

بررسی جویبارش نوترون‌ها در یک گذرگاه دوخم قائم در حفاظ یک راکتور گداخت

اکرم صادقی^۱، حسین رفیع خیری^۲، علی اکبر میرزائی^۱، غلامرضا رئیس‌علی^{۲*}

۱- دانشگاه آزاد اسلامی تهران، دانشکده علوم، گروه فیزیک

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

در این مقاله اثر شکل سطح مقطع و فاصله بین دو خم قائم بر جویبارش نوترون‌ها در یک گذرگاه نمونه در بدنه حفاظ یک راکتور گداخت بررسی شده است. جویبارش نوترون‌ها در گذرگاه توسط کد MCNP شبیه‌سازی شده و معادل دز در طول گذرگاه محاسبه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که سطح مقطع مستطیلی گذرگاه در مقایسه با سایر اشکال اثر کاهندگی بیشتری بر جویبارش نوترون‌ها دارد. همچنین در بررسی فاصله بین دو خم قائم در گذرگاه‌های با سطح مقطع مستطیلی و مربعی، فاصله حدود دو برابر طول مستطیل و همچنین دو برابر ضلع مربع فاصله مناسب جهت کمینه کردن میزان دز دریافتی پس از خم قائم دوم است.

کلیدواژه: جویبارش، نوترون، راکتور گداخت، روش مونت کارلو

۱- مقدمه

در راکتورهای گداخت همواره می‌بایست گذرگاه‌هایی جهت عبور اجزاء مربوط به برخی از سیستم‌ها از جمله پمپ‌های خلاء، سیستم‌های گرمایش پلاسما، سیستم منحرف‌کننده، سیستم‌های اندازه‌گیری و تعمیر و نگهداری و... در بدنه حفاظ حرارتی و دیواره اولیه در نظر گرفته شود. بیشتر این گذرگاه‌ها مسیرهایی هستند که از دیواره اولیه به صورت شعاعی تا بدنه حفاظ بیولوژیکی و مابین سیم‌پیچ میدان چنبره‌ای امتداد می‌یابند. این گذرگاه‌ها بعضاً دارای سطح مقطع نسبتاً وسیعی می‌باشند و تعداد آن‌ها نیز زیاد است و می‌توانند مسیری را برای جویبارش پرتوها به سمت بیرون فراهم نمایند. از این‌رو همواره جهت کاهش اثرات این پرتوها تدابیر مختلفی به کار برده می‌شود که از آن جمله می‌توان به استفاده از حفاظ‌های متحرک در دهانه گذرگاه، حفاظ‌های موضعی در اطراف گذرگاه و همچنین ایجاد خم در گذرگاه اشاره نمود. در این میان ایجاد خم‌های نود درجه



در مسیر گذرگاه به علت کارایی زیاد، بیشتر مورد توجه قرار دارند [۵-۱]. در این مقاله ابتدا یک گذرگاه مستقیم به کمک کد MCNP شبیه‌سازی شده و میزان جویبارش نوترون‌ها در طول گذرگاه محاسبه گردیده است. نتایج بدست آمده با نتایج یک تحقیق که توسط U.Fischer و همکارانش در سال ۲۰۰۳ انجام شده، مقایسه شده است [۶]. در ادامه یک گذرگاه نمونه با دو خم قائم به کمک کد MCNP شبیه‌سازی شده و اثر شکل سطح مقطع گذرگاه و فاصله بین دو خم قائم گذرگاه بر جویبارش نوترون‌ها بررسی شده است.

۲- روش کار

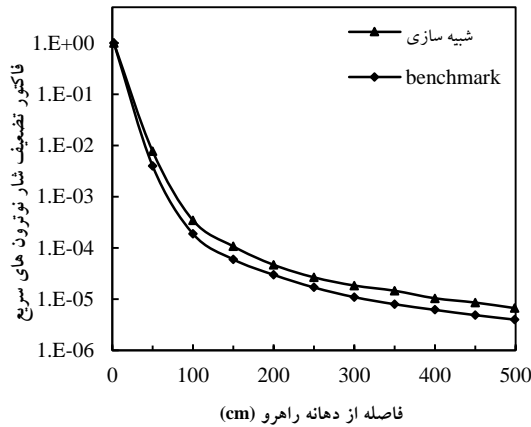
شکل ۱- الف گذرگاه مستقیم شبیه سازی شده به کمک کد MCNP را نشان می‌دهد. این گذرگاه دارای سطح مقطع مربعی شکل به ابعاد $4/9 \times 4/9 \text{ cm}^2$ و طول ۵۰۰ cm است که در یک مکعب همگن از جنس آب و فولاد ضد زنگ با درصد حجمی به ترتیب ۲۰٪ و ۸۰٪ و ابعاد $80 \times 80 \times 500 \text{ cm}^3$ قرار گرفته است. فاکتور تضعیف شار نوترون‌های سریع ($E > 0.1 \text{ MeV}$) در طول گذرگاه با استفاده از کد MCNP محاسبه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل ۱-ب آورده شده و با نتایج U.Fischer و همکارانش [۶] به عنوان محک^۱ مقایسه شده است.

شکل ۲- الف گذرگاه شبیه‌سازی شده با دو خم نود درجه رادر یک مکعب همگن از جنس آب و فولاد ضد زنگ با درصد حجمی‌هایی به ترتیب ۲۰٪ و ۸۰٪ و ابعاد $80 \times 110 \times 250 \text{ cm}^3$ نشان می‌دهد. چشمه نوترونی به صورت حجمی در ابتدای گذرگاه با سطح مقطعی معادل دو برابر دهانه ورودی و ضخامت ۲ cm قرار داده شده است. معادل دز نوترون در گذرگاه‌هایی با سطح مقطع دایروی، مستطیلی و مربعی با مساحت 49 cm^2 و فاصله بین دو خم ۲۱ cm محاسبه شده است. ابعاد گذرگاه با سطح مقطع مستطیلی با فرض رابطه (۱) در نظر گرفته شده است.

$$b = \sqrt{2}a \quad (1)$$

که در آن b طول و a عرض مستطیل است.

^۱Benchmark



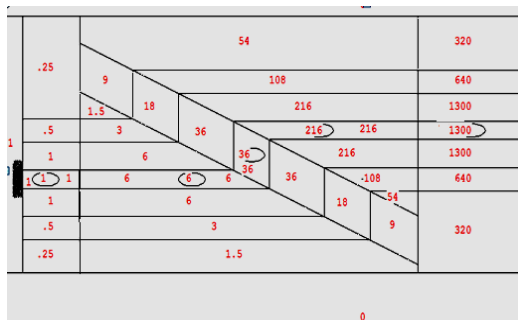
(ب)



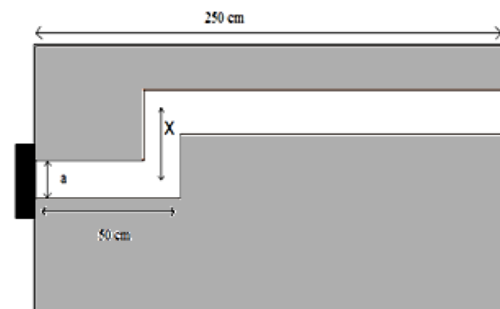
(الف)

شکل ۱- (الف) نمای دو بعدی از هندسه شبیه‌سازی و محک در کد MCNP. (ب) نمودار مقایسه فاکتور تضعیف شار نوترون‌های سریع در شبیه‌سازی و محک.

همچنین فاصله بین دو خم قائم جهت کمینه کردن دز بعد از خم دوم در گذرگاه‌هایی با سطح مقطع مربعی شکل با ابعاد $7 \times 7 \text{ cm}^2$ و سطح مقطع مستطیلی با ابعاد $5/89 \times 8/33 \text{ cm}^2$ محاسبه شده است. معادل دز نوترون در نقاط مختلف گذرگاه با استفاده از کره‌هایی به شعاع 2 cm از جنس هوا و ضرایب تبدیل شار به دز محاسبه شده است [۷]. در شبیه‌سازی‌های انجام شده از روش‌های رولت روسی و انشقاق برای کاهش واریانس استفاده شده است. شکل ۲-ب نحوه تقسیم‌بندی سلول‌ها و اهمیت آن‌ها را نشان می‌دهد. با پیش رفتن در گذرگاه، اهمیت سلول‌ها افزایش می‌یابد. فضای اطراف گذرگاه (سقف، کف و دیواره‌ها) دارای اهمیت یکسان با داخل گذرگاه است. با داخل شدن بیشتر در دیواره‌ها از اهمیت سلول‌ها کاسته شده تا آمار ذراتی که به داخل گذرگاه پراکنده می‌شوند افزایش یابد [۸].



(ب)

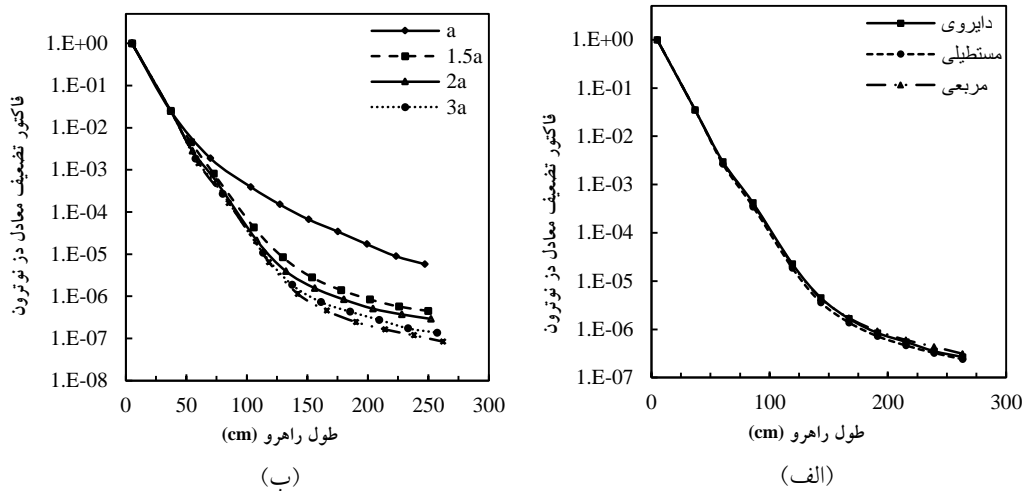


(الف)

شکل ۲- (الف) نمایی از هندسه شبیه‌سازی شده (ب) تقسیم‌بندی و اهمیت سلول‌ها.

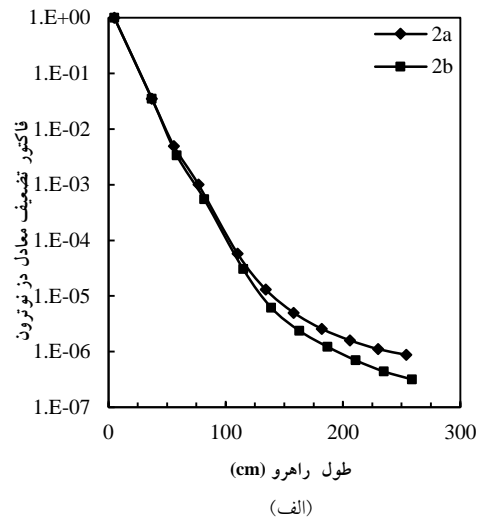
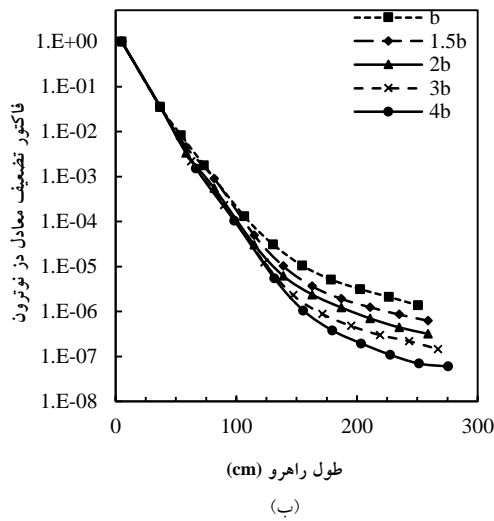
۳- نتایج

شکل ۳-الف تغییرات فاکتور تضعیف معادل دز نوترون را بر حسب طول گذرگاه، در گذرگاه‌هایی با سطح مقطع‌های دایروی، مربعی و مستطیلی نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل، گذرگاه با سطح مقطع مستطیلی نسبت به سایر اشکال اثرکاهندگی بیشتری بر دز نوترون در دهانه خروجی دارد. در گذرگاه با سطح مقطع مربعی فاصله بین دو خم نود درجه به نسبت‌های ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ برابر ضلع مربع تغییر داده شده و معادل دز نوترون در نقاط مختلف گذرگاه محاسبه شده است. باتوجه به شکل ۳-ب با افزایش فاصله بین دو خم به نسبت ۲ برابر ضلع دهانه مربع، کاهش جویبارش به حداکثر مقدار در محدوده دو خم رسیده و افزایش بیشتر این فاصله اثر چندانی بر کاهش جویبارش نوترون‌ها در محدوده دو خم قائم نخواهد داشت.



شکل ۳- تغییرات فاکتور تضعیف معادل دز نوترون بر حسب طول گذرگاه (الف) در سطح مقطع‌های مختلف دهانه. (ب) در گذرگاه با دهانه مربعی $7 \times 7 \text{ cm}^2$.

در یک گذرگاه با دهانه مستطیلی، معادل دز نوترون در فاصله بین دو خم با اندازه‌های ۲ برابر طول و همچنین ۲ برابر عرض دهانه با یکدیگر مقایسه شده است. باتوجه به شکل ۴-الف اثر کاهندگی در فاصله معادل با ۲ برابر طول مستطیل بیشتر است. در شکل ۴-ب با تغییر فاصله بین دو خم در نسبت‌های مختلف از طول دهانه مستطیلی، فاصله بهینه جهت کاهش دز نوترون بعد از خم دوم حدود ۲ برابر طول دهانه مستطیلی بدست آمده است.



شکل ۴- تغییرات فاکتور تضعیف معادل دز نوترون بر حسب طول گذرگاه در گذرگاه با دهانه مستطیلی در فاصله‌های مختلف بین دو خم. (الف) ۲ برابر طول و همچنین ۲ برابر عرض دهانه. (ب) ضرایبی از طول دهانه.

در شبیه‌سازی‌های انجام شده به منظور کاهش واریانس از روش‌های رولت روسی و انشقاق استفاده شده و جواب‌های مربوط به خروجی کد دارای حداکثر خطای ۲۵٪ می‌باشند.

۴- نتیجه‌گیری

در مقایسه گذرگاه‌های دارای دو خم قائم با سطح مقطع‌های مربعی، مستطیلی و دایروی، گذرگاه با سطح مقطع مستطیلی اثر کاهندگی بیشتری بر معادل دز نوترون نسبت به سایر اشکال نشان می‌دهد. همچنین در بررسی فاصله بین دو خم نود درجه در سطح مقطع‌های مربعی و مستطیلی گذرگاه، فاصله حدود ۲ برابر ضلع مربع و طول مستطیل به عنوان فاصله بهینه جهت کمینه کردن معادل دز نوترون بعد از خم قائم دوم بدست آمده است.

۵- تشکر و قدردانی

باتشکر از جناب آقایان امیرمصلحی و وحیدرضا بابایی در پژوهشکده کاربرد پرتوهای پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، که ما را در انجام این پروژه یاری نمودند.

۶- مراجع

- ۱- Jungchung Jung, Mohamed A. Abdou "Radiation Shielding of Major Penetration in Tokamak Reactors". Nuclear Technology, Vol ۴۱ (۱۹۷۸)
- ۲- Koichi Maki, Kei-ichiro SHIBATA, "Application of a simple evaluation method for gamma-ray streaming to multi-bent duct taking account of only components passing through the duct". Journal of Nuclear Science and Technology, Vol ۳۷, pp ۹۷۹-۹۸۵ (۲۰۰۰)
- ۳- G. Raisali , N. Hajiloo , S. Hamidi , G. Aslani "Analysis of neutron and gamma-ray streaming along the maze of NRCAM thallium production target room" Applied radiation and isotopes, Vol ۶۴, pages ۹۴۰-۹۴۷, (۲۰۰۶)
- ۴- K.Ueki, "Effective bending point to reduce dose-equivalent of a bending duct streaming system". Nuclear Technology Division, (۲۰۰۰)
- ۵- ArthureB.Chilton, J.KennethShultis, Richard E.Faw "Principles of Radiation Shielding" Prentice-Hall, INC
- ۶- U.Fischer and etc, "Analysis of fast neutron streaming in the waveguide channels of the ECRH system in the ITER upper port". IAEA Technical Meeting on ECRH physics and Technology for ITER, (۲۰۰۳)
- ۷- "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Publication ۷۴, International Commission on Radiation Protection, Annals of the ICRP, ۲۶, No.۳/۴, Pergamum Press, Oxford, (۱۹۹۶).
- ۸- Ut-Battelle,Llc, "Monte Carlo N-Particle Transport Code System" Los Alamos, New Mexico (۲۰۰۰)