



## کاربرد آشکارساز رد هسته‌ای حالت جامد CR-۳۹ برای اندازه‌گیری توزیع انرژی یون- های نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF۱

بهجت قاسمی\* - حامد روحی - فریدون عباسی دوانی - زهرا شهبازی راد

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

هدف از این تحقیق تعیین منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF۱ با استفاده از آشکارساز رد هسته‌ای CR-۳۹ است. برای رسیدن به این هدف با استفاده از روش PVD ضخامت‌های مختلفی از فیلتر آلومینیومی بر روی آشکارسازها نشانده شد. فیلم‌های آشکارساز در فاصله  $21/5\text{ cm}$  و در زاویه صفر درجه نسبت به سر آند قرار داده شدند. برای آشکارسازی بهتر یون‌ها از روزنه سوزنی  $200\text{ میکرون}$  و از گاز نیتروژن در فشار  $0/5\text{ mbar}$  به عنوان گاز کاری استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SRIM برد یون‌های نیتروژن در آلومینیوم اندازه‌گیری شد. بعد از پرتودهی فیلم‌ها، محدوده‌ی انرژی یون‌های نیتروژن قابل اندازه‌گیری با استفاده از این آشکارسازها در این دستگاه، در گستره‌ی  $155\text{ keV}$  تا  $2770\text{ keV}$  بدست آمد.

کلمات کلیدی: پلاسمای کانونی، آشکارساز رد هسته‌ای CR-۳۹، توزیع انرژی، SRIM.

مقدمه :

دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان یک دستگاه مولد پرتو قادر به تولید یون، نوترون، امواج الکترومغناطیس و الکترون می‌باشد. به دلیل کاربردهای تکنولوژیکی مختلف یون‌های تولیدی دستگاه پلاسمای کانونی، تعیین گستره‌ی انرژی یون‌های تولیدی در هر دستگاه دارای اهمیت است. از جمله این کاربردها فعالسازی هدف‌های جامد برای تولید رادیوایزوتوپ‌های  $^{12}\text{C}(d,n)^{13}\text{N}$  با یون‌های دوتریوم با حداقل انرژی  $300\text{ keV}$  [۱] است. مالدینوسکا و همکارانش [۲] با استفاده از کالیبراسیون و در نظر گرفتن کاهش انرژی پروتون‌ها به علت جذب در ورقه‌ی Al با استفاده از نرم‌افزار SRIM، چگالی ردهای ثبت شده را بر حسب انرژی پروتون‌های تولیدی در محفظه پلاسمای کانونی بدست آوردند. آشکارسازهای رد هسته‌ای در اثر برخورد زیاد یون‌ها اشباع می‌شوند. کاستیلو و همکارانش [۳] برای جلوگیری از اشباع شدن آشکارسازها از ضخامت‌های مختلف فیلتر آلومینیومی در جلوی فیلم‌های آشکارساز استفاده کردند. ویژگی‌های گسیل یونی مشاهده شده در دستگاه‌های پلاسمای کانونی مختلف با هم متفاوت است و به پارامترهای مختلف و شرایط عملکردی دستگاه بستگی دارد [۴]. معمولاً بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه یون‌های دوتریوم، با هدف اندازه‌گیری‌ها و تحقیق‌های نوترونی انجام می‌شود. تحقیقات اندکی بر روی گسیل باریکه یون از دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از گازهای دیگر مانند نیتروژن، آرگون و هلیم انجام می‌شود. در نتیجه در این تحقیق با استفاده از لایه‌نشانی ضخامت‌های مختلف فیلتر آلومینیومی بر روی آشکارسازهای



رد هسته‌ای CR-۳۹، توزیع انرژی یون نیتروژن تولیدی در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF<sup>۱</sup> بدست آمد.

### چیدمان آزمایش:

دستگاه مورد استفاده در این تحقیق دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر SBUMTPF<sup>۱</sup> ( $10/4 \mu F$ , ۲۵ kV, ۳/۲ kJ) بود. اطلاعات بیشتر راجع به این دستگاه در مرجع [۵] بیان شده است. تحقیق‌های صورت گرفته در مرجع [۶] نشان داد در صورت استفاده از فیلتر آلومینیومی با ضخامت ۵ میکرون همگی یون‌های نیتروژن جذب شده و هیچ ردی روی آشکارسازها ظاهر نمی‌شود. از آنجایی که فیلتر آلومینیومی با ضخامت کمتر موجود نبود، سعی شد با استفاده از روش لایه‌نشانی ضخامت‌های مختلفی از آلومینیوم در گستره‌ی نانومتر تا ۳ میکرون بر روی آشکارسازها نشانده شود و توسط آن چگالی ردهای ثبت شده بر روی فیلم‌های آشکارساز اندازه‌گیری شود. برای نشان دادن فیلتر آلومینیومی بر روی آشکارسازها از روش لایه‌نشانی استفاده شد. در این آزمایش لایه‌نشانی به روش PVD انجام شد. روش PVD به سه گونه حرارتی، کندوپاش و تفنگ الکترونی می‌باشد. از آنجایی که دمای ذوب آلومینیوم ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد است، روش مورد استفاده و مناسب برای لایه‌نشانی آلومینیوم در این آزمایش روش حرارتی بود.

در تمامی آزمایش‌ها محفظه دستگاه تا فشار  $8 \times 10^{-3}$  mbar خلأ شد، گاز نیتروژن با فشار ۰/۵ mbar به دستگاه تزریق شد و ولتاژکاری دستگاه  $23 \pm 0/5$  kV انتخاب شد. برای بدست آوردن منحنی چگالی ردهای ثبت شده بر روی فیلم‌های CR-۳۹ بر حسب انرژی یون‌های نیتروژن تولیدی دستگاه از یک روزنه سوزنی ۲۰۰ میکرون بین فیلم‌های آشکارساز و آند استفاده شد. فیلم‌های آشکارساز در فاصله ۲۱/۵ cm از سر آند و زاویه صفر درجه نسبت به محور آند قرار داده شدند.

ابتدا برای شمارش زمینه، ۳ فیلم CR-۳۹ انتخاب شد و بدون پرتودهی مورد سونش قرار گرفتند. سپس با استفاده از روش حرارتی ضخامت‌های ۱۶۵، ۶۲۵، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۲۰، ۱۶۵۰، ۲۰۰۰، ۲۳۵۰، ۲۶۳۰ و ۳۰۰۰ نانومتر از فلز آلومینیوم بر روی فیلم‌های CR-۳۹ نشانده شد. بعد از پرتودهی و سونش فیلم‌ها، محدوده‌ی انرژی یون‌های نیتروژن تولیدی در دستگاه بدست آمد. برای اطمینان از صحت نتایج، آزمایش دیگری برای توزیع انرژی یون‌های نیتروژن انجام شد. در آزمایش دوم برای رسم منحنی دقیق‌تر، ابتدا بر پایه‌ی محاسبات SRIM انرژی‌های مشخصی در محدوده انرژی قابل ثبت انتخاب شده و سپس متناسب با آن فیلترهای آلومینیومی بر روی فیلم‌ها نشانده شد. در این آزمایش با توجه به محدودیت در فرآیند لایه‌نشانی و طولانی بودن فرآیند، برای یون‌های نیتروژن، انرژی‌های ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۵۰، ۲۵۰۰ و ۲۷۵۰ کیلو الکترون ولت انتخاب شد. برای مقایسه ردهای بدست آمده با مقدار اشباع آن‌ها و مقدار زمینه و همچنین مشخص کردن ابتدا و انتهای منحنی، انرژی‌های بین ۷۰۰ و ۳۰۰۰ کیلو الکترون ولت برای یون‌های نیتروژن انتخاب شد. جدول (۱) برد یون‌های نیتروژن با انرژی فوق را در فیلتر آلومینیومی نشان می‌دهد.

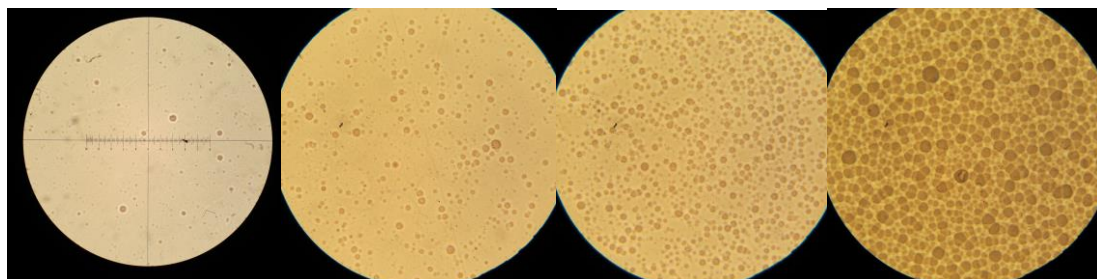
جدول ۱: انرژی یون‌های نیتروژن و برد آنها در فیلتر آلومینیومی

انرژی (keV)	برد در فیلتر آلومینیومی (نانومتر)	انرژی (keV)	برد در فیلتر آلومینیومی (نانومتر)
۷۰۰	۱۰۵۰	۱۸۰۰	۱۹۵۰
۹۰۰	۱۲۴۰	۲۰۰۰	۲۱۰۰
۱۰۰۰	۱۳۳۰	۲۲۵۰	۲۲۷۰
۱۲۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۲۴۵۰
۱۴۰۰	۱۶۶۰	۲۷۵۰	۲۶۲۰
۱۶۰۰	۱۸۱۰	۳۰۰۰	۲۷۹۰

با توجه به جدول (۱)، در آزمایش دوم ضخامت‌های ۱۰۵۰، ۱۲۴۰، ۱۳۳۰، ۱۵۰۰، ۱۶۶۰، ۱۸۱۰، ۱۹۵۰، ۲۱۰۰، ۲۲۷۰، ۲۴۵۰، ۲۶۲۰ و ۲۷۹۰ نانومتر از فلز آلومینیوم بر روی فیلم‌های CR-۳۹ نشانده شد. برای مشخص کردن ردهای ثبت شده، فیلم‌های آشکارساز مورد سونش قرار گرفتند. برای سونش فیلم‌های CR-۳۹، از روش خورش شیمیایی و محلول ۶ نرمال NaOH در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. هر یک از فیلم‌های CR-۳۹ به مدت ۶ ساعت مورد سونش قرار گرفتند.

### نتایج آزمایش و تحلیل داده‌ها:

در ابتدا ۳ فیلم CR-۳۹ بدون پرتودهی برای شمارش زمینه سونش شد که میانگین چگالی رد پرتوهای زمینه برای این فیلم‌ها برابر  $(1 \pm 0.1) \times 10^6$  Tracks/cm<sup>2</sup> بدست آمد. مطابق شکل (۱) در طی آزمایش‌ها مشاهده شد که با افزایش ضخامت فیلتر آلومینیومی، تعداد چگالی ردهای ثبت شده بر روی فیلم‌های آشکارساز کاهش می‌یابد.



شکل (۱). نمونه‌ای از ثبت ردپاها بر روی فیلم‌های آشکارساز CR-۳۹ با ضخامت‌های مختلف فیلتر آلومینیومی از راست به چپ به ترتیب: ۱۰۰۰، ۱۳۲۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ نانومتر

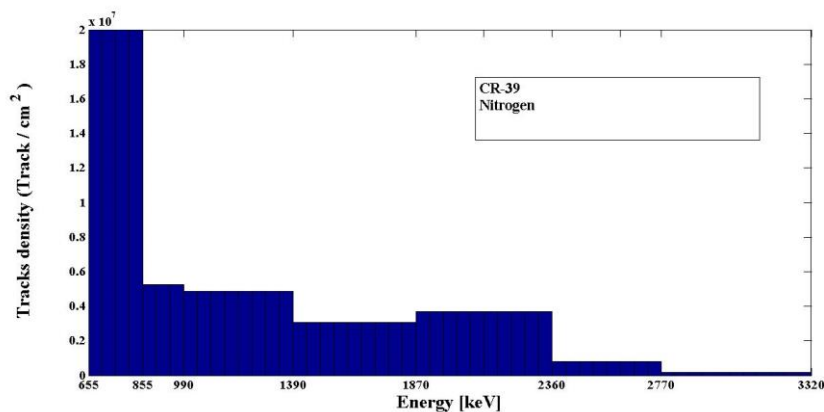
در جدول (۲) چگالی ردپاها ثبت شده بر روی فیلم‌های CR-۳۹ به ازای ضخامت‌های مختلف فیلتر آلومینیومی برای آزمایش اول درج شده است.

## 19 th Iranian's Nuclear Conference

جدول ۱: آستانه انرژی و چگالی رد یون‌های ثبت شده بر روی آشکارساز CR-۳۹ بر حسب ضخامت‌های مختلف فیلتر آلومینیومی

چگالی ردها ( $\times 10^3 \text{ Track/cm}^2$ )	آستانه انرژی (keV)	ضخامت فیلتر (nm)	چگالی ردها ( $\times 10^3 \text{ Track/cm}^2$ )	آستانه انرژی (keV)	ضخامت فیلتر (nm)
$8710 \pm 2/9$	۱۳۹۰	۱۶۵۰	اشباع	۷۹	۱۶۵
$5650 \pm 2/4$	۱۸۷۰	۲۰۰۰	اشباع	۳۴۵	۶۲۵
$1970 \pm 1/4$	۲۳۶۰	۲۳۵۰	اشباع	۶۵۵	۱۰۰۰
$1180 \pm 1/1$	۲۷۷۰	۲۶۳۰	$18830 \pm 4/3$	۸۵۵	۱۲۰۰
در حد زمینه	۳۳۲۰	۳۰۰۰	$13590 \pm 3/7$	۹۹۰	۱۳۲۰

در اثر برخورد یون‌های زیاد به فیلم‌های آشکارساز با فیلترهای آلومینیومی به ضخامت ۱۶۵، ۶۲۵ و ۱۰۰۰ نانومتر، چگالی ردهای ثبت شده بر روی آن‌ها به حدی زیاد بود که قابل تفکیک از یکدیگر نبوده و در گستره‌ی شمارش نرم‌افزار نبودند. برای این فیلم‌ها بطور نمونه قسمت‌هایی از اطراف مرکز پرتودیده مورد شمارش قرار گرفت که چگالی آن‌ها بالای  $10^7 (\text{Tracks/cm}^2)$  بدست آمد. از آن جایی که کل فیلم‌ها و بخصوص مرکز پرتودهی قابل شمارش نبود، چگالی ردهای ثبت شده بر روی این فیلم‌ها در حد اشباع بیان شد. با در نظر گرفتن حداقل فیلتر ۱۲۰۰ نانومتر برای آستانه قابل شمارش ردها توسط نرم افزار، حداقل انرژی یون نیتروژن ثبت شده ۸۵۵ keV بود. همچنین تعداد ردهای شمارش شده بر روی فیلم‌های CR-۳۹ با ضخامت ۳۰۰۰ نانومتر نیز در حد زمینه بود. در نتیجه با در نظر گرفتن حداکثر ضخامت مناسب فیلتر برای ثبت ذرات (۲۶۳۰ نانومتر)، حداکثر انرژی یون نیتروژن ثبت شده ۲۷۷۰ keV بود. بعد از پرتودهی و سونش فیلم‌ها منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن با استفاده از چگالی ردهای ثبت شده بر روی فیلم‌های CR-۳۹ و نرم‌افزار SRIM مطابق شکل (۲) بدست آمد.



شکل (۲). منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن با استفاده از آشکارساز CR-۳۹

نتایج توزیع انرژی یون‌های نیتروژن توسط فیلم‌های CR-۳۹ در آزمایش اول نشان داد که با توجه به محدودیت نرم‌افزارهای موجود برای شمارش ردها، ضخامت مناسب فیلتر آلومینیومی برای ثبت رد یون‌ها

## 19 th Iranian's Nuclear Conference

در محدوده‌ی ۱۲۰۰ نانومتر تا ۲۶۳۰ نانومتر (معادل انرژی‌های ۸۵۵ keV تا ۲۷۷۰ keV) بدست آمد. در آزمایش دوم برای رسم دقیق‌تر منحنی توزیع انرژی، انرژی‌های مورد نظر از محدوده‌ی بدست آمده انتخاب شد و متناسب با آن، ضخامت‌های مختلفی از فیلتر آلومینیومی بر روی فیلم‌ها نشانده شد. بعد از پرتو دهی و سونش فیلم‌ها چگالی ردهای ثبت شده شمارش شد. جدول (۳) نتایج شمارش رد یون‌های نیتروژن توسط آشکارساز CR-۳۹ را نشان می‌دهد.

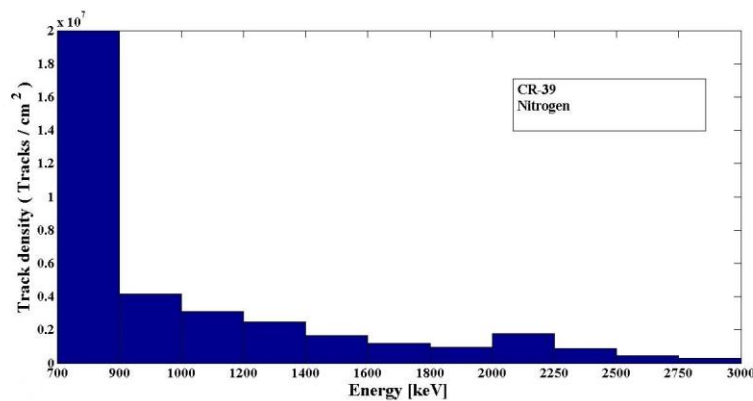
جدول ۲: انرژی آستانه و چگالی رد یون‌های ثبت شده بر روی آشکارساز CR-۳۹ بر حسب ضخامت‌های مختلف فیلتر

آلومینیومی

چگالی ردها ( $\times 10^3 \text{ Track/cm}^2$ )	آستانه انرژی (keV)	ضخامت فیلتر (nm)	چگالی ردها ( $\times 10^3 \text{ Track/cm}^2$ )	آستانه انرژی (keV)	ضخامت فیلتر (nm)
$5300 \pm 2/3$	۱۸۰۰	۱۹۵۰	اشباع	۷۰۰	۱۰۵۰
$4330 \pm 2/1$	۲۰۰۰	۲۱۰۰	$17900 \pm 4/2$	۹۰۰	۱۲۴۰
$2570 \pm 1/6$	۲۲۵۰	۲۲۷۰	$13730 \pm 3/7$	۱۰۰۰	۱۳۳۰
$1710 \pm 1/3$	۲۵۰۰	۲۴۵۰	$10640 \pm 3/3$	۱۲۰۰	۱۵۰۰
$1280 \pm 1/1$	۲۷۵۰	۲۶۲۰	$8150 \pm 2/9$	۱۴۰۰	۱۶۶۰
در حد زمینه	۳۰۰۰	۲۷۹۰	$6490 \pm 2/5$	۱۶۰۰	۱۸۱۰

شکل (۳) منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن دستگاه SBUMTPF<sup>۱</sup> را توسط فیلم‌های CR-۳۹ نشان می‌دهد.

دهد.



شکل (۳). منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن توسط آشکارساز CR-۳۹

## 19 th Iranian's Nuclear Conference

در این آزمایش برای مقایسه ردهای بدست آمده با مقدار اشباع و زمینه و همچنین مشخص کردن ابتدا و انتهای منحنی، از فیلترهای آلومینیومی به ضخامت ۱۰۵۰ و ۲۷۹۰ نانومتر که معادل انرژی‌های ۷۰۰ و ۳۰۰۰ کیلو الکترون ولت است، استفاده شد (این انرژی‌ها خارج از محدوده‌ی انرژی مناسب برای فیلم‌ها است).

### نتیجه‌گیری:

در این تحقیق برای بررسی انرژی یون‌های نیتروژن تولیدی در دستگاه پلاسمای کانونی از فیلترهای آلومینیومی به ضخامت‌های مختلف که به روش لایه نشانی بر روی فیلم‌های آشکارساز نشانده شده بود استفاده گردید. با استفاده از فیلم‌های لایه نشانی شده مطابق شکل‌های (۲) و (۳) منحنی توزیع انرژی یون‌های نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF<sub>1</sub> ( $10/4 \mu F$ , ۲۵ kV, ۳/۲ kJ) بدست آمد. بعد از پرتودهی و سونش فیلم‌ها محدوده‌ی ضخامت مناسب فیلتر آلومینیومی برای تعیین انرژی یون‌های نیتروژن در گستره‌ی ۱۲۰۰ نانومتر تا ۲۶۳۰ نانومتر بدست آمد که این محدوده‌ی ضخامت، متناسب با محدوده‌ی انرژی یون‌های نیتروژن بین ۸۵۵ keV تا ۲۷۷۰ keV می‌باشد. همچنین برای فیلترهایی با ضخامت کمتر از ۱۲۰۰ نانومتر، چگالی ردها بیشتر از  $2 \times 10^7$  (Track / cm<sup>2</sup>) و برای فیلترهایی با ضخامت بیشتر از ۲۶۳۰ نانومتر، چگالی ردهای ثبت شده در حد زمینه ( میانگین  $(1 \pm 0/1) \times 10^6$  Tracks / cm<sup>2</sup>) بدست آمد.

### مراجع:

- [۱]. S. M. Sadat Kiai, S.A., S. Sheibani, M. Elahi, A. Safarien, S.Farhangi, A.R. Zirak, S.Alhooie, B.N. Mortazavi, M.M. Khalaj, A.R. Khanchi, A.A. Dabirzadeh, A.Kashan, F.Zahedi, Design a ۱۰ kJ IS Mather Type Plasma Focus for Solid Target Activation to Product Short-Lived Radioisotops  $^{14}C(d,n)^{14}N$ . J Fusion Energ.
- [۲]. A.Malinowska, A.Szydlowski, M.J.Sadowski, J.Zebrowski, M.Scholz, M.Paduch, M.Jaskola, A.Korman. Measurements of fusion-produced protons by means of SSNTDs. Radiation Measurements, ۲۰۰۸. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.radmeas. ۲۰۰۸,۰۴,۰۴۱
- [۳]. F.castillo, J.J.E.Herrera, Isabel Gamboa, J.Rangel, J.I.Golzarri, G.Espinosa. Angular distribution of fusion products and x rays emitted by a small dense plasma focus machine, Journal of applied of physics, ۲۰۰۷. Vol. ۱۰۷, ۰۱۳۳۰۳.
- [۴]. M. Sadowski, J.Z., E. Rydygier and J.Kucinski, Ion Emission from Plasma Focus Facilities. Plasma Phsyscs and Controlled Fusion, ۱۹۸۸. Vol. ۳۰.KO.۶: p.p. ۷۶۳-۷۶۹.
- [۵]. B.Shirani and F.Abbasi, Brazilian Journal of Physics, vol. ۴۰, no. ۲, June, ۲۰۱۰
- [۶]. روحی، حامد " اندازه‌گیری توزیع چگالی یون‌های دوتریوم و نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF<sub>1</sub> با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای پلی کربنات " هجدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، اسفند ۱۳۹۰