



نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال دوم، شماره 1، تابستان 1394

محاسبه و شبیه‌سازی حفاظ سامانه پرتودهی صنعتی چندمنظوره بناب

معصومه سلیمانی‌نیا^{1*}، مهدی احمدی²، سارا زارعی³

¹ کارشناس ارشد، سازمان انرژی اتمی ایران، مجتمع پژوهشی کرج، کرج، البرز، ایران

² استادیار، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور، تهران، ایران

³ دانشجوی دکتری، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

(تاریخ ارسال مقاله: 1393/10/15 - تاریخ پذیرش مقاله: 1394/3/9)

چکیده

در این مقاله، به محاسبه و شبیه‌سازی حفاظ در نظر گرفته شده برای سامانه پرتودهی بناب پرداخته شده است. این سامانه از نوع پانورامیک استخری بوده که جهت پرتودهی انواع لوازم و تجهیزات پزشکی، ادویه‌جات، مواد غذایی و بهداشتی به منظور سترون‌سازی و افزایش ماندگاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. پرتودهی توسط فوتونهای گسیلی از چشمه ^{60}Co در فضایی تحت عنوان اتاق پرتودهی انجام می‌شود. ابعاد داخلی اتاق $(m^2) 7/1 \times 10/5$ به ارتفاع $(m) 3/2$ می‌باشد و ضخامت دیوارها و سقف آن $(m) 2/1$ از جنس بتون معمولی است. راهروهایی چندخیم برای عبور افراد و محصولات جهت جلوگیری از نشت و جویبارش پرتو از طریق داکتها به بیرون اتاق، به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است. محاسبات ارزیابی حفاظ مذکور با در نظر گرفتن آهنگ دز کمتر از $0/1 \mu\text{Sv/hr}$ (حد دز زمینه) توسط کد مونت-کارلوی MCNP4C با روشهای کاهش واریانس انجام شد و آهنگ دز در نقاط مختلف و بیرون حفاظ به دست آمد. نتایج به دست آمده ایمنی طرح ارائه شده به منظور راهاندازی سامانه را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: اتاق پرتودهی، حفاظ‌سازی، چشمه کبالت 60، مرکز پرتودهی بناب، سترون‌سازی

* البرز، کرج، سازمان انرژی اتمی ایران، مجتمع پژوهشی کرج، کدپستی: 31465-1498

پست الکترونیکی: masumesoleimaninia@gmail.com

1. مقدمه

صنعت پرتودهی مدتهاست جای خود را به طور گسترده-ای در مراکز صنعتی و تجاری دنیا باز کرده است. طی دهه-های اخیر، تحقیقات کاربردی بسیار وسیعی در بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا نظیر ایالات متحده، انگلستان، روسیه، آلمان، فرانسه و ژاپن پیرامون کاربردهای متنوع این صنعت برای دستیابی به اهدافی همچون ایجاد تغییر در پلیمرها، سترون‌سازی لوازم و تجهیزات پزشکی مانند سرنگ‌ها، دستکش‌ها و لباس‌های اتاق عمل و پرتودهی محصولات مختلف غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی به منظور نگهداری طولانی‌مدت انجام گرفته است [1-3]. امروزه در صنایع مختلف کشورهای پیشرفته و صنعتی دنیا به نحو چشمگیری از سیستمهای پرتودهی و استریل‌کننده گاما و الکترون استفاده می‌شود. در کشور ما نیز سیستم پرتودهی و استریل‌کننده گاما IR-136 در سال 1364، توسط یک شرکت کانادایی با توجه به نیازها و تکنولوژی آن زمان طراحی و ساخته شد [4]. با توجه به روند رو به رشد جمعیت، لزوم خودکفایی و در نتیجه افزایش میزان تولیدات، نیاز روزافزون کشور به این صنعت بیش از پیش معطوف شده است. از این رو طراحی و راه‌اندازی یک سامانه صنعتی پرتودهی گاما در مجتمع کاربرد پرتوهای شمال‌غرب کشور در بناب در دستور کار مسئولین سازمان انرژی اتمی قرار گرفت. این سامانه شامل انبارهای ورود و خروج کالا، اتاق پرتودهی و اتاق کنترل است. اتاق پرتودهی سامانه شامل چشمه، کابل‌های نگهدارنده و هدایت چشمه، استخر آب، قفسه‌ها، نقاله‌ها و راهرو چندختم¹ با دیوارهای بتونی است که به منظور تضعیف جویبارش پرتو طراحی شده است. نظر به

اینکه آهنگ دز دریافتی پرتوکاران در اطراف منطقه پرتودهی نباید بیشتر از حد مجاز باشد، در این مقاله به شبیه‌سازی حفاظ طراحی شده به منظور برآورد آهنگ دز در نقاط مختلف سامانه پرداخته شده است.

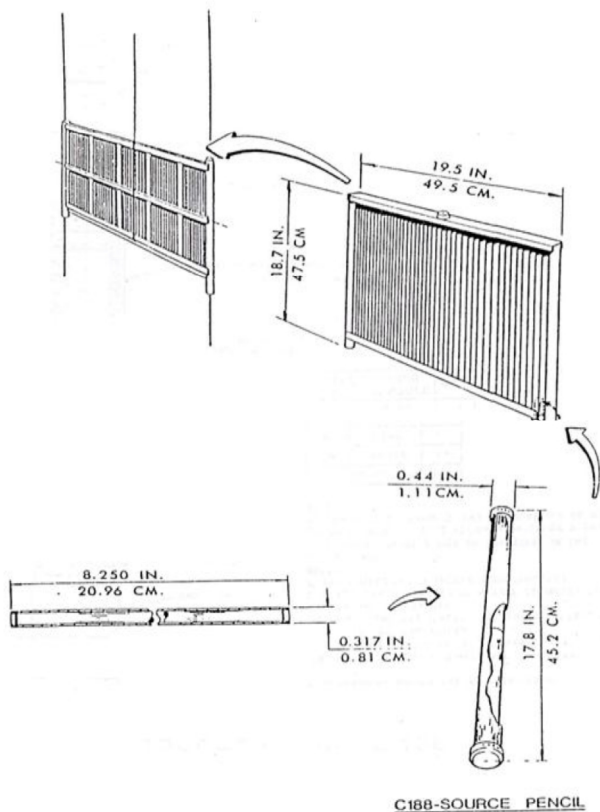
2. روش تحقیق

چنانچه اشاره شد هدف از این کار، محاسبه آهنگ دز محیطی در نقاط مختلف حفاظ بیولوژیک در حالت قرارگیری چشمه در موقعیت پرتودهی، با توجه به حداکثر شدت و فاصله آن از دیوارها است. برای نیل به این هدف از کد مونت‌کارلوی MCNP4C برای محاسبه و شبیه‌سازی استفاده گردید [5]. عامل تعیین‌کننده در انتخاب ضخامت مناسب حفاظ، کاهش آهنگ دز به میزان $0/1 \mu\text{Sv/hr}$ (حد آهنگ دز زمینه) پشت هر یک از حفاظها در نظر گرفته شد [6]. اتاق پرتودهی، یک مکعب مستطیل به ابعاد داخلی $7/1 \times 10/5$ متر مربع و ارتفاع $3/2$ متر است که دیوارهایی به ضخامت $2/1$ متر از جنس بتون معمولی با چگالی $2/35 \text{ gr/cm}^3$ دارد که ترکیبات تشکیل‌دهنده آن در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1. ترکیبات بتون معمولی [7]

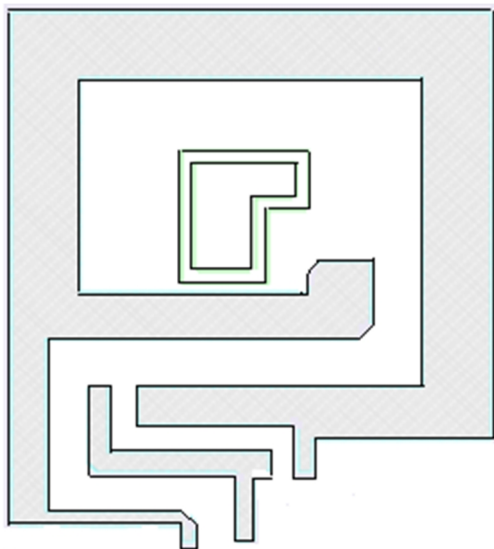
نوع عنصر	درصد وزنی
هیدروژن	0/01
اکسیژن	0/529
سیلیسیم	0/337
آلومینیوم	0/034
کلسیم	0/044
آهن	0/014
منیزیم	0/002
سدیم	0/016
پتاسیم	0/013
کربن	0/001

1- Maze



شکل 1. استاندارد c-188 برای مدادک

چشمه

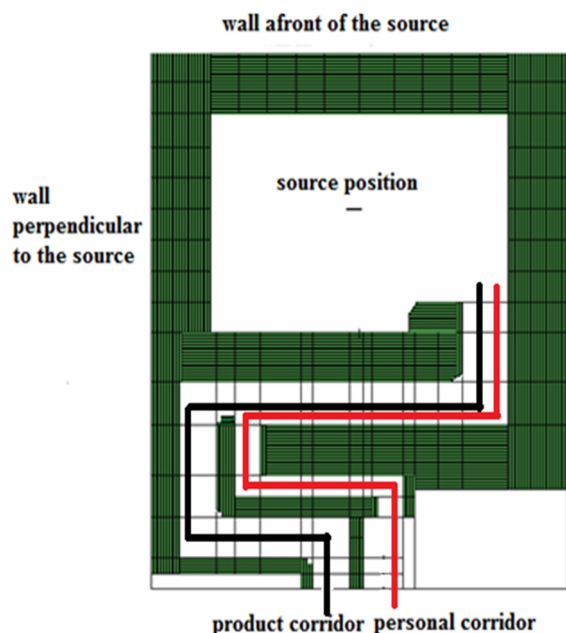


شکل 2. طرح کلی حفاظ طراحی شده برای سامانه

پرتودهی بناب

چشمه به کار گرفته شده در سامانه، چشمه گامای استاندارد ^{60}Co از نوع C-188 است که به هنگام واپاشی در خلال گسیل بتا (با حداکثر انرژی 0/313 MeV)، به ایزوتوپ ^{60}Ni تبدیل می‌شود. این رادیوایزوتوپ در حالت تحریک بوده و پس از گسیل دو فوتون 1/33 MeV و 1/17 MeV به حالت پایدار می‌رسد که از همین دو فوتون برای پرتودهی استفاده می‌شود. چشمه‌ها، مدادک‌هایی به وزن 240 گرم با ارتفاع 451/6 mm و قطر 11/1 mm بوده که اکتیویته هر یک از آنها بین 10 تا 12 کیلوکوری است و برای انواع دزد دلخواه، دسته‌ای از آنها درون ماژول‌هایی¹ از جنس فولاد 304 قرار می‌گیرند. مدادک‌های چشمه به منظور جلوگیری از خوردگی با گاز هلیوم پر شده و جهت حصول اطمینان از عدم نشت چشمه، مرتباً کنترل می‌شوند. جهت نگهداری ماژول‌های چشمه از رک مطابق با شکل 1، استفاده می‌شود [4].

با توجه به چیدمان در نظر گرفته شده برای مدادک‌ها، در اولین بارگذاری چشمه از دو ماژول وسط استفاده شد. از این رو مطابق با اطلاعات آورده شده در شکل 1، چشمه مورد نظر چشمه‌ای با ابعاد $95\text{ (cm)} \times 1/1\text{ (cm)} \times 49/5\text{ (cm)}$ و حداکثر اکتیویته یک میلیون کوری در نظر گرفته شد که در فواصل 5/25 و 3/2 متری از آن، حفاظ قرار گرفت. طرح کلی حفاظ سامانه به همراه محل قرارگیری استخر چشمه در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 3. نمای بالا از شبیه‌سازی اتاق پرتودهی در ورودی

MCNP

2.2. ارزیابی آهنگ دز در بیرون دیوار مقابل به چشمه

در این حالت نیز، ضخامت دیوار مقابل به چشمه مانند روش شرح داده شده در بخش قبل به لایه‌هایی تقسیم‌بندی شد و آهنگ دز با قرار دادن دزیمترهایی در لایه‌های مختلف و بیرون حفاظ محاسبه گردید.

3.2. ارزیابی آهنگ دز در بیرون سقف اتاق پرتودهی

ضخامت سقف ساختمان پرتودهی 210 سانتی‌متر از جنس بتون می‌باشد که در فاصله 160 سانتی‌متری از مرکز رک چشمه، به هنگام قرارگیری آن در موقعیت پرتودهی، قرار دارد. به منظور برآورد بیشترین مقدار آهنگ دز در بالای سقف، تقسیم‌بندی لایه‌ها با قرار دادن دزیمترهایی درون آنها

به منظور انجام محاسبات حفاظ‌سازی، در ابتدا طرح نشان داده شده در شکل 2 با کد MCNP4C شبیه‌سازی و سپس از روش کاهش واریانس برای رسیدن به جواب معقول و خطای قابل قبول استفاده شد. از این رو با توجه به متوسط انرژی فوتون و رابطه تئوری (1) مقدار HVL در حدود 5 سانتی‌متر به دست آمد و ضخامت حفاظ به لایه‌های 5 سانتی‌متری تقسیم شد.

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1)$$

هدف به دست آوردن آهنگ دز داخل هر یک از این لایه‌ها بود. با توجه به بزرگ بودن سلولها در هر لایه، استوانه‌هایی هم‌محور درون حفاظ به ارتفاع ضخامت حفاظ در نظر گرفته شدند. در تقسیم‌بندی عرضی لایه‌ها اهمیت ذرات رو به بیرون کاهش و در عمق افزایش داده شد تا خطای آماری کمتری در مدت زمان مناسب‌تر در برآورد آهنگ دز بیرون حفاظ حاصل شود.

1.2. ارزیابی ضخامت دیوارهای عمود بر

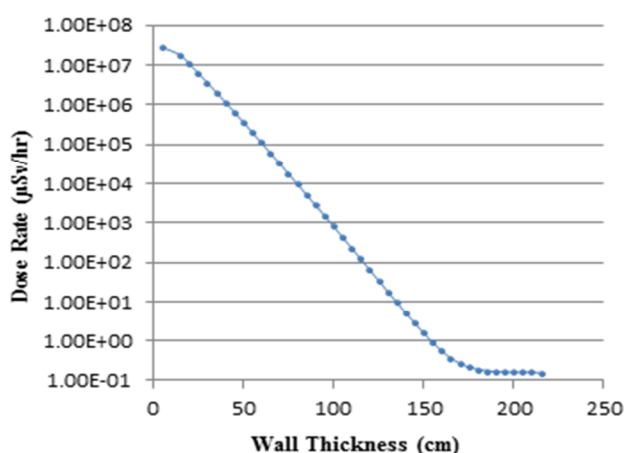
چشمه:

بدترین حالت ممکن برای ارزیابی دز رسیده به بیرون حفاظ، حالتی است که بین چشمه و حفاظ هیچ مانعی قرار نگرفته و از اثر جذب پرتو در محیط صرف‌نظر شده باشد. به منظور محاسبه دز کل، دز فوتونهای ناشی از چشمه ^{60}Co با در نظر گرفتن ضرایب تبدیل شار به آهنگ دز و با استفاده از تالی F4 به دست آمد [8]. مقطعی از نمای بالای هندسه شبیه‌سازی شده در MCNP در شکل 3 نشان داده شده است.

مورد نظر، اهمیت آنها در طول مسیر ترابرد ذره در امتداد راهرو و به سمت خروجی افزایش داده شد. برای ارزیابی میزان دز رسیده درون راهروها دزیمترهایی با ابعاد $80(\text{cm}) \times 2(\text{cm}) \times 80(\text{cm})$ به منظور کوتاه شدن زمان اجرای برنامه‌ها در نظر گرفته شد.

3. نتایج

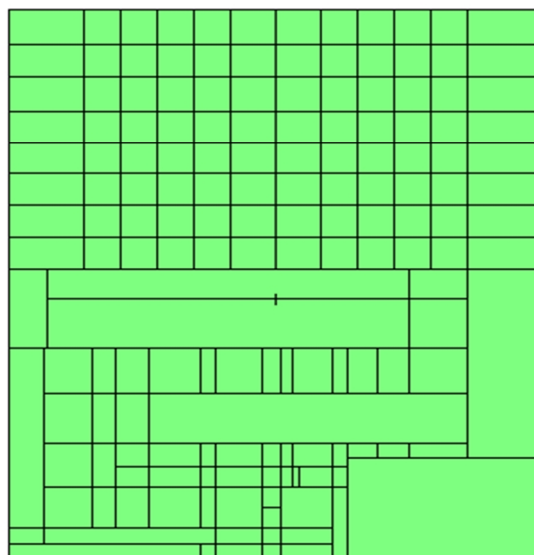
نتایج حاصل از محاسبه آهنگ دز فوتون در ضخامتهای مختلف دیوارهای مقابل چشمه و عمود بر چشمه در شکلهای 5 و 6 با قرار دادن دزیمترهایی در آنها نشان داده شده است. نمودارها روند کاهشی آهنگ دز را در ضخامتهای مختلف حفاظ در نتیجه تضعیف پرتو گاما نشان می‌دهند. همان‌طور که از نتیجه محاسبات برمی‌آید، ضخامت 210 سانتی‌متری بتون با احتساب آهنگ دز زمینه موجود در محیط به کمتر از $0/1 \mu\text{Sv/hr}$ کفایت می‌کند.



شکل 5. نتیجه محاسبه آهنگ دز در ضخامتهای مختلف دیوار

عمود بر چشمه

مانند دو بخش پیشین انجام شد. نمایی از تقسیم‌بندی سقف در قسمتهای مختلف اتاق در شکل 4 نشان داده شده است.



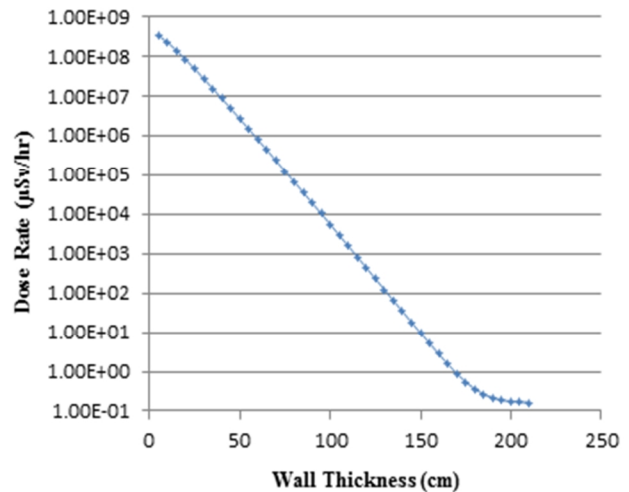
شکل 4. مقطعی از نمای بالا در شبیه‌سازی سقف اتاق پرتودهی

4.2. ارزیابی آهنگ دز در امتداد راهروهای عبور افراد

و محصولات

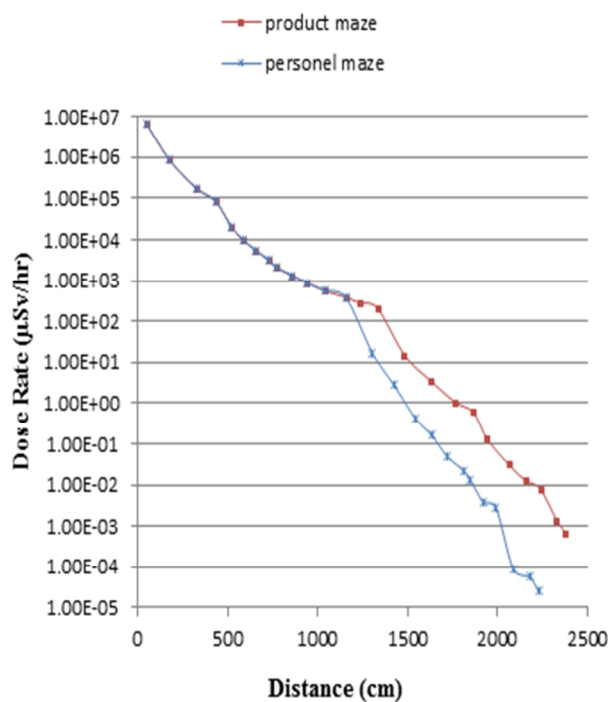
ورودی اتاق پرتودهی چنانچه در شبیه‌سازی شکل 3 نیز نشان داده شده، از دو راهروی مختص عبور افراد و محصولات تشکیل شده است. به منظور محاسبه جویبارش فوتون درون راهرو، آن دسته از فوتونهایی حائز اهمیت هستند که پس از برخورد با حفاظ و بازتابهای چندگانه مجدداً با انرژی کمتر پراکنده شده و به داخل راهروها راه پیدا کرده و بدین شکل امکان نشت آنها به بیرون اتاق وجود دارد. بدین جهت به منظور اعمال روش کاهش واریانس و محاسبه آهنگ دز، مسیر عبور پرتو در راهروها، سقف و کف حفاظ بتونی به سلولهایی تقسیم شد و برای سوق ذرات به سمت نواحی

شکل 8 روند کاهش آهنگ دز فوتون در امتداد راهروی افراد و محصولات که طول آنها به ترتیب 20/24 و 23/53 متر است، را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که محاسبات مربوط به بدترین حالت (قرارگیری چشمه در موقعیت پرتودهی) در نظر گرفته شده است. در این شرایط با توجه به تدابیر امنیتی ملاحظه شده در سامانه، اینترلاکهای ایمنی فعال شده و از حضور افراد در گذرگاههای پرتودهی ممانعت به عمل می‌آید. این محاسبات تنها به منظور بررسی ایمنی پرتویی لازم در ورودی راهروها انجام گرفته و همان‌طور که از نمودار شکل 8 مشهود است، در انتهای راهروها آهنگ دز تا میزان در نظر گرفته شده کاهش می‌یابد.

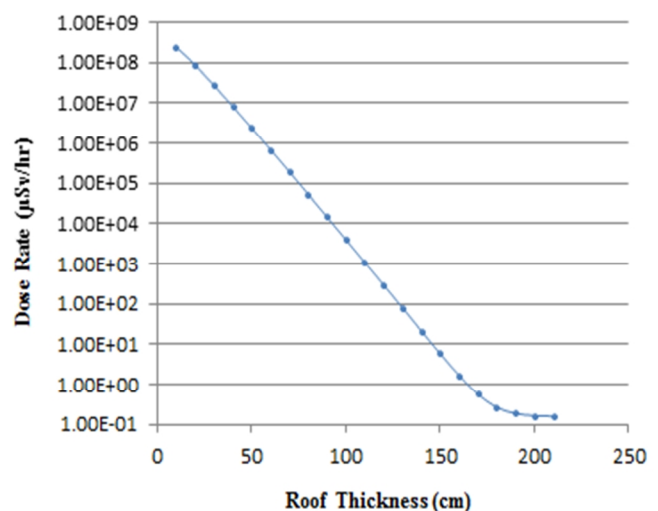


شکل 6. نتیجه محاسبه آهنگ دز در ضخامتهای مختلف دیوار مقابل به چشمه

نتیجه به دست آمده از برآورد آهنگ دز در ضخامتهای مختلف سقف ساختمان پرتودهی که در شکل 7 نشان داده شده است، حاکی از آن است که بیشترین میزان آهنگ دز دقیقاً در محدوده بالای چشمه در اتاقک پرتودهی است.



شکل 8. روند تغییرات آهنگ دز در راهروی افراد و محصولات



شکل 7. نتیجه محاسبه آهنگ دز در ضخامتهای مختلف سقف اتاق پرتودهی

4. بحث و نتیجه‌گیری

مراجع

- [1] V. Placek, S. Svobodova, B. Bartonicek, J. V. Camra, Shelf-stable food through high dose *Radiation Physics and Chemistry*, 711, 513-514, 2004.
- [2] N. Lee, D. Jo, D. Shin, M. Kim, and M. Byun, Effect of g- irradiation on pathogens inoculated into ready-to-use vegetables *Radiation Food Science and Biotechnology Team, Advanced Radiation Technology Institute*, 11(2), 649-656, 2005.
- [3] K. Kim, H. Yook, Effect of gamma irradiation on quality of kiwifruit, *Radiation Physics and Chemistry*, 5, 414-421, 2009.
- [4] AECL, *Co-60 Irradiator Operator's Manual*. Model IR-136 for IAEA- IRAN, ED.1, 1985.
- [5] J.F. Briesmeister, MCNP4C, A General Monte Carlo N Particle Transport Code System Version 4C, *Los Alamos National Laboratory*.
- [6] International Atomic Energy Agency, *Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities*, 1992.
- [7] Associated Nucleonics, Inc. *An Industrial Gamma Irradiator for Industrial Supplies*, Garden City, N. Y., U. S. Atomic Energy Commission, Office of Isotopes Development, 2006.
- [8] J.H. Hubbell, S.M. Seltzer, Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficient and Mass Energy – Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92, 48 Additional Substances of Dosimetric Interest, Report NISTIR 5632. *National Institute of Standard and Technology*, 1995.

با توجه به ضرورت در نظرگیری محدوده‌ای با الزامات خاص در اطراف منطقه پرتودهی به منظور حداقل نمودن آهنگ دز ضمن فعالیت سامانه، در این مقاله به محاسبه، شبیه‌سازی و ارزیابی حفاظ طراحی شده برای سامانه پرتودهی صنعتی چندمنظوره بناب پرداخته شده است. ابعاد داخلی اتاق (m^2) $10/5 \times 7/1$ به ارتفاع $3/2$ (m) است که ضخامت دیوارها و سقف آن $2/1$ (m) بتون معمولی است. راهروهای پیچ‌درپیچ به منظور تضعیف و جلوگیری از جویبارش پرتو از طریق داکت‌ها به بیرون اتاق، در نظر گرفته شده است که ورود افراد به داخل اتاق با عبور از راهروهای مذکور امکان‌پذیر بوده و محصولات نیز توسط سیستم کانوایر از راهرویی مجزا وارد اتاق شده و پس از اتمام پرتودهی از آن خارج می‌شوند. محاسبات حفاظ‌سازی با کد مونت‌کارلوی MCNP4C و با استفاده از روش کاهش واریانس انجام گرفت. مطابق با توصیه‌های آژانس انرژی اتمی برای مراکز گاما و الکترون حد دز $0/1 \mu Sv/hr$ (حد دز زمینه) در نظر گرفته شد که نتایج محاسبات شبیه‌سازی ایمنی طراحی انجام شده را تأیید کردند.

Calculation and simulation of the designed shield for gamma industrial irradiator in Bonab

M. Soleimaninia^{1*}, M. Ahmadi², S. Zarei³

1. M.Sc., Application of Radiation Research, Nuclear Science & Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran. Karaj, Alborz, Iran

2. Assistance Professors, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, Tehran, Tehran, Iran

3. Ph.D. Student, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding author's E-mail: masumesoleimaninia@gmail.com

(Received: 5/1/2015 - Accepted: 30/5/2015)

ABSTRACT

Calculations and simulation of the designed shield for Bonab Industrial Irradiation Unit has been investigated in this work. This irradiator is panoramic wet source storage which is used to irradiation of medical equipment, some kinds of food & healthcare products, spices, ... in order to sterilization and increasing of durability. Irradiation is performed in irradiation room using emitted photons of ^{60}Co source. The internal dimensions of the room is 10.5 (m) *7.1 (m) *3.2 (m) (L*W*H) which is made of ordinary concrete walls and roof with thicknesses of 2.1 m to reduce dose rate less than 0.1 $\mu\text{Sv/hr}$ out of the shield. Two separated mazes have been considered as entrance of the room for passage of personals and goods and prevent leakage & streaming of radiation through ducts into outside. The calculations were performed with Monte Carlo MCNP4C Code and variance reduction methods to obtain the dose rate in various layers and beyond the shield. The obtained results showed the safety of existent scheme for getting started the operations of the irradiation unit.

Keywords: Irradiation room, Shielding, ^{60}Co source, Bonab irradiation unit, Sterilization