



## شبیه سازی و اندازه گیری دز پرتوی ایکس در محیط توکامک دماوند

محمد فروزش<sup>۱\*</sup> - محمد رضا عبدی<sup>۲</sup> - بنفشه پورشهاب<sup>۳</sup> - چاپار رسولی<sup>۳</sup> - بابک شیرانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

<sup>۲</sup> دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

<sup>۳</sup> سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشگاه گداخت و فیزیک پلاسما

### خلاصه

در اثر برخورد الکترون‌های فراری به محفظه توکامک، پرتوهای ایکس با انرژی‌های بالا تولید می‌شود. دز جذبی این پرتوهای ایکس تولید شده در فاصله  $0.5m$  از محفظه توکامک دماوند با کد MCNPX شبیه سازی و محاسبه شد. همچنین برای تأیید نتایج شبیه‌سازی، دز جذبی در همان محل با استفاده از دزیمترهای TLD اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که دز جذبی در فاصله  $0.5m$  از توکامک حدود  $1/3 mSv$  است.

**کلید واژه:** توکامک، الکترون‌های فراری، دز جذبی

### مقدمه

پرتوهای ایکس و گاما از جمله پرتوهای یونیزه کننده هستند. پرتوهای یونیزان متناسب با میزان انرژی به داخل بدن نفوذ می‌کند و صدماتی به بافت‌های بدن می‌رسانند. آسیب حاصل از تابش به جذب انرژی بستگی دارد و تقریباً با تراکم انرژی جذب شده در بافت متناسب است. از این رو یکاهای اصلی دز تابشی بر حسب انرژی جذب شده در یکای جرم بافت بیان می‌شود [۱]. با توجه به این تعریف، هدف اصلی قوانین حفاظت در برابر پرتو کاهش دز دریافتی تا یک مقدار مشخص است. با توجه به حجم تحقیقات و مطالعاتی که بر روی توکامک دماوند انجام می‌شود شناخت و محاسبه پرتوها در محیط اطراف توکامک بسیار ضروری است.

پرتوهای ایکس در داخل محفظه توکامک تولید می‌شوند. اصلی‌ترین عامل ایجاد پرتوهای ایکس در توکامک دماوند الکترون‌های فراری هستند [۱، ۲]. در این فرایند الکترون‌های پلاسما تولید شده در توکامک تا مقادیر بالا انرژی گرفته و از میدان‌هایی محصور سازی فرار می‌کنند و با برخورد به دیواره و یا سایر اجزاء داخلی



محفظه توکامک، انرژی خود را از طریق تابش ترمزی از دست می‌دهند [۳]. پرتوهای ایکس تولید شده از دیواره توکامک عبور کرده و در فضای اطراف پراکنده می‌شوند. مطالعات زیادی بر روی طیف انرژی ایکس تولید شده بر اثر برخورد الکترون‌های فراری به دیواره در توکامک‌های مختلف انجام شده است [۳-۸]. اخیراً مطالعاتی نیز برای به دست آوردن طیف انرژی پرتوی ایکس حاصل از توکامک دماوند صورت گرفته است [۹]. این تحقیقات نشان می‌دهند که پرتوهای ایکس تولید شده در توکامک دماوند یک طیف پیوسته دارند و حداکثر انرژی آنها در حدود  $3 \text{ MeV}$  می‌باشد.

ثابت شده است استفاده از دزیمترهای گرمالیانی<sup>۱</sup> (TLD) یکی از روشهای مناسب آشکارسازی در توکامک‌ها است [۱۰]. آشکارسازی پرتوی ایکس با استفاده از TLD، پیش از این در توکامک‌های مختلف انجام شده است [۱۱-۱۳]. مطالعه یوهوآ و همکاران بر روی توکامک HL-1 نشان داد که تغییرات دز با تغییرات فاصله از محفظه توکامک رابطه عکس دارد [۱۲]. طیف پرتوی ایکس در توکامک‌ها یک طیف پیوسته است و شدت آن به فاصله و جهت وابسته است [۱۳]. در این کار با استفاده از نرم افزار MCNP دز ناشی از پرتوی ایکس توکامک دماوند شبیه‌سازی شد و با نتایج تجربی حاصل از اندازه‌گیری با TLDها مقایسه شد.

## شرح کار

توکامک دماوند یک دستگاه تحقیقاتی در زمینه فیزیک پلاسما و گداخت هسته ایمی باشد که ویژگیهای آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای مهم توکامک دماوند

$4 \times 10^{-5} \text{ torr}$	فشار هیدروژن
35 kA	جریان پلاسما
0.9 Tesla	میدان مغناطیسی
22 ms	عمر پلاسما



در این کار، برای به دست آوردن دز جذبی پرتوی ایکس توکامک دماوند، از TLDهای نوع GR-200 استفاده شد. این نوع TLDها کاربرد زیادی در زمینه دزیمتری دارند و حدآستانه آشکارسازی آنها در هوا حدود  $1 \mu\text{Sv}$  است. دزیمترهای لیتیم فلوراید حساسیت بالایی دارند و پاسخ آنها تا  $1 \text{ Sv}$  خطی است.

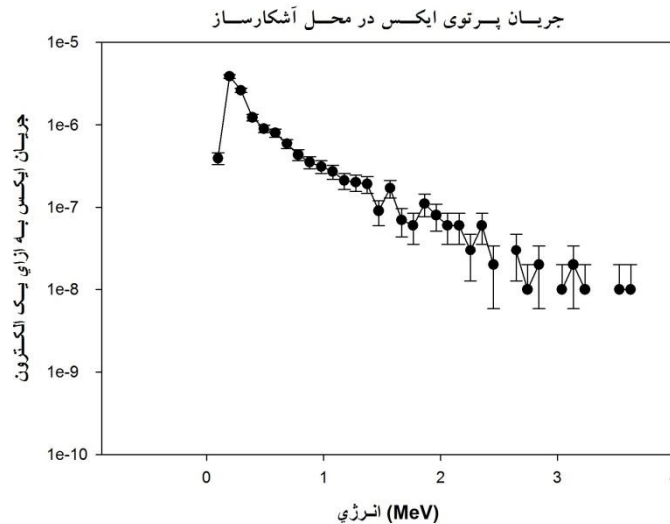
دزیمترها پیش از استفاده باید کالیبره شوند و پیش از کالیبراسیون ابتدا TLDها در یک کوره در دمای  $240^\circ\text{C}$  قرار داده می شوند. این عملیات به منظور صفر کردن آنها صورت می گیرد. دزیمترها سپس در میدان یکنواخت یک چشمه گاما مانند  $^{137}\text{Cs}$  پرتو دهی شده و دز جذب شده توسط دستگاه قرائت می شود. در این مرحله ضریب حساسیت دزیمترها با استفاده از رابطه مشخصی بدست می آید. به منظور به دست آوردن ضریب کالیبراسیون، تعدادی از TLDها که ضریب حساسیت آنها به یک بسیار نزدیک است انتخاب و دسته بندی شده و در میدان یکنواخت چشمه گاما بار دیگر با چند دز پیشنهادی مختلف پرتو دهی می گردند. دزهای جذبی در این مرحله نیز توسط دستگاه قرائت شده و با استفاده از نمودار قرائت بر حسب دز ضریب کالیبراسیون دزیمترها به دست می آید.

در این تحقیق از چند دزیمتر GR\_200 برای اندازه گیری دز در فاصله  $0.5 \text{ m}$  از محفظه توکامک استفاده شد. به این منظور ۲ عدد TLD در کنار هم و در فاصله نیم متری در مقابل محدودکننده و در راستای صفحه استوایی توکامک قرار گرفتند. به منظور کاهش خطا از ۲ عدد TLD به طور هم زمان استفاده شد. با توجه به ابعاد کوچک این دزیمترها و متغیر بودن پرتوهای ایکس خروجی در شات های مختلف توکامک دماوند، از دزهای جمع شده در طول ۲۰ شات میانگین گیری شد.

برای تحقیق داده های اندازه گیری شده با TLDها، دز پرتوهای ایکس توکامک در فاصله نیم متری شبیه سازی شد. به این منظور با استفاده از نرم افزار MCNPX، برهمکنش های الکترون های پرتوهای پر انرژی با دیواره داخلی محفظه توکامک و محدودکننده، تابش های ترمزی و دز ناشی از این پرتوها در فاصله نیم متری (محل قرارگیری TLDها) شبیه سازی و محاسبه شد. با توجه به موارد بالا چشمه تعریف شده در کد، الکترون با انرژی  $4/86 \text{ MeV}$  است که این انرژی حداکثر انرژی الکترون های فراری در توکامک دماوند می باشد [۱۴]. چشمه الکترون به گونه ای تعریف شده که الکترون ها به صورت مماس به بدنه محفظه و عمود بر محدودکننده توکامک برخورد کنند.

## نتایج

با استفاده از نرم افزار MCNPX طیف انرژی پرتوهای ایکس رسیده به محل TLDها بصورت شکل ۱ بدست آمد. همچنین دز ناشی از پرتوهای ایکس با کمک نرم افزار در محل TLDها حدود ۱ mSv محاسبه گردید.



شکل ۱: طیف انرژی فوتونهای ایکس رسیده به TLD

به منظور به دست آوردن دز تجربی دزیمترها در محل مورد نظر قرار داده شدند. نتایج حاصل بعد از ۲۰ شات نشان داد که دز جذبی برای هر شات برابر  $1/3$  mSv می باشد.

## بحث و نتیجه گیری

دز جذبی ناشی از پرتوی ایکس در محیط اطراف توکامک دماوند شبیه سازی و اندازه گیری شد. نتایج حاصل از آزمایش های تجربی، نتایج بدست آمده از شبیه سازی را تایید کرد. در هر دو روش دز جذبی در TLDها در فاصله ۰/۵ m از توکامک برای هر شات،  $1/3$  mSv محاسبه شد. این عدد نشان می دهد که دز در اطراف توکامک بسیار زیاد است و افراد از قرار گرفتن در این مکانها باید پرهیز کنند. با توجه به نزدیک بودن نتایج آزمایش های تجربی و محاسبات انجام شده با کد MCNPX، می توان از این کد در سایر محاسبات پرتویی توکامک دماوند استفاده کرد.

## مراجع:

- [1] H. Dreicer, "Electron and ion runaway in a fully ionized gas", Phys. Rev., 115(2):238-249,(1959).



- [2] Y. A. Sokolov, "Multiplication" of accelerated electrons in a tokamak", JETP Lett., 29(4):218-221, (1979).
- [3] B Esposito, R Martin Solis, P van Belle, O N Jarvis, F B Marcus, G Sadler, R Sanchez, B Fischer, P Froissard, J M Adams, E Cecil, N Watkins, "Runaway Electron Measurements in the JET Tokamak", Plasma Phys. Control. Fusion 38 2035-2049, (1996).
- [4] G. Maddaluno, B. Esposito, "Runaway-limiter interaction in the FTU tokamak during disruptions", Journal of Nuclear Materials 266-269 593-597, (1999).
- [5] P. Staib and G. Staudenmaier, "Surface effects and impurity production in tokamak machines", Journal of Nuclear Materials 76 & 77 78-91, (1978).
- [6] H. Bolt and A. Miyahara, "Response of Plasma Facing Components to Off-Normal Heat Loads in a Next Generation Nuclear Fusion Device", Journal Of Nuclear Materials 171 (1990)
- [7] K.A. Niemer, C.D. Croessmann, J.G. Gilligan, H.H. Bolt, "Modeling of runaway electron damage for the design of tokamak plasma facing components", Fusion Engineering, (1989)
- [8] O.N. Jarvis, G. Sadler, J.L. Thompson, "Photoneutron production accompanying plasma disruptions in JET", Nuclear Fusion 28 1981, (1988).
- [9] C. Rasouli, D. Iraj, A. H. Farahbod, K. Akhtari, H. Rasouli, H. Modarresi, and M. Lamahi, "Runaway Electron Energy Measurement Using Hard X-Ray Spectroscopy in "Damavand" Tokamak", Review of Scientific Instruments, Volume 80, 013503 (2009).
- [10] Tanahashi, S., 1981. Dose measurement of X-ray radiation from JIPP T-II device in the vicinity of Water Research Institute. Technical Report from Nagoya University, Japan, Institute of Plasma Physics, Nagoya.
- [11] A. Flores, L. Melendez, E. Chavez, G. Lopez, M.G. Olayo, P. Gonzalez, G.J. Cruz, R. Valencia, R. Rojas, J. Azor, A. Sanchez, F. Sepulveda, "X-ray Thermoluminescent Dosimetry Around the NOVILLO TOKAMAK", Nucl. Sci. J. 35(1), 55-59, (1988).
- [12] Yin-Xiejun, Zhang-Huaixian, Liu-Huijun, Wang-Mingjing, Zhen-Lizhen, Li-Xuxion, Lia-Zhengjing, "Study of X-ray dose", Report from China Nuclear Information Centers, Beijing, (1988).
- [13] J. Youhua, Z. Xingying, L. Taihua, "Dose Measurements of Hard X-Ray Radiation from HL-1 Tokamak", Nucl. Fusion, Plasma Phys. 8, 185-187, (1988).

[۱۴] چاپار رسولی، کیوان اختری، داوود ایرجی، حسین رسولی، "حد انرژی الکترون‌های گریزان در توکامک دماوند"، شانزدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران