

## بهینه‌سازی روش کاهش ردپای زمینه در آشکارساز حالت جامد پلی‌کربنات

علیرضا آزادبر<sup>۱</sup>، داریوش سرداری<sup>۱\*</sup>، محمدرضا کاردان<sup>۲</sup> و سمانه برادران<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

\*تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵

پست الکترونیکی: sardari@srbiau.ac.ir

### چکیده

کاهش ردپای زمینه یکی از موضوع‌های مهم در بالا بردن دقت دزیمتری با آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد است. هدف اصلی این پژوهش کاهش ردپای زمینه با استفاده از فرآیند پیش‌خورش الکتروشیمیایی برای برداشتن لایه سطحی آشکارساز می‌باشد. در این کار از واکنش شیمیایی بین آشکارساز پلی‌کربنات و محلول اتیلن دی‌آمین با غلظت‌های ۰/۲۰٪، ۰/۳۰٪، ۰/۴۰٪ و ۰/۵۰٪ استفاده شده و در زمان‌های متفاوت رابطه بین ضخامت لایه برداشته شده و غلظت محلول اتیلن دی‌آمین بررسی گردیده است. نتایج نشان داده که در غلظت‌های پایین پاسخ مناسب‌تر و لایه-برداری یکنواخت‌تری انجام می‌شود. در نهایت بهترین نتیجه در غلظت ۰/۴۰٪ مشاهده شده که ردپای زمینه حدود ۰/۵۰٪ کاهش یافته است.

**کلیدواژگان:** رادن، پلی‌کربنات، اتیلن دی‌آمین، ردپای زمینه، خورش شیمیایی.

### ۱. مقدمه

هسته‌ای حالت جامد (Solid-State Nuclear Track Detector) در دوره‌های مختلف ۳ تا ۱۲ ماه می‌باشد [۵-۷].

از مشخصات آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد می‌توان به حساسیت نسبت به ذرات باردار، حساس نبودن به پرتوهای بتا و گاما، نداشتن پدیده محوشدگی، حساسیت مناسب به پرتوهای آلفا و نوترون، دائمی بودن اثرات پرتو، تولید داخل و ارزان بودن آن‌ها اشاره کرد. آشکارسازهای ردپای هسته‌ای در اصل مواد عایق الکتریکی جامد شامل مواد معدنی، بلورها و پلاستیک‌ها می‌باشند که در اثر عبور ذرات

مطالعه و تحقیق در روش‌های اندازه‌گیری دقیق‌تر گاز رادن در راستای بررسی اثرات بهداشتی ناشی از پرتوگیری‌های آن به دلیل شناسایی و اثبات اثرات بیولوژیکی گاز رادن مورد توجه می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های اندازه‌گیری بلند مدت غیرفعال رادن با استفاده از آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است [۴-۱].

رایج‌ترین روش برای ارزیابی رادن در محیط داخلی، اندازه‌گیری بلند مدت آن با استفاده از آشکارساز ردپای

البته زمان و سرعت خورش هم اهمیت دارد. بنابراین برای این کار از خورش شیمیایی با محلول اتیلن دیامین در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. در یک فرآیند خورش مناسب، سرعت و زمان خورش باید طوری انتخاب گردد که ردپای نهان مربوط به کم‌ترین و بیش‌ترین انرژی‌های آلفای مورد نظر برای آشکارسازی ظاهر شده و قابل رؤیت و شمارش شوند. اگر زمان خورش کوتاه باشد ردپای نهان ناشی از ذرات کم انرژی از دست خواهند رفت. زیرا عمق چنین ردپاهایی کم است و سرعت خورش حجمی بالا، این ردپاها را به طور کامل حذف می‌نماید. همچنین در زمان‌های خورش طولانی که معمولاً همراه با سرعت خورش کم می‌باشد ردپای ذرات کم انرژی به‌خوبی و در اندازه‌های بزرگ نمایان می‌شود اما ردپای ذرات پر انرژی به این دلیل که ناحیه آسیب ناشی از آنها در عمق قرار دارد، یا نمایان نشده یا در اندازه کوچک آشکار خواهند شد. زمان و سرعت بهینه پیش‌خورش بستگی به غلظت باز، الکل و دمای محلول خورش دارد.

در مطالعات انجام شده توسط دادوند و سهرابی در سال ۱۹۹۸ لایه‌برداری بر اساس غلظت‌های بالای محلول اتیلن‌دیامین انجام گرفته است [۱]. در انجام این کار نتایج نشان می‌دهد فرآیند برداشتن لایه سطحی یکنواخت نبوده و در تکرار آزمایش‌ها پاسخ‌های متفاوتی به‌دست آمده است. لذا با توجه به کاهش ردپای زمینه و اهمیت تکرار پذیر بودن آزمایش، در این تحقیق فرآیند خورش برای زمان‌های طولانی‌تر و غلظت‌های پایین محلول اتیلن دیامین برای دستیابی به پاسخ‌های مناسب انجام گرفته است.

## ۲. روش کار

یکی از روش‌های کاهش ردپای زمینه به‌کار بردن فرآیند پیش‌خورش شیمیایی جهت برداشتن لایه‌های سطحی قبل از انجام خورش الکتروشیمیایی می‌باشد. در انجام فرآیند

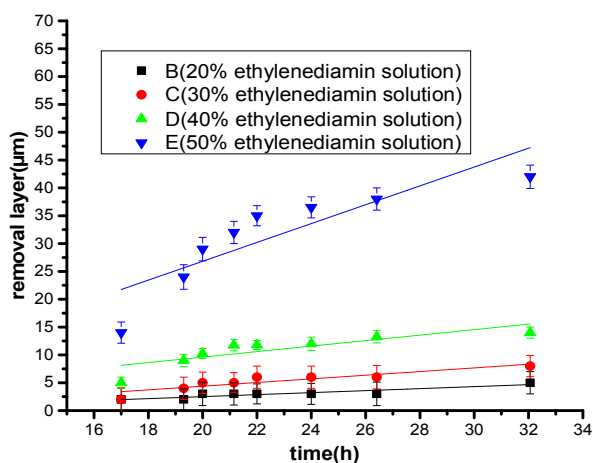
بردار از آنها در طول مسیر عبور، تخریب‌هایی در مقیاس اتمی در آنها ایجاد می‌شود. این آشکارسازها در مدت زمان پرتوگیری به منبع تغذیه (الکتریکی)، نگهداری و تعمیر نیاز ندارند و برای استفاده در مقیاس وسیع بسیار مناسب هستند.

یکی از مشکلات اصلی استفاده از آشکارسازهای ردپای هسته‌ای وجود میزان ردپای زمینه بالا در این آشکارسازها می‌باشد که می‌تواند منجر به کاهش دقت در اندازه‌گیری گردد. علت ایجاد ردپای زمینه در این فیلم‌ها می‌تواند مربوط به اثرات محیطی و یا نقص‌های ذاتی روی پلیمرها باشد. لذا بررسی تکنیک‌های متفاوت برای ارائه روشی که ضمن کاهش ردپای زمینه حساسیت آشکارساز را نیز تغییر ندهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق از فیلم پلی‌کربنات به‌عنوان آشکارساز ردپای هسته‌ای حالت جامد استفاده شده است. بررسی‌هایی که قبلاً انجام شده نشان می‌دهد که با برداشتن یک لایه سطحی از فیلم پلی‌کربنات ردپای زمینه می‌تواند کاهش یابد که برای این کار معمولاً از خورش شیمیایی استفاده می‌شود. در اینجا ماده و شرایط خورش به کار رفته اهمیت خواهند داشت. ماده خورش معمولاً دارای خواص خوردندگی پلیمر در محل آسیب می‌باشد. اضافه کردن الکل باعث می‌شود که تحرک یونها افزایش یافته و اجزای مولکولی حاصل از خورش، پلیمر را حل نموده و از محدوده واکنش شیمیایی حذف نماید در نتیجه حساسیت به طور بارز افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال تفکیک شدن اتانول به  $H^+$  و  $C_2H_5O^-$  همراه با عدد انتقال بالا سبب افزایش هدایت الکتروشیمیایی این محلول می‌شود. همچنین به دلیل آنکه اتانول حلال خوبی است خوردگی را افزایش می‌دهد در نتیجه محلول KOH الکلی سبب افزایش حساسیت آشکارساز می‌گردد. دمای خورش نیز معمولاً بین ۲۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد زیرا کنترل دمای پایین‌تر از ۲۵ درجه دشوار است و دمای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد نیز پلاستیک را از شکل عادی خارج می‌کند،

ابتدا فیلم‌ها با آب شستشو و در دمای اتاق خشک شدند سپس طرفی از فیلم که تحت پیش‌خورش قرار گرفته و لایه‌ای از سطح آن برداشته شده است در مجاورت محلول PEW شامل  $45 \text{ gr H}_2\text{O} + 40 \text{ gr C}_2\text{H}_5\text{OH} + 15 \text{ gr KOH}$  دیگر فیلم در مجاورت اسید کلریدریک ۳٪ قرار داده شد. دو الکترود به صورت غوطه‌ور در این دو محلول قرار گرفته و دو سر آن به ولتاژ متناوب  $800 \text{ V}$  متصل شد و در میدان  $\text{kV/cm}$  ۳۲ و فرکانس  $2 \text{ kHz}$ ، به مدت ۳ ساعت در دمای  $26^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد تحت خورش الکتروشیمیایی قرار گرفت. پس از آن چگالی ردپای فیلم‌ها شمارش شده و مقایسه‌ای بین میزان ردپای زمینه در این فیلم‌ها و تعداد ردپای زمینه در فیلم‌های پلی کربنات که تحت فرآیند پیش‌خورش قرار نگرفتند انجام گردید.

### ۳. نتایج

پس از انجام فرآیند پیش‌خورش با استفاده از محلول اتیلن‌دیامین در غلظت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و در زمان‌های متفاوت، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده صورت گرفت.



شکل (۱): تغییرات ضخامت فیلم ( $\mu\text{m}$ ) بر حسب زمان پیش‌خورش در غلظت‌های مختلف اتیلن‌دیامین در آب.

دزیمتری، پرتودهی پس از پیش‌خورش شیمیایی می‌تواند برای کاهش ردپای زمینه انجام شود. اساس روش لایه‌برداری، رخداد واکنش‌های شیمیایی بین آشکارساز پلی‌کربنات و محلول خورش اتیلن‌دیامین است و همچنین ضخامت لایه حذف شده به غلظت محلول اتیلن‌دیامین و زمان عملیات پیش‌خورش بستگی دارد [۸]. ارتباط بین ضخامت لایه برداشته شده و مدت زمان خورش برای غلظت‌های مختلف محلول اتیلن‌دیامین مورد توجه محققین قرار گرفته است [۱]، اما لایه‌برداری به دلیل زمان کم و خطاهای مختلف اندازه‌گیری از دقت بالایی برخوردار نبوده به طوری که در تکرار آزمایش نتایج یکسان حاصل نشده است. لذا در این تحقیق سعی شده است این عمل برای غلظت‌های پایین‌تر و زمان طولانی‌تر انجام شود. مشاهده شد که با این تغییر، نتایج به سمت لایه‌برداری یکنواخت‌تر و خطای اندازه‌گیری کم‌تر سوق پیدا می‌کند.

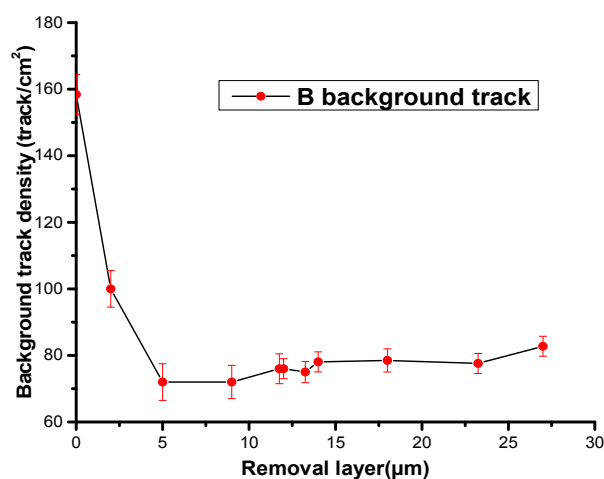
در این تحقیق از فیلم‌های پلی‌کربنات با ضخامت  $256 \mu\text{m}$  استفاده شده است. این فیلم‌ها از صفحات بزرگ به ابعاد  $2/5 \text{ cm} \times 2/5 \text{ cm}$  برش داده شد و جهت یکنواخت بودن لایه‌های برداشته شده، فرآیند پیش‌خورش با محلول اتیلن‌دیامین با غلظت‌های پایین و زمان‌های طولانی‌تر انجام شد. این آزمایش، برای محلول اتیلن‌دیامین برای هر یک از غلظت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و در زمان‌های ۱۷h، ۱۹h، ۲۰h، ۲۱h، ۲۲h، ۲۴h، ۲۶h و ۳۲h انجام گرفت.

در این روش فیلم‌ها بین دو محفظه سلولی قرار گرفتند، بطوری‌که این سلول‌ها توسط واشر از هم جدا و عایق‌بندی شدند. سپس محلول اتیلن‌دیامین به یک طرف محفظه اضافه شده و فیلم‌ها در زمان مورد نیاز و بر اساس نتایج تجربی در معرض پیش‌خورش شیمیایی قرار گرفتند. سپس با استفاده از یک میکرومتر ضخامت فیلم‌ها برای غلظت‌های مختلف اندازه گرفته شد. برای ظاهر کردن ردپاهای ثبت شده در آشکارساز،

شد که تا حدود مدت زمان ۱۲ ساعت لایه برداری انجام نشد و تعداد ردپاها حدود ردپای زمینه بود. اما در مدت زمان ۱۹ ساعت و ۱۵ دقیقه، ۱۰ میکرومتر لایه برداری انجام گرفت و تعداد ردپای ثبت شده به حدود  $76 \text{ track/cm}^2$  رسید. همچنین در زمان‌های ۲۲ ساعت و ۲۴ ساعت تعداد ردپاها همان عدد  $76 \text{ track/cm}^2$  بود.

نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان، میزان کاهش ردپای زمینه، ثابت مانده است. لذا با لایه برداری بیش از  $10 \mu\text{m}$  ردپای زمینه حدود ۵۰٪ کاهش یافته است. این کاهش چشمگیر در شکل ۲ قابل مشاهده است. همچنین در چند مرحله این آزمایش تکرار و نتایج مشابه حاصل شد که این نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری ضخامت لایه برداشته شده از یک دستگاه کولیس دیجیتالی استفاده شد. برای این منظور از تفاضل ضخامت اندازه‌گیری شده آشکارساز پلی کربنات قبل و بعد از فرآیند پیش‌خورش ضخامت لایه برداشته شده محاسبه گردید.



شکل (۲): نمودار تغییرات چگالی ردپای زمینه ( $\text{track/cm}^2$ ) بر حسب ضخامت لایه برداشته شده از آشکارساز پلی کربنات.

شکل ۱ تغییرات ضخامت فیلم‌های پلی کربنات را بر حسب زمان پیش‌خورش در این غلظت‌ها نشان داده و معادلات برازش شده مربوط به هر غلظت مطابق زیر به دست آمد:

$$\begin{aligned} \text{For } 20\% &: \Delta x = -1.5361 + 0.2048t \\ \text{For } 30\% &: \Delta x = -4.1626 + 0.4217t \\ \text{For } 40\% &: \Delta x = -0.5550 + 0.5028t \\ \text{For } 50\% &: \Delta x = -25.1566 + 2.5542t \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $\Delta x$  ضخامت لایه حذف شده بر حسب میکرومتر و  $t$  زمان خورش در محلول اتیلن‌دیامین بر حسب ساعت را نشان می‌دهد. نرخ خورش مخزن برای غلظت‌های ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ به ترتیب  $0.2048$ ،  $0.4217$ ،  $0.5028$  و  $2.5542$  است.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود هنگام استفاده از محلول اتیلن‌دیامین با غلظت ۴۰٪، لایه برداری از یکنواختی بیشتری نسبت به سایر غلظت‌ها برخوردار بوده و در تکرار آزمایش نیز این موضوع مشاهده می‌گردد. انحراف معیار در زمان‌های (۲۱h، ۲۲h، ۲۴h و ۲۶h) حدود  $1 \mu\text{m}$  و در زمان‌های ۱۷h و ۱۹h حدود  $3 \mu\text{m}$  بوده است.

همچنین با توجه به بررسی‌های انجام شده پس از فرآیند خورش الکتروشیمیایی بیش‌ترین کاهش ردپا مربوط به غلظت ۴۰٪ بوده و با توجه به اینکه غلظت‌های کم‌تر از این مقدار باعث از بین رفتن خاصیت خوردندگی محلول خورش می‌شود در ادامه این غلظت به عنوان غلظت بهینه انتخاب شده است. به‌طور مثال در این آزمایش انجام فرآیند پیش‌خورش برای محلول اتیلن‌دیامین ۴۰٪ حجمی (V/v) در مدت زمان ۱۹ ساعت و ۱۵ دقیقه، منجر به کاهش  $10 \mu\text{m}$  از لایه سطحی فیلم شد.

در این مرحله میانگین ردپای زمینه در ۲۰ فیلم پرتو ندیده اندازه‌گیری شد که مقدار آن  $158 \text{ track/cm}^2$  به دست آمد. سپس چند فیلم با غلظت ۴۰٪ تحت پیش‌خورش قرار داده

منجر به کاهش دقت آشکارسازی و خطا در تخمین دز اشعه مذکور می‌شود. لذا انجام فرآیندهایی جهت کاهش ردپای زمینه برای افزایش دقت در اندازه‌گیری مورد توجه محققین این حوزه قرار دارد.

در پژوهش‌های قبلی انجام گرفته جهت کاهش ردپای زمینه از محلول پیش‌خورش اتیلن‌دیامین با غلظت‌های بالا استفاده شد و در نهایت غلظت ۰.۷۵٪ انتخاب گردید. اما در پژوهش حاضر پس از تکرار آزمایش مشاهده گردید که لایه‌برداری به دلیل زمان کم و خطاهای مختلف اندازه‌گیری از دقت بالایی برخوردار نبوده است، به طوری که نتایج یکسان حاصل نمی‌شود. لذا در این تحقیق عمل پیش‌خورش شیمیایی برای غلظت‌های پایین‌تر و زمان طولانی‌تر انجام گرفت. مشاهده شد هنگام استفاده از محلول اتیلن‌دیامین با غلظت ۰.۴٪، لایه‌برداری کاملاً یکنواخت انجام گردید و فیلم‌ها شکل خود را از دست ندادند. در ضمن بدون تغییر در میزان دقت اندازه‌گیری آشکارساز ردپای هسته‌ای و تنها با انجام یک پیش‌خورش ساده با استفاده از محلول اتیلن‌دیامین و با غلظت ۰.۴٪ تعداد ردپای زمینه تا بیش از ۵۰٪ کاهش یافت همچنین تکرارپذیری آن در چند مرحله بررسی و ثابت شد.

جدول (۱): تکرار پذیری کاهش ردپای زمینه به حدود ۰.۵٪ با انجام فرآیند پیش‌خورش با غلظت ۰.۴٪ اتیلن‌دیامین و تغییرات چگالی ردپای زمینه بر حسب ضخامت لایه برداشته شده.

تعداد ردپا (track/cm <sup>2</sup> )	تعداد ردپا (track/cm <sup>2</sup> )	تعداد ردپا (track/cm <sup>2</sup> )	ضخامت لایه برداشته شده (μm)	زمان (h)
۱۰۸	۱۰۵	۱۰۰	۲	۱۲
۸۲	۷۹	۷۲	۵	۱۷
۸۰	۷۷	۷۶	۹	۱۹
۷۹	۷۶	۷۶	۱۱	۲۲
۷۷	۷۶	۷۶	۱۲	۲۴
۷۷	۷۷	۷۵	۱۳	۲۶

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

گاز رادن در منازل مسکونی باعث پرتوگیری درونی انسان از راه استنشاق هوا می‌شود. دقت در اندازه‌گیری تراکم گاز رادن در مناطق مسکونی یا معادن منجر به حصول تخمین درست از مقدار دز اشعه آلفای دریافتی آحاد جامعه از طریق استنشاق این گاز می‌شود. از روش‌های رایج اندازه‌گیری گاز رادن استفاده از آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد می‌باشد اما ردپای زمینه در این آشکارسازها بالا می‌باشد و

#### ۵. مراجع

- [1] N. Dadvand and M. Sohrabi. A Method for Reducing Background Tracks in Plastic Detectors, Applied Radiation Isotopes. 49 (12) (1998) 1609–1611.
- [2] S. Baradaran, S. Setayeshi, N. Maleknasr and M.R. Kardan. A Radiation Carcinogenesis Model Applied to Radon- Induced Lung Cancer Risk Prediction Using a Sugarscape Cellular Automaton, International Research Journal of Biological Sciences. 2(2) (2013) 34–39.
- [3] M. Sandén. Capturing Radon on Tobacco Smoke , A non-Empirical Study of The van der Waals Binding of Radon on Smoke, Thesis for the Degree of Master of Science in Fundamental Physics, Department of Microtechnology and Nanoscience, MC2 BioNano Systems Laboratory Chalmers University Of Technology Göteborg, Sweden, (2011).
- [4] C.W.Y. Yip. Retrospective Radon Progeny Dosimetry Based on Measurements of Implanted <sup>210</sup>Po Activities in Glass Objects, doctor of philosophy thesis University of Hong Kong, (2008).
- [5] T. Dicu, S.E. Armencea, B. Burgehele and C. Cosma. Retrospective Dosimetry of Radon Gas Based on The Activity of <sup>210</sup>Po in Glass Objects, Romanian Journal of Physics. 59 (2014) 1067–1073.
- [6] C.W.Y. Yip, D. Nikezic and K.N. Yu. Retrospective Radon Progeny Measurements for Dwellings Based

- on Implanted  $^{210}\text{Po}$  Activities in Glass Objects, Radiation Measurements. 43 (2008) S427–S430.
- [7] A. Birovljev, R. Falk, C. Walsh, F. Bissolo, F. Trotti, J.P. McLaughlin, J. Paridaens and H. Vanmarcke. A. Heiberg, Retrospective Assessment of Historic Radon Concentrations in Norwegian Dwellings by Measuring Glass Implanted  $^{210}\text{Po}$  – An International Field Intercomparison, Science of The Total Environment. 272 (1-3) (1999) 19–23.
- [8] N. Dadvand and M. Sohrabi. Alpha Particle Spectrometry with Lexan Polycarbonate Using Combined Layer Removal by Ethylenediamine Solution and Electrochemical Etching, Applied Radiation and Isotopes. 50 (1999) 355–360.