

## تدوین برنامه‌ی کامپیوتری به روش کرنل نقطه‌ای جهت محاسبه‌ی آهنگ دز جذبی به منظور پرتودهی ساکن محصولات مختلف در سامانه‌ی پرتودهی IR-136

فاطمه حسینی<sup>۱</sup> - وحیده عطائی نیا<sup>۲</sup> - سید محسن صالح کوتاهی<sup>۱</sup> - غلامرضا رئیس علی<sup>۲\*</sup>

- ۱- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده‌ی علوم، گروه فیزیک  
۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها

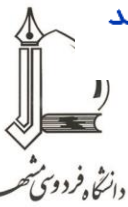
### چکیده

سامانه پرتودهی IR-136 در سازمان انرژی اتمی به منظور پرتودهی محصولات مختلفی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در شرایطی خاص به دلیل برخی محدودیت‌ها، از فضای خارج از سیستم جابجایی محصول برای پرتودهی استفاده می‌شود. در این تحقیق به منظور انجام محاسبات سریع یک برنامه‌ی کامپیوتری به زبان فرترن به روش کرنل نقطه‌ای تدوین و برای سنجش اعتبار، نتایج حاصل از آن با نتایج بدست آمده از روش مونت کارلو مقایسه شده است. در صد اختلاف نتایج دو روش کمتر از ۱۱٪ است که تطابق قابل قبولی را نشان می‌دهد.

کلید واژه: آهنگ دز جذبی، روش کرنل نقطه‌ای، کد MCNP، سامانه‌ی پرتودهی IR-136

### ۱- مقدمه

سامانه پرتودهی IR-136 با اتاقی شامل سیستم جابجایی محصول و چشمه  $^{60}\text{Co}$ ، در سازمان انرژی اتمی مورد بهره‌برداری است و به منظور پرتودهی مواد غذایی، گیاهان دارویی، محصولات یکبار مصرف پزشکی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری متعددی از قبیل MCNP [۱]، GEANT4 [۲] و روش کرنل نقطه‌ای [۳] شبیه‌سازی شده و مقادیر دز بیشینه و کمینه در محصولات مورد پرتودهی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی مقایسه شده است [۱، ۴]. به دلیل محدودیت‌های سیستم جابجایی محصول سامانه‌ی پرتودهی IR-136، حداکثر وزن کارتن‌های مورد پرتودهی ۲۰ kg می‌باشد و از



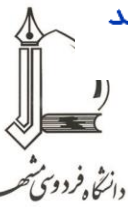
طرفی پرتودهی محصولات با دز کمتر از ۵ kGy نیز با توجه به حداقل زمان ممکن برای جابجایی محصولات در این سیستم امکان پذیر نیست. در برخی موارد، درخواست پرتودهی محصولاتی مانند خرما با چگالی بیشتر از محدوده چگالی قابل پرتودهی در سیستم جابجایی محصول و یا با دز کمتر از حداقل دز ممکن در سامانه پرتودهی می شود. راه حل مناسب، پرتودهی این محصولات خارج از سیستم جابجایی و در کنار جداره‌ی داخلی حفاظ اتاق پرتودهی IR-136 تشخیص داده شده است. در یک تحقیق پیشین توسط رئیس علی و همکاران [۱]، برای محاسبه آهنگ دز جذبی کنار جداره داخلی اتاق سیستم پرتودهی IR-136، برنامه‌ای با استفاده از کد MCNP نوشته شده و دز جذبی در نقاط مشخصی از محصولی با ابعاد ثابت بر اساس چیدمان معینی کنار جدار داخلی دیوار شمالی اتاق پرتودهی محاسبه شده است. در تحقیق حاضر با استفاده از روش کرنل نقطه‌ای برنامه‌ای به زبان فرترن به منظور محاسبه آهنگ دز جذبی در نقاط مورد نظر تدوین شده است. این برنامه دز جذبی در هر نقطه دلخواه از محصولات با ابعاد و چگالی‌های مختلف و با هر چیدمانی را خارج از ساز و کار جابجایی محصول محاسبه می‌نماید، مزیت دیگر این برنامه بالا بودن سرعت محاسبات با زمان اجرای چند ثانیه (با کامپیوترهای متعارف) و با دقت مناسب می‌باشد. نتایج برنامه نوشته شده به این روش با نتایج حاصل از شبیه سازی با کد MCNP تطابق را نشان می‌دهد.

## ۲- محاسبات دزیمتری به روش کرنل نقطه‌ای

چشمه سامانه پرتودهی IR-136 در حال حاضر شامل ۱۸۴ چشمه‌ی میله‌ای  $^{60}\text{Co}$  مدل C-188 است [۵] که مطابق با آخرین بارگذاری چشمه، اکتیویته‌ی هر یک از میله‌ها در برنامه وارد شده است. در این برنامه هر چشمه‌ی میله‌ای به صورت تعدادی چشمه‌ی نقطه‌ای در نظر گرفته شده است. تعداد بهینه چشمه‌های نقطه‌ای برای هر کدام از چشمه‌های میله‌ای با توجه به فاصله‌ی چشمه از جعبه‌های چیده شده در کنار دیوار، با خطایی در حدود ۰/۱٪ برابر با ۸ نقطه در نظر گرفته شده است. برای محاسبه آهنگ دز جذبی در یک نقطه، آهنگ دز جذب شده ناشی از هر یک از چشمه‌های نقطه‌ای محاسبه شده و با هم جمع می‌شوند که در معادله (۱) آورده شده است.

$$\dot{D} = \sum 1.6 \times 10^{-10} \times \psi \times \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right) \times e^{-\mu r} \times B(E, \mu r) \times f_{\text{self-absorption}} \quad (1)$$

در این رابطه،  $\dot{D}$  آهنگ دز جذبی (Gy/s)،  $\psi$  آهنگ شار انرژی (MeV/cm<sup>2</sup>-s)،  $r$  مسافت طی شده توسط پرتو از درون موانع مقابل آن،  $\mu$  ضریب تضعیف خطی انرژی،  $f_{\text{self-absorption}}$  ضریب خود جذب چشمه،  $\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}$  ضریب جذب انرژی جرمی (cm<sup>2</sup>/g) است [۶] که مقدار آن با توجه به انرژی پرتو ساطع شده



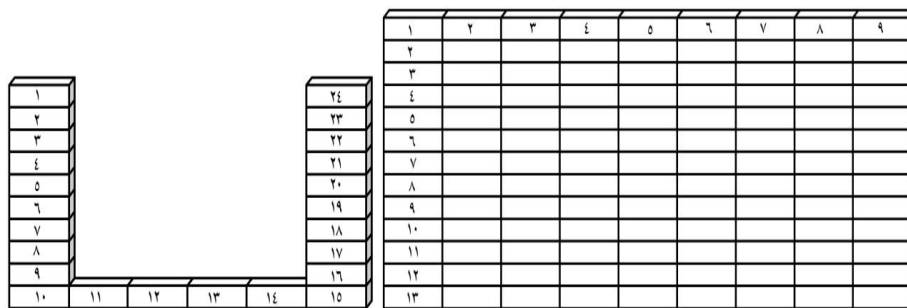
برای آب وارد می‌شود و  $B(E, \mu r)$  ضریب انباشت برای منظور نمودن پرتوهای پراکنده شده است که با توجه به فرمول برگر با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود [۷].

$$B(E, \mu r) \cong 1 + a\mu r e^{b\mu r} \quad (۲)$$

ثابت‌های  $a$  و  $b$  با توجه به نوع ماده‌ای که پرتو از آن عبور می‌کند و همچنین انرژی پرتو تعیین می‌شوند [۸]. سیستم جابجایی محصول دارای ۶۹ حامل محصول (Carrier) است و حامل‌های محصول در ۶ ردیف در دو طرف چشمه قرار دارند (سه ردیف در هر طرف چشمه). هر حامل محصول، ۴ طبقه دارد که در هر طبقه یک کارتن محصول در ابعاد  $۴۴ \times ۴۴ \times ۴۴ \text{ cm}^3$  قرار می‌گیرد، سیستم جابجایی محصول به منظور ساده سازی به صورت دو تیغه مکعب مستطیلی متقارن در دو طرف چشمه به ابعاد  $۵۱۱ \times ۱۵۵/۵ \times ۱۹۲ \text{ cm}^3$  در نظر گرفته شد و چگالی آن با معادل گیری از چگالی محصولات داخل کارتن‌ها و مواد به کار رفته در ساخت حامل‌های محصول تعیین می‌شود که با ورود چگالی محصول مورد نظر به برنامه محاسبه می‌شود. از طرفی جعبه‌های خرما که خارج از سیستم جابجایی محصول و در کنار دیوار قرار می‌گیرند نیز به صورت تیغه ای مشبک در نظر گرفته شد که هر شبکه دارای ابعاد  $۱۶ \times ۹/۹ \times ۵/۶ \text{ cm}^3$  است و می‌تواند چگالی‌های متفاوتی را به خود اختصاص دهد.

پرتوهای عبوری برای رسیدن به نقطه‌ی دزیمتری از درون سیستم جابجایی محصول و محصولات کنار جداره داخلی حفاظ اتاق پرتودهی عبور می‌کنند. با توجه به محصولات موجود در کارتن‌های سیستم جابجایی و نیز با توجه به نوع محصولات قرار گرفته در کنار دیوار و چیدمان آن‌ها، به محاسبه آهنگ دز جذب شده در دو ساختار متفاوت پرداخته شد و نتایج حاصل با نتایج کد MCNP مقایسه شد:

- ۱) جعبه‌های خرما در چیدمان مستطیلی شکل  $۱۳ \times ۹$  نشان داده شده در شکل ۱- الف و با چگالی  $۰/۷ \text{ g/cm}^3$  و محصولات داخل کارتن‌ها در سیستم جابجایی دارای چگالی  $۰/۱۲ \text{ g/cm}^3$  است.
- ۲) جعبه‌های خرما در چیدمان U شکل نشان داده شده در شکل ۱- ب و با چگالی  $۰/۹۱ \text{ g/cm}^3$  و محصولات داخل کارتن‌ها در سیستم جابجایی دارای چگالی  $۰/۱۱ \text{ g/cm}^3$  است.



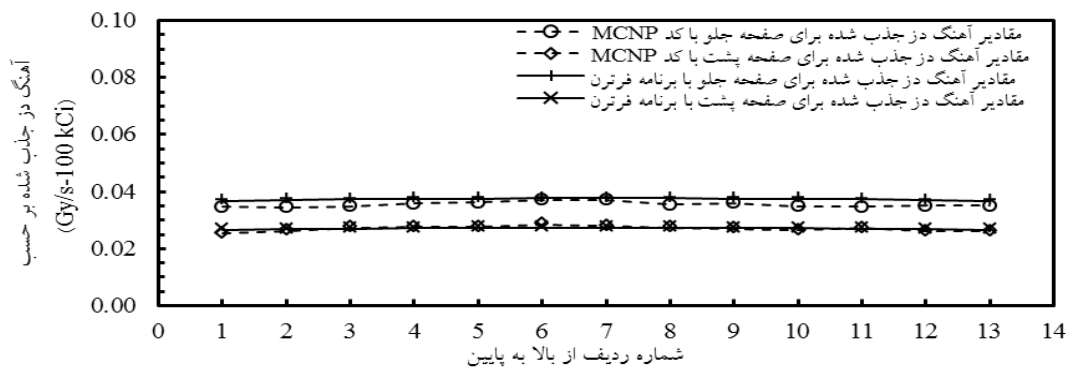
(ب)

(الف)

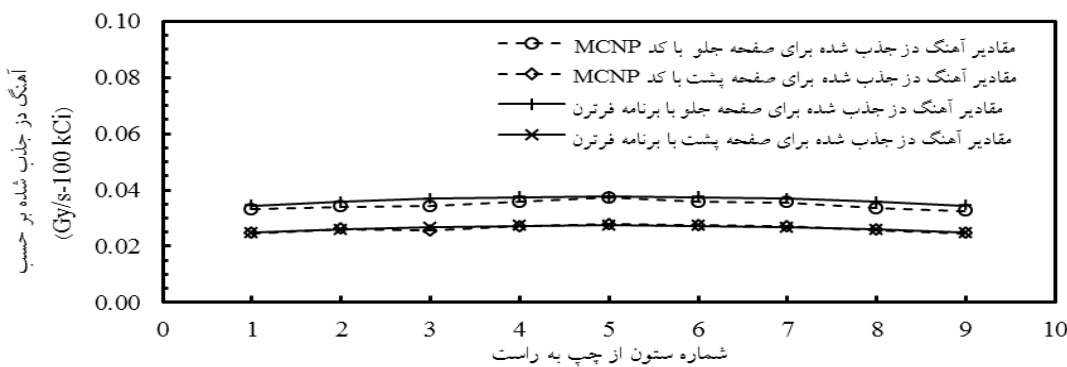
شکل ۱- چیدمان جعبه‌های خرما در کنار دیوار حفاظ اتاق پرتودهی سامانه IR-136، الف: چیدمان مستطیلی شکل  $۱۳ \times ۹$  که مرکز چشمه در مقابل جعبه‌ی موجود در ردیف ۷ و ستون ۵ قرار دارد، ب: چیدمان U شکل که مرکز چشمه بین جعبه شماره ۲۳ و ۲۴ و روی صفحه گذرنده از وجه سمت راست این دو جعبه است.

### ۳- نتایج

در تحقیق انجام شده توسط رئیس علی و همکاران [۱] دز جذبی به دست آمده با کد MCNP با نتایج اندازه گیری تجربی مقایسه شده بود تا اعتبار سنجی آن صورت گیرد و با توجه به توافق قابل قبول بین نتایج، در این تحقیق به مقایسه نتایج آهنگ دز جذب شده حاصل از محاسبات با روش کرنل نقطه ای و کد MCNP پرداخته شد. مقادیر آهنگ دز جذب شده در صفحات جلو و پشت جعبه‌های خرما واقع در کنار جدار داخلی دیوار شمالی اتاق پرتودهی حاصل از برنامه‌ی نوشته شده به زبان فرترن و کد MCNP، در ردیف ۷ و ستون ۵ چیدمان مستطیلی در شکل های ۲- الف و ۲- ب، هم چنین در ضلع سمت راست، ضلع سمت چپ و ضلع افقی چیدمان U شکل به ترتیب در شکل های ۳- الف، ۳- ب و ۳- ج نشان داده شده‌اند. درصد اختلاف بین نتایج حاصل از دو روش، در چیدمان مستطیلی برای صفحات جلو کمتر از ۸٪ و برای صفحات پشت کمتر از ۵٪ می باشد، و در چیدمان U شکل برای صفحات جلو کمتر از ۱۱٪ و برای صفحات پشت کمتر از ۷٪ می باشد.



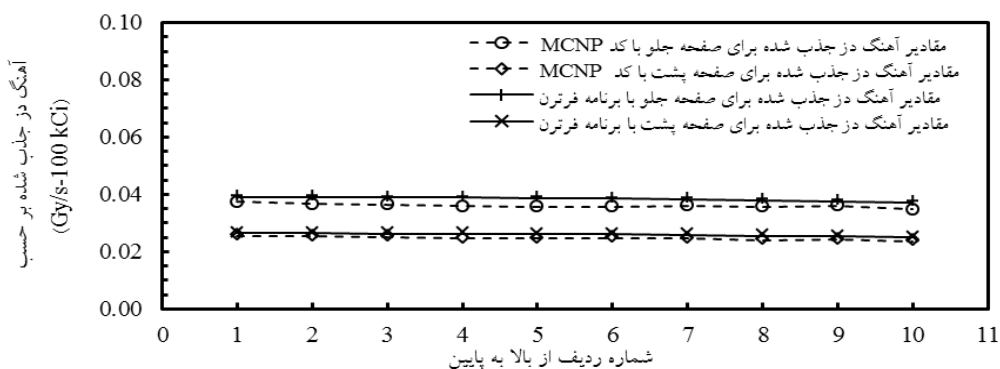
(۲- الف)



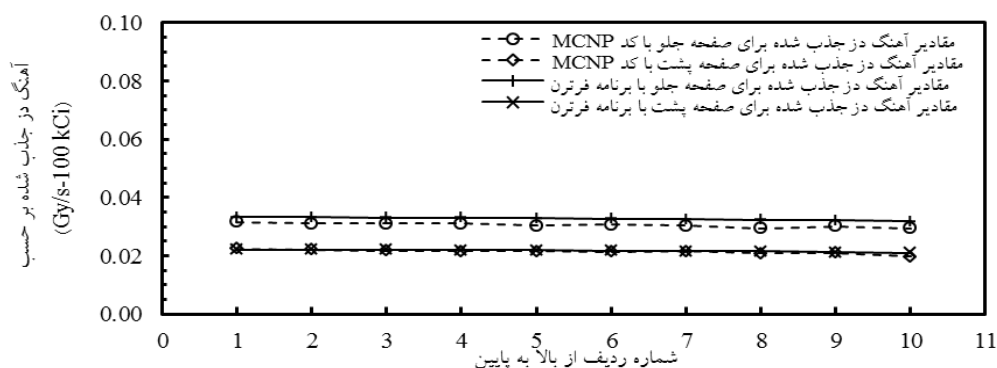
(۲- ب)



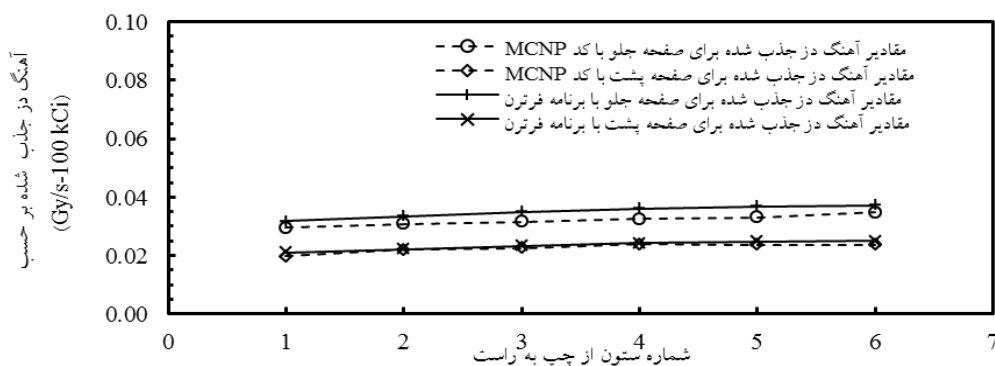
شکل ۲- مقادیر آهنگ دز جذب شده بدست آمده از برنامه فرترن و کد MCNP برای صفحات جلو و پشت جعبه های خرما در چیدمان مستطیلی شکل برای الف: ستون ۵، ب: ردیف ۷.



(۳- الف)



(۳- ب)



(۳- ج)

شکل ۳- مقادیر آهنگ دز جذب شده بدست آمده از برنامه فرترن و کد MCNP برای صفحات جلو و پشت جعبه های خرما در چیدمان U شکل برای الف: ضلع سمت راست، ب: ضلع سمت چپ، ج: ضلع افقی.

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از روش کرنل نقطه ای به محاسبه‌ی آهنگ دز جذب شده در دو چیدمان

مختلف از جعبه‌های خرما، قرار گرفته در کنار دیوار حفاظ اتاق پرتودهی پرداخته شد و با مقایسه نتایج آن با خروجی کد MCNP، درکل درصد اختلافی کمتر از ۱۱٪ مشاهده شد. تطابق قابل قبول بین روش محاسبه با کد MCNP و کرنل نقطه ای، استفاده از روش کرنل نقطه ای را تأیید و به عنوان روشی سریع برای محاسبه‌ی آهنگ دز جذبی معرفی می نماید. در شرایطی که پرتودهی به محصولات در سیستم جابجایی محصول مقدور نیست، می توان با محاسبات سریع استفاده از فضای خارج از سیستم جابجایی را امکان سنجی نموده و در صورتی که میزان دز مورد نیاز توسط محصول قابل دریافت بود، محصولات را در کنار جدار داخلی دیوار اتاق قرارداده و به پرتودهی محصولات مورد نظر اقدام نمود.

## مراجع

۱- رئیس علی، غلامرضا؛ عطائی‌نیا، وحیده؛ گرجی فرد، رویا؛ رضائیان، پیمان؛ زرین، ابراهیم "امکان سنجی محاسباتی و تجربی پرتودهی نیمه صنعتی خرما بدون استفاده از سازوکار جابجایی محصول"، مقاله نامه فیزیک ایران، صفحات ۴۳۰-۴۲۷، ۱۳۹۰.

2-Raisali, G., Sohrabpour, M., Hadjinia, A., "A Computer Code for Dose Rate Mapping of Gamma Irradiators", Radiat. Phys. Chem. Vol. 35, Nos. 4-6, pp. 831-835, 1990.

۳- رئیس علی، غلامرضا؛ حمیدی، سعید؛ حیدری، معصومه؛ عطائی‌نیا، وحیده؛ "تدوین برنامه کامپیوتری TOTGID جهت محاسبه پارامترهای دزیمتری یک سیستم پرتودهی گاما مدل ظرفی (TOT-Box) به روش کرنل نقطه ای و مقایسه نتایج آن با نتایج کد MCNP"، مقاله نامه شانزدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، صفحات ۵۸۴-۵۷۹، ۱۳۸۸.

۴- رئیس علی، غلامرضا؛ عطائی‌نیا، وحیده؛ "گزارش محاسبات و آزمایش‌های دزیمتری و پرتودهی نمونه‌های خرما سایر و مضافتی"، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی، R07-14R01، ۱۳۸۹.

5- Atomic Energy of Canada Limited (AECL), "Cobalt-60 Irradiator Model IR-136 for IAEA-Iran", Operator's Manual, Document No. IN-IR136-84-04, 1985.

6- NIST Standard Reference Database 126. May 1996. Standard Reference Data Program of NIST. July 2004. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ComTab/water.html>.

7- R. G. Jaeger (ed.), Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol. II: Shielding Materials, Springer-Verlag, New York, 1975.

8- A.B. Chilton, J.K. Shultis, and R.E. Faw, Principles of Radiation Shielding, Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ, 1984.