

بررسی ویژه‌گیهای دزیمتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان انرژی اتمی ایران
جهت تعیین پرتوگیری مردم در خانه‌های مسکونی*

مهدي سهرابي و عبدالرضا سلیمانيان

امور حفاظت در برابر اشعه
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

بمنظور تعیین پرتوگیری مردم از گاز رادن (^{222}Rn) طبیعی موجود در خانه‌های مسکونی ایران، یک نوع دزیمتر پاسیو نفوذی گاز رادن در گروه پژوهش و توسعه خدمات دزیمتری نوترون و ذرات باردار امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران ابداع و به تولید انبوه رسیده است. این دزیمتر از یک اتاقک (لیوان) پلاستیکی، یک آشکارساز ذرات آلفا از نوع پلی‌کربنات و یک دریوش حاوی یک فیلتر فایبرگلاس با یک حفاظ مشبک آلومینیمی تشکیل گردیده است. همچنین از یک سیستم جدید چند حفره‌ای ابداع شده در این گروه جهت خورش الکتروشیمیایی تعداد زیادی دزیمتر بطور همزمان استفاده شده است.

در این بررسی، اثر زمان پیش خورش شیمیایی و خورش الکتروشیمیایی، حجم اتاقک، قطر فیلتر و محل آشکارساز پلی‌کربنات در داخل اتاقک بر روی حساسیت دزیمتر گاز رادن مورد مطالعه قرار گرفت. پس از بررسی نتایج، اتاقک با $9/5\text{ cm}$ ارتفاع و 296 cm^3 حجم، 2 تا 3 سانتیمتر قطر موثر دهانه فیلتر و همچنین منطقه میانی اتاقک جهت نصب آشکارساز بعنوان شرایط بهینه انتخاب شده‌اند. حساسیت این دزیمتر برابر $0/05 \pm 0/007\text{ Tracks}\cdot\text{cm}^{-2}$ و $1/86 \pm 0/28\text{ Tracks}\cdot\text{cm}^{-2}/\text{pCi}\cdot\text{lit}^{-1}\cdot\text{day}$ و $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}$ بدست آمده است. در این مقاله نتایج بررسی پارامترهای این دزیمتر و همچنین نتایج مقدماتی دزیمتری حدود ۲۵۰ خانه مسکونی در شهرهای تهران، رامسر، بابلسر و گناباد ارائه می‌گردد. بر اساس این اندازه‌گیریها، بالاترین مقادیر پرتوزایی رادن تعیین شده مربوط به خانه‌های مسکونی مناطق با پرتوزایی بالای رامسر بوده است.

* این مقاله بر اساس نتایج مندرج در مقاله‌های زیر ارائه شده توسط این پژوهشگران تهیه گردیده است.

- M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 605 (1988a).
- M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 613 (1988b).
- M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Proc. 7th Int. Cong. of IRPA V.I, 242, Sydney (1988c).

مقدمه

مطالعات اپیدمیولوژیکی انجام شده بر روی آن دسته از معدن کاران معادن زیرزمینی اورانیم که در معرض گاز رادن (^{222}Rn) و دختران آن بویژه $^{218}\text{Po}(\text{RaA})$ و $^{214}\text{Po}(\text{RaC})$ بوده اند ، افزایش ریسک ابتلاء به سرطان ریه را نشان می دهد (۱) . همچنین بررسیهای انجام شده در کشورهای مختلف ، استنشاق گاز رادن و دختران آن را عمده ترین عامل پرتوگیری مردم از منابع طبیعی محیط زیست دانسته است . براساس گزارش کمیته علمی اثر پرتوهای اتمی سازمان ملل متحد (UNSCEAR) ، بطور متوسط نیمی از دز معادل موثر سالانه مردم در مناطقی که از نظر پرتوهای زمینه عادی بشمار میروند ناشی از گاز رادن و دختران آن است (۲) . از اینرو فعالیت های توسعه ای و پژوهشی گوناگونی جهت اندازه گیری گاز رادن در دهه گذشته مورد توجه مراکز بین المللی حفاظت در برابر اشعه و از جمله گروه پژوهش و توسعه خدمات دزیمتری نوترون و ذرات باردار امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران قرار گرفته است (۳-۸) .

شناخت و اندازه گیری مقدار گاز رادن در محیط کار و زیست از اینرو حائز اهمیت است که گاز رادن گازیست نادر که از زنجیره طبیعی اورانیم با سر زنجیره ^{238}U که در مواد مختلف طبیعی و از جمله مواد ساختمانی موجود است بوجود آمده و می تواند به خارج از محیط تولیدکننده خود نفوذ پیدا نماید . همچنین این گاز دارای نیمه عمر پرتوزایی $3/8$ روز بوده و به دختران آلفای خود که مهمترین آنها ^{218}Po و ^{214}Po می باشند تجزیه می گردد . نیمه عمر بیولوژیکی (biological half life) دختران گاز رادن در ریه بین چند ساعت تا یکروز بوده و در نتیجه گاز رادن و دختران آن می توانند بطور موضعی سلولهای ریه را تحت بمباران قرار

دهند (۹ و ۱۰) . لذا اندازه گیری ذرات آلفای ناشی از دختران گاز رادن می تواند معیاری جهت تخمین پتانسیل گاز رادن برای پرتودهی ریه باشد . با وجود اینکه روشهای متفاوتی تاکنون جهت اندازه گیری گاز رادن و دختران آن ابداع و بکار گرفته شده اند (۱۱) ، خورش شیمیائی و الکترو- شیمیائی ردپای ذرات آلفا در آشکارسازهای حالت جامد روشهایی بسیار موثر ، آسان و اقتصادی جهت اندازه گیری گاز رادن در یک دامنه گسترده در خانه های مسکونی یک کشور به شمار می آیند . در این بررسی ، ابتداء از مونیتورهای فعال (active) ساخت کمیسیون انرژی اتمی فرانسه (CEA) که در آر آشکارساز خورشی نیترات سلولز قرمز رنگ شده موسوم به LR-115 (۱۲) بکار رفته است و همچنین از اتاقکهای سنتیلانور لوکاس (Lucas Scintillation) (cells) استفاده گردید (۱۳) . ولی با کشف ثبت موثر ردپای ذرات آلفا در آشکارساز پلی کربنات (Polycarbonate) در این گروه با استفاده از روش خورش الکتروشیمیائی (۵ و ۴) ، این پلیمر در یک لیوان درپوش دار طراحی شده بعنوان دزیمتر گاز رادن بطور گسترده در این آزمایشگاه مورد استفاد قرار گرفت .

روش استفاده از یک لیوان برای جمع آوری گاز رادن و اندازه گیری آن برای اولین بار توسط آلت- (Alter) و فلیشر (Fleischer) با بکار بردن روش شیمیائی فیلمهای نیترات سلولز انجام پذیرفت (۱۴) ، با این تفاوت که آلت و فلیشر از روش خورش شیمیائی نیترات سلولز و در این بررسی از خورش الکتروشیمیائی ذرات آلفا در پلی کربنات با استفاد از محلول خورش الکلی که در این آزمایشگاه توسعه یافته و مزایای زیادی نسبت به سایر روشهای موجود دارد استفاده گردیده است (۵ و ۳) . با این روش در ابتداء دو منطقه ساغند و عروسان بزد ایران ب

همکاری واحد اکتشاف این سازمان تحت پوشش قرار گرفت (۱۵) و سپس لیوانیائی با درپوش فیلتردار بمنظور نفوذ گاز رادن ابداع و به تولید انبوه رسیده و جهت تعیین برتوگیری مردم بکار گرفته شد. (۱۸-۱۶). لذا در این مقاله ابتداء اصول ساخت و کاربرد دزیمتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان انرژی اتمی ایران (AEOI Passive Radon Diffusion Dosimeter) و خصوصیات پارامتری و دزیمتری آن مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مقدماتی تعیین برتوگیری مردم از گاز رادن خانه‌های مسکونی چند منطقه ایران گزارش می‌گردد.

وسائل و روشها

دزیمتر نفوذی پاسوگاز رادن طراحی شده، از یک اتاقک (لیوان) پلاستیکی، یک آشکارساز پلی-کربنات با ضخامت ۲۵۰ میکرون، یک درپوش با قطر دهانه معین و یک فیلتر فایبرگلاس که در دهانه نصب شده و با یک قطعه مشبک آلومینیومی حفاظت میگردد، تشکیل شده است. شمای کلی این دزیمتر در شکل ۱ نشان داده شده است.

گاز رادن کازیبست نادر که می‌تواند از جداره دزیمتر و بویژه از فیلتر به داخل آن نفوذ نماید. از طرف دیگر، فیلتر می‌تواند از ورود ذرات گرد و غبار و همچنین ورود دختران گاز رادن که به آئروسولهای هوا چسبیده‌اند به داخل دزیمتر جلوگیری بعمل آورد. لذا گاز رادن (^{222}Rn) در داخل دزیمتر به دختران برتوزای خود یعنی ^{218}Po و ^{214}Po تجزیه شده و مجموعاً "به ترتیب سه ذره آلفا با انرژیهای ۵/۴۹، ۶/۰۰ و ۷/۶۹ میلیون الکترون ولت (MeV) ساطع می‌نمایند. انرژی این ذرات آلفا در هوا کاهش یافته و ذرات با انرژی کمتر از حدود ۱/۸ MeV می‌توانند در آشکارساز پلی کربنات با راندمان نزدیک به ۱۰۰٪ ثبت گردند (۳-۵).

در این بررسی دزیمترهای با ارتفاع و قطر دهانه مختلف جهت تعیین شرایط هندسی بهینه ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. پس از تعیین شرایط بهینه (Optimized Conditions)، حدود ۱۰۰۰ عدد دزیمتر جهت یک بررسی مقدماتی ساخته شده که حدود ۲۵۰ عدد آن در خانه‌های مسکونی چند شهر تهران، رامسر، بابل و گناباد نصب و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

بمنظور کالیبره کردن نمونه دزیمترها از یک اتاقک دستکش‌دار که در آن مقداری پودر سنگ اورانیوم در یک دسیکاتور جهت ایجاد یک میدان طبیعی و ثابت گاز رادن قرار گرفته، از یک چشمه استاندارد گاز رادن ساخت کارخانه پایلون (Pylon, Type RN-150) و از دزیمترهای سنتیلاتور لوکاس در دو اندازه مختلف با یک روش کالیبره کردن دوگانه بشرح زیر استفاده شده است (۱۶):

الف - دزیمترهای لوکاس توسط چشمه استاندارد گاز رادن ساخت کارخانه پایلون پر شده و در شمارنده سنتیلاتور ویژه و در شرایط بهینه اعمال شده شمارش و کالیبره گردیده‌اند.

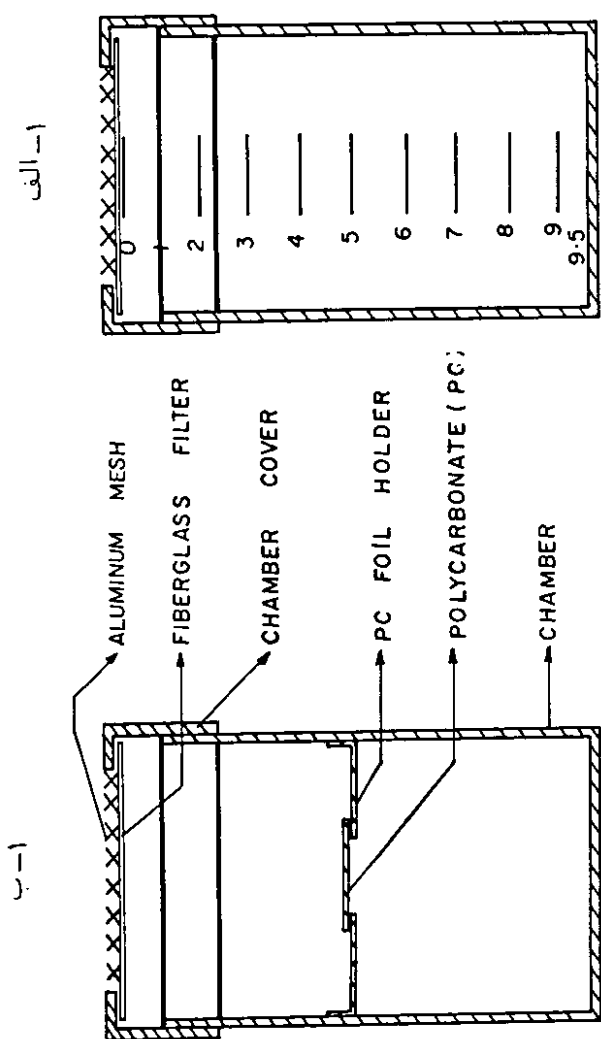
ب - میدان طبیعی گاز رادن بوجود آمده در یک اتاقک دستکش‌دار توسط دزیمترهای لوکاس در روزهای مختلف کالیبره گردیدند.

ج - دزیمترهای گاز رادن در میدان کالیبره شده تحت تابش معینی از گاز رادن قرار گرفتند.

د - عملیات خورش الکتروشیمیائی ردپای ذرات آلفا تحت شرایط زیر انجام شده و با شمارش ردپای ذرات آلفا با یک میکروسکوپ، ضریب تبدیل شمارش ردپا به مقدار گاز رادن در واحد حجم هوا تعیین گردید.

بمنظور خورش الکتروشیمیائی ردپای ذرات آلفای ناشی از گاز رادن و دختران آن از یک اتاقک چند سلولی خورش الکتروشیمیائی ابداع شده در این گروه استفاده گردید (۲۰، ۱۹). این اتاقک می‌تواند

م . سهرابی و ع . سلیمانیان . بررسی ویژه گیهای دزیمتر نفوذی گاز رادن سازمان



شکل ۱ (الف و ب) - سطح مقطع دزیمتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان انرژی اتمی ایران (چپ) و مقطع این دزیمتر که در آن وضعیت قرارگیری و فاصله آشکارساز تا فیلتر (راست) مشخص شده است.

هم بکار رفته‌اند تا تاثیر زمان پیش‌خورش و زمان خورش الکتروشیمیایی روی دانسیته ردپاهای زمینه و ردپاهای ذرات آلفای دختران رادن بررسی شود.

شکلهای ۲ و ۳ دانسیته ردپاهای زمینه (ردپا در سانتیمترمربع) را بعنوان تابعی از زمان پیش‌خورش برای زمانهای مختلف خورش الکتروشیمیایی به ترتیب برای دو محلول خورش I و II نشان می‌دهد. هر دو محلول افزایش دانسیته ردپاهای زمینه را در نتیجه افزایش زمان پیش‌خورش نشان می‌دهند. نتایج بدست آمده با نتایج گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران مغایر است (۲۴). به نظر میرسد که این افزایش ناشی از پرتوگیری پلی‌کربنات از ذرات آلفای ناشی از گاز رادن و دختران آن در طول مدت نگهداری باشد. بنابراین پیش‌خورش بجای کاهش شمارش ردپای زمینه باعث افزایش آن شده است.

شکلهای ۴ و ۵ شمارش کلی ردپاهای ذرات آلفای ناشی از گاز رادن و دختران آن بعلاوه ردپای زمینه را تابعی از زمان پیش‌خورش شیمیایی برای مدت زمانهای مختلف خورش الکتروشیمیایی به ترتیب برای دو محلول خورش I و II نشان می‌دهند. همانطور که انتظار می‌رود دانسیته ردپاها با افزایش پیش‌خورش، افزایش داشته‌اند و این نتیجه برای زمانهای خورش الکتروشیمیایی کمتر نمایان است.

شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب نسبت دانسیته ردپاهای زمینه به کل ردپاها (زمینه + آلفا) را برای دو محلول خورش I و II نشان می‌دهند. با بررسی موارد اخیر می‌توان چنین برداشت کرد که در مورد محلول خورش I، یکساعت پیش‌خورش همراه با ۲/۵ ساعت خورش الکتروشیمیایی و در مورد محلول II نیم‌ساعت پیش‌خورش همراه با ۳ ساعت خورش الکتروشیمیایی در شرایط میدان الکتریکی اعمال شده شرایط بهینه را برای خورش ذرات آلفا فراهم می‌آورد. همچنین می‌توان گفت که محلول I حساسیت بیشتری را نسبت

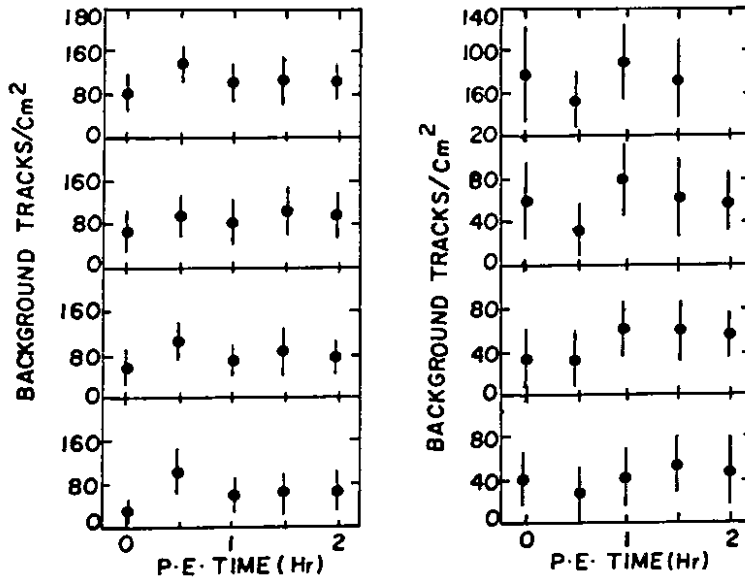
تعداد زیادی آشکارساز را بطور هم‌زمان خورش الکتروشیمیایی نماید. ولی در این بررسی فقط از ۱۸ سلول جهت خورش ۱۸ آشکارساز پلی‌کربنات استفاده گردید. شرایط میدان اعمال شده همان شرایط قبلی بود که در این آزمایشگاه برای اولین بار بهینه شده است (۲۱): یعنی اعمال قدرت میدان 32 KeV/cm و فرکانس 2 kHz که در آزمایشگاههای مختلف بین‌المللی نیز بکار گرفته شده است.

شرایط بهینه خورش الکتروشیمیایی ذرات آلفا در این آزمایشگاه تعیین گردیده است که شامل مخلوطی از $45 \text{ gr H}_2\text{O}$ و $40 \text{ gr C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ، 15 gr KOH در دمای 25°C بوده و بعنوان محلول I در نظر گرفته شده است (۲۲، ۳-۵). با این وجود ورقه‌های پلی‌کربنات موجود از مدتی قبل در آزمایشگاه نگهداری شده و دارای شمارش ردپای زمینه نسبتاً قابل ملاحظه‌ای بودند. لذا لازم بود بررسیهای ویژه‌ای بمنظور تعیین "حد پائین آشکارسازی" (lower detection limit) بر روی آن اعمال گردد. لذا بمنظور بهینه‌سازی شرایط پیش‌خورش - شیمیایی و خورش الکتروشیمی، شرایط فوق با شرایطی که در آزمایشگاه دیگری اعمال شده است یعنی مخلوط $20\% \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}$ و $80\% \text{ 6N KOH}$ در دمای 25°C بعنوان محلول II مقایسه گردید (۲۳). بعد از خورش الکتروشیمیایی در یک زمان معین، ردپاها با یک میکروسکوپ نوری شمارش گردیده‌اند.

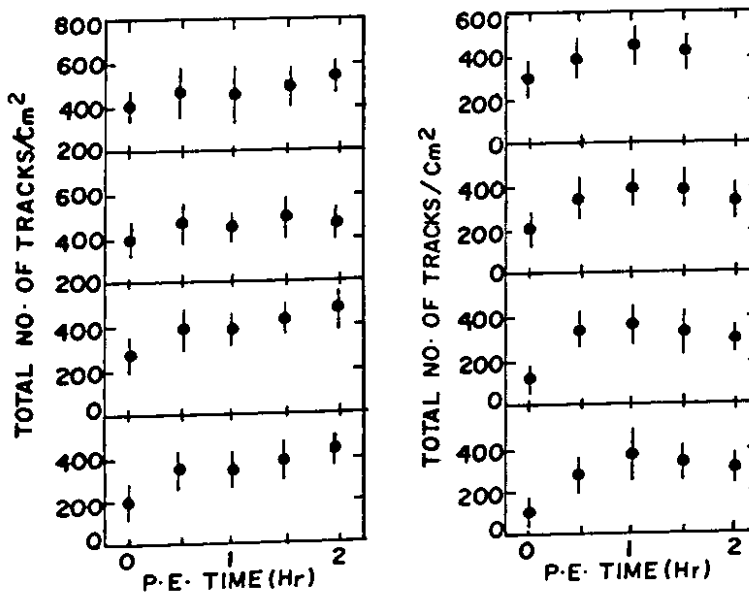
بررسی یافته‌ها

الف - بهینه‌سازی شرایط خورش آشکارساز براساس بررسیهای انجام شده افزایش مقدار الکل (اتانل) در محلول PEW باعث افزایش دانسیته ردپاهای زمینه، حساسیت و قطر ردپاها در خورش الکتروشیمیایی می‌گردد (۲۲ و ۳-۵). بنابراین دو محلول فوق با غلظت‌های متفاوت الکل در مقایسه با

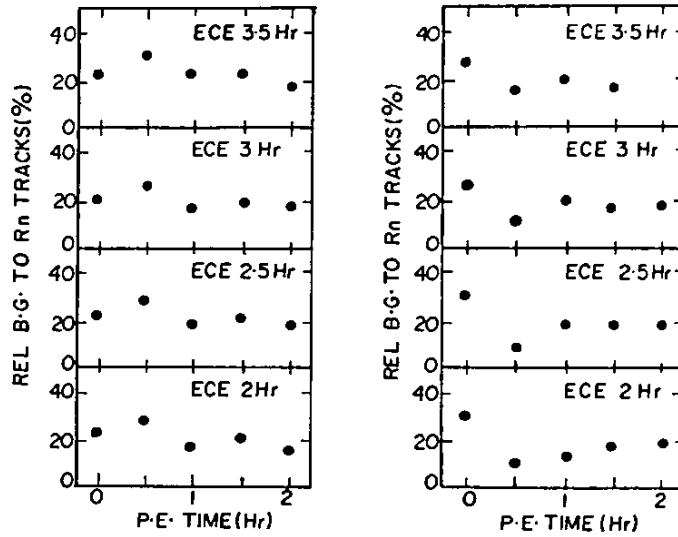
م . سهرابی و ع . سلیمانیان . بررسی ویژه گیهای دزیمتر نفوذی گاز رادن سازمان



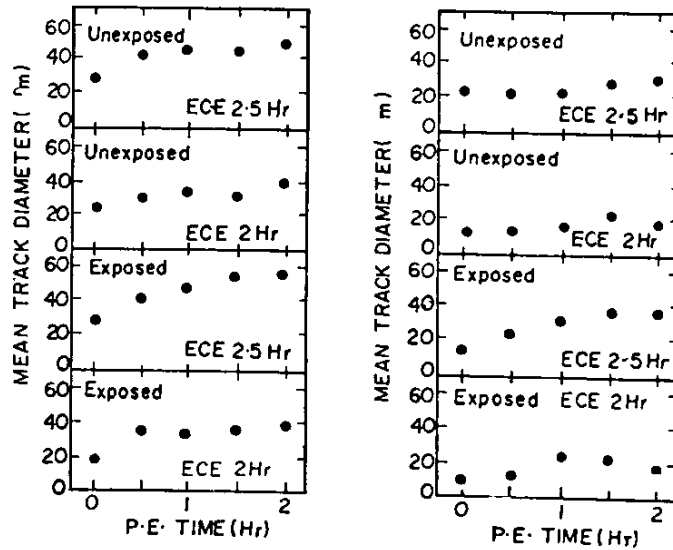
شکل های ۲ و ۳ - دانسیته ردپای زمینه ($\text{Tracks}/\text{cm}^2$) بر حسب زمان پیش خورش شیمیائی برای زمانهای مختلف خورش الکترو شیمیائی به ترتیب برای محلول های PEW شماره I (چپ) و II (راست) .



شکل های ۴ و ۵ - شمارش کلی ردپاها ($\text{Tracks}/\text{cm}^2$) بر حسب زمان پیش خورش شیمیائی برای بولک های پلی کریستال تاخس دیده برای محلول های PEW شماره I (چپ) و شماره II (راست) .



شکل‌های ۶ و ۷ - نسبت ردپای زمینه به ردپای ساتی از کار رادن و دختران آن (%) بر حسب زمان بیش‌خوردن شیمیائی برای زمان‌های مختلف خوردن الکتروشیمیائی به ترتیب برای محلول‌های I (چپ) و II (راست).



شکل‌های ۸ و ۹ - قطر متوسط ردپا بر حسب زمان بیش‌خوردن شیمیائی برای زمان‌های خوردن الکتروشیمیائی مختلف برای بولک‌های پلی‌کریستال ناشدنده (Rn) و سانش سدیده (Bq) به ترتیب برای محلول‌های I (چپ) و II (راست).

کربنات از فیلتر را در داخل ۱۱ اتاقک با حجم 296 cm^3 و فیلتر با قطر موثر ۵ سانتیمتر نشان می‌دهد. چون حد بالای انرژی ذرات آلفای قابل ثبت در پلی‌کربنات در این شرایط حدود 8 MeV است، لازمست در داخل اتاقک فاصله کافی برای کاهش انرژی ذرات آلفای با انرژی $5/49$ ، $6/00$ 218Po ، 222Rn به ترتیب ناشی از $7/69 \text{ MeV}$ که به ترتیب دارای برد $3/8$ ، $3/4$ و 214Po سانتیمتر در هوا می‌باشند، وجود داشته باشد تا ردپاها بطور موثر ثبت شوند (۴، ۵).

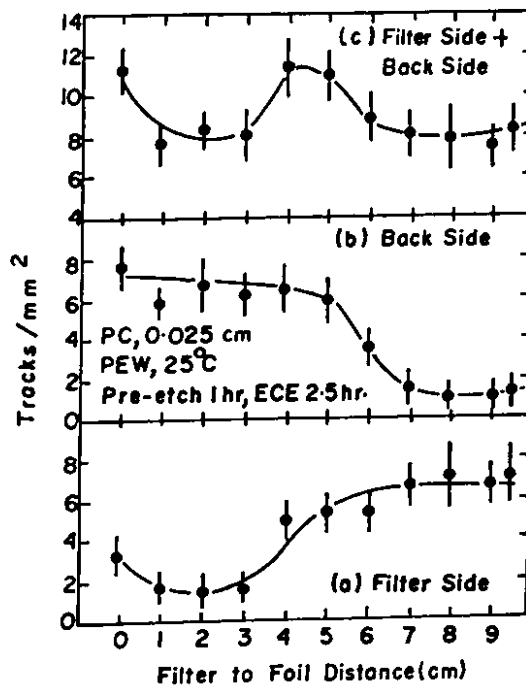
طرفی از آشکارساز پلی‌کربنات که مقابل فیلتر قرار دارد (شکل ۱ - الف)، صفر سانتیمتر فاصله تا فیلتر ذرات آلفای ناشی از دختران رادن جذب شده مسیر فیلتر را که با عبور از فیلتر انرژی آنها کاهش یافته ثبت نموده و هرچه فاصله آشکارساز از فیلتر بیشتر می‌گردد در ابتدا حساسیت آن کاهش و سپس افزایش می‌یابد (شکل a - ۱۰)، در حالیکه طرف

به محلول II نشان می‌دهد.

میانگین قطر ردپاهای زمینه و ردپاهای ناشی از ذرات آلفای قابل ثبت گاز رادن و دختران آن بعنوان تابعی از زمان پیش‌خورش در دو زمان مختلف خورش الکتروشیمیائی با محلولهای خورش I و II به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ آمده‌اند. محلول I ایجاد ردپاهای بزرگتری نسبت به محلول II نموده است که مشاهدات قبلی این گروه را در این رابطه تأیید می‌نماید (۲۱ و ۵، ۴). نتایج همچنین نشان می‌دهند که میانگین قطر ردپاهای زمینه تقریباً همانند ردپاهای ناشی از آلفا می‌باشند. بنابراین ردپاهای زمینه به نظر می‌رسند عمدتاً از رادن و دختران آن نیز تشکیل شده باشند که در طول مدت نگهداری باعث پرتوگیری پلی‌کربنات شده‌اند.

ب - بهینه‌سازی محل نصب آشکارساز

شکل ۱۰ تأثیر ۱۱ فاصله مختلف آشکارساز پلی -



شکل ۱۰ - اثر وضعیت آشکارساز پلی‌کربنات بر روی حساسیت دزیمتر گاز رادن، a - تغییرات شمارش برای طرف آشکارساز رو به فیلتر، b - برای طرف آشکارساز پشت به فیلتر و c - برای هر دو طرف آشکارساز.

دزیمتر باز هم مقداری حساسیت را که مربوط به نفوذ گاز رادن از درب و بدنه است نشان می‌دهد. با افزایش قطر فیلتر از صفر تا ۱ سانتیمتر حساسیت سریعاً " تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد و سپس تا قطر ۶ سانتیمتر که حداکثر قطر دهانه است ثابت می‌ماند. بنابراین قطر فیلتر بین ۲ تا ۳ سانتیمتر بعنوان قطر بهینه تعیین شده است.

هـ- بررسی حساسیت کلی دزیمتر

با بررسی نتایج فوق، شرایط بهینه بدست آمده شامل ۹/۵ سانتیمتر ارتفاع دزیمتر و یا 296 cm^3 حجم، ۲ تا ۳ سانتیمتر قطر فیلتر، وضعیت آشکارساز پلی‌کربنات در میانه اتاقک (۴ تا ۵ سانتیمتری از فیلتر) و یا در ته لیوان با یکطرف خورش، یکساعت پیش خورش شیمیائی و ۲/۵ ساعت خورش الکترو-شیمیائی در محلول الکلی در 25°C و شرایط میدان اعمال شده 32 KV/cm در 2 kHz می‌باشد. با اعمال این شرایط، دانسیته ردپای زمینه با استفاده از شمارش زمینه حدود ۲۰ آشکارساز پلی‌کربنات و همچنین دانسیته ردپاهای ناشی از گاز رادن و دختران آن بدست آمده است. دانسیته ردپاهای آلفای ناشی از رادن و دختران آن بر حسب مقدار پرتودهی رادن ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}$) و همچنین انحراف معیار نسبی (relative standard deviation) برحسب دانسیته ردپاها در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ به ترتیب آمده‌اند و "حد پائین آشکار-سازی" (lower detection limit) برای پرتوگیری رادن در ۵۰ درصد انحراف معیار نسبی تعیین شده است. برای این اساس حد پائین آشکار-سازی برابر $52 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ برای مدت سه ماه دوره اندازه‌گیری برآورد گردیده و همچنین حساسیتی برابر با $0.05 \pm 0.07 \text{ Tracks} \cdot \text{cm}^2 / \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}$ و $1/86 \pm 0.28 \text{ Tracks} \cdot \text{cm}^{-2} / \text{pCi} \cdot 1^{-1} \cdot \text{day}$ می‌باشد.

دیگر تمام ذرات آلفائی را که انرژی آنها بنحومناسی در حجم اتاقک کاهش یافته است ثبت می‌نماید (شکل b-10). در روی این منحنی (b)، طرفی از آشکارساز پلی‌کربنات چسبیده به ته اتاقک یعنی در فاصله ۹/۵ سانتیمتر تا فیلتر کمترین حساسیت را نشان می‌دهد. در همین وضعیت طرف آشکارساز رو به فیلتر با داشتن فاصله مناسب از حساسیت بالائی برخوردار است (شکل b-10) که برای فواصل تا ۵ سانتیمتر از فیلتر حساسیت آن ثابت می‌ماند. بنابراین آشکار-سازی پلی‌کربنات در وضعیت میانعی اتاقک بهترین حساسیت را نشان می‌دهد و حساسیت دو طرف آشکارساز نیز در این وضعیت حدوداً " برابر بوده و در نتیجه مناسب‌ترین وضعیت جهت این بررسی‌ها در نظر گرفته شده است (شکل c-10). ولی در وضعیت ته لیوان نیز در صورتیکه فقط یک طرف فیلم خورش الکتروشیمیائی گردد وضعیت مناسبی به نظر می‌رسد که در بررسی‌های بعدی منظور خواهد گردید.

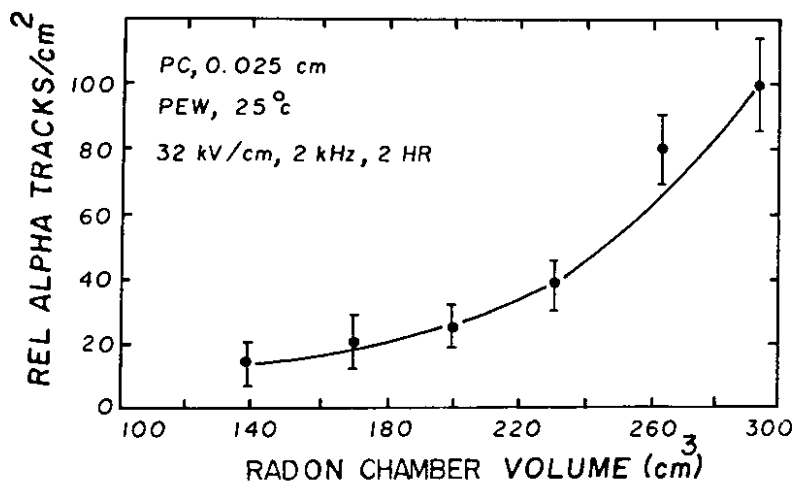
ج- بهینه‌سازی حجم دزیمتر

شکل ۱۱ اثر ارتفاع دزیمتر و بنا بر این حجم آن را بر روی حساسیت دزیمتر نشان می‌دهد. با افزایش حجم، حساسیت دزیمتر افزایش پیدا کرده و این امر ناشی از کاهش مناسب انرژی ذرات آلفا تا حد قابل ثبت بودن در پلی‌کربنات است. چنانچه ملاحظه می‌گردد اتاقک با حجم 296 cm^3 حساسیتی پنج برابر بالاتر از حساسیت اتاقک با حجم 140 cm^3 را نشان می‌دهد، لذا می‌توان آنرا بعنوان شرایط بهینه پذیرفت.

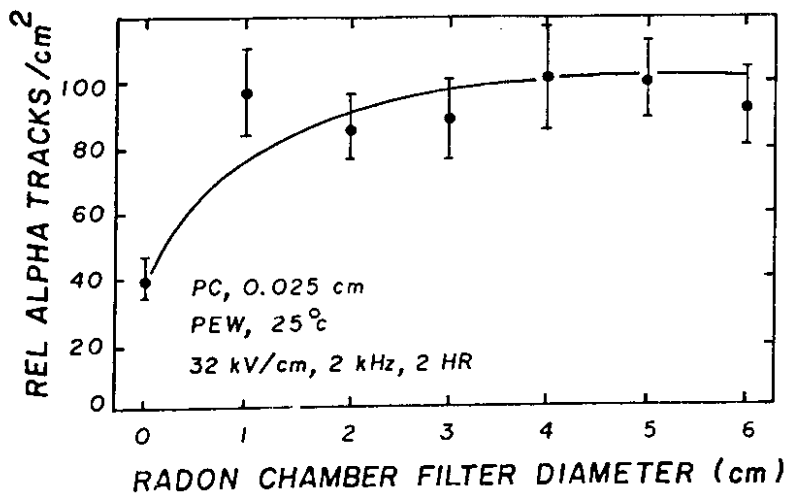
د- بهینه سازی قطر موثر فیلتر دزیمتر

شکل ۱۲ اثر قطر موثر فیلتر دهانه دزیمتر را بر حسب حساسیت نشان می‌دهد. در شرایطی که در دزیمتر کاملاً بسته و در واقع قطر دهانه صفر است

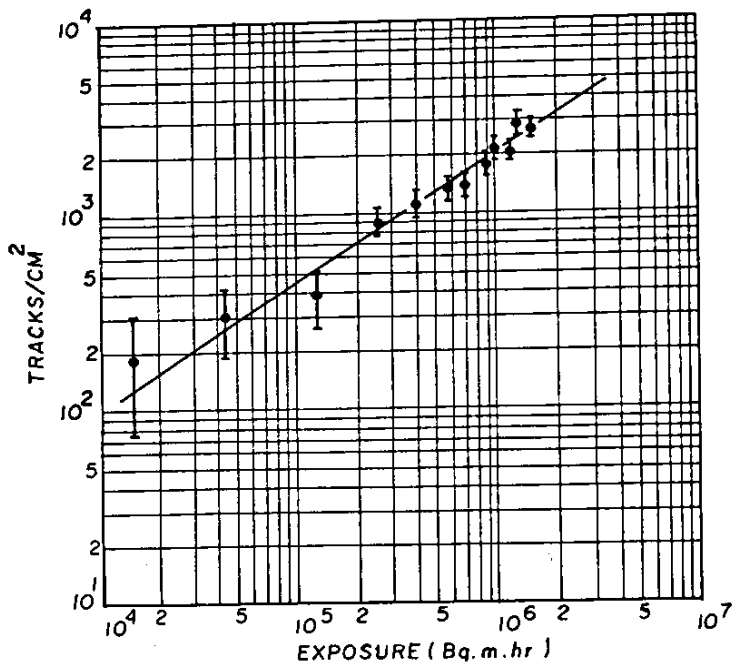
م . سهرابی و ع . سلیمانیان . بررسی ویژه گیهای دزیمتر نفوذی گاز رادن سازمان



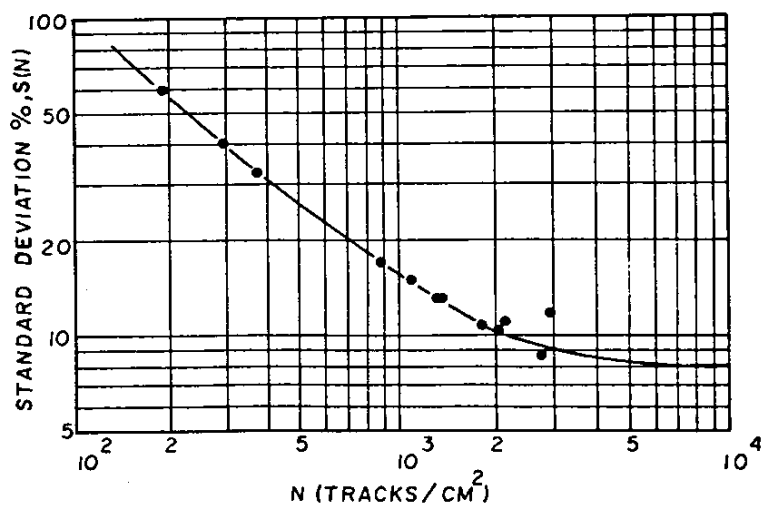
شکل ۱۱- اثر حجم اتاقک بر روی حساسیت دزیمتر پاسیو گاز رادن .



شکل ۱۲- اثر قطر فیلتر بر روی حساسیت دزیمتر پاسیو گاز رادن .



شکل ۱۳ - ردپای آلفا برحسب مقدار پرتو دهی گاز رادن.



شکل ۱۴ - انحراف معیار نسبی برحسب شمارش ردپا در سانتیمتر مربع

نشان می‌دهد. بالاترین مقادیر بدست آمده مربوط به برخی خانه‌های مسکونی در حومه رامسر است که آن ناحیه دارای پرتوزائی طبیعی زمينه بالا است. در رامسر و حومه آن میزان گاز رادن در حدود ۵۵ درصد خانه‌ها کمتر از 400 Bq.m^{-3} و در ۴۵ درصد خانه‌ها 400 Bq.m^{-3} تا 3300 Bq.m^{-3} تخمین زده شده است در حالیکه در تهران ۸۵ درصد اندازه‌گیری‌ها میزان گاز رادن را کمتر از 100 Bq.m^{-3} نشان می‌دهد. گرچه تعیین پرتوگیری دقیق‌تر براساس این بررسی مقدماتی میسر نیست ولی میانگین دز معادل موثر در مناطق فوق را با در نظر گرفتن فاکتور تعادل $F=0.5$ ، فاکتور توقف افراد ۸۰ درصد و یک فاکتور تبدیل سطح کار ماهانه (WLM) به دز معادل موثر برابر $5/5 \text{ mSv}$ می‌توان تخمین زد (۱). این مقادیر تخمینی در مورد رامسر، تهران، بابلسر و گناباد به ترتیب $0.4/4$ ، $0.6/1$ ، $0.6/7$ و $0.6/4$ میلی‌سیورت در سه ماه یا

بدست آمده است. ولی با استفاده از آشکارسازهای پلی‌کربناتی که اخیراً تهیه شده و معمولاً دارای ردپای زمينه بسیار کمتری است حد پائین آشکارسازی را بهبود بخشیده و حساسیت دزیمترها را بیش از مقدار فوق‌الذکر افزایش داده است. این پلی‌کربنات در بررسیهای آینده این گروه مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

و- دزیمتری مقدماتی خانه‌های مسکونی

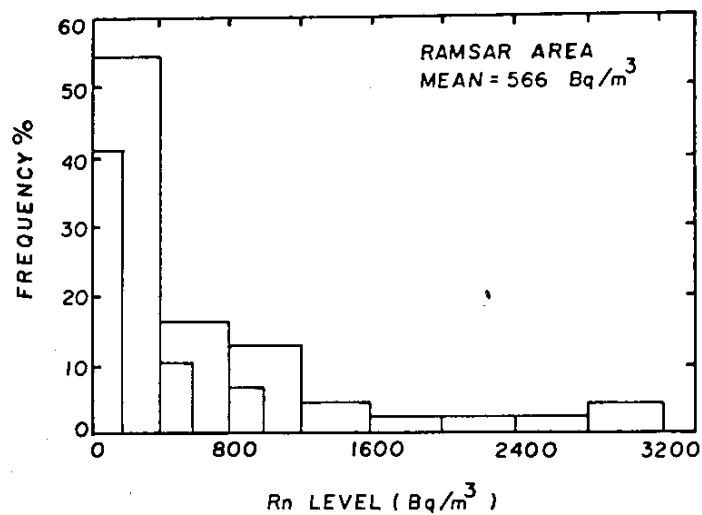
با استفاده از دزیمترهای پاسیو گاز رادن سازمان و در شرایط بهینه تعیین شده، میزان گاز رادن حدود ۲۵۰ خانه مسکونی در شهرهای رامسر، تهران، بابلسر و گناباد مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت. جدول ۱ خلاصه نتایج اندازه‌گیری مقدماتی در شهرهای فوق‌الذکر را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۵ و ۱۶ همچنین نمودار میزان گاز رادن را به ترتیب در رامسر و تهران

جدول ۱- خلاصه نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری گاز رادن در چهار شهر مسکونی ایران شامل

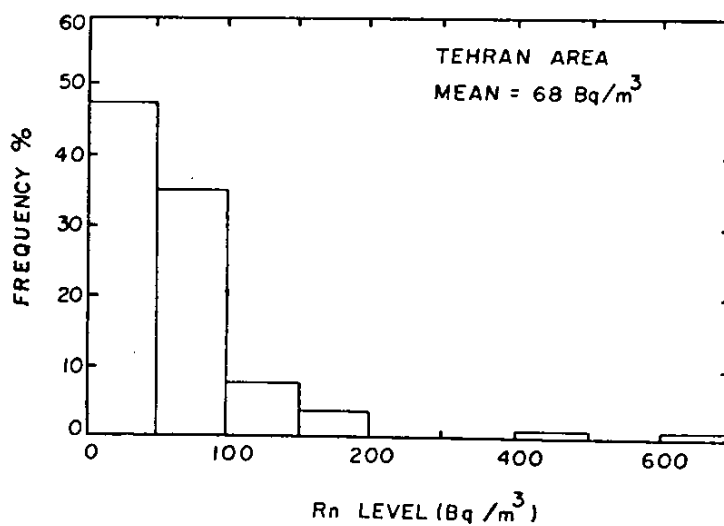
رامسر، تهران، بابلسر و گناباد.

| TOWN | PERIOD | NO. OF HOUSES | EXTREME LEVELS (Bq/m^3) | MEAN LEVEL (Bq/m^3) | S.D. (Bq/m^3) | WL ($F=0.5$) | $\frac{WLM}{q^*}$ | $H_e (\frac{\text{mSv}}{q^*})$ |
|----------|------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
| RAMSAR | Aug-Sep. 87 (50 days) | 85 | low 25% < 95 high 3071 | 578 | 677 | 0.078 | 0.97 | 4.3 |
| TEHRAN | Feb-May 86 (100 days) | 80 | low 48% < 50 high 635 | 80 | 84 | 0.011 | 0.11 | 0.60 |
| BABOLSAR | Feb-May 86 (90 days) | 14 | low 21% < 50 high 163 | 88 | 35 | 0.012 | 0.12 | 0.66 |
| GONABAD | Aug-Sep. 86 (100 days) | 27 | low 19% < 50 high 156 | 84 | 31 | 0.011 | 0.11 | 0.60 |

$q^* = \text{quarter}$



شکل ۱۵- فراوانی سطح گاز رادن در خانه‌های حومه رامسر بدست آمده با دزیتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان.



شکل ۱۶- فراوانی سطح گاز رادن در خانه‌های تهران بدست آمده با دزیتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان.

روستاهای رامسر مقدار متوسط گاز رادن برابر $1283 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ که منتج به دز معادل موثر سالیانه برابر $38/8 \text{ mSv/y}$ است را نشان می‌دهد . لذا با در نظر گرفتن مقدار دز گامای اندازه‌گیری شده برابر $8/8 \text{ mSv/y}$ ، پرتوگیری از گاز رادن و گاما تسوا " می‌تواند پتانسیل پرتوگیری برابر $48/4 \text{ mSv/y}$ که تقریباً " برابر حد پرتوگیری شاغلین با پرتوهاست ، ایجاد نماید . همچنین یک انبار به ترتیب مقدار 288 mSv/y برای ۸۰ درصد زمان توقف یک فرد در انبار برای پرتوهای گاما و مقدار $7/2 \text{ mSv/y}$ برای گاز رادن که مجموعاً " پتانسیل پرتوگیری برابر $475/2 \text{ mSv/y}$ یا $47/5 \text{ mrem/y}$ را در نقطه اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد . این نتایج بطور کلی این انگیزه را برانگیخته است که خانه‌های مسکونی نقاط مختلف کشور از نقطه نظر گاز رادن و پرتوهای گاما مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته و برآورد دقیقی از میزان پرتوگیری متوسط مردم کشور در رابطه با پرتوگیری‌های طبیعی در خانه‌های مسکونی بعمل آید . این برنامه در دست اجراء است که نتایج آن در گزارش‌های دیگر ارائه خواهد گردید .

نتیجه‌گیری

بررسی پارامترهای دزیمتر پاسیو نفوذی گاز رادن سازمان انرژی اتمی ایران و همچنین نتایج بررسی میزان گاز رادن در حدود ۲۵۰ مسکونی در تهران ، رامسر ، بایلسر و گناباد نشان می‌دهد که این دزیمتر از حساسیت و شرائط لازم و کافی جهت تعیین پرتو-گیری مردم ایران در خانه‌های مسکونی و یا محیط‌های دیگر مناسب است . این دزیمتر نیاز به پمپ و صرف انرژی نداشته و می‌تواند مقدار متوسط گاز رادن در یک مدت طولانی در یک خانه مسکونی را اندازه‌گیری نماید .

آشکارساز پلی‌کربنات خورش الکتروشیمیائی شده

فصل (mSv/q) بوده است . ضمناً " نتایج مربوط به رامسر و گناباد در ایام تابستان بوده که خانه‌ها معمولاً " از تهویه طبیعی یا از دستگاه‌های خنک - کننده برخوردارند و انتظار می‌رود که در زمستان این مقادیر افزایش داشته باشد . این موضوع در دست بررسی است .

در یک بررسی مقدماتی ، دزیمتری گاما نیز در خانه‌های رامسر با دزیمترهای فیلم بیج و دزیمترهای $\text{TLD} (\text{CaF}_2 : \text{Dy})$ که هر دو آنها همراه با دزیمتر رادن بر روی دیوار نصب شده بودند ، انجام گردیده است . نتایج مقدار پرتوگیری ناشی از گاما در محل نصب دزیمترها مقادیر حدی بین $36/0$ تا 60 میلی‌سیورت در سال (mSv/y) را با مقدار میانگین در حدود $26/28 \text{ mSv/y}$ نشان داده و هماهنگی بین دو سیستم دزیمتری بکار برده شده مطلوب بوده است . یک تخمین خام مقدار میانگین پتانسیل دز معادل موثریک فرد ($\text{Effective Dose Equivalent}$) ناشی از پرتوهای گاما و گاز رادن را با فرض اینکه در محل دزیمترها قرار گیرد برابر $43/88 \text{ mSv/y}$ نشان می‌دهد . بویژه افرادی که در خانه‌های بعضی از روستاهای اطراف رامسر زندگی میکنند می‌توانند پرتوگیری نسبتاً " بالائی را داشته باشند .

برای مثال ، یک خانه میزان میانگین گاز رادن حدود 1003 بکرل در مترمکعب ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) را نشان داد که منجر به مقدار متوسط دز معادل موثر سالیانه حدود $30/32 \text{ mSv/y}$ می‌گردد که با در نظر گرفتن دز پرتوگیری اندازه‌گیری شده ناشی از گاما در نقطه مزبور برابر $88/8 \text{ mSv/y}$ ، میزان مجموع دز پرتوگیری ناشی از پرتوهای گاما و پرتوهای گاز رادن و دختران آن بالغ بر $119/2 \text{ mSv/y}$ می‌گردد . این مقدار حدوداً " $2/4$ برابر حد دز معادل سالیانه شاغلین کار با پرتوها است . همچنین یکی از اطاق‌های مدرسه‌ای در یکی از

ولی خانه‌های مناطق اطراف رامسر مقادیر تکان‌دهنده‌ای بالاتراز "حد دز" کارکنان را نشان می‌دهد که لازمست اقدام قانونی موثر در این رابطه بعمل آید.

اندازه‌گیری خانه‌های مسکونی در شهرهای مختلف دردست بررسی است. بدیهی است اگر این پروژه بخواهد در یک دامنه وسیع در کشور پیاده گردد که امری ضروریست نیاز به شمارنده خودکار ردپا بجای شمارش ردپا با چشم و میکروسکوپ امری حیاتی است.

یکی از بهترین آشکارسازهایی است که جهت این اندازه‌گیری می‌تواند بکار برده شود ولی لازمست آشکارساز پلی‌کربنات تازه تهیه شده استفاده گردد که "حدپائین آشکارسازی" را به مقادیر کمتر جهت بالا بردن حساسیت در مقادیر پائین گاز رادن کاهش دهد که در بررسی‌های جاری از آشکارسازهای تازه تهیه شده استفاده می‌گردد.

اندازه‌گیری گاز رادن در خانه‌های مسکونی مناطق تهران، بابلسر و گناباد در حد عادی به نظر می‌رسد.

References

1. UNSCEAR, Ionizing Radiation; Sources and Biological Effects, United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1982).
2. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1977).
3. M. Sohrabi and E. Khajeian, Some Electrochemical Etching Studies on the Registration of Alpha Particle Tracks in Polycarbonate, Nucl. Inst. and Methods 85, 407 (1981).
4. M. Sohrabi and E. Khajeian, Effects of Alpha Energy and Track Density on the ECE Response of Alpha and Recoil Tracks in Polycarbonate, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 8, Nos. 1-4, 113 (1984).
5. E. Khajeian and M. Sohrabi, Electrochemical Etching Analysis of Alpha Particle Track Registration in Polycarbonate, AEOI Report No. AEOI-RPD-DOS-2-79, Atomic Energy Organization of Iran (1979).
6. Sh. Mahdi and M. Sohrabi, Personnel and Environmental Dosimetry of Radon and Its Daughter Products, AEOI Report No. AEOI-RPD-DOS-1-84 (1984).
7. M. Sohrabi and Sh. Mahdi, Background Heat Treatment Studies in LR-115, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 12, 149 (1986).

8. M. Sohrabi and Gh. Zainali, Broadening Registration Energy Range of Alpha Tracks in CR-39 Under a New ECE Conditions, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 12, 171 (1986).
9. B. Cohen, Radon; Characteristics, Natural Occurance, Technological Enhancement and Health Effects, Progress in Nuclear Energy 4, 1 (1979).
10. ICRP Publ. No.32, Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers, Annals of ICRP 6 (1981).
11. B. Budnitz, Radon and Its Daughters, A Review of Instrumentation for Occupational Environmental Monitoring, Health Physics 26, 163 (1974).
12. A.M. Chapuis, D. Dajlevic, P. Duport and G. Scudain, Dosimetry of Radon, Proc. of 7th Int. Conf. on Nucl. Photography and SSNTDs, Bucharest, 319 (1972).
13. H.F. Lucas, Improved Low Level Alpha Scintillation Counter for Radon, Rev. Scientific Instruments 28, No.9, 680 (1975).
14. H.W. Alter and R.L. Fleischer, Passive Integrating Radon Monitoring, Health Physics 40, 693 (1981).
15. M. Sohrabi, Sh. Mahdi, M. Khoshnoodi, Gh. Zainali and F. Hajigholi, Radon Dosimetry for Personnel, Environment and Uranium Exploration, Radiation Protection Seminar, AEOI (1982).
16. M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Some Characteristics of AEOI Passive Radon Diffusion Dosimeter, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 605 (1988).
17. M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Indoor Radon Level Measurements in Some Regions of Iran, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 613 (1988).
18. M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Indoor Radon Level Measurements Using the AEOI Passive Radon Diffusion Dosimeter, Proc. 7th Inter. Congress of the International Radiation Protection Association, V.1, 242, Sydney, Australia (1988).
19. M. Sohrabi, A New Multi-Chamber Electrochemical Etching System Approach for Rapid Characteristic Response Studies in Polymeric Dosimeters, Radiation Protection Dosimetry 12, No1.1, 55 (1986).
20. M. Sohrabi, Discovery of an "Internal Heating Effect" During Electrochemical Etching of Polymeric Dosimeters, Nuclear Instruments and

- Methods in Physics Research A 238, 517 (1986).
21. M. Sohrabi, Electrochemical Etching of Fast-Neutron-Induced Recoil Tracks; The Effects of Field Strength and Frequency, J. Nuclear Tracks 4, 131 (1981).
 22. M. Sohrabi and K.M. Shirazi, Optimization of Etchants for Electrochemical Etching of Tracks in Polycarbonate Neutron Personnel Dosimeters, J. Nuclear Tracks 8, Nos. 1-4, 117 (1984).
 23. M. Urban and E. Piesch, Low Level Environmental Radon Dosimetry with a Passive Track Etch Detector Device, Radiation Protection Dosimetry 1, 97 (1981).
 24. C.M. Hassib, A Pre-electrochemical Etching Treatment To Improve Recoil Track Detection, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 3, 45 (1979).

SOME CHARACTERISTICS OF THE AEOI PASSIVE RADON DIFFUSION DOSIMETER
FOR INDOOR RADON EXPOSURE DETERMINATION OF PUBLIC IN IRAN*

M. Sohrabi and A.R. Solaymanian
Radiation Protection Department
Atomic Energy Organization of Iran
P. O. Box 14155-4494, Tehran
Islamic Republic of Iran

Abstract

A Passive Radon diffusion dosimeter (PRDD) was developed at the Radiation Protection Department of the Atomic Energy Organization of Iran (AEOI) for a large scale radon level measurements in Iran. It consists of a plastic cup with a polycarbonate (PC) alpha detector in the middle, a plastic top cover with an opening holding a fiberglass filter and a hard aluminium mesh for protection and support. A new design of our multi-chamber ECE system was used for multiple foil etching. The effects of pre-etching and ECE times, chamber volume, filter diameter and foil position inside the chamber were investigated. The optimized geometries include 9.5 cm height, 296 cm³ volume and 2-3 cm filter diameter with the PC foil mounted in the middle. A sensitivity of 0.05 ± 0.007 tracks.cm⁻²/Bq.m⁻³. day or 1.96 ± 0.28 tracks.cm⁻²/pCi.l⁻¹. day was obtained at optimized conditions. In this paper, the characteristics of the dosimeter as well as some preliminary results of indoor radon level measurements for determination of public exposure in 250 houses in different cities of Iran including Tehran, Ramsar, Babolsar and Gonabad are presented. The highest radon levels were found in high natural areas of Ramsar.

*This paper is based on the results reported by these authors in the following papers:

- a) M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 605 (1988a).
- b) M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 15, Nos. 1-4, 613 (1988b).
- c) M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Proc. 7th Int. Cong. of IRPA, V.I, 242, Sydney (1988c).