

## محاسبه ضرایب انباشت پرتودهی تابش‌های گاما برای چشمه نقطه‌ای همسانگرد در حفاظ کروی دولایه‌ای آب و سرب با استفاده از کد محاسباتی MCNP

احمد شیرانی\*، علی شاکری‌ورزانه\*\*

دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده فیزیک

### چکیده

در این مقاله ضرایب انباشت پرتودهی تابش‌های گاما در چند انرژی برای چشمه‌ی نقطه‌ای در یک محیط همسانگرد و برای حفاظ کروی دولایه‌ای آب و سرب با استفاده از کد محاسباتی MCNP محاسبه شده‌اند. در این محاسبات، برای حفاظ مشکلی از ۵mfp آب و ۸mfp سرب، اثر پراکندگی همدوس از انرژی ۴۰keV تا ۳MeV و اثر تابش ترمزی از انرژی ۳MeV تا ۱۰MeV، از فاصله‌ی ۱mfp تا ۱۰mfp بررسی شده‌اند. پراکندگی همدوس در قسمت آب، از انرژی ۲۰۰keV به پایین و در قسمت سرب، در انرژی‌های زیر ۳MeV قابل ملاحظه است و با کاهش انرژی، این اثر در هر دولایه بیشتر ظاهر می‌گردد. تابش ترمزی نیز تنها در قسمت سرب حفاظ، از انرژی ۵MeV به بالا مشاهده می‌شود که با افزایش انرژی و ضخامت لایه‌ی سرب، اثر بیشتری دارد. در مقام مقایسه، میان محاسبات این کار با محاسبات دیگر مراجع، سازگاری خوبی وجود دارد.

### مقدمه

نفوذ اشعه گاما در ماده با کاهش نمایی همراه است. در حالت ایده‌آل زمانی که باریکه‌ای موازی با شدت  $I_0$  بر روی تیغه‌ای به ضخامت  $x$  فرود می‌آید، پس از عبور از تیغه شدت آن را از رابطه‌ی:

$$I^0(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

به دست می‌آید، که در آن  $\mu$  ضریب تضعیف (برهم‌کنش) خطی است و  $I^0(x)$  شدت پرتوهایی است که بدون برخورد از تیغه عبور کرده‌اند. اما در حالت واقعی تعدادی از فوتون‌های اولیه در اثر برهم‌کنش با حفاظ پراکنده می‌شوند و می‌توانند پس از پراکندگی‌های متعددی از آن خارج شوند و در کمیت مورد نظر از جمله دز جذبی، پرتودهی و... تأثیر بگذارند. برای لحاظ کردن فوتون‌های پراکنده شده ضریب تصحیحی در روابط فوق وارد می‌شود که ضریب انباشت (نسبت شدت پرتوهای اولیه و پراکنده شده در هر نقطه از محیط به شدت پرتوهای اولیه در همان نقطه) نام دارد و به صورت زیر است:

$$I(x) = B(x) I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

\*E-mail= [shirani@cc.iut.ac.ir](mailto:shirani@cc.iut.ac.ir)

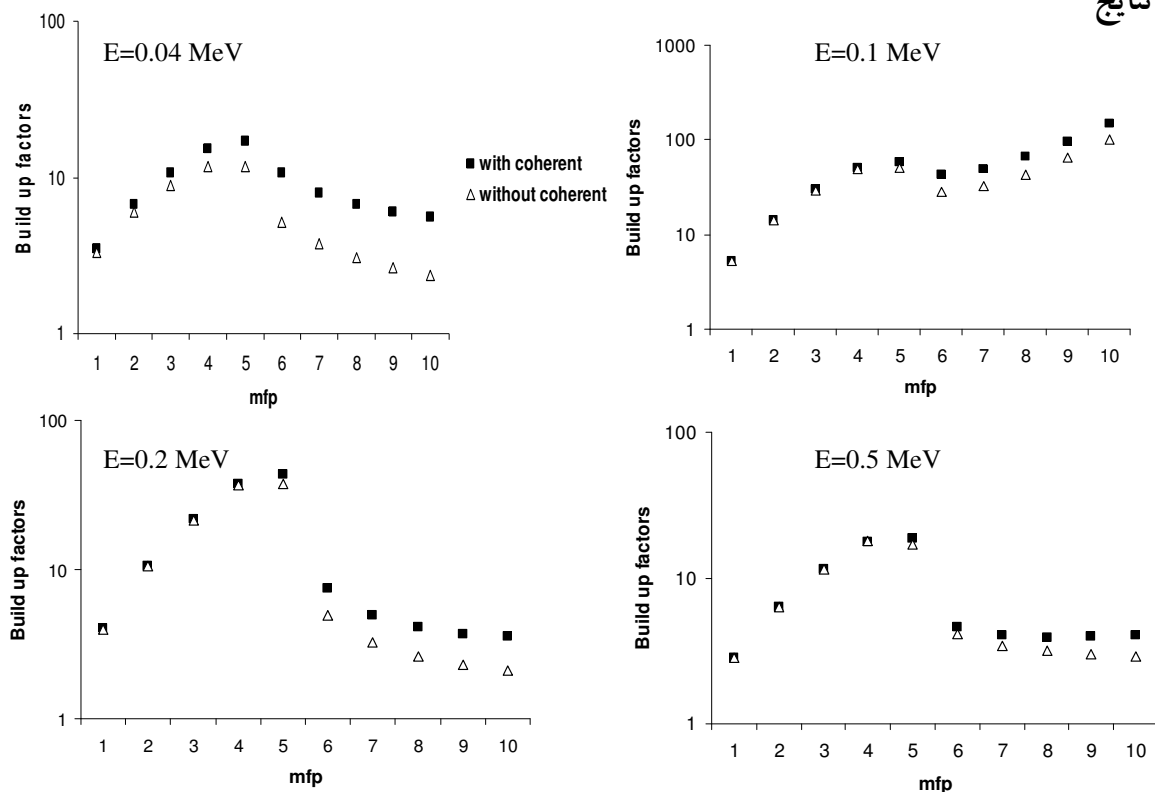
\*\*E-mail= [ali\\_shakeriv@yahoo.com](mailto:ali_shakeriv@yahoo.com)

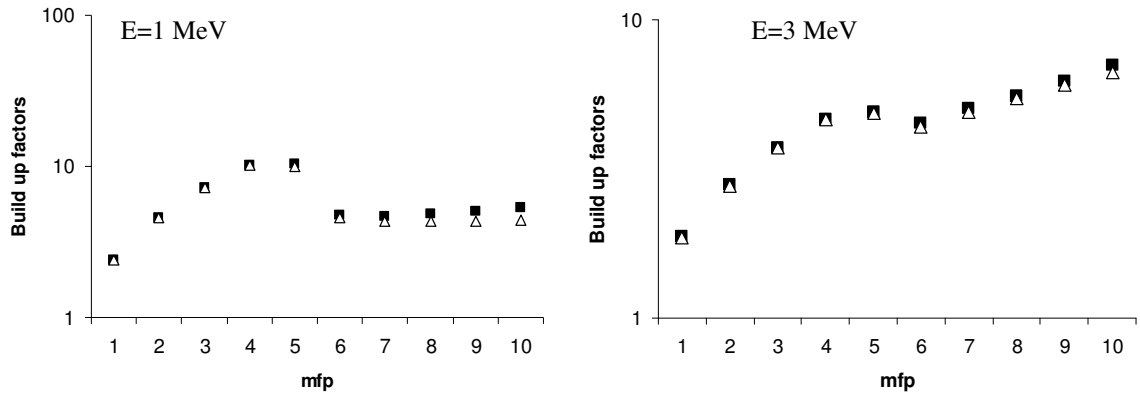
ضرایب انباشت را که در طراحی حفاظ برای چشمه‌های پرتوزا و رآکتورهای هسته‌ای از اهمیت خاصی برخوردار هستند، می‌توان در انرژی‌های مختلف اشعه‌ی گاما و برای مواد مختلف محاسبه و مورد استفاده قرار داد.

## روش کار

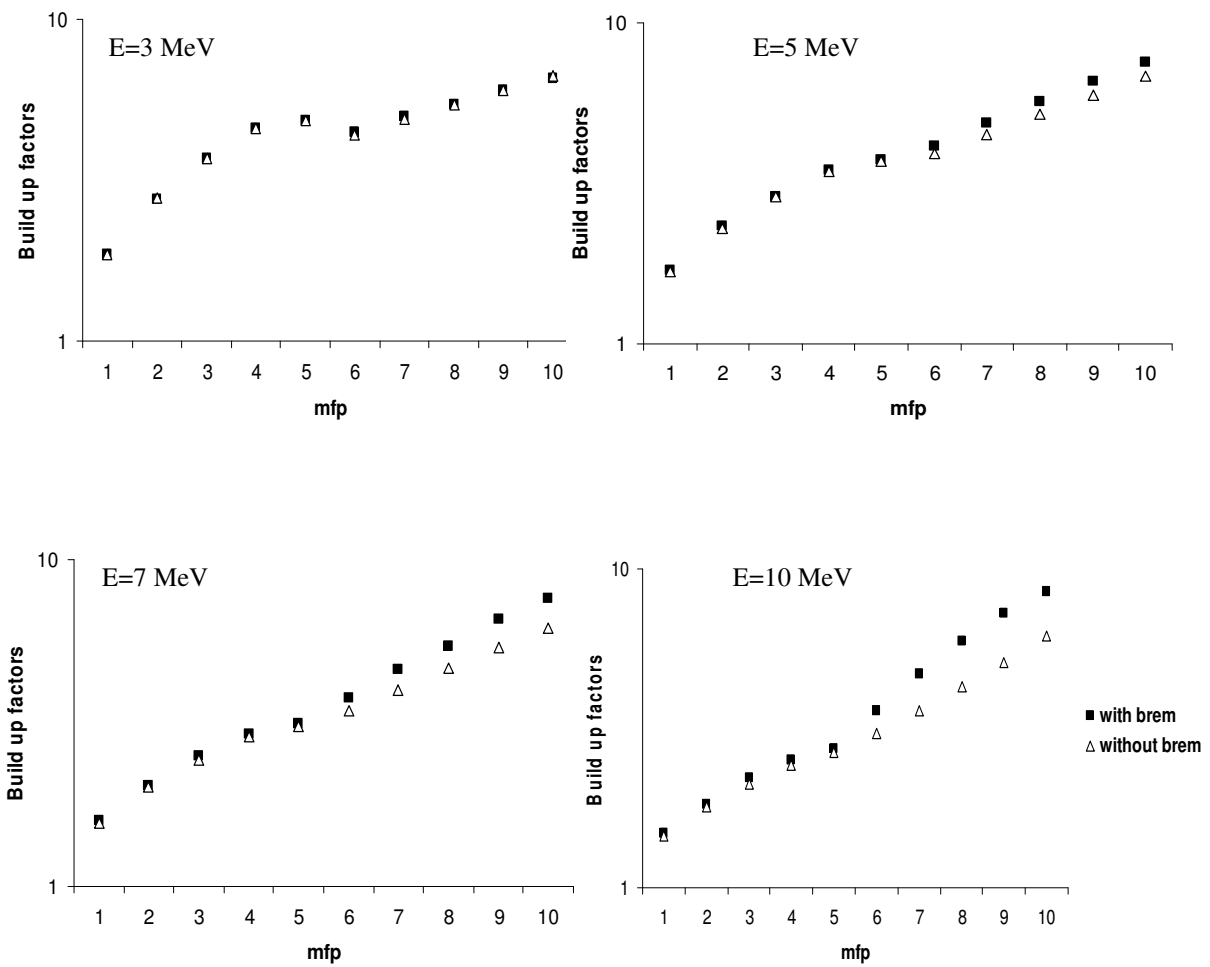
ضرایب انباشت پرتوهای تابش‌های گاما برای حفاظ تک‌لایه‌ای توسط گروه‌های مختلف تحقیقاتی با استفاده از روش‌های گوناگون محاسباتی (مانند روش ممان‌ها، حل معادله‌ی ترابرد، روش مونت‌کارلو و ...) محاسبه شده‌اند و اثر فرآیندهای مختلف نظیر پراکندگی همدوس و تابش ترمزی بر روی آن‌ها مورد تحقیق قرار گرفته‌است [۲۰]، لیکن این اثرها برای محیط‌های چند لایه‌ای کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در این کار اثر پراکندگی همدوس بر ضرایب انباشت در گستره‌ی انرژی  $40\text{ keV}$  تا  $3\text{ MeV}$  و اثر تابش ترمزی بر این ضرایب در گستره‌ی انرژی  $3\text{ MeV}$  تا  $10\text{ MeV}$  برای محیط دولایه‌ای آب و سرب با کمک کد چند منظوره‌ی MCNP بررسی و ارائه شده‌اند. در محاسبات این کار برهم‌کنش‌های جذب فوتوالکتریک که می‌تواند به گسیل فلورسانس منجر شود، پراکندگی کامپتون که در آن سطوح مقطع دیفرانسیلی تامسون و کلاین-نیشینا که با فرم فاکتورهای مناسب اصلاح شده و اثر قیدی الکترون‌ها را نیز به حساب می‌آورد، تولید زوج و نیز در مواردی که لازم باشد برهم‌کنش‌های پراکندگی همدوس و تابش‌های ترمزی منظور شده‌اند و در مقایسه با نتایج کارهای قبلی [۳۰ و ۴۰] که با روش‌های دیگر به دست آمده‌اند، سازگاری نسبتاً خوبی نشان می‌دهد.

## نتایج

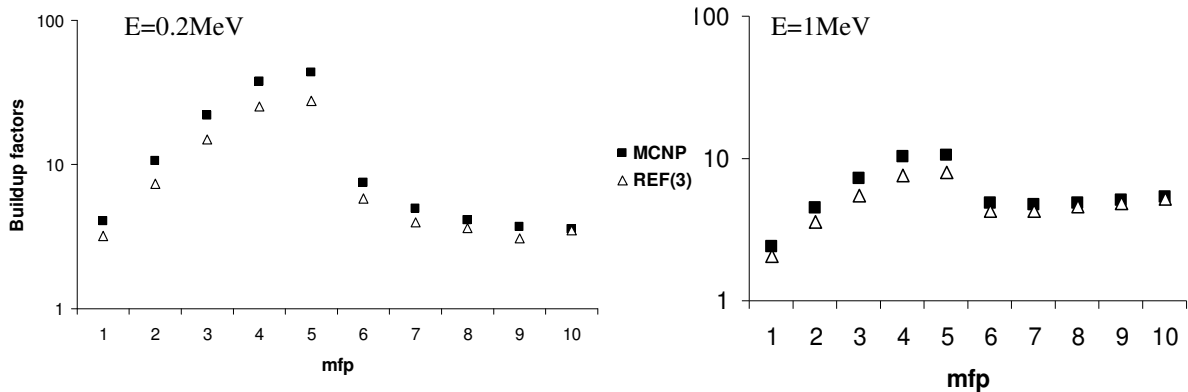




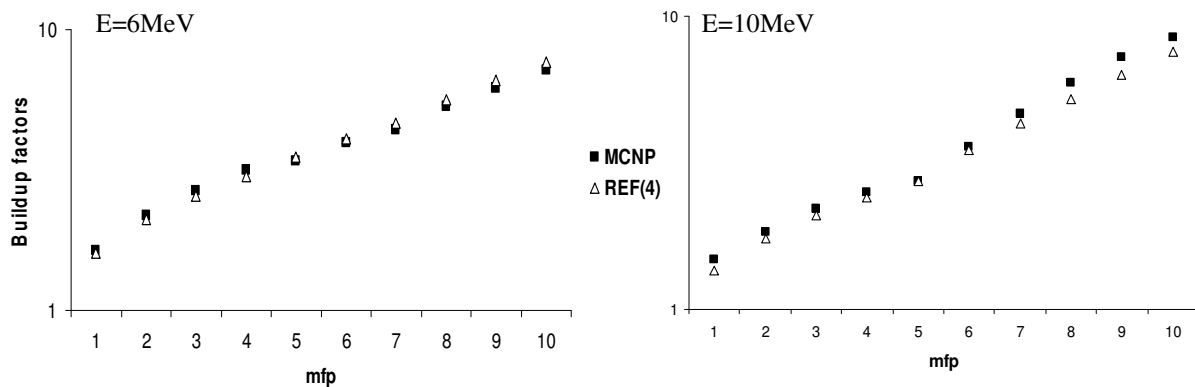
شکل ۱- اثر پراکندگی همدوس بر ضرایب انباشت در چند انرژی



شکل ۲- اثر تابش ترمزی ضرایب انباشت در چند انرژی



شکل ۳- مقایسه کار حاضر و مرجع [۳] با حضور پراکندگی همدوس



شکل ۴- مقایسه کار حاضر و مرجع [۴] با حضور تابش ترمزی

### بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی این نتایج مشاهده می‌شود که اثر پراکندگی همدوس در قسمت آب از حفاظ مورد نظر تا حد اکثر  $0.2\text{MeV}$  دیده می‌شود، ولی در قسمت سرب حفاظ تا انرژی زیر  $2\text{MeV}$  قابل مشاهده است. نکته دیگر این‌که هر چه انرژی فوتون اولیه پایین‌تر باشد اثر پراکندگی همدوس بیشتر خواهد بود؛ اما در انرژی  $0.1\text{MeV}$  این روند به چشم نمی‌خورد. علت آن هم این است که این برهم‌کنش در این انرژی تحت الشعاع تابش‌های فلورسانس است که در قسمت سرب لایه‌ی محافظ اثر بیشتری گذاشته است. ما کار خود را در انرژی‌های  $40\text{keV}$  و  $1\text{MeV}$  با مرجع [۳] مقایسه کرده‌ایم و سازگاری خوبی میان دو محاسبه مشاهده می‌کنیم. اثر تابش ترمزی در انرژی  $2\text{MeV}$  اصلاً دیده نمی‌شود. اما با افزایش انرژی فوتون اولیه از انرژی  $5\text{MeV}$  به بالا این اثر بیشتر و بیشتر می‌گردد و تا محدوده‌ی انرژی  $10\text{MeV}$  که ما محاسبه کرده‌ایم این اثر

روند صعودی دارد. نکته‌ی دیگر این‌که اثر تابش ترمزی تنها در قسمت سربی حفاظ کروی مشاهده می‌شود و در قسمت آب تا این انرژی قابل ملاحظه نیست. برای مقایسه‌ی نتایج کار حاضر با نتایج دیگر تنها مرجع [۴] در دسترس بوده و تنها در انرژی‌های  $6\text{MeV}$  و  $10\text{MeV}$  نیز این اثر را بررسی کرده‌است. ما نیز کار خود را در این انرژی‌ها با این مرجع مقایسه کرده‌ایم که از سازگاری خوبی میان دو محاسبه حکایت می‌کند. قابل ذکر است که این مرجع محاسبات خود را با کد EGS4 به روش مونت‌کارلو انجام داده‌است. به دلیل این‌که این محاسبات سازگاری خوبی با محاسبات دیگر روش‌ها دارد، می‌توان از این کد که محاسبات آن دقیق و سریع است در محاسبات حفاظ‌سازی و هندسه‌های پیچیده استفاده کرد و همچنین محاسبه‌ی ضرایب انباشت را می‌توان با استفاده از این کد برای حفاظ‌های از جنس‌های دیگر و حتی چند لایه‌ای تعمیم داد.

## مراجع

- [1] Kitsos, S., Assad, A., Diop, C.M., Nimal, J.C., "Determination of point isotropic buildup factor of Gamma-Rays including incoherent and coherent scattering by the discrete ordinates method" Nucl. Sci. Eng., No. 117, pp. 47-66, 1994.
- [2] Takuchi, K., Tanaka, S., "Point isotropic buildup factors of Gamma-Rays, including bremsstrahlung and annihilation radiation shielding", Principle Hall, 1984.
- [3] Alamatsaz, M.H., Shirani, A., "A study of Gamma-Ray exposure buildup factors in stratified shields for point isotropic sources, including the effects of incoherent and coherent scattering", Jour.Sci, Islamic Republic of Iran, No.13, pp. 271-279, 2002.
- [4] Harima, Y. and Hirayama, H., "Detailed behavior of exposure buildup factor in stratified shields for plane-normal and point isotropic sources, including the effects of bremsstrahlung and fluorescent radiation", Nucl.Sci.Eng, No. 113, pp. 367-378, 1993.