مقاله پژوهشی

تعیین غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر فسا و اثرات ناشی از استنشاق آن بر بروز سرطان ریه

جواد بهمنی[1*]، یوسف غلامپور[2]

۱- گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران
۲- گروه داخلی، واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان ولیعصر(عج)، دانشگاه علوم پزشکی فسا، فسا، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: طرح پژوهشی حاضر درزمینه مشترک علم هسته‌ای و پزشکی تعریف شده است. هدف تعیین میزان غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر فسا در سال ۱۳۹۵ و بررسی اثرات ناشی از استنشاق آن بر بروز سرطان ریه در ساکنین منازل است.

مواد و روش‌ها: از میان منازل مسکونی، تعداد ۱۰ منزل در نقاط مختلف شهر انتخاب شد و ۲۰ نمونه اتاقک نفوذی گاز رادن در دو نیمسال ۱۳۹۵ در این منازل نصب گردید. در این تحقیق با استفاده از روش خورش الکتروشیمیایی، آشکارسازها توسط اسکنر نوری اسکن شدند و سپس تصویر ردپاهای آلفا به‌صورت grey scale image تهیه شد. پس‌ازآن به کمک نرم‌افزار image processing و روش غیرفعال دزیمتری، میانگین غلظت رادن در یک دوره زمانی مشخص تعیین شد.

نتایج: شمارش و اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در ۲۰ نمونه جمع‌آوری‌شده در دو بازه زمانی شش ماه اول و دوم از منازل مسکونی موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد غلظت گاز رادن در سطح شهر فسا در شش ماه اول و دوم سال ۱۳۹۵ تقریباً مشابه یکدیگر و بین ۱۴۱ تا ۴۱۷ بکرل در مترمکعب متغیر است.

نتیجه‌گیری: در هر دو بازه زمانی در نظر گرفته‌شده ناحیه شمال غربی شهر فسا غلظت‌های بالاتر از ۱۴۸ بکرل در مترمکعب مشاهده می‌شود که این میزان بالاتر از غلظت‌های استاندارد در منازل مسکونی است و ساکنین در این مناطق در معرض ابتلا به سرطان ریه هستند. باید به راهکارهای ارائه‌شده در پایان مقاله برای کاهش غلظت رادن در منازل توجه ویژه‌ای شود.

کلمات کلیدی: رادن، سرطان ریه، تابش آلفا، پرتوگیری

مقدمه

رادن یک گاز رادیواکتیو طبیعی نامرئی، بی‌مزه و بی‌بو بوده و ازنظر شیمیایی بی‌اثر است. این عنصر از دو طریق تولید می‌شود: یکی رادیونوکلیید رادن -۲۲۲ از تجزیه اورانیوم-۲۳۸ و دیگری رادن-۲۲۰ در اثر تجزیه متوالی توریوم-۲۳۲ به دست می‌آید. کسر زیادی تابش‌های محیطی از منابع طبیعی هستند که بیشترین آن‌ها رادن می‌باشند. رادن می‌تواند از طریق خاک و آب مصرفی وارد هوای فضاهای بسته منازل شود. انتقال رادن از طریق خاک به‌مراتب خطرناک‌تر از ورود این عنصر از طریق آب است. رادن موجود در خاک به‌تدریج در زیر ساختمان تجمع می‌کند و فشار آن بالا می‌رود و چون فشار هوا در داخل ساختمان معمولاً کمتر از فشار در داخل خاک است باعث می‌شود که رادن موجود در خاک از طریق کف و دیوارها بر مبنای قانون پخش گازها به داخل ساختمان منتقل‌شده و مقدار آن زیاد شود. وجود شکاف در کف ساختمان و در دیوارها، اتصالات ساختمان و مصالح ساختمان می‌تواند در عبور رادن به داخل ساختمان مؤثر واقع شود. مطالعات اخیر نشان داده است که نوشیدن آب مملو از رادن باید به‌عنوان خطری مهم مخصوصاً برای گروه‌های خاص مثل

*نویسنده مسئول: **جواد بهمنی**، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران
Email: Bahmanix22@yahoo.com
https://orcid.org/ 0000 -0001 -7334- 243 X

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

کودکان در نظر گرفته شود. میزان رادن موجود در آب مستقیماً به شرایط جغرافیایی محلی مرتبط می‌شود (۱). رادن موجود در آب از دو طریق وارد بدن می‌شود: استنشاق گاز رادن هنگام استحمام و جذب رادن در بدن هنگام نوشیدن آب. معمولاً مقدار رادن در آب خیلی کم است، ولی اگر آب را از چاه عمیق استخراج کنیم، تراکم بالایی از رادن دارد. آب‌های معمولی که به‌صرف شرب می‌رسند، غلظت اکتیویته بسیار کمی معادل ۱۰۰ میلیون بکرل در مترمکعب دارند، که تقریباً ناچیز است (۲). درون ساختمان رادن می‌تواند حبس شود و غلظت آن و درنتیجه سطح اکتیویته آن افزایش یابد. در طول دوره‌های طولانی می‌تواند یک خطر قابل‌توجه برای سلامتی افراد باشد (۳، ۴). رادن موجود در هوا از طریق تنفس وارد ریه انسان و سپس به‌سرعت تجزیه می‌شود و باعث انتشار ذره آلفا می‌گردد. ذره آلفا انتشاریافته در ریه، دارای انرژی است که این انرژی باعث حرکت ذره در بافت‌های ریه می‌شود و به‌تدریج در مسیر حرکت و برخورد با سلول بافت‌های ریه یون‌سازی نموده تا زمانی که انرژی خود را به‌طور کامل ازدست‌داده و متوقف شود. انرژی ذره آلفا که توسط بافت‌ها جذب می‌شود باعث آسیب به بافت و یا مرگ آن‌ها می‌شود. بنابراین درصورتی‌که هوای تنفسی حاوی رادن به مقدار زیاد باشد، بافت‌های ریه به‌تدریج آسیب می‌بینند و در درازمدت می‌تواند باعث سرطانی شدن این‌گونه بافت‌ها شود. رادنی که از طریق آشامیدن آب نیز وارد بدن شده وارد سیستم گردش خون می‌شود و در آنجا با انتشار آلفا از بین می‌رود و حاصل رادیواکتیو خود را در بافت‌های بدن باقی می‌گذارد (ایزوتوپ‌های *پلوتونیوم*، سرب و بیسموت). بر اساس گزارش آژانس حفاظت از محیط‌زیست[1](EPA) میزان ۱۳/۴٪ مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه در سال ۱۹۹۵ ناشی از قرار گرفتن افراد در معرض رادن بوده است (۵). انگلستان[2](U.K) نیز تعداد مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه در اثر وجود رادن در منازل مسکونی را بیش از ۱۱۰۰ نفر اعلام نموده است (۵-۷). بر اساس تحقیقات بین‌المللی بعد از سیگار، رادن به‌عنوان مهم‌ترین عامل سرطان ریه شناخته شده است. طبق اعلام آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان[3](IARC)، روند میزان بروز سرطان ریه در سراسر جهان در حال افزایش است (۸). به‌خصوص افراد سیگاری که هوای داخل منازل آن‌ها حاوی مقدار زیاد رادن باشد احتمال ابتلا آن‌ها به سرطان ریه به‌مراتب بالاتر از سایر افراد است. تجزیه‌وتحلیل جامع داده‌ها در اروپا نشان می‌دهد خطر ابتلا به سرطان ریه برای افراد غیر سیگاری در حال افزایش است و خطر نسبی به ازای ۱۰۰Bq/m^3 گاز رادن در محیط، برای این افراد تعیین شده است (۹). مطالعات در آمریکای شمالی میزان مشابهی از خطر نسبی را برای افراد غیر سیگاری نشان می‌دهد که با نتایج مطالعه اولیه افراد در معرض رادن در منازل مسکونی اروپا یکسان است (۱۰). گزارش بسیاری از مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد میزان افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه برای افراد ساکن در منازل مسکونی با غلظت بالای رادن وجود دارد. میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی در آلمان غربی ۴۰ Bq/m^3، کانادا۳۴ Bq/m^3 و انگلستان ۲۰Bq/m^3 به ثبت رسیده است (۱۱). در یک تحقیق میزان غلظت رادن در نیمی از منازل مسکونی آمریکا ۱۴۸Bq/m^3 محاسبه شده است (۱۲). نتایج تحقیق اخیر در داخل کشور نشان می‌دهد در شهر قم میانگین غلظت رادن ۱۵-۲۵۹ Bq/m^3 است (۱۳). طبق گزارش کمیته علمی اثرات پرتوهای اتمی سازمان ملل به‌طور متوسط نیمی از پرتوگیری (معادل دز مؤثر) سالانه مردم در مناطقی که ازنظر پرتوزائی عادی هستند ناشی از رادن و دختران آن است. سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و سازمان جهانی بهداشت حد مجاز غلظت رادن در هوای داخل خانه را ۱۴۸ و ۱۰۰ بکرل بر مترمکعب در نظر گرفته‌اند (۱۳). طبق اعلام سازمان جهانی بهداشت[4](WHO) در سراسر جهان سرطان‌های ریه ناشی از غلظت رادن به‌طور متوسط ۱۵٪ برآورد می‌شود (۳). بر همین اساس، این سازمان مقرراتی جهت کاهش غلظت رادن در منازل مسکونی پیشنهاد دادند و رادن را به‌عنوان یک عامل سرطان‌زا معرفی کردند (۱۴). خطر سرطان در ازای هر ۱۰۰ Bq/m^3 افزایش در تجمع رادن، ۱۶-۸٪ افزایش می‌یابد (۱۵).

بنابراین به دلیل اهمیت مسئله، مشخص نمودن میزان غلظت گاز رادن در منازل مسکونی به لحاظ ارتباط آن با پرتوگیری ساکنین ساختمان بسیار مهم است. در چند شهر جهان و ایران

1. Environmental protection agency
2. United kingdom
3. International ahency for research on cancer
4. World health organization

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

نیز مقادیر گاز رادن اندازه‌گیری شده و موردبررسی قرار گرفته است. در شهر فسا تعداد دقیق افراد مبتلابه سرطان ریه و یا مرگ‌ومیر ناشی از تنفس گاز رادن مشخص نیست اما می‌توان با ارائه راه کارهای مهم و حیاتی سالیانه جهت کاهش میزان رادن از ابتلا بسیاری از افراد به سرطان ریه در اثر تنفس این گاز در هوا پیشگیری نمود.

مواد و روش‌ها

در این طرح برای تعیین غلظت گاز رادن در شهر فسا از اتاقک‌های نفوذی گاز رادن (طراحی و ساخت بخش حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی) استفاده می‌شود. این یکی از روش‌های غیرفعال دزیمتری رادن است که میانگین غلظت رادن در یک دوره زمانی مشخص تعیین می‌گردد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از منازل، که درواقع فیلم‌های حساس به تابش آلفا هستند، ابتدا خورش الکتروشیمیایی توسط سیستم ردپای آلفا به‌صورت grey scaleimage تهیه می‌شود. پس‌ازآن با نرم‌افزار image processing و روش غیرفعال دزیمتری، میانگین غلظت رادن در مدت‌زمان موردنظر تعیین می‌شود. تعدادی نمونه خام (تابش ندیده) نیز برای اندازه‌گیری میزان شمارش زمینه انتخاب و پروسه شمارش آن‌ها نیز مانند نمونه‌های تابش دیده انجام می‌شود.

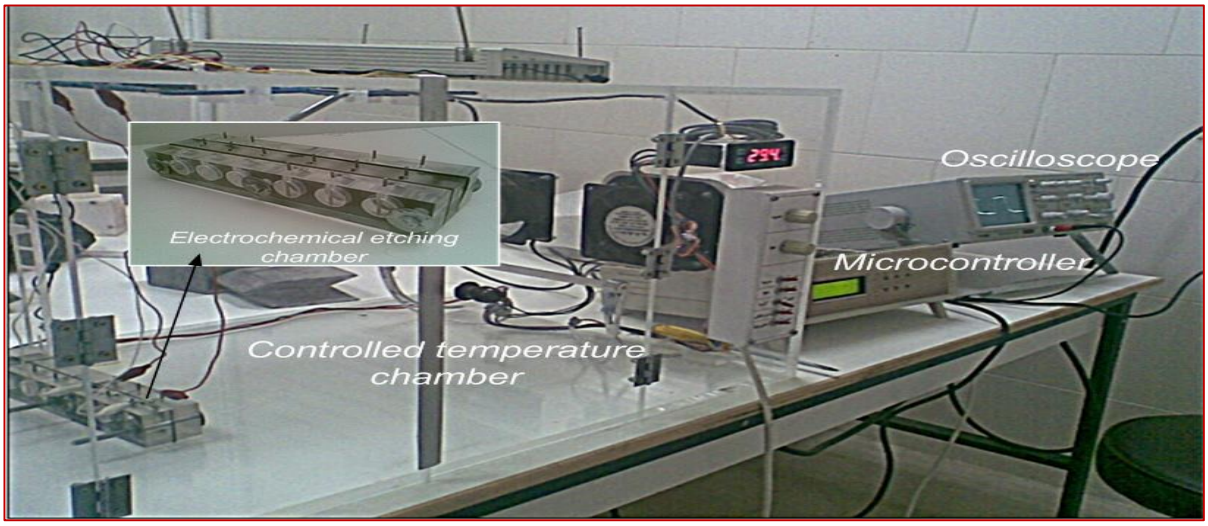
شمارش ردپاهای تابش آلفا و خورش الکتروشیمیایی

در تمام بررسی‌ها برای بزرگ کردن قطر ردپاها از روش خورش الکتروشیمیایی و برای انجام این کار از سلول‌ها یا اتاقک‌ها استفاده می‌شود. هر سلول از دونیمه متقارن استوانه‌ای شکل عایق (از جنس پلکسی گلاس) بین دونیمه عایق لاستیکی قرار می‌گیرد. پلیمر موردنظر بین دو عایق لاستیکی قرار داده می‌شود. محلول خورش در هر دونیمه اتاقک ریخته می‌شود. در خورش یک‌طرفه یک‌نیمه با محلول خورش و نیمه دیگر با یک محلول و الکترولیت که در اینجا از اسیدکلریدریک ۳٪ استفاده شده است، پر می‌شود. در هر نیمه یک الکترود قرار می‌گیرد که به هنگام کار به ولتاژ با فرکانس مناسب وصل می‌شود.

منبع ولتاژ متناوب که در خورش الکتروشیمیایی به کار گرفته‌شده شامل دو قسمت است. دستگاه مولد ولتاژ می‌تواند ولتاژ از صفر تا ۲۵۰۰ ولت را با فرکانس از یک کیلوهرتز تا صد کیلوهرتز به شکل مربعی یا سینوسی تأمین نماید. همچنین برای شمارش ردپاهای ایجادشده از یک اسکنر نوری باقدرت تفکیک و نرم‌افزار Image Processing استفاده شده است.

شرایط خورش الکتروشیمیایی

درزمینه‌ی ثبت ذرات آلفا در پلی کربنات بررسی لازم انجام‌شده و تجربیات مفیدی حاصل گردیده است. بر اساس این تجربیات محلول موسوم به PEW با درصد جرمی ۴۵ درصد آب و ۴۰ درصد الکل اتیلیک به همراه ۱۵ درصد پتاس به‌عنوان محلول خورش مناسب و ولتاژ ۸۰۰ ولت و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان شرایط مناسب خورش الکتروشیمیایی انتخاب شده‌اند (شکل ۱). برای ارزیابی تأثیر پیش خورش شیمیایی در قطر و تعداد ردپاها و همچنین زمان مناسب پیش خورش و خورش الکتروشیمیایی مطالعه‌ای با محلول و



شکل ۱- سیستم‌های کنترل دما و ولتاژ در خورش الکتروشیمیایی نمونه‌ها

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

خورش ذکرشده در بالا و نیز با محلول و خورش با درصد حجمی ۲۰ درصد الکل اتیلیک و ۸۰ درصد اسید انجام شده است. منظور از پیش خورش، خورش پلیمر آشکارساز با محلول خورش بدون اعمال ولتاژ الکتریکی در دو طرف پلیمر است. انجام پیش خورش برای کاهش ردپاهای زمینه و بالا بردن حساسیت آشکارساز به کار می‌رود. نتایج آزمایش‌ها بر روی پلیمرهای پرتو ندیده نشان می‌دهد که در اکثر موارد پیش خورش باعث افزایش دانسیته ردپا می‌شود. شرایط مناسب خورش شرایطی است که درصد ردپاهای زمینه نسبت به تعداد کل ردپاها کمتر و قطر ردپاها به‌اندازه کافی بزرگ باشد به‌طوری‌که در میدان شمارش موردنظر با میکروسکوپ دیده شوند. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده انتخاب ۱ ساعت خورش مقدماتی و ۵/۲ ساعت خورش الکتروشیمیایی می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که افزایش مدت خورش الکتروشیمیایی احتمال سوراخ شدن فیلم پلی کربنات و از بین رفتن اطلاعات را پیش می‌آورد (۱۶).

کالیبره کردن اتاقک نفوذی گاز رادن

با قرار دادن تعدادی از اتاقک‌های نفوذی گاز رادن در چند مکان موردنظر در یک دوره مساوی چند ماه می‌توان میزان رادن موجود در محیط‌های طبیعی مختلف را به‌طور نسبی سنجید و باهم مقایسه نمود. ولی برای تعیین غلظت گاز رادن یک محیط به‌طور مطلق باید اتاقک نفوذی را کالیبره نمود. برای کالیبره کردن آشکارسازهای رادن باید آن‌ها را در محیطی که غلظت گاز رادن در آن مشخص است قرار داده و پاسخ آن‌ها نسبت به رادن بررسی شود. روش کالیبره کردن اتاقک نفوذی گاز رادن به این صورت است که ابتدا برای تأمین یک محیط گاز رادن طبیعی مقداری پودر اورانیوم را با فراوانی ۳۷۱۱۰ ppm به‌عنوان چشمه گاز رادن درون یک دسیکاتور و سپس در داخل یک اتاقک دستکش‌دار قرار داده می‌شود. حجم هوای این اتاقک دستکش‌دار حدود ۳۳۳ لیتر است و یک محفظه کوچک حدود ۱۳/۵ لیتری با دو درب در کنار آن تعبیه شده است، این محفظه کوچک باعث کمترین تداخل هوای بیرون و درون اتاقک دستکش‌دار می‌شود. هنگامی‌که دزیمترهای رادن داخل آن اتاق وارد و یا از آن خارج شود، با اتاق دستکش‌دار دارای پمپ تخلیه هوا می‌توان هوای آن را در ارتفاع مناسبی در محیط باز تخلیه نمود. غلظت رادن هوای اتاقک دستکش‌دار را می‌توان توسط سلول‌های سنتیلاسیون و به کمک یک چشمه استاندارد رادن تعیین نمود. چشمه استاندارد از شرکت پیلون[5] و مدل ۱۵۰- RN دارای نمک خشک رادیومی است که با اورانیوم در حال تعادل بوده و همراه با گاز رادن تجزیه می‌گردد. رادیوم، گاز رادن و دختران همگی در حالت تعادل پرتوزایی قرار دارند. این چشمه می‌تواند با تغییرات بسیار ناچیز و کنترل‌شده تعداد ۵۰ سلول سنتیلاسیون تخلیه‌شده را به‌طور متوالی از گاز رادنی به مقدار ۵۱۷ Pci (۱۹Bq) پر نماید. سیستم اندازه‌گیری به روش سنتیلاسیون ساخت شرکت ابرلاین بوده و سلول‌های سنتیلاسیون از نوع SC-۳ و SC-۵ و فتوکاتد و فتومالتی پلایر به ترتیب مدل SAC – R۵ و Scaler از نوع ۲- MS هستند. سلول‌های سنتیلاسیون SC -۳، ۱۰۰ میلی‌لیتر و SC-۵، ۵۰۰ میلی‌لیتر حجم داشته و دو شیر بدون نشتی دارند و تمام سطوح داخلی آن‌ها با لایه‌ای از ZnS(Ag) پوشانیده شده است. حساسیت سلول‌های سنتیلاسیون را می‌توان با تخلیه و سپس پر کردن آن‌ها با ۱۹/۱۳ Bq گاز رادن به‌وسیله چشمه استاندارد و شمارش توسط سیستم شمارنده تعیین نمود. بر اساس تجربیات انجام‌شده حساسیت سلول‌های SC-۳ با حجم ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب برای هر بکرل گاز رادن – ۲۲۲ موجود در سلول که در حالت تعادل پرتوزایی با دختران کوتاه عمر باشد ۱۳۲/۴ cpm و یا به‌عبارت‌دیگر ۱۳/۲۴ $cpm/kBq\text{-}m^{-3}$ بوده است، همچنین حساسیت سلول‌های SC-۵ که ۵۰۰ سانتیمتر مکعب حجم دارند ۱۱۶/۲ برای هر بکرل گاز رادن– ۲۲۲ موجود در سلول و یا ۵۸/۱۱$cpm/kBq\text{-}m^{-3}$ است.

برای تعیین غلظت گاز رادن موجود در اتاقک دستکش‌دار دو سلول SC-۵ و SC-۳ استفاده می‌شود. ابتدا توسط سیستم شمارنده سنتیلاسیون شمارش زمینه سلول‌ها تعیین شد سپس سلول‌ها با پمپ خلأ تا حد امکان تخلیه گردید و از طریق محفظه کوچک آن‌ها را وارد اتاقک دستکش‌دار نموده و از هوای داخل آن پر شدند. البته جهت اینکه دختران کوتاه عمر رادن که در فضای اتاق دستکش‌دار وجود دارند وارد سلول‌ها نشوند درب یکی از دو شیر هر سلول را با قطعه کوچکی از فیلتر هوا (فایبرگلاس) قبلاً پوشانده و هنگام پر کردن سلول‌ها نیز شیر هوا به‌آرامی باز شد تا حالت تعادل پرتوزایی بین رادن – ۲۲۲ و دختران کوتاه عمر[6] آن در داخل سلول‌ها برقرار شود و سپس سلول‌ها شمارش

5. Pylon company

6. Short-life daughters

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

گردید. به کمک رابطه زیر شمارش خالص سلول‌ها تعیین شد.

$$R = R_S - R_R \pm \sqrt{\frac{R_S}{T_S} + \frac{R_B}{T_R}} \quad (۱)$$

که در آن R میزان شمارش خالص نمونه هوا (CPM)، R_S میزان شمارش کلی نمونه هوا (CPM)، R_R میزان شمارش زمینه سلول (CPM)، T_S زمان شمارش نمونه هوا (min) و T_R زمان شمارش زمینه سلول (min) است. میزان شمارش زمینه با انتخاب T_B = ۲۰ min و بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در مورد سلول‌های SC-۳، R_B = ۱/۰۶ CPM و در سلول‌های ۵- CPM، Sc R_B =۱/۳۴ به‌طور متوسط برآورد شده است. میانگین میزان شمارش نمونه هوای اتاق دستکش‌دار نیز با انتخاب T_S =۱۰ min با سلول‌های ۳-CPM، Sc R_S = ۳۰/۰۹ و با سلول‌های ۵-Sc, CPM R_S = ۱۱۵/۴ به‌دست‌آمده است. بنابراین می‌توانیم میزان شمارش خالص نمونه هوای اتاقک دستکش‌دار را محاسبه نماییم.

نحوه شمارش ردپاهای ایجادشده

پس از اتمام عمل خورش الکتروشیمیایی و ظاهر شدن ردپای ذرات آلفا، آشکارسازها توسط اسکنر نوری اسکن شده و تصویر ردپاها به‌صورت grey scale Image تهیه شد. این تصویر به نرم‌افزار Image Processing تحت MATLAB داده شده و تعداد ردپاها در واحد سانتی‌متر مربع به‌علاوه خطای شمارش به دست آمد و به‌این‌ترتیب تعداد ردپای ذرات آلفا در تمامی نمونه‌ها محاسبه گردید. برای تعیین تعداد ردپای زمینه فیلم‌ها، تعدادی فیلم پرتو ندیده را با همان شرایط آشکارسازهای پرتودیده مورد خورش الکتروشیمیایی قرار گرفت و تعداد میانگین ردپاهای آن‌ها در واحد سطح (ردپا در واحد سطح) تعیین شد. باکم کردن ردپای زمینه آشکارسازها و با در نظر گرفتن حساسیت دزیمتر نفوذی که به‌طور تجربی $\frac{tracks/cm^2}{Bq\,m^{-3}\,day}$ ۰/۰۱۵ تعیین شده است، مقدار غلظت گاز رادن با استفاده از فرمول $C_{RN}=\frac{N_T-N_o}{S.T}$ تعیین شد که در آن N_T تعداد ردپاهای هر آشکارساز در یک سانتی‌متر مربع، N_o تعداد ردپاهای زمینه آشکارساز در یک سانتی‌متر مربع، S حساسیت دزیمتر نفوذی گاز رادن و T زمان پرتوگیری هر آشکارساز به‌روز است. غلظت دختران رادن خیلی مهم‌تر از گاز رادن است. گاز رادن ازنظر شیمیایی یک عنصر خنثی است و در مقایسه با عناصر دختر خود آسیب کمتری به ریه‌ها می‌رساند. غلظت عناصر دختر رادن از حاصل‌ضرب فاکتور تعادل بین رادن و عناصر دختر آن در غلظت رادن به دست می‌آید. کمیته علمی سازمان ملل متحد درباره اثرات پرتوهای یون‌ساز پیشنهاد کرده است که فاکتور تعادل ۰/۴ در نظر گرفته شود. برای محاسبه معادل دز مؤثر تمام بدن با توجه به این‌که هر فرد ۸۰ درصد وقت خود را در محیط بسته می‌گذراند (۳۶۵×۲۴×۰/۸ ساعت در سال) فاکتور تبدیل $\frac{mSv}{Bq.m^{-3}.hr}$ ۹×۱۰$^{-۶}$ برای محاسبه دز مؤثر تمام بدن در نظر گرفته شده است.

نتایج

جدول ۱ نتایج شمارش و اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در ۱۰ نمونه جمع‌آوری‌شده در شش ماه اول سال ۱۳۹۵ در منازل

جدول ۱- نتایج شمارش نمونه‌ها در شش ماه اول سال ۱۳۹۵

شماره نمونه‌گیر	تعداد ردپاها	دانسیته رد پا	قطر متوسط ردپا و دقت ±µm
۱	۱۹۶۱	۶۲۴	۱۵۰/۲± ۷۰/۱ µm
۲	۲۹۰۱	۹۲۳	۱۵۰/۲± ۵۹/۱ µm
۳	۱۶۷۵	۵۳۳	۱۵۰/۲± ۶۵/۹ µm
۴	۱۶۱۸	۵۱۵	۱۵۰/۲± ۷۰/۱ µm
۵	۱۲۶۲	۴۰۲	۱۵۰/۶± ۴۳/۷ µm
۶	۱۳۹۳	۴۴۳	۱۵۰/۱± ۴۴/۶ µm
۷	۱۹۳۰	۶۱۴	۱۵۰/۸±۴۵/۰ µm
۸	۳۸۱۳	۱۲۱۴	۱۵۱/۰± ۷۰/۹ µm
۹	۲۱۴۰	۶۸۱	۱۵۱/۸± ۶۰/۵ µm
۱۰	۱۸۵۰	۵۸۹	۱۵۰/۶± ۴۱/۷ µm

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]



شکل ۲- موقعیت ده نقطه نمونه‌برداری رادن در منازل مسکونی شهر فسا

مسکونی شهر فسا نشان می‌دهد. در این جدول شماره نمونه‌گیر، تعداد ردپاهای شمارش‌شده، قطر متوسط ردپا و دقت اندازه‌گیری این قطر را نشان می‌دهد. شکل ۲ نقشه شهر فسا و موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

جدول ۲ خلاصه نتایج اندازه‌گیری‌ها در هر یک از نقاط نمونه-گیری شهر فسا را نشان می‌دهد. در این جدول شماره نمونه‌گیر، آدرس محل نصب، موقعیت جغرافیائی[7] (GPS)، مدت‌زمان نمونه‌گیری، شمارش ردپاهای رادن و میزان غلظت رادن برحسب (Bq/m^3) را نشان می‌دهد.

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار Surfer نگارش ۱۰، به‌صورت نقشه پراکنش غلظت گاز رادن در سامانه اطلاعات جغرافیایی[8] (GIS) به تصویر کشیده شده است. در این تحقیق از روش برونیابی Nearest Neighbourhood استفاده گردیده است که از دقیق‌ترین روش‌های برونیابی برای داده‌های زمین است.

7. Global Positioning System

8. Geographic Information System

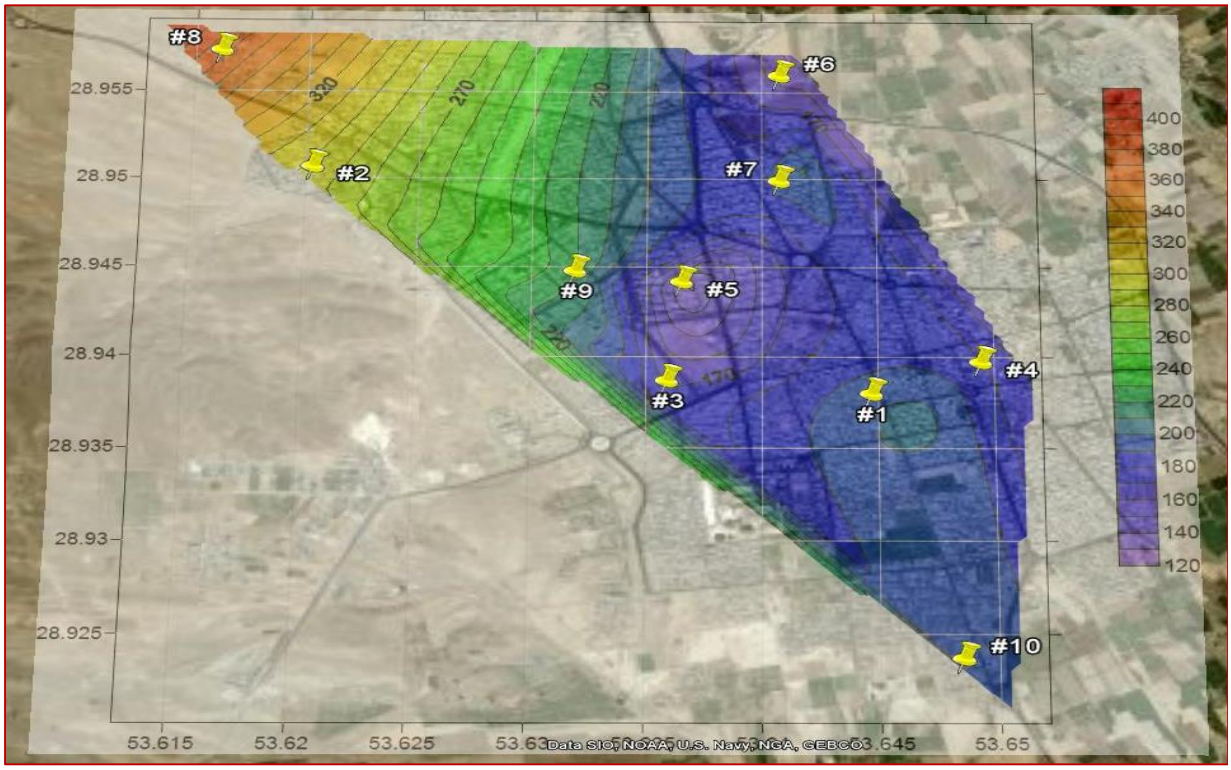
[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

نقشه پراکنش غلظت گاز رادن در سطح شهر فسا بر روی نقشه طبیعی زمین از سامانه Google Earth Pro 5 به‌صورت یک‌لایه Overlay اضافه گردیده که در شکل ۲ آورده شده است. شکل ۳ نقشه‌های پراکنش غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر فسا

جدول ۲- خلاصه نتایج اندازه‌گیری‌ها در شش ماه اول سال ۱۳۹۵

شماره نمونه‌گیر	آدرس نمونه‌برداری	طول جغرافیائی	عرض جغرافیائی	مدت‌نمونه برداری (روز)	تعداد ردپاها	اکتیویته رادن (Bq/m^3)
۱	خیابان شهید منتظری	۲۸/۹۳۶۷۶	۵۳/۶۴۶۴۸	۱۸۶	۱۹۶۱	۲۰۶
۲	فاز ۳	۲۸/۹۵۱۴۱	۵۳/۶۱۷۸۱	۱۸۶	۲۹۰۱	۳۱۳
۳	بلوار هلال‌احمر	۲۸/۹۳۷۷۱	۵۳/۶۳۵۵۵	۱۸۶	۱۶۷۵	۱۷۳
۴	میدان شهدا	۲۸/۹۳۸۷۸	۵۳/۶۵۲۰۴	۱۸۶	۱۶۱۸	۱۶۷
۵	میدان قیام	۲۸/۹۴۳۹۱	۵۳/۶۳۶۸۴	۱۸۶	۱۲۶۲	۱۲۶
۶	بلوار صاحب‌الزمان	۲۸/۹۵۷۵۶	۵۳/۶۴۱۸۴	۱۸۶	۱۳۹۳	۱۴۱
۷	خیابان فلسطین	۲۸/۹۵۰۵۲	۵۳/۶۴۱۸۳	۱۸۶	۱۹۳۰	۲۰۲
۸	فاز ۵	۲۸/۹۵۹۱۷	۶۳/۶۱۲۸۹	۱۸۶	۳۸۱۳	۴۱۷
۹	فاز ۲	۲۸/۹۴۴۶۱	۵۳/۶۳۱۳۹	۱۸۶	۲۱۴۰	۲۲۶
۱۰	خیابان عشایری	۲۸/۹۲۰۳۶	۵۳/۶۵۰۹۳	۱۸۶	۱۸۹۵	۱۹۳



شکل ۳- نقشه پراکنش غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر فسا در شش ماه اول سال ۱۳۹۵

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

را نشان می‌دهد. این نقشه با ۱۰ داده اولیه در جدول ۲ ترسیم شده است. در این اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در سطح شهر فسا بین ۱۴۱ تا ۴۱۷ بکرل در مترمکعب متغیر بوده است. این مقدار از میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی کشورهای آلمان غربی، کانادا و انگلستان بیشتر است. نقاط با غلظت بالا به رنگ قرمز و نقاط با غلظت پائین به رنگ بنفش نشان داده شده است. راهنمای تبدیل رنگ‌ها به غلظت گاز رادن در سمت راست نقشه دیده می‌شود.

داده‌های به‌دست‌آمده شش ماه دوم سال ۱۳۹۵ نیز با استفاده از روش مشابه شش ماه اول موردبررسی قرار گرفت. در این اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در سطح شهر فسا در شش ماه دوم سال ۱۳۹۵ مانند شش ماه اول بین ۱۴۰ تا ۴۱۵ بکرل در مترمکعب متغیر بوده است و کلیه داده‌ها تقریباً مانند جداول ۱ و ۲ می‌باشند. بر اساس این اندازه‌گیری در شهر فسا در هر دو نیمسال ناحیه شمال غربی غلظت‌های بالاتر از ۱۴۸ بکرل در مترمکعب مشاهده می‌شود که این میزان بالاتر از غلظت‌های استاندارد در منازل مسکونی است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش کار شامل خورش شیمیائی، کالیبراسیون و شمارش نمونه‌های جمع‌آوری‌شده گاز رادن در منازل مسکونی شهر فسا در استان فارس بیان شد. نمونه‌های حاصل از شش ماه اول و دوم سال ۱۳۹۵ در سطح شهر فسا به‌منظور بررسی وضعیت کلی غلظت گاز رادن جمع‌آوری، آنالیز، شمارش و میزان غلظت گاز در این نمونه‌ها مشخص گردید. وضعیت کلی غلظت گاز در شهر فسا در نقشه پراکنش ارائه گردید و میزان غلظت گاز در این شهر موردبررسی قرار گرفت. بر اساس این اندازه‌گیری‌ها در ناحیه شمال غربی فسا غلظت‌های بالاتر از ۱۵۰ بکرل در مترمکعب مشاهده می‌شود که این میزان بالاتر از غلظت‌های استاندارد در منازل مسکونی است و ساکنین در این مناطق در معرض ابتلا به سرطان ریه هستند. بر اساس اطلاعات جنبی مانند مشخصات بنا و نحوه تهویه و اطلاعات ژئولوژی زمین می‌توان به علت بالا بودن غلظت پی برد و راهکارهای لازم برای کاهش غلظت را ارائه داد. پیشنهاد می‌گردد در این ناحیه از شهر ورودی‌های اصلی رادن در مجاری و منافذ موجود در فونداسیون ساختمان‌ها بسته شود و از سیستم لوله‌های خروج گاز و هواکش برای خروج رادن استفاده شود. با روش مکش خاک از طریق لوله‌های تعبیه‌شده از زیر ساختمان، رادن تجمع یافته به هوای آزاد منتقل گردد. با به‌کارگیری فن یک جریان هوا به داخل زیرزمین و طبقات تحتانی از طبقات فوقانی یا از خارج انجام گیرد. تهویه هوا به‌طور طبیعی، استفاده از یک چاهک فاضلاب کوچک و رنگ‌آمیزی دیوارها با استفاده از رنگ‌های غیرقابل نفوذ راهکارهای دیگری برای کاهش گاز رادن می‌باشند.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی در دانشگاه پیام نور واحد جهرم با کد ۳۳۰۳ است و لذا از این دانشگاه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی را اعلام نکرده اند.

References

1. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: Incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization. 2008.
2. Schmid K, Kuwert T, Drexler H. Radon in indoor spaces: an underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. Deutsches Arzteblatt international. 2010 Mar;107(11):181.
3. Logue JM, Price PN, Sherman MH, Singer BC. A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in US residences. Environmental Health Perspectives. 2011 Nov 17;120(2):216-22.
4. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, William Field R,et al. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2006 May 1;69(7-8):533-97.
5. Tirmarche M, Harrison JD, Laurier D, Paquet F, Blanchardon E, Marsh JW. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. Annals of the ICRP. 2010 Feb;40(1):1-64.

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

6. Cogliano VJ, Baan R, Straif K, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Freeman C, Galichet L. Preventable exposures associated with human cancers. Journal of the National Cancer Institute. 2011 Dec 12;103(24):1827-39.
7. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F,et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. Bmj. 2005 Jan 27;330(7485):223.
8. Center MM, Jemal A, Lortet-Tieulent J, Ward E, Ferlay J, Brawley O, Bray F. International variation in prostate cancer incidence and mortality rates. European urology. 2012 Jun 1;61(6):1079-92.
9. Yoon JY, Lee JD, Joo SW, Kang DR. Indoor radon exposure and lung cancer: a review of ecological studies. Annals of occupational and environmental medicine. 2016 Dec;28(1):15.
10. Protection R. ICRP publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2.4):2.
11. Barros-Dios JM, Ruano-Ravina A, Gastelu-Iturri J, Figueiras A. Factors underlying residential radon concentration: results from Galicia, Spain. Environmental Research. 2007 Feb 1;103(2):185-90.
12. Kitto ME, Green JG. Mapping the indoor radon potential in New York at the township level. Atmospheric Environment. 2008 Nov 1;42(34):8007-14.
13. Fahiminia M, Fard RF, Ardani R, Naddafi K, Hassanvand MS, Mohammadbeigi A. Indoor radon measurements in residential dwellings in Qom, Iran. International journal of radiation research. 2016 Oct 1;14(4):331-9.
14. Rinker GH, Hahn EJ, Rayens MK. Residential radon testing intentions, perceived radon severity, and tobacco use. Journal of environmental health. 2014 Jan 1;76(6):42-7.
15. Bochicchio F. The newest international trend about regulation of indoor radon. Radiation protection dosimetry. 2011 May 11;146(1-3):2-5.
16. Arafa W. Permeability of radon-222 through some materials. Radiation measurements. 2002 Jun 1;35(3):207-11.

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]

Original Article

Determination of Radon Gas Concentration in Fasa Residential Houses and the Effects of Inhalation on the Incidence of Lung Cancer

Bahmani J[1*], Ghulampour Y[2]

1. Department of Physics, Tehran University of Payam Noor, Tehran, Iran
2. Department of Internal Medicine, Clinical Research Development Unit of Vali Asr Hospital, Fasa University of Medical Sciences,Fasa,Iran

Received: 21 Apr 2018 Accepted: 07 Dec 2018

Abstract

Background & Objective: The present research project is based on the common ground in nuclear and medicine science. The purpose is to determine the concentration of radon gas in residential homes in Fasa in 1395 for investigating the effects of its inhalation on the incidence of lung cancer in residents of the home.

Material & Methods: Among the residential houses, 10 houses were selected in different parts of the city and 20 samples of radon gas infiltration system were installed in these houses in 1395. In this research, using electrochemical stew method, the detectors were scanned by optical scanners and then images of alpha tracks were prepared in the form of image grey scale. After that, with the help of image processing software and using the passive dosimeter method, the mean concentration of radon was determined during a given period of time.

Results: The results of counting and measuring the concentration of radon gas in 20 samples collected in two first and second six-month periods of residential buildings were investigated and evaluated. The results showed that radon gas concentrations in Fasa during the first and second six months of 1395 fluctuated from 141 to 417 Becquerel per cubic meter.

Conclusion: In both period north-west parts of the Fasa, concentrations above 150 Becquerel per cubic meter was found to be higher than standard concentrations in residential homes, and residents in these areas were at risk of lung cancer. At the end of the article, there are some strategies to reduce the concentration of radon in homes.

Keywords: Radon, Lung Cancer,Alpha, Radiation

***Corresponding Author: : Bahmani Javad,** Department of Physics, Tehran University of Payam Noor, Tehran, Iran
E-mail: Bahmanix22@yahoo.com
https://orcid.org/ 0000-0001-7334 243X

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22285105.2019.9.1.2.5]