب	۱۲۵	۲/۹	۲/۳۵
بتون	۷۰	۹۰	۵۴/۷
بتون	۱۰۰	۱۵۶/۱	۱۱۰/۱
بتون	۱۲۵	۲۱۵/۱	۱۶۸/۵

جدول شماره ۵: مقایسه حفاظ مورد نیاز بر اساس نتایج نرم افزاری پیشنهادی و نرم افزار روش NCRP49.

ضخامت حفاظ بتونی مورد نیاز با توجه به نرم افزار طراحی شده (میلی متر)	ضخامت حفاظ بتونی مورد نیاز بر اساس NCRP49 (میلی متر)	ضخامت حفاظ سربی مورد نیاز با توجه به نرم افزار طراحی شده (میلی متر)	ضخامت حفاظ سربی مورد نیاز بر اساس NCRP49 (میلی متر)	حفاظ برای اتاق x-ray
۲۸۰/۷	۲۶۰	۳/۹	۳	برای کف
۱۴۴/۴	۱۵۵/۶	۱/۸	۲/۱	برای سقف
۲۵۸/۴	۲۴۰	۳/۵	۲/۷	دیوار
۶۵/۷	۶۶/۸	۰/۷	۹	دیوار

حفاظ اضافی محاسبه شده با این نرم افزار در بخش‌های پرتوگاری نصب شده و با مقادیر متری مشخص کرد که حداکثر مقدار مجاز رعایت شده است. آزمایش در پارامترهای حفاظ‌گذاری مختلف منابع پرتوگاری تشخیصی تکرار و هر بار صحت محاسبات حفاظ اضافی مورد نیاز با نتایج نرم افزار طراحی شده این پروژه مشخص شد به طوری که اختلاف بین مقادیری که محاسبات تئوری مدل ترکیبی پیش‌بینی می‌کند با نتایج نرم افزار به کار رفته در این پروژه مضری از $\chi^2 = 10^{-5}$ بود.

بحث

یافته های تحقیق نشان داد، نرم افزار طراحی شده در این پروژه در مقایسه با نرم افزارهای روش NCRP49 ضخامت دقیق حفاظ اضافی مورد نیاز جهت تضعیف هر سه نوع تابش (اولیه، پراکنده و نشتی) را تا حد حداکثر مقدار مجاز ارائه می‌کند و میزان خطای ناشی از محاسبات نرم افزار NCRP49 را ۲۰ درصد کاهش می‌دهد (۲، ۱).

همچنین حفاظ اضافی مورد نیاز منابع چندگانه تابش که در یک اتاق واحد با پتانسیل‌های ماکزیمم مختلف بهره‌برداری می‌شوند نیز با این نرم افزار تا حد مقدار مجاز محاسبه می‌گردد. اما نرم افزارهای که برپایه مدل Archer طراحی شده‌اند توانایی انجام این محاسبه را ندارند و نیزه میزان ۶ تا ۲۰ درصد خطای ناشی از محاسبه حفاظ با نرم افزار مدل Archer را کاهش می‌دهد (۵-۳).

این نرم افزار ضخامت حفاظ مورد نیاز برای ژنراتورهای سه فاز x-ray، که امروزه بیشترین استفاده را در بخش‌های x-ray تشخیصی دارند، سیستم‌های ماموگرافی و سی تی اسکن را نیز به درستی محاسبه می‌نماید. نرم افزارهای که براساس مدل McGuire طراحی شده‌اند ضخامت حفاظ مورد نیاز را در این حالت به طور صحیح محاسبه نمی‌کند، اما این نرم افزار به میزان ۱۵ تا ۱۷ درصد خطای ناشی از محاسبه حفاظ با نرم افزار مدل McGuire را کاهش می‌دهد (۱۰-۶).

نرم افزار طراحی شده، حفاظ اضافی مورد نیاز را درحالتی که تضعیف پرتو اولیه توسط بیمار و سخت افزارهای مربوطه (نظیر کاست، نگه دارنده کاست، تیوب پرتو X و میز پرتوگاری) ایجاد شده است را نیز به درستی محاسبه می‌نماید (۱۳-۱۱).

به طوری که محاسبات تئوریک به همراه اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در بخش‌های پرتوگاری نتایج نرم افزار به کار رفته در این پروژه را با دقت بسیار بالا تأیید می‌کند.

نرم افزارهای مشابه که بر اساس گزارش NCRP49 طراحی شده‌اند ضخامت حفاظ مورد نیاز برای هر تابش (اولیه، پراکنده و نشتی) را به طور مجزا محاسبه می‌کند و در مورد موانعی که هر سه نوع تابش را دریافت می‌کنند اطلاعات دقیقی را ارائه نمی‌نماید. ضمن این که نرم افزارهای که بر اساس گزارش NCRP49 طراحی شده‌اند در محاسبه حفاظ مورد نیاز از تضعیف پرتو اولیه

انعطاف‌پذیری خوبی برای پذیرش استانداردهای جدید دارد. همچنین قیمت این نرم افزار نسبت به نرم افزارهای مشابه خارجی بسیار مناسب است. در پایان طراحی چنین نرم‌افزاری برای محاسبه حفاظ مورد نیاز بخش‌های پزشکی هسته‌ای و پرتودرمانی پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

از مساعدت و همکاری معاون محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران و از زحمات اساتید و همکاران محترم که در این پروژه همکاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

توسط بیمار و سخت افزارهای مربوطه (نظیر کاست، نگهدارنده کاست، تیوب پرتو X و میز پرتونگاری) صرف نظر نموده است. نرم افزارهای قبلی حفاظ اولیه را در حالت ماکزیمم پتانسیل بهره‌برداری منبع x-ray، محاسبه می‌کند و برای مقادیر پائین KVP (نظیر ماموگرافی) و ژنراتورهای سه فاز x-ray اطلاعاتی دقیقی ارائه نمی‌نماید (۱۵، ۱۴). که این نواقص در این نرم‌افزار برطرف شده است. نتایج برنامه را می‌توان به صورت فایل ذخیره و مجدداً در صورت نیاز استفاده نمود و یا این‌که نتایج را چاپ نمود. این برنامه دارای یک سیستم کمکی قوی و مدرن که برنامه را حمایت می‌کند نیز می‌باشد. ضمن این‌که با تغییر استانداردهای حفاظ گذاری بانک‌های اطلاعاتی این نرم‌افزار، قابلیت

فهرست منابع

1. Benjamin R. Archer. History of the shielding of Diagnostic X-ray Facilities. *Health physics*. 1995; 69(5): 750-758.
2. Douglas J. Simpkin. A General solution to the shielding of medical x and y Rays by the NCRP Report No.49 methods. *Health physics*. 1987; 52(4): 431-436.
3. Douglas J. Simpkin. Evaluation of NCRP No. 49 assumptions on workloads and use factors in diagnostic Radiology Facilities. *Medical physics*. 1996; 23(4): 577-584.
4. B.R.Archer, J.I. Thomby, S.C. Bushong. Diagnostic X-ray shielding design Based on and Empirical Model of photon Attenuation. *Health physics*. 1983; 44(5): 507-517.
5. E. lynn McGuire. A revised schema for performing diagnostic X-ray shielding calculations. *Health physics*. 1986; 50(1): 99-105.
6. Douglas J. simpkin. Radiation shielding of Multiple X-ray Sources in Diagnostic Radiology. *Health physics*. 1986; 50(1): 117-122.
7. Robert L. Dixon, Douglas J. Simpkin. Primary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities: A New Model. *Health physics*. 1998; 75(2): 181-189.
8. Robert L. Dixon, Douglas J simpkin. Secondary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities: scatter and leakage revisited. *Health physics*. 1998; 74(3): 350-365.

9. Douglas J. simpkin. Shielding a Spectrum of Workloads in Diagnostic Radiology. *Health physics*. 1991; 61(2): 259-261.
10. Raymond P. Rossi, Russell Ritenour, Emmanuel Christodoulou. Broad Beam Transmission properties of Some Common Shielding Materials for use in Diagnostic Radiology. *Health physics*. 1991; 61(5): 601-608.
11. Douglas j. simpkin. Transmission Data for shielding Diagnostic X-ray facilities. *Health physics*. 1995; 68(5): 704-709.
12. Douglas J. Simpkin. Shielding Requirements for Mammography. *Health physics*. 1987; 53(3): 267-279.
13. Douglas J. simpkin. Fitting Parameters for medical diagnostic x-ray transmission data. *Health physics*. 1988; 54(3): 345-347.
14. Douglas J. Simpkin. Shielding requirements for constant- potential diagnostic X-ray beams determined by a Monte Carlo calculation. *Health physics*. 1989; 56(2): 151-164.
15. Douglas J. simpkin. Transmission of scatter radiation from computed tomography (CT) scanners determined by a Monte Carlo calculation. *Health physics*. 1996; 23(4): 577-584.