

## شبیه سازی یک آشکارساز تناسبی میکرو نواری برای آشکارسازی گاز رادن و دختران با کد مونت کارلو (MCNPX)

پروین دهقانی پور<sup>۱\*</sup>، جمشید سلطانی نبی پور<sup>۲</sup>، مهدی سهرابی<sup>۳</sup>، محمدرضا رضایی رایینی نژاد<sup>۴</sup> و سید علی هاشمی زاده عقدها<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور تهران، صندوق پستی: ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>گروه پرتو پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

<sup>۴</sup>گروه مهندسی هسته ای، دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان، کرمان، ایران.

<sup>\*</sup>کرمان، سیرجان، دانشگاه پیام نور، گروه فیزیک، کد پستی: ۵۸۳۳۳-۷۸۱۶۸

پست الکترونیکی: [physpdp@gmail.com](mailto:physpdp@gmail.com)

### چکیده

تاکنون روش‌ها و آشکارسازهای مختلفی برای آشکارسازی گاز رادن استفاده شده است. به علت نویز کم و قدرت تفکیک نسبتاً بالای آشکارسازهای گازی نسبت به آشکارسازهای نیمه هادی و یا سوسوزن، استفاده از آن‌ها برای آشکارسازی اشعه آلفا بسیار مورد توجه می‌باشد. آشکارساز تناسبی میکرو نواری نیز جزء این دسته قرار دارد که تاکنون برای آشکارسازی رادون استفاده نشده است. در این مقاله پاسخ آشکارساز گازی میکرو نواری به ذرات آلفای رادن و دختران آن در حالت پرتوزایی پایین در محدوده  $10^3 - 10^4 \text{ Bq/m}^3$  با استفاده از کد MCNPX بررسی شده است. ابتدا چشمه حجمی رادن بالای مایلر به یک چشمه سطحی تبدیل می‌شود. برای یک ذره آلفا که از سطح زیرین مایلر وارد حجم فعال می‌شود انرژی بجامانده بصورت تابعی از فاصله در طول مسیر بدست آمده است. برای بررسی دقیق این آشکارساز همچنین انرژی بجا مانده در بالای نوارهای آند نیز بصورت تابعی از زاویه و انرژی محاسبه شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که هرچه زاویه فرودی ذره نسبت به راستای Z بیشتر شود بیشینه مقدار انرژی بجامانده افزایش می‌یابد. در ضمن به علت تناسبی بودن آشکارساز، با افزایش انرژی، انرژی بجامانده در واحد طول کاهش پیدا کرده در نتیجه ارتفاع پالس با افزایش انرژی ذره کاهش می‌یابد. با افزایش زاویه فرودی آلفا تعداد نوارهایی که پالس تولید می‌کنند افزایش ولی دوام پالس کاهش می‌یابد. بنابراین بعلا حساس بودن آشکارساز میکرو نواری به زاویه و انرژی ذرات آلفای رادن و دختران در پرتوزایی پایین، این آشکارسازها می‌توانند بعنوان گزینه مناسبی برای آشکارسازی گاز رادن تلقی شوند.

**کلید واژگان:** آشکارساز تناسبی، میکرو نواری، رادن و دختران، آشکارسازی، شبیه سازی، کد مونت کارلو MCNPX.

### ۱. مقدمه

ناپذیری ذهن انسان را مشغول کرده است. اثرات و پیامدهای

بیولوژیکی ناشی از گاز رادن در محیط‌های بسته می‌تواند بر

سلامت افراد تاثیر منفی بگذارد [۱]. به گزارش آژانس حفاظت

امروزه بحث آلودگی گاز رادن در محیط‌های بسته یکی از

بزرگ‌ترین چالش‌های زیست محیطی بوده و به صورت انکار

محیط زیست ایالت متحده آمریکا<sup>۱</sup>، رادن بعد از سیگار دومین عامل سرطان ریه می‌باشد [۲]. رادن گازی بی اثر، بی رنگ، بی بو و بی مزه که محصول واپاشی سری اورانیوم  $^{238}\text{U}$  (رادن-۲۳۸) و تورنیوم-۲۳۲ (رادن-۲۳۰) می‌باشد. پایدارترین ایزوتوپ آن، رادن-۲۲۲ دارای نیمه عمر ۳/۸ روز است که ذرات آلفا با انرژی  $5.49\text{MeV}$  گسیل می‌کند. محصولات فروپاشی آن ( $^{218}\text{Po}$  و  $^{214}\text{Po}$ ) که ذرات آلفا با انرژی  $6\text{MeV}$  و  $7.69\text{MeV}$  گسیل می‌کنند برای سلامتی خطرناک ترند [۳]. بنابراین، نظارت مداوم بر غلظت رادن در مناطق عمومی تاثیر مهمی بر ایمنی بهداشت دارد.

تکنیک‌های زیادی برای اندازه‌گیری رادن و دختران آن در طول سال‌ها توسعه یافته‌اند [۴]. یکی از روش‌های فعال اندازه‌گیری غلظت رادن و دختران آن، طیف سنجی پرتوهای آلفای گسیل شده از آن‌ها توسط آشکارسازهاست [۵-۶]. به دلیل در دسترس بودن و دامنه وسیع آشکارسازهای یونیزاسیون گازی (از جمله اتاقک‌های یونشی، گایگروتناسبی) حد زیادی از کارهای مطالعاتی مفید و جالب هنوز با استفاده از این آشکارسازها انجام می‌شود که می‌توانند انواع تابش‌ها را بر اساس شکل پالسی که ایجاد می‌کنند از هم تشخیص دهند. یک مزیت درخور توجه آشکارسازهای تناسبی در جداسازی ذاتی دامنه آلفا و بتا است که موجب یک زمینه بسیار پائین آهنگ شمارش درکانال آلفا می‌گردد [۷] و همچنین شمارنده‌های تناسبی در مقایسه با اتاقک‌های یونشی زمان پاسخ‌دهی سریع و بهتری دارند و از حساسیت بالاتری نیز برخوردارند. آشکارسازهای تناسبی چند سیمی از نظر ابعاد بزرگتر و سرعت پاسخ بالاتر بر نوع تک سیمی آن برتری دارند [۸]. با این وجود از آنجایی که ساخت آشکارسازهایی با سیم‌های نازک مشکل است و قدرت تفکیک مکانی این آشکارسازها پایین می‌باشد

(تفکیک مکانی در حد چند صد میکرومتر و تفکیک انرژی ۱۸٪) پهنای درنیم ارتفاع در انرژی  $6\text{keV}$  [۹]، آشکارسازهای گازی میکرو نواری<sup>۲</sup> معرفی شدند که به طور قابل توجهی پاسخی بهتر از آشکارسازهای چند سیمی نسبت به ذرات باردار دارند [۱۰-۱۲]. آشکارساز گازی میکرو نواری که در سال ۱۹۸۸ توسط آنتوان اود<sup>۳</sup> معرفی شده است [۱۳]، پیشرفت عمده‌ای در تکامل آشکارسازهای تابشی گازی حساس به مکان نشان داده و به خاطر ویژگی‌هایی چون تفکیک مکانی در حد  $30\ \mu\text{m}$  [۱۴] و تفکیک انرژی ۱۰/۷٪ پهنای در نیمه ارتفاع در انرژی  $5.49\text{keV}$  [۱۵، ۱۶]، قابلیت سرعت بالا [۱۵] و هزینه کم [۱۴]، مورد توجه محققان بوده است.

با توجه به ویژگی‌های ذکر شده هدف اصلی در این مقاله بررسی پاسخ آشکارساز گازی میکرو نواری در اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در حالت پرتوژیایی پایین می‌باشد. برای شبیه سازی پاسخ آشکارساز میکرو نواری به رادن از کد محاسباتی  $\text{MCNPX}^4$  استفاده شده است. هندسه آشکارساز به گونه‌ای طراحی می‌شود که امکان در نظر گرفتن شارش هوا با تعبیه یک لایه نازک مایلر از فضای خارجی آشکارساز میسر باشد. در حالت پرتوژیایی پایین رادن، پاسخ آشکارساز به یک واپاشی رادن در ناحیه خارج آشکارساز بررسی شده است.

## ۲. تئوری

### ۱.۲. آشکارساز گازی میکرو نواری

آشکارساز گازی میکرو نواری متشکل از یک اتاقک پر از گاز شامل یک بستر عایق است که بر روی آن نوارهای آند و کاتد بطور متناوب قرار گرفته‌اند. نوارها می‌توانند از جنس کروم، آلومینیوم، مس و بستر از جنس شیشه، پلاستیک و

2-Microstrip gas chamber (MSGC)

3-Oed

4-Monte Carlo N-Particle eXtended (general-purpose Monte Carlo radiation transport code)

1-United States Environmental Protection Agency (EPA or sometimes USEPA)

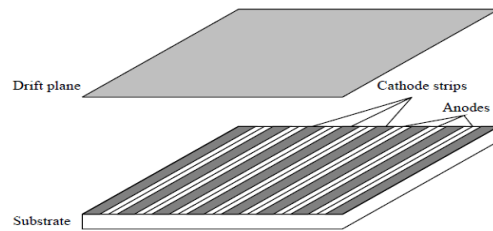
وابستگی انرژی را می توان در سرعت  $\beta = \frac{v}{c}$  و ضریب لورنتس  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$  یافت. وابستگی به ماده در بار هسته ای  $Z$  (بر حسب  $e$ ) و عدد جرم اتمی  $A$  می باشد.  $Z$  بار ذره عبوری،  $m_e$  جرم الکترون،  $c$  سرعت الکترون،  $N_A$  عدد آووگادرو،  $I$  ثابت یونیزاسیون و  $\delta$  اثر پلاریزاسیون ماده را نشان می دهد.

### ۳. روش انجام کار

با استفاده از کد MCNPX هندسه مساله شبیه سازی شده است. کد MCNP یکی از قوی ترین کدهای محاسباتی در انجام محاسبات هسته ای است و براساس روش مونت کارلو کار می کند. یکی از کاربردهای این کد در طراحی آشکارسازهاست و همچنین یک محصول کامپیوتری برای مدل سازی برهمکنش های تابش با ماده می باشد که از لحاظ کیفیت نتایج تضمین شده است. برای استفاده از این کد بایستی یک فایل ورودی شامل اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه پرتو، خروجی های مورد نظر و ... تهیه شود.

برای تعریف هندسه حجم فعال را بصورت مکعب مستطیلی به ابعاد  $10 \times 10 \times 0.3 \text{ cm}^3$  حاوی گاز  $P_{10}$  در نظر گرفته به طوری که مرکز آن بر مبدا مختصات دکارتی منطبق باشد. ناحیه رانش به اندازه  $0.3 \text{ cm}$  بالای صفحات آند و کاتد قرار دارد. از ورق مایلر با ضخامت  $0.2 \mu\text{m}$  جهت جداسازی محفظه ای با ارتفاع  $3 \text{ cm}$  حاوی هوای رادن دار از حجم فعال استفاده می شود. شکل ۲ نمایش شماتیکی از آشکارساز که در هندسه کد از آن استفاده شده است را نشان می دهد. برای تعریف ماده در این کد باید ایزوتوپ های تشکیل دهنده آن و درصد وزنی یا اتمی آن ها را مشخص کرد. مواد مورد استفاده گاز  $P_{10}$ ، مایلر و هوا هستند که درصد اتمی عناصر تشکیل دهنده مواد استخراج شده [۱۸] و در جدول ۱ نتایج آن نشان داده شده است.

سیلیکون باشد. پهنای آند معمولاً از مرتبه ۱۰ میکرون، عرض کاتد تا حدودی بزرگتر، در حدود ۱۰۰ میکرون است. فاصله بین نوارهای آند و کاتد می تواند به کمتر از ۱۰۰ میکرون، با گام هایی معمولاً از ۵۰۰ - ۲۰۰ میکرون، کاهش یابد. میدان رانشی توسط یک الکتروود که بطور معمول در فاصله ۳-۵ میلی متری بالای صفحه میکرونوارها قرار می گیرد و در ولتاژ بالای منفی نگهداشته می شود، تعریف می شود (شکل ۱). ذره باردار سریعی که در داخل گاز در حال حرکت است باعث یونیزاسیون در طول مسیر آن شده و جفت یون ها را تولید می کند. میدان الکتریکی در سرتاسر حجم گاز باعث می شود الکترون های تولید شده به سمت آند و یون های مثبت به سمت کاتد رانده شوند به طوری که یک سیگنال الکتریکی ایجاد می کند. به طور کلی ارتفاع سیگنال روی نوارهای آند متناسب است با کاهش انرژی ذره در گاز که در اینجا بررسی می شود.

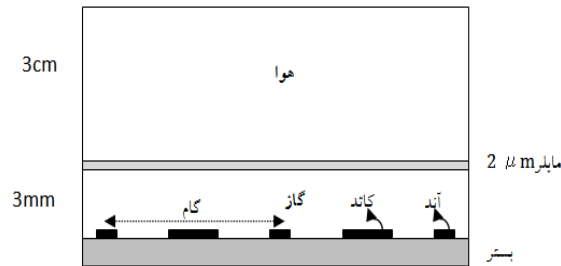


شکل (۱): آشکارساز گازی میکرو نواری.

ذرات عبوری می توانند مولکول ها را در حجم گاز یونیزه کنند و همانند هر آشکارساز گازی دیگری، آشکارساز میکرو نواری نیز متکی به برهم کنش یک ذره در حال حرکت با ماده ای که از آن عبور می کند می باشد. ذرات باردار کاهش انرژی متوسط در واحد طول  $\frac{dE}{dx}$  دارند که با معادله بت-بلاخ<sup>۲</sup> داده می شود [۱۷]. (این معادله برای الکترون ها معتبر نیست).

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 z^2 \frac{Z}{A \beta^2} \left[ \log \frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2}{I} - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right] \quad (1)$$

1-pitch  
2-Bethe-Bloch

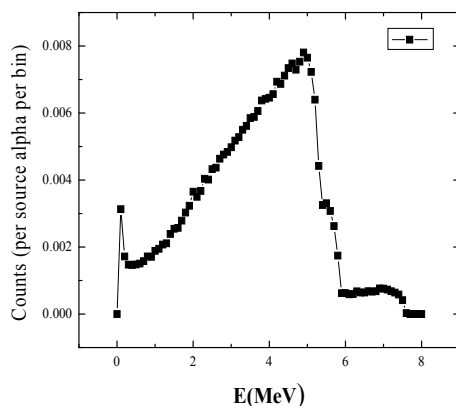


شکل (۲): نمایی شماتیکی از آشکارساز که در هندسه کد از آن استفاده شده است.

جدول (۱): درصد اتمی عناصر تشکیل دهنده مواد استفاده شده در آشکارساز

نوع ماده	چگالی	ایزوتوپ <sup>۳</sup> ها و کسر اتمی آنها
-	(گرم بر سانتیمتر مکعب)	هیدروژن، اکسیژن، آرگون، نیتروژن
هوا	۰/۰۰۱۲۰۵	۰/۰۰۰۱۵
مایلر	۱/۳۸	۰/۴۵۴۵۵۲
گاز P <sub>10</sub>	۰/۰۰۱۵۶۱	۰/۰۷۱۴۲۹
		۰/۲۸۵۷۱۴
		۰/۱۸۱۸۱۶
		۰/۰۰۴۶۷۱
		۰/۷۸۴۴۳۱
		۰/۶۴۲۸۵۷

که ذرات آلفای خروجی از مایلر در گستره انرژی ۰/۹ MeV-۰/۵ قرار دارند (شکل ۳). برای ردیابی یک ذره آلفای گسیل شده از چشمه دیگر نیازی به دانستن نقطه محل ارسال آن در بالای مایلر نیست. در این حالت کافیسیت یک چشمه سطحی با طیف انرژی بدست آمده مطابق شکل ۴ در زیر سطح مایلر در نظر گرفت که تحت زوایای مختلف وارد حجم فعال می شود. با توجه به نتایج شبیه سازی گستره زاویه ۸۴°-۰° مطلوب است چون بیشترین تعداد ذراتی که از سطح میگذرند در این محدوده است (شکل ۵).

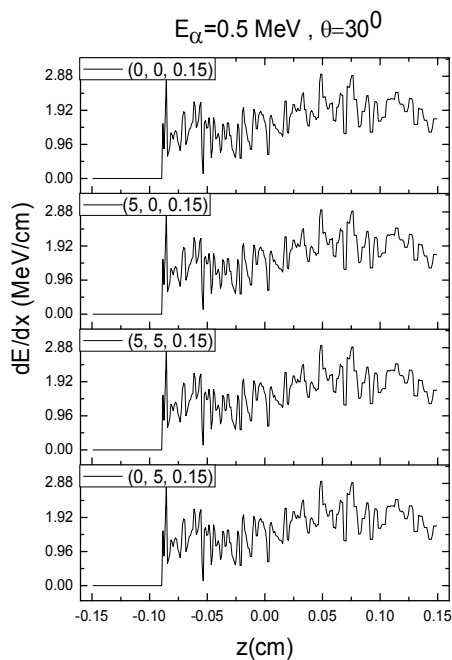


شکل (۳): طیف انرژی ذرات آلفای وارد شده از سطح زیرین مایلر به حجم فعال آشکارساز.

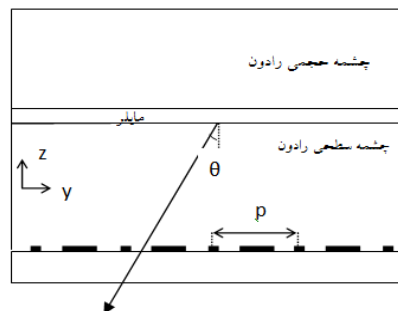
بعد از تعریف مواد نوبت به تعریف چشمه می رسد. یک چشمه به طور کلی با دستور SDEF در قسمت داده ها تعریف می شود. پارامترهای بسیاری میتوان برای SDEF تعریف کرد مانند نوع ذره، مکان، انرژی، جهت گسیل ذره و ... که بستگی به مساله دارد. در این شبیه سازی آلفاهای رادن و دختران آن به عنوان چشمه انتخاب می شوند. در شرایط تعادلی احتمال گسیل ذرات آلفا برای رادن ۰/۶، پولونیوم ۲۱۸، ۰/۳۳ و پولونیوم ۲۱۴، ۰/۰۷ گزارش شده است [۱۹]. برای محاسبه مقدار انرژی بجامانده ذره در واحد طول از کارت مش تالی نوع ۱ با دستور PEDEP استفاده می شود. PEDEP انرژی بجامانده در واحد حجم برای یک ذره مشخص را می دهد که برای بدست آوردن انرژی بجامانده ذره در واحد طول، باید خروجی مش تالی را با استفاده از کارت FM در سطح مایلر ضرب کرد.

#### ۴. بحث و نتایج

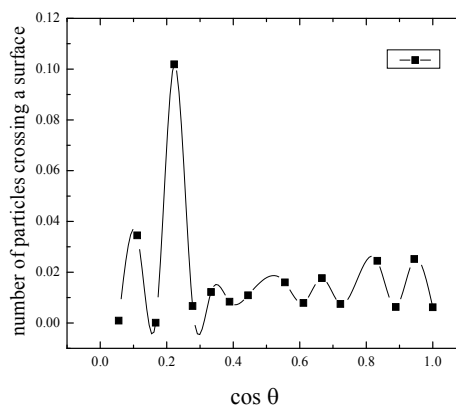
برای حالتی که پرتوزایی پایین است و ذرات آلفا از رادن و محصولات آن در بالای مایلر گسیل شده اند، میتوان طیف ذرات آلفای خروجی از مایلر را به ازای یک واپاشی با استفاده از کد MCNPX بدست آورد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد



شکل (۶): انرژی بجامانده ذره آلفا با انرژی ۰/۵ MeV و تحت زاویه ۳۰ درجه از ۴ نقطه ورودی مختلف.



شکل (۴): چشمه سطحی در صفحه زیرین مایلر که معادل یک چشمه حجمی رادن در بالای مایلر.



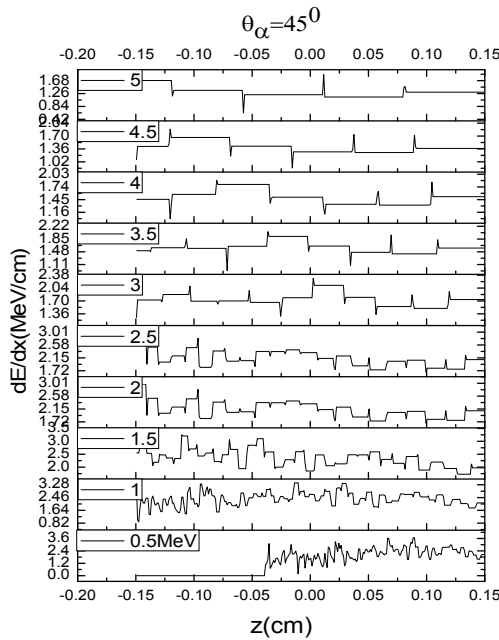
شکل (۵): طیف زاویه ای ذرات آلفا که از سطح زیرین مایلر میگذرند بر حسب کسینوس زاویه بین آلفا و محور z.

الف) پاسخ آشکارساز برای ذرات آلفایی که به بالای نوارهای آند می‌رسند.

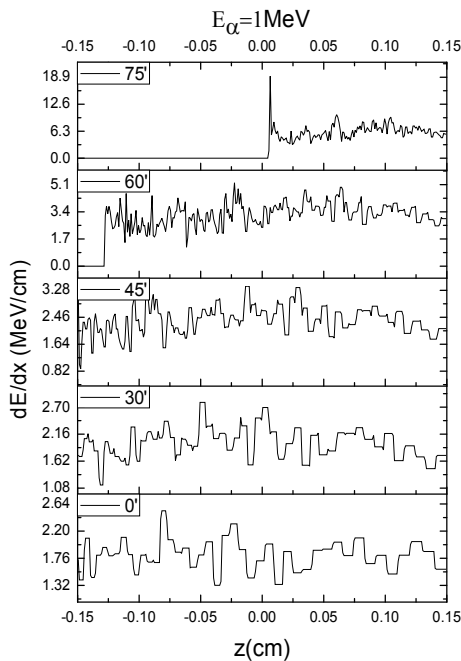
در اینجا مقدار  $dE/dx$  برحسب  $MeV/cm$  با استفاده از دستور PEDEP در مش تالی نوع ۱ با مش بندی محور  $z$ ، در بازه  $10-1 \mu m$  بالای همه نوارها، تحت زاویه‌های مختلف  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $60^\circ$ ،  $75^\circ$  و در محدوده گستره انرژی  $0.5-0 MeV$  بدست آمده است. با ضرب خروجی مش تالی در مقدار  $10 \mu m$  (طول مش) انرژی بجامانده در بالای نوارهای آند بصورت تابعی از زاویه و انرژی محاسبه و نتایج در جدول ۲ آمده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که ذرات آلفا با انرژی  $0.5 MeV$  تحت هیچ زاویه ای به نوارهای آند نمی‌رسند و در نتیجه پالس دریافت نمی‌شود. ذرات با انرژی  $1 MeV$  تا زاویه  $45^\circ$  به بالای آند رسیده و تولید پالس می‌کنند. هرچه زاویه فرودی بیشتر شود دامنه پالس نیز افزایش می‌یابد. برای ذرات با انرژی  $2-1/5 MeV$  ذرات با زاویه ورودی بیشتر از  $60^\circ$  هیچ پالسی ایجاد نمی‌کنند. ذرات با انرژی بالاتر از  $MeV$   $2/5$  تحت هر زاویه ای وارد حجم فعال شوند باعث ایجاد پالس می‌شوند که دامنه پالس با افزایش زاویه افزایش پیدا

با در نظر گرفتن چشمه سطحی فوق در صفحه زیرین مایلر، یک ذره آلفا که از سطح زیرین مایلر وارد حجم فعال می‌شود را شبیه سازی کرده و انرژی بجامانده را بصورت تابعی از فاصله در طول مسیر بدست می‌آوریم. شکل ۶ مقدار انرژی بجامانده در هر سلول برای یک ذره آلفا با انرژی و زاویه فرودی مشخص (ذره آلفا با انرژی  $0.5 MeV$  با زاویه  $30^\circ$  نسبت به محور  $z$ ) را نشان می‌دهد. افت و خیزهای مشاهده شده به علت توزیع آماری حاکم بر روند کاهش انرژی ذرات اولیه و ثانویه در محیط آشکارساز است [۲۰]. مقدار انرژی بجامانده به محل خروج ذره از سطح زیرین مایلر بستگی ندارد اما اینکه تحت چه زاویه ای و با چه انرژی وارد گاز شده مهم است. از این به بعد فرض می‌شود که ذره آلفا از مرکز سطح زیرین مایلر وارد گاز گردد. پاسخ آشکارساز در چهار حالت بررسی شده است که در سه حالت اول نوارها بهم متصلند و در حالت آخر پاسخ هر نوار بصورت مجزا بررسی می‌شود.

انرژی بجامانده افزایش می یابد و ذرات با این انرژی با زوایای فرودی کمتر از  $60^\circ$  پالس نمی دهند. (د) پاسخ پالسی آشکارساز به یک ذره آلفا که با زاویه و انرژی مشخص وارد آشکارساز می شوند.



شکل (۷): پاسخ آشکارساز به ذرات آلفا با زاویه  $45^\circ$ .



شکل (۸): پاسخ آشکارساز به ذرات آلفا با انرژی  $1\text{ MeV}$ .

در حالت پرتوایی پایین فرض می شود که ذره آلفایی از مرکز مایلر با زاویه  $\theta$  و انرژی مشخص  $E$  وارد حجم فعال آشکارساز شود. در این حالت با توجه به اینکه نوارها بهم متصل نیستند، بسته به انرژی ذره و زاویه فرودی آن تعداد

می کند. با افزایش انرژی بالاتر از  $0.5\text{ MeV}$ ، انرژی بجامانده بطور تقریبی ابتدا افزایش داشته و سپس کاهش می یابد. بیشینه انرژی بجامانده مربوط به ذره آلفای با انرژی  $3\text{ MeV}$  تحت زاویه  $75^\circ$  می باشد که قویترین پالس را می دهد.

جدول (۲): مقدار انرژی بجامانده برحسب  $10^3\text{ MeV}$  در نزدیکی نوارهای آند بصورت تابعی از زاویه و انرژی خروجی از مایلر.

انرژی (MeV)	زاویه				
0/5	$75^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$	$0^\circ$
1	0	0	1/26877	1/74085	1/74185
1/5	0	3/24342	2/55249	2/0149	1/42718
2	0	3/98993	2/72493	1/47469	1/31562
2/5	6/72448	3/17164	2/72493	1/38296	1/08947
3	7/60370	2/48750	1/25355	1/36421	1/15799
3/5	6/29323	2/13349	1/51084	1/26737	1/13844
4	4/92361	2/12325	1/45609	1/18185	1/34192
4/5	3/52461	1/79019	1/42664	1/45429	1/00134
5	3/22193	1/77636	1/68274	0/99790	0/98166

(ب) پاسخ آشکارساز به ذرات آلفایی که با زاویه ثابت وارد آشکارساز می شوند.

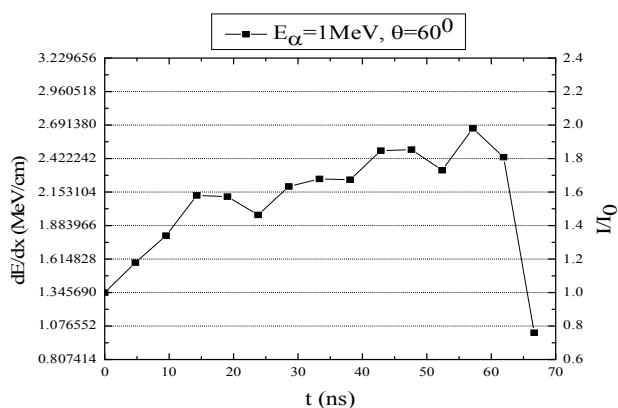
برای بررسی پاسخ آشکارساز در این حالت ذراتی را در نظر می گیریم که تحت زاویه  $45^\circ$  با انرژی های متفاوت از مرکز سطح زیرین مایلر وارد حجم فعال آشکارساز شوند. با توجه به شکل ۷ با افزایش انرژی ذره به بالاتر از  $2/5\text{ MeV}$ ، بیشینه مقدار انرژی بجامانده کاهش پیدا می کند ولی نوسانات حول مقدار میانگین کمتر شده و حالت یکنواخت تری بخود می گیرند.

(ج) پاسخ آشکارساز به ذرات آلفایی که با انرژی ثابت وارد آشکارساز می شوند.

برای بررسی پاسخ آشکارساز در این حالت ذراتی با انرژی  $1\text{ MeV}$  که تحت زاویه های مختلف از مرکز سطح زیرین مایلر وارد آشکارساز شوند را در نظر می گیریم. شکل ۸ نشان می دهد که هرچه زاویه فرودی ذره بیشتر شود بیشینه مقدار

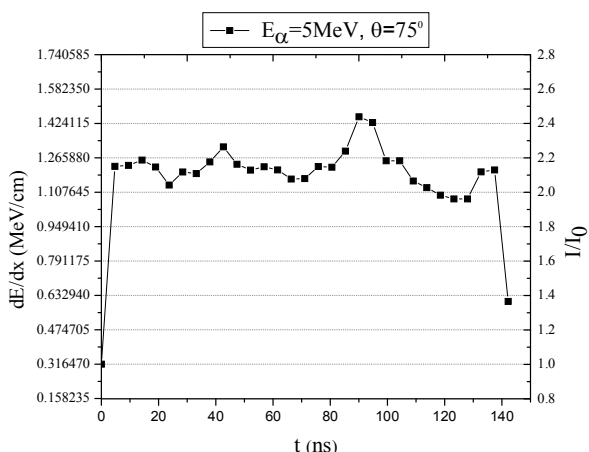
توجه به میزان انرژی بجامانده در نوارهای درگیر، پاسخ آشکارساز برای حالت‌های ذکر شده در بالا بصورت زیر است: (a) ذره آلفا با انرژی 1 MeV و زاویه فرودی 60°: در این حالت تعداد نوارهای درگیر با استفاده از کد 15 نوار است که با توجه به روابط 2 و 3 مدت زمانی که پالس طول می‌کشد برابر با 71 ns خواهد بود.

(b) ذره آلفا با انرژی 5 MeV و زاویه فرودی 75°: در این حالت تعداد نوارهای درگیر 31 نوار بدست آمد که با توجه به روابط 2 و 3 پهنای پالس تقریباً برابر با 68 ns است.



شکل (۹): پاسخ پالسی آشکارساز به یک ذره آلفا که با انرژی 1 MeV و زاویه فرودی 60° وارد آشکارساز شده است.

مقایسه پاسخ پالسی آشکارساز در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش زاویه تعداد نوارهای درگیر افزایش یافته ولی دوام پالس کاهش می‌یابد. بعلت کاهش افت انرژی با افزایش انرژی ذره، ارتفاع پالس با افزایش انرژی ذره کاهش می‌یابد.



شکل (۱۰): پاسخ پالسی آشکارساز به یک ذره آلفا که با انرژی 5 MeV و زاویه فرودی 75° وارد آشکارساز شده است.

نوارهای درگیر متفاوت است. با ورود ذره آلفا و یونیزاسیون گاز تعدادی الکترون متناسب با انرژی بجا مانده ذره آلفا تولید می‌شود. به علت سرعت پایین حرکت الکترون‌ها در مقایسه با سرعت زیاد ذرات آلفا در محیط، ابتدای شروع پالس در انتهای مسیر ذره آلفا صورت می‌گیرد. اگر تعداد نوارهای درگیر n و فاصله بین دو نوار از هم p باشد، فاصله عمودی مسیر ذره، Z برابر است با:

$$z = \frac{n \times p}{\tan \theta} \quad (2)$$

و با دانستن سرعت رانشی الکترون در گاز v، مدت زمانی که پالس طول می‌کشد برابر است با:

$$t = \frac{z}{v} \quad (3)$$

سرعت رانشی الکترون در گاز بستگی به میدان رانشی و نوع گاز دارد که در این تحقیق سرعت رانشی الکترون در گاز P10 برابر  $v = 3.7 \times 10^8 \frac{\mu m}{ns}$  در نظر گرفته شده است [21]. پاسخ پالسی آشکارساز در دو حالت برای ذرات آلفا با انرژی E و زاویه  $\theta$  مشخص بررسی شده (شکل‌های ۹-۱۰) و نتایج آن‌ها در جدول ۳ آمده است:

جدول (۳): نتایج مربوط به پاسخ پالسی آشکارساز در دو حالت برای ذرات آلفا با انرژی E و زاویه  $\theta$ .

نتایج بدست آمده	E=1MeV $\theta=60^\circ$	E=5MeV $\theta=75^\circ$
انرژی بجامانده در واحد طول بالای اولین نوار (MeV/cm)	۱/۳۴	۰/۳۲
بیشترین انرژی بجامانده در واحد طول (MeV/cm)	۲/۶۷	۱/۴۵
تعداد نوارهایی که پالس می‌دهند	۱۵	۳۱
مدت زمانی که پالس طول می‌کشد (ns)	۷۱	۶۸

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش انرژی، انرژی بجامانده در واحد طول کاهش پیدا کرده و با افزایش زاویه فرودی آلفا تعداد نوارهایی که پالس تولید می‌کنند افزایش می‌یابد. در این صورت اگر  $I_0$  جریان مربوط به اولین نوار باشد و جریان بقیه نوارها نسبت به آن  $I/I_0$  در نظر گرفته شود، با

## ۴. نتیجه گیری

آشکارساز میکرو نواری به زاویه و انرژی ذرات آلفای رادن و دختران، می‌توان در مناطقی که پرتو زایی گاز رادن کم تا متوسط می‌باشد با هدایت این گاز به داخل ناحیه حساس از این آشکارساز برای تعیین غلظت رادون در محل استفاده کرد.

در این تحقیق پاسخ آشکارساز گازی میکرو نواری به ذرات آلفای رادن و دختران آن با استفاده از کد MCNPX بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که به علت حساس بودن

## ۵. مراجع

- [1] H. Zeeb, Organization WH. Who Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective: WORLD HEALTH ORGN. (2009).
- [2] United States Environmental Protection Agency. Assessment of risks from radon in homes (EPA 402-R-03-003. (2003) 98.
- [3] R. Banjanac, Indoor radon measurement by nuclear track detector. *Phychem and tech.* 14 (2006) 93-100.
- [4] United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) National Radon Proficiency Program Handbook, Radon Measurement Method Definitions. (1996) 70-74.
- [5] N. Vajda, P. Martin, C. K. Kim, Handbook of Radioactivity Analysis, Third Edition. (2012) 363-422.
- [6] G.S. Islam, A.K.F. Haque, Measurement of mixed radon and thoron daughter concentration using alpha and beta activities filtered from air. *Radiation Measurements.* 23(1994) 737-742.
- [7] G.F. Knoll. *Radiation Detection and Measurement.* third edition, John Wiley & Sons (1999).
- [8] G. Charpak, R. Bouclier, T. Bressani, J. Favier, Č. Zupančič. The use of multiwire proportional counters to select and localize charged particles. *Nucl. Instrum. Methods. A* 62 (1968) 262-268.
- [9] H.E. Chwarz, I.M. Mason, A new imaging proportional counter using a penning gas improves energy. *NATURE*, 309 (1984) 532 - 534.
- [10] F. Hartjes, B. Hendriksen, J. Schmitz, H. Schuijlenburg, F. Udo, Operation of the microstrip gas detector. *Nucl. Instr. Meth.* A310 (1991) 88-94.
- [11] F. Angelini, R. Bellazzini, A. Brez, G. Decarolis, C. Magazzu, M. M. Massai, G. Spandre, M. R. Torquati, Results from the first use of microstrip gas chambers in a high-energy physics experiment. *Nucl. Instr. Meth.* A315 (1992) 21-32.
- [12] F. Sauli, A. Sharma. *Micropattern Gaseous Detectors.* *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 49 (1999) 41-388.
- [13] A. Oed. Position Sensitive Detector with Microstrip Anode for Electron Multiplication with Gases. *Nucl. Instr. Meth.* A263 (1988) 351.
- [14] F. Angelini, R. Bellazzini, A. Brez, T. Lomtadze, M.M. Massai, R. Raffo, G. Spandre, M.A. Spezziga. A thin, large area microstrip gas chamber with strip and pad readout. *Nucl. Instr. Meth.* A336 (1993) 106-115.
- [15] R. Bouclier, G. Million, L. Ropelewski, F. Sauli, Yu.N. Pestov, L.I. Shekhtman. Performance of gas Microstrip chambers on glass substrata with electronic conductivity. *Nucl. Instr. Meth.* A332 (1993) 100.
- [16] F. Sauli, Development of Microstrip Gas Chambers for radiation detection and tracking at high rates final status report. *CFA Instrum. Bull.* (1996) 1-12
- [17] K.A. Olive, Review of particle properties (Particle Data Group). *Chin. Phys. C* 38 (2014) 090001.
- [18] R. J. McConn Jr, C. J. Gesh, R. T. Pagh, R. A. Rucker, R. G. Williams III, Radiation Portal Monitor Project Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, Pacific Northwest National Laboratory, USA, (2011).
- [19] شهرابی، ساناز. شبیه سازی و امکان سنجی ساخت آشکارساز (CsI(Tl)) کوپل شده با فوتودیود برای آشکارسازی اشعه آلفا. پایان نامه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان، (۱۳۹۲).
- [20] M. C. Parland, J. Brian, Probability distribution function for collision energy loss. *Medical Radiation Dosimetry*, Springer London. (2014) 523-547
- [21] G.C. Stuart, Drift velocity measurement using MSGCs in a test beam. *Nucl. Instr. Meth.* A357 (1995) 605.