اندازه گیری انرژی باریکه‌ی الکترون دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از دزیمتری تابش ایکس ترمزی

ردایی مسعود، شیرانی بیدآبادی بابک*

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوریهای نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده

در این تحقیق، مقدار انرژی باریکه‌ی الکترونی گسیل شده از دستگاه پلاسمای کانونی دانشگاه اصفهان با حداکثر انرژی kj ۳، بر مبنای دزیمتری تابش ایکس ترمزی ناشی از برخورد الکترون‌ها به فویل‌های جاذب مسی اندازه-گیری شد. از دزیمترهای GR-200A به عنوان آشکارساز استفاده شد. بیشترین مقدار انرژی اندازه‌گیری شده برابر ۳۲۰ mJ در ولتاژ kV ۲۳ و فشار mbar ۰/٦ در حضور گاز هوا بدست آمد. با افزایش تعداد شات، تکرارپذیری دستگاه و امکان پیش بینی خروجی دستگاه به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد شات، درصد انحراف معیار نسبی مقدار انرژی از ٪۱۵۲/٤٦ برای تک شات به ٪۷/۷۹ برای ۱۵ شات کاهش پیدا کرد و مقدار انرژی نیز با افزایش تعداد شات، افزایش پیدا کرد.

کلمات کلیدی: پلاسمای کانونی، باریکه‌ی الکترون، دزیمتری، اشعه ایکس ترمزی، MCNP، TLD

مقدمه

دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان یک منبع قابل توجه برای تولید اشعه‌های ایکس سخت و نرم، نوترون-ها، یون‌های پر انرژی و الکترون‌های نسبیتی شناخته می‌شود. مطالعه و بررسی باریکه‌ی الکترونی منتشر شده از این دستگاه، امکان شناسایی بهتر کاربردهای صنعتی و فناوری دستگاه پلاسمای کانونی را فراهم می‌کند. از مهم‌ترین کاربردهای مطرح شده برای باریکه‌ی الکترونی این دستگاه، میکرولیتوگرافی، لایه نشانی به روش تبخیر فیزیکی درمان IORT و پردازش مواد با الکترون‌های کم انرژی است [۱و۲]. در یکی از مطالعات، توزیع انرژی تپ‌های الکترونی تولید شده توسط دستگاه پلاسمای کانونی از نوع مدر با انرژی kj ۳ توسط فنجان فارادی، بین keV ٦٦۰-۳۰ اندازه‌گیری شده است [۳]. اغلب الکترون‌های منتشر شده، انرژی زیر keV ۱۰۰ داشتند. نئوگ و مهانتی باریکه الکترونی منتشر شده از یک دستگاه پلاسمای

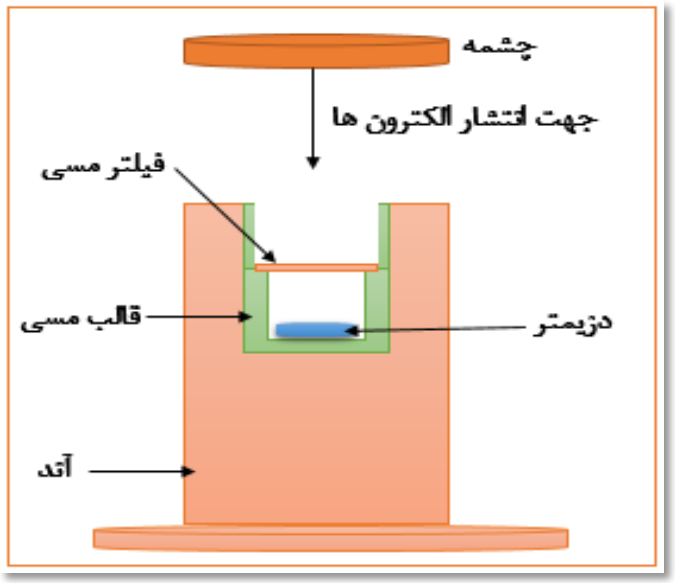
کانونی نوع مدر با انرژی kj ۲/۲ را توسط آرایه‌ی فنجان فارادی مورد مطالعه قرار دادند. اندازه‌گیری‌های آن‌ها نشان داد که متوسط جریان باریکه‌ی الکترون در فشارtorr ۰/۳ از نیتروژن (فشار بهینه) kA ۱۳/۵ می‌باشد و توزیع انرژی الکترون، تقریبا ازkeV ۱۰ تا keV ۲۰۰ گسترش دارد [٤]. خان و همکارانش از یک دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر با انرژی پایین به عنوان باریکه‌ی الکترون استفاده کردند. آن‌ها شدت و انرژی باریکه‌ی الکترون را در یک سیستم با فشار بهینه‌ی mbar ۱/۷ که با گاز آرگون پر شده بود به‌دست آوردند. ماکزیمم بار باریکه‌ی الکترون و شدت آن به ترتیب ۱۳ میکروکولن و $۱۳/۵\times۱۰^{۱۶}$ بر متر مکعب تخمین زده شد. انرژی متوسط باریکه الکترونیkeV ۵۰۰ اندازه‌گیری شد[۵].

روش کار

در این تحقیق، مقدار انرژی باریکه‌ی الکترونی یک دستگاه پلاسمای کانونی از نوع مدر، با حداکثر انرژی kj ۳ با استفاده از دزیمتری تابش ایکس ترمزی اندازه‌گیری شد. در این روش، از قرص‌های GR-200A به عنوان دزیمتر،برای اندازه‌گیری مقدار دز تابش ایکس ترمزی ناشی از برخورد باریکه‌ی الکترونی به سطح یک فیلتر مسی با ضخامت mm ۰/۵ استفاده شد. از آن‌جایی که جهت الکترون‌ها در دستگاه پلاسمای کانونی به سمت آند دستگاه است، دزیمترها در انتهای آند توخالی قرار داده شدند. به منظور جلوگیری از جابه‌جایی دزیمتر و قرار گیری فیلتر مسی بر روی آن یک قالب مسی مناسب طراحی و ساخته شد. چیدمان آزمایش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

برای بازپزی دزیمتر GR-200A، از دستگاه TLD Annealing Oven که مخصوص بازپزی دزیمترهای گرمالیانی است، استفاده شد. از دستگاه TLD 4500 Harshaw به منظور خوانش این آشکارسازها استفاده شد.

به منظور افزایش بهره اشعه‌ی ایکس ترمزی، می‌بایست ضخامت فیلتر مسی که به عنوان فیلتر روی دزیمتر GR-200A قرار می‌گرفت، طوری انتخاب می‌شد که از برد الکترون‌های با حداکثر انرژی منتشر شده از این دستگاه بیشتر باشد. بیشینه‌ی انرژی الکترون‌های این دستگاه keV ۵۰۰ گزارش شده است [٦].



شکل ۱ چیدمان آزمایشگاهی

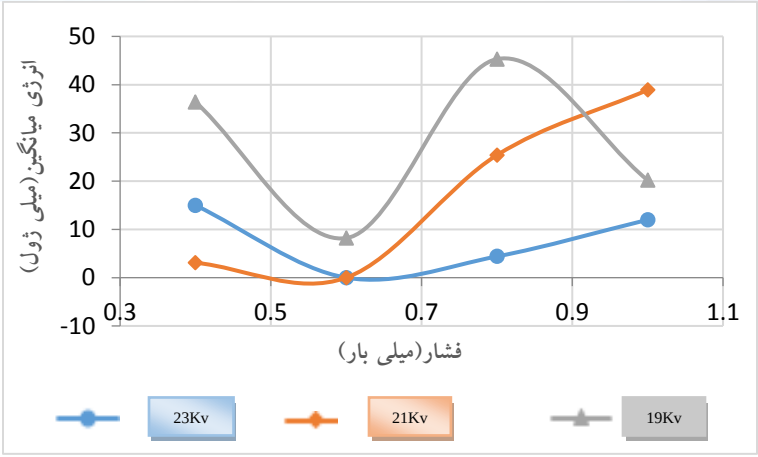
حداکثر مقدار برد الکترون در فویل مسی به ازای این انرژی، با استفاده از کد شبیه‌ساز MCNP.4c برابر با ۱۷۰/۹ µm محاسبه شد. در نتیجه برای اطمینان از توقف حداکثر الکترون‌های منتشر شده از ستون پلاسما و استفاده از تابش ایکس ترمزی ناشی از توقف الکترون‌ها، یک فویل مسی با ضخامت ۵۰۰ µm انتخاب شد. از طرف دیگر، به کمک این شبیه ساز و در حضور فویل مسی با ضخامت ۵۰۰ µm، مقدار دز تابش ایکس ترمزی به جا گذاشته شده در دزیمتر به ازای یک الکترون در حضور دو گاز هوا و آرگون به ترتیب برابر $۶/۲\times۱۰^{-۷}$MeV و $۶/۶\times۱۰^{-۷}$ MeV محاسبه شد. همچنین با استفاده از کد شبیه‌ساز EGSnrc و با به کارگیری چیدمانی مشابه شکل ۱، مقدار دز کل اندازه‌گیری شده توسط دزیمتر GR-200A برابر $^{-۱۵}$ Gy $۴/۹\times۱۰$ محاسبه شد که سهم الکترون‌های رسیده به سطح دزیمتر برابر $^{-۱۵}$ Gy $۰/۵\times۱۰$ بود. این نتیجه، نشان می‌داد که بیش از ۹۰ درصد الکترون‌ها در ضخامت فیلتر مسی انتخاب شده، متوقف می‌شوند. با ضرب دز اندازه‌گیری شده در جرم دزیمتر (۰/۰۳۵g)، انرژی تابش ایکس ترمزی جذب شده در دزیمتر بدست می‌آید. برای تبدیل انرژی تابش ایکس ترمزی به انرژی الکترون، یک ضریب تبدیل نیاز است. این ضریب تبدیل برابر است با نسبت میانگین انرژی الکترون در طیف باریکه‌ی الکترون به مقدار تالی *F8

در خروجی کد MCNP که برابر است با انرژی ایکس جذب شده در دزیمتر. این ضریب تبدیل در گاز هوا و آرگون به ترتیب برابر $۳۹/۷\times۱۰^{٤}$ و $۳۷/۳\times۱۰^{٤}$ محاسبه شد.

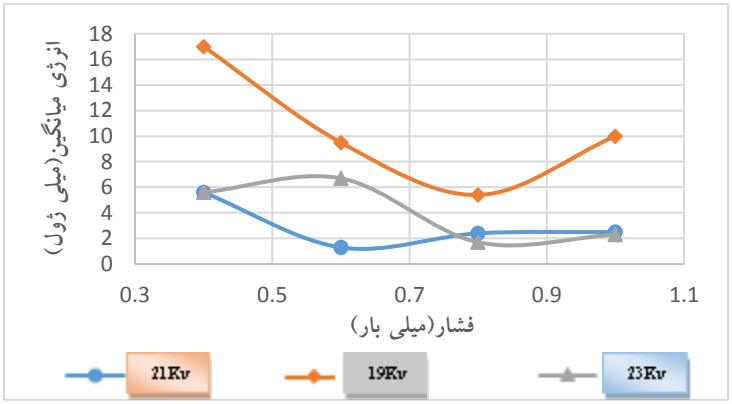
آزمایش‌های انجام شده به دو دسته کلی تقسیم می‌شود. ابتدا، تاثیر ولتاژ و فشار بر مقدار انرژی باریکه‌ی الکترونی به ازای یک شات پینچ دار و با تزریق دو گاز هوا و آرگون در محفظه PF مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، دزیمترهای GR-200A در سه ولتاژ ۱۹، ۲۱ و ۲۳ کیلوولت و چهار فشار ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸ و ۱ میلی بار (در مجموع ۱۲ حالت مختلف) به صورت تک شات و در حضور دو گاز هوا و آرگون، پرتودهی شدند. چیدمان آزمایش، همانند شکل ۱ انتخاب شد. این آزمایش سه مرتبه تکرار گردید و مقادیر میانگین انرژی در هر مرحله محاسبه شد. سپس، اثر تکرار پذیری در مقدار انرژی به جا گذاشته شده در یک فشار و ولتاژ ثابت در حضور دو گاز هوا و آرگون در محفظه PF مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش اثر تکرارپذیری در مقدار انرژی در ولتاژ و فشار ثابت ۲۳ kV و ۰/٦ mbar یک بار در حضور گاز هوا و بار دیگر در حضور گاز آرگون مورد بررسی قرار گرفت. هدف از انجام این آزمایش، بررسی ارتباط مقدار انرژی و درصد انحراف معیار نسبی با تعداد شات است.

نتایج

نمودار مقدار میانگین انرژی بر حسب فشار در سه ولتاژ ذکر شده، در حضور گاز هوا و آرگون به ترتیب در شکل ۲ و شکل ۳ نمایش داده شده است. همان طور مشاهده می‌شود، ارتباط مشخصی بین مقدار میانگین انرژی اندازه‌گیری شده با ولتاژ و فشار وجود ندارد.

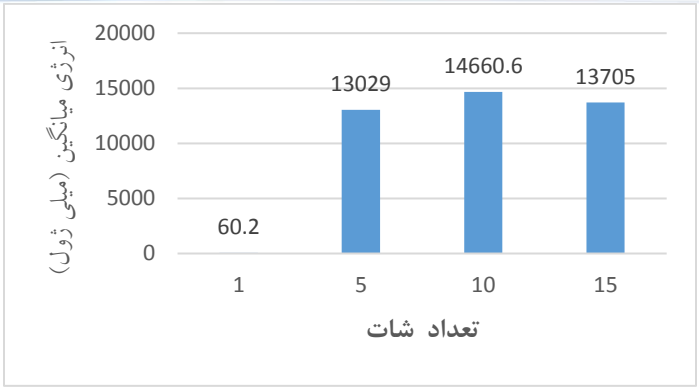


شکل۲: نمودار انرژی میانگین بر حسب فشار در ولتاژهای مختلف در حضور گاز آرگون

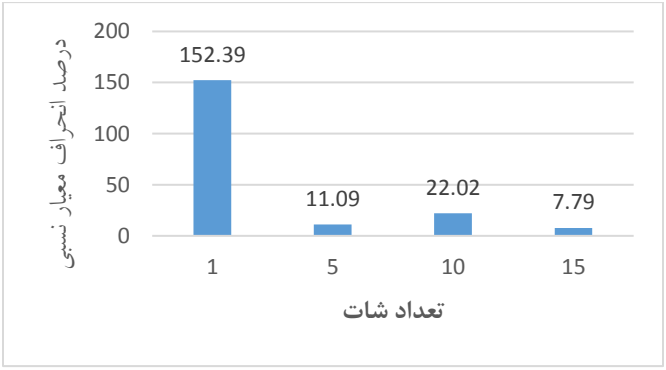


شکل ۳ : نمودار انرژی میانگین بر حسب فشار در ولتاژهای مختلف در حضور گاز هوا

در شکل ٤ و شکل ٥ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد شات، مقدار انرژی میانگین افزایش و درصد انحراف معیار نسبی کاهش می‌یابد.



شکل ٤ نمودار مقدار دز میانگین بر حسب تعداد شات



شکل ٥ نمودار درصد انحراف معیار نسبی بر حسب تعداد شات

بحث و نتیجه‌گیری

در آزمایش‌های تک شات مشاهده شد که هیچ نوع ارتباط مشخصی بین مقدار انرژی با فشار و ولتاژ کاری دستگاه وجود ندارد. همان طور که در قسمت قبل بیان شد، مقادیر انرژی اندازه‌گیری شده، حتی در یک فشار و ولتاژ ثابت بسیار متفاوت و پراکنده است. به عبارتی درصد انحراف نسبی بسیار زیاد این آزمایش‌ها، برداشت یک نتیجه‌ی مشخص و دقیق در مورد بستگی مقدار انرژی به فشار و ولتاژ را سخت می‌کند. در واقع، پراکندگی مقادیر انرژی این حقیقت را نشان می‌دهد که دستگاه پلاسمای کانونی در یک شات یک نتیجه‌ی قابل پیش بینی و مشخصی را به کاربر نمی‌دهد. این نشان می‌دهد که برای این بررسی، نیاز به افزایش آزمایش‌ها داریم تا در صورت وجود یک روند مشخص بین تغییرات مقدار انرژی با فشار

و ولتاژ یافت شود. به همین دلیل در قسمت دوم آزمایش‌ها اثر افزایش تعداد شات‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این آزمایش‌ها، حداکثر مقدار انرژی اندازه‌گیری شده در ولتاژ kV ۱۹ و فشار mbar ۰/۸ در حضور گاز هوا برابر mJ ۳۲۰ اندازه‌گیری شد. در آزمایش‌های بررسی تکرارپذیری مشاهده شد که با افزایش تعداد شات، پراکندگی داده‌ها و در نتیجه انحراف مقادیر انرژی از میانگین به شدت کاهش می‌یابد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش تعداد شات، همگرایی نتایج و قابلیت پیش بینی مقدار انرژی در تعداد شات بالا افزایش می‌یابد.

مراجع

1. Scholz, M. , et al, (2004). "Plasma focus as a source of intense radiation and plasma streams for technological applications." Acta Physica Slovaca 54: 35-42.
2. Ceccolini, E. (2012). Development and Performance Assessment of a Plasma Focus Electron Beam Generator for Intra-Operative Radiation Therapy, Phd.
3. A. Patran, D. Stoenescu, R.S. Rawat, S.V. Springham"Spectral Study of the Electron Beam Emitted from a 3kj Plasma Focus"*Journal of Fusion Energy*, 57 – 66, 2006.
4. N. K. Neog, S.R. Mohanty "Study on electron beam emission from a low energy plasma focus device" Centre of Plasma Physics, 377-381, 2007.
5. M. Z. Khan, Y. S. Ling, I. Yaqoob, N. N. Kumar, L. L. Kuang, W. C. San “Low-Energy Plasma Focus Device as an Electron Beam Source’’ Hindowi Pablishing Corporation, 2014.

٦. شمسیان. ندا، شیرانی. بابک، پیرجمادی حسین " اندازه‌گیری طیف باریکه‌ی الکترونی دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از دز تابش ایکس ترمزی" سومین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسما، دانشگاه تبریز، خرداد ۹۴.