



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## مطالعه غلظت رادن در محیط‌های مسکونی شهرستان طارم-زنجان

آزاده توکلی<sup>\*</sup>، عبدالحسین پری‌زنگنه، یونس خسروی، پریسا همتی  
گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** رادن بعلت تاثیرگذاری بر سلامت بسیار مورد توجه است. مناطق شمالی ایران پتانسیل بالای انتشار رادن دارند و پژوهش حاضر به اندازه‌گیری غلظت رادن در منازل مسکونی شهرستان طارم-زنجان و مقایسه آن با مقادیر استاندارد و مجاز بین‌المللی پرداخته است. روش بررسی: سیستم غیرفعال با استفاده از آشکارسازهای رد پای هسته‌ای حالت جامد (SSNTD) بواسطه توانایی در تعیین غلظت زمینه و بازه زمانی درازمدت برای این پژوهش انتخاب و تعداد ۳۰ آشکارساز براساس شبکه‌بندی مشخص در ساختمان‌های مسکونی مناطق چورزق، آب‌بر و گیلوان از توابع طارم-استان زنجان، برای مدت ۳ ماه استقرار و پس از این مدت آشکارسازها برای شمارش تعداد ردپاها به آزمایشگاه ارسال شده است. یافته‌ها: براساس نتایج، میانگین غلظت رادن چورزق  $220/51 \text{ Bq/m}^3$ ، آب‌بر  $95/25 \text{ Bq/m}^3$  و گیلوان  $119/84 \text{ Bq/m}^3$  بدست آمد. میانگین غلظت رادن در طارم را می‌توان معادل  $130/57 \text{ Bq/m}^3$  برآورد کرد. براساس مقادیر P-value میان غلظت رادن با سن ساختمان و تعداد ساکنین رابطه‌ای دیده نمی‌شود. در مقایسه نتایج این پژوهش با استاندارد پیشنهادی USEPA، از مجموع نمونه‌ها تنها یک مورد در محدوده سطح هدف رادن، ۱۵ مورد در بازه متوسط تا سطح عمل و باقی در مواجهه با سطح بالایی از رادن و نیازمند اقدامات اصلاحی هستند. نسبت به خطوط راهنمای WHO نیز ۱۲ نمونه کمتر از حد مرجع و باقی نمونه‌ها در سطح بالاتر قرار می‌گیرند. نتیجه‌گیری: براساس نتایج این پژوهش و دیگر مطالعات، مواردی چون آنالیز خاک قبل از ساخت و ساز، بکارگیری مصالح مقاوم در برابر نشت و نفوذ و پایش مداوم سطح رادن در منطقه پیشنهاد می‌شود.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۵  
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۳/۰۲  
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۷  
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: اندازه‌گیری، رادن، سنجنده CR-39، طارم، زنجان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
atavakoli@znu.ac.ir

## مقدمه

رادن بعنوان مهمترین منبع طبیعی پرتوزایی (۱)، گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌طعم است که چگالی آن هشت برابر هوا تخمین زده شده است. گاز رادن حاصل فروپاشی رادیواکتیو رادیوم ۲۲۶ است، نیمه عمر آن ۳/۸۲ روز (۲، ۳) و غلظت آن در محیط تحت تاثیر محتوای رادیوم ۲۲۶ ( $^{226}\text{Ra}$ )، تخلخل، نفوذپذیری و دیگر موارد تغییر می‌کند (۴). این گاز تنها با تجهیزات خاصی قابل اندازه‌گیری و ردگیری است و به همین دلیل تشخیص غلظت آن در محیط‌های بسته دشوار است. رادن از طرق مختلفی می‌تواند به محیط‌های بسته و درون ساختمان‌ها راه پیدا کند. بعنوان نمونه تغییرات فشار در سطوح مختلف داخل ساختمان و اثر دودکشی می‌تواند باعث راهیابی این گاز از محیط بیرون به داخل ساختمان شود و این مسئله در فصول سرد سال با شدت بیشتری رخ می‌دهد. وجود ترک، درز و شکاف در کف ساختمان نیز مسیر ورود گاز رادن از خاک زیر ساختمان به داخل را فراهم می‌کند.

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) در سال ۱۹۸۸ این گاز را بعنوان عامل سرطان ریه در انسان شناسایی کرد. همچنین سازمان جهانی بهداشت (WHO) رادن را، پس از استعمال سیگار، بعنوان دومین عامل شایع بروز سرطان ریه در انسان معرفی کرده است (۵، ۶). علایم مواجه طولانی مدت با رادن پس از گذشت چندین سال بروز می‌کند و ممکن است فرد را در خطر ابتلا به سرطان ریه قرار دهد (۷). بر طبق آمارها، نرخ مرگ و میر ناشی از سرطان ریه، به واسطه مواجهه با رادن در افراد سیگاری و غیرسیگاری، به ترتیب ۱۱ و ۲۳ درصد گزارش شده است (۸). در طی چند دهه اخیر، به واسطه اثرات سوء این گاز بر سلامت انسان و با هدف بازنگری سیاست‌های ملی و بهبود فرایند ساخت و ساز در کشورهای مختلف، اندازه‌گیری غلظت رادن توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. علاوه بر این، در اکتشافات ژئوشیمیایی اورانیوم، در مواردی که دیگر روش‌ها کارایی مورد نظر را نداشته باشند، اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در نزدیکی سطح و در مجاورت معادن سطحی پنهان می‌تواند بعنوان راهکار

تشخیصی مورد استفاده قرار گیرد (۹). ارزیابی غلظت رادن به دلایل زیادی از چند دهه قبل مورد توجه محققان و متخصصان قرار گرفت. بعنوان نمونه در سال ۱۹۹۲ و با هدف ایجاد بانک اطلاعاتی رادن، پژوهشی در فرانسه صورت گرفت و غلظت رادن در زمین و محیط‌های باز مورد ارزیابی قرار گرفت (۴). در پژوهش دیگری اطلاعات مربوط به غلظت رادن در بازه زمانی ده ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۴) در کشور سوئیس برای بسط مدل پیش‌بینی غلظت این آلاینده در کلیه مناطق این کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۱۰). در جمهوری مولداوی نیز در راستای تحقق اهداف برنامه اقدام ملی (NAP) و راهکار ملی رادن (NRS) نقشه غلظت رادن براساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری در این کشور تدوین شد (۱۱). ارزیابی روند پخش و پراکنش آلاینده رادن در محیط‌های بسته با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) (۱۲)، بررسی انتشار رادن براساس جنس مصالح ساختمانی در کشور هند (۱۳) و تاثیر دکوراسیون داخلی و مواد مورد استفاده در محیط‌های بسته بر سطح انتشار رادن (۱۴) از جمله پژوهش‌های بین‌المللی اخیر در این حوزه است. اندازه‌گیری غلظت رادن در کشور ایران از سال ۱۳۴۷ آغاز (۱۵) و سازمان انرژی اتمی ایران (AEOI) بعنوان متولی این بخش، به معرفی و توسعه روش‌های اندازه‌گیری رادن پرداخت (۱۶، ۱۷). در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی با موضوع اندازه‌گیری سطح رادن در محیط‌های بسته و مسکونی، مناطق باز شهری و معادن شکل گرفته و ارتباط میان غلظت این آلاینده و بیماری‌های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. غلظت رادن ۲۲۲ در چند معدن (شامل سه معدن فلز و هفت معدن ذغال‌سنگ) موضوع پژوهشی در کشور ایران بود که در نتیجه آن میانگین غلظت برای معادن زیرزمینی ذغال‌سنگ در محدوده  $3\text{ Bq/m}^3$  تا  $500\text{ Bq/m}^3$  و مقدار برای معدن منگنز رباط کریم  $3\text{ Bq/m}^3$  تا  $1330\text{ Bq/m}^3$  و مقدار ناچیزی برای معدن منگنز قم گزارش شد (۱۸). ارزیابی سطح رادن در منطقه رامسر، بعنوان یکی از مناطقی که انتظار می‌رود از بالاترین سطح رادن در ایران و حتی جهان برخوردار باشد، مورد توجه بسیاری محققان قرار گرفته است (۲۱-۱۹). به

انجام شد و مشاهده شد میانگین غلظت معادل رادن منطقه در محدوده  $33/06 \text{ Bq/m}^3 \pm 57/6$  است و براساس ارزیابی‌ها تنها ۵/۴ درصد از نمونه‌ها رقمی بالاتر از سطح استاندارد پیشنهادی WHO را نشان می‌دهد (۲۷).

برای اندازه‌گیری غلظت رادن  $^{222}\text{Rn}$  و دختران آن در محیط، بر مبنای غلظت زمینه و دقت مورد نیاز، از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود. تکنیک‌های اندازه‌گیری رادن براساس سه ویژگی، (۱) روش اندازه‌گیری، (۲) بازه زمانی و (۳) روش تشخیص انتشار ماده رادیواکتیو (شامل ذرات آلفا، بتا و یا تابش گاما حاصل از واپاشی رادیواکتیو) تقسیم‌بندی می‌شوند. اغلب روش‌های متداول بر مبنای اندازه‌گیری ذرات آلفا استوار هستند. در برخی موارد (روش  $\text{RAD}_7$ ) تنها یک ذره آلفا (بعنوان نمونه  $^{218}\text{Po}$  در  $^{222}\text{Rn}$ ) و در برخی موارد هر سه ذره آلفا که در خلال واپاشی رادن  $^{222}\text{Rn}$  تولید می‌شوند (شامل  $^{222}\text{Rn}$ ،  $^{218}\text{Po}$  و  $^{214}\text{Po}$ ) با استفاده از شمارنده‌های درخششی (Scintillation counter) مورد شمارش قرار می‌گیرند. در برخی روش‌ها موسوم به تکنیک نمونه‌برداری لحظه‌ای (Grab Sampling)، اندازه‌گیری در بازه زمانی بسیار کوتاه (در مقایسه با نیمه عمر رادن  $^{222}\text{Rn}$  - ۳/۸۲ روز) در نقطه نمونه‌برداری انجام می‌شود. اندازه‌گیری رادن در آب‌های زیرزمینی، آب شرب، آب دریا و نمونه‌های هوا مثال‌هایی از کاربرد این تکنیک هستند. در روش‌های پیوسته، غلظت رادن  $^{222}\text{Rn}$  در نمونه‌ها (شامل گاز، خاک، هوا و آب) بصورت سری‌های زمانی اندازه‌گیری می‌شود و فرایند نمونه‌برداری و شمارش بصورت همزمان انجام می‌شود. سومین روش یا همان تکنیک یکپارچه (Integrating technique)، غلظت یکسانی برای بازه زمانی مشخص (بطور معمول چند روز تا چند ماه) ارائه می‌دهد. این تکنیک برای تعیین میانگین ماهیانه یا متوسط سالیانه رادن  $^{222}\text{Rn}$  در ساختمان یا محلی مشخص مناسب است. سنجنده‌های غیرفعال مثال‌های ارزان قیمتی از این روش اندازه‌گیری به‌شمار می‌روند. آشکارسازهای رد پای هسته‌ای حالت جامد (SSNTD) که در گروه سوم (تکنیک یکپارچه) واقع می‌شوند در ثبت علائم اولیه

دنبال نتایج بدست آمده از این پژوهش‌ها و تاثیر غلظت رادن بر بروز سرطان ریه، پژوهش دیگری شکل گرفت که در طی آن میزان ابتلا به سرطان ریه در هشت بخش رامسر و در بازه زمانی ۲ سال مورد بررسی قرار گرفت و خوشبختانه نتایج بیانگر وجود همبستگی منفی میان نرخ ابتلا به سرطان ریه با غلظت رادن بود (۲۱). نتایج پژوهش Mowlavi و همکاران که به ارزیابی ۱۴ نمونه از منابع تامین آب شرب منطقه رامسر پرداخته بودند حاکی از آن بود که غلظت رادن در همه نمونه‌ها بالاتر از مقدار نرمال  $10000 \text{ Bq/m}^3$  است (۲۲). غلظت بالای رادن در منطقه رامسر احتمال غلظت بالای این آلاینده در مناطق مجاور را در پی داشت. به همین دلیل روند تغییرات غلظت رادن در یک بازه زمانی ۲ ساله در چهار شهر لاهیجان، اردبیل، سرعین و نمین با دو روش فعال و غیرفعال مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد شهرهای اردبیل و لاهیجان، پس از رامسر، از بالاترین سطح رادن در منطقه برخوردار هستند. متوسط غلظت در طی یک سال برای لاهیجان، اردبیل، سرعین و نمین به ترتیب ۱۶۳، ۲۴۰، ۱۶۰ و  $144 \text{ Bq/m}^3$  ارزیابی شد (۲۳).

به دنبال این مطالعه غلظت رادن در مناطق مسکونی و الگوی تغییرات در فصول مختلف سال در استان همدان مورد توجه قرار گرفت. براساس این مطالعه بالاترین و پایین‌ترین غلظت به ترتیب در فصول زمستان و پاییز رویت شد (۲۴). اندازه‌گیری سطح رادن در مناطق مسکونی شهر شیراز و در طبقات مختلف ساختمان نیز نشان داد میانگین غلظت اندازه‌گیری شده در این شهر در محدوده مجاز و استاندارد قرار دارد و نیازی به تدابیر احتمالی برای کنترل انتشار رادن در این نواحی احساس نمی‌شود (۲۵). ارزیابی سلامت عمومی در اثر مواجهه با رادن و ارائه راهکارهای کاهش غلظت این محرک در مشهد موضوع پژوهش دیگری بود که در راستای آن ۱۵۰ آپارتمان مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که در نزدیک به ۹۴/۷ درصد موارد غلظت رادن کمتر از  $100 \text{ Bq/m}^3$  و بنابر دستورالعمل WHO نیازی به اقدام جدی برای کنترل رادن احساس نشد (۲۶). ارزیابی سطح رادن در شهر شیراز مجدداً در سال ۲۰۱۵

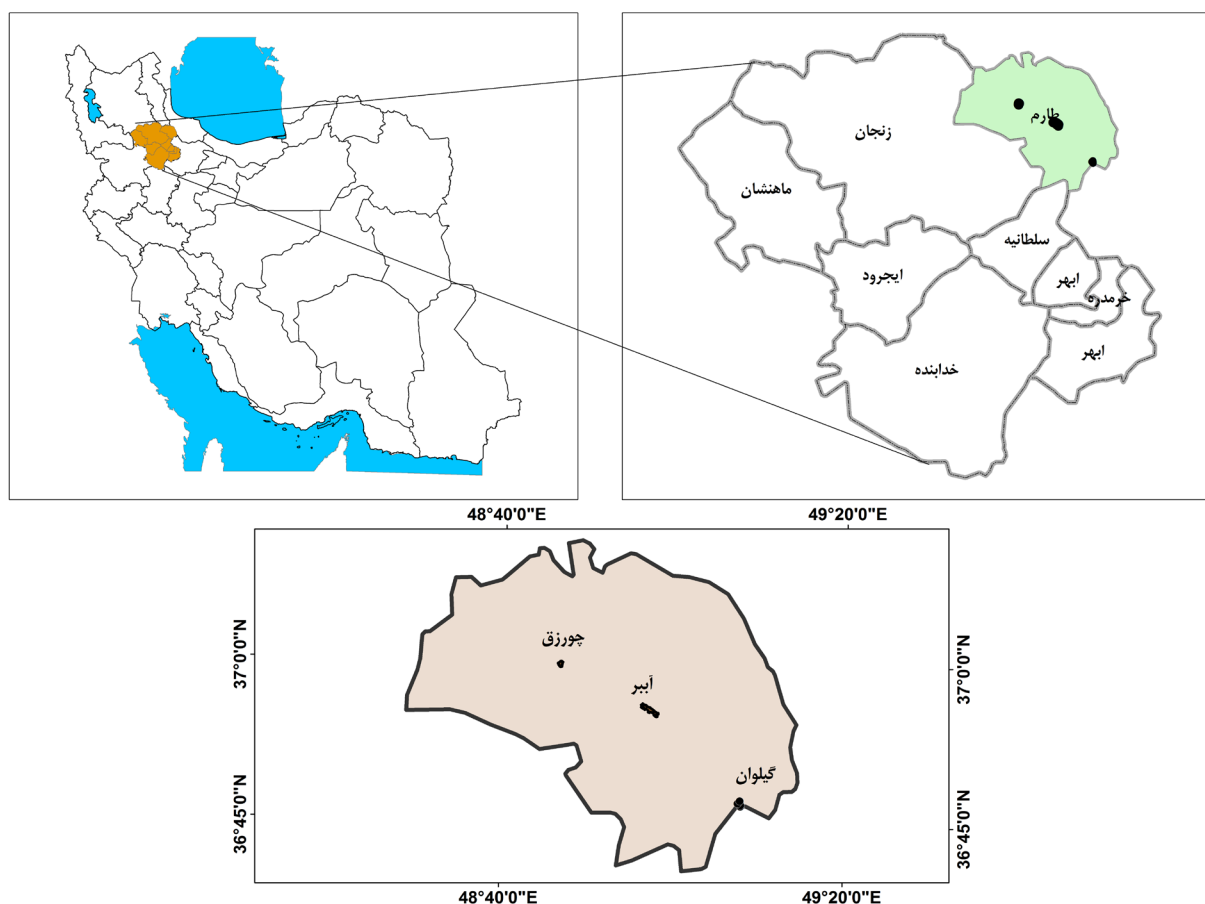
این آشکارسازها ثابت نمی‌شود (۲۹).

### مواد و روش‌ها

بر اساس هدف مورد نظر و نیز دو مزیت امکان سنجش و اندازه‌گیری به روش بصری و نیز دقت بالای ثبت پرتوهای رادن بر آشکارسازهای رد پای هسته‌ای جامد (SSNTD) در پژوهش حاضر تلاش شده است از این آشکارسازها برای تعیین میزان غلظت رادن در منازل مسکونی شهرستان طارم استفاده شود. شهرستان طارم یکی از شهرستان‌های هشت‌گانه استان زنجان است که از شمال به استان‌های اردبیل و گیلان، از شرق به استان قزوین، از جنوب به شهرستان زنجان و سلطانیه محدود است. این شهرستان با مساحتی بالغ بر  $2235 \text{ km}^2$  در مدار جغرافیایی  $30^{\circ} 48'$  تا  $10^{\circ} 49'$  طول جغرافیایی از نصف‌النهار گرینویچ و نیز عرض شمالی  $33^{\circ} 36'$  تا  $15^{\circ} 37'$  بین دو رشته کوه طارم و تالش در شمال و جنوب حوضه و در ناحیه البرز غربی واقع شده است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

نرخ تعویض و تبادل هوا ((air change rate per hour (ach)) تاثیر قابل توجهی بر سطح رادن در محیط خواهد داشت. نشی به واسطه وجود درز و ترک، تهویه طبیعی از طریق در و پنجره‌ها و تهویه مکانیکی با کمک تجهیزات هواساز روش‌های مختلفی هستند که می‌توانند این میزان تبادل را فراهم کنند. لازم به ذکر است مناطق سردسیر و کوهستانی، به واسطه تامین نیاز گرمایشی و کاهش مصرف انرژی، نرخ تبادل هوای کمتری را تجربه و در نتیجه از منظر آلودگی هوای محیط‌های بسته بیشتر مورد توجه هستند. در پژوهش‌های قبلی اشاره شده بود که بازه زمانی ۹۰ روزه از نظر زمانی تا حدودی بیانگر غلظت رادن سالانه در یک محیط است. هر چند تغییر عوامل اقلیمی استفاده از ضرایب اصلاحی را در پی دارد (۳۲-۳۰). با این رویکرد اندازه‌گیری غلظت رادن در فصل زمستان و در بازه زمانی  $94/10/16$  تا  $95/1/16$  صورت گرفته که به واسطه سرما کمترین نرخ تعویض و تبادل هوا در جریان است و بتوان بیشینه سطح مواجهه افراد با رادن را برآورد کرد. اندازه‌گیری غلظت در طبقات پایینی نیز امکان برآورد بالاترین سطح مواجهه

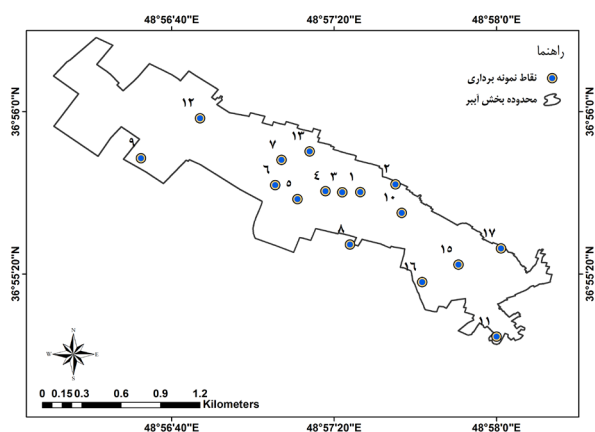
راديو اکتیو رادن و انتشار ذرات آلفا از پتانسیل بالایی برخوردار هستند. بعلاوه، توانایی توسعه روش‌های ساده و کمی برای اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های رادن از دیگر پتانسیل‌های این نوع آشکارسازها است. رد پای ذرات آلفا بر روی مواد پلی کربنات از قبیل پلی کربنات بیس فنول A، لکسان، آلپل دیگلیکول کربنات و CR-39 ماندگار و قابل مشاهده است (۲۸). به واسطه حساسیت، یونیزاسیون مناسب و پایداری در برابر عوامل محیطی مختلف، ماده CR-39 (پلی کربنات) بعنوان فناوری روز در تهیه آشکارسازهای محیطی رادن مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از تکنیک آشکارساز جامد، نه تنها اندازه‌گیری غلظت رادن در هوا، آب و دیگر مواد امکان‌پذیر است، بلکه می‌توان به دزیمتری بیولوژیکی، طراحی نرخ تهویه منازل، اکتشاف منابع هیدروکربنی و اورانیوم و تعیین نرخ تنفس زمین با هدف هشداردهی در مورد وقایع زمین‌شناسی قریب‌الوقوع مانند زمین لرزه و فوران آتشفشانی اشاره کرد (۲۸). این تکنیک ساده و ارزان قیمت باید در بازه زمانی چند هفته تا یک سال در محیط مورد نظر قرار گیرد تا با دقت بالا و هزینه پایین بتواند غلظت رادن محیطی را اندازه‌گیری کند. پس از سپری شدن زمان مواجهه، فیلم در محلول آلکالین (بعنوان مثال NaOH یا KOH) قرار می‌گیرد تا سایز آشکارساز افزایش و دانسیته (تعداد ردپاها در واحد سطح) به راحتی توسط میکروسکوپ نوری یا اسکن اتوماتیک و فناوری شمارش تعیین شود. این روش برای اندازه‌گیری غلظت رادن ۲۲۲ در محیط‌های بسته در بازه‌های زمانی کوتاه مدت چندان قابل اعتماد نیست اما برای تعیین متوسط سالیانه یا بلندمدت بسیار مناسب است. دو مزیت مهم و منحصربفرد آشکارسازهای رد پای هسته‌ای جامد عبارت است از: (۱) انرژی ذرات آلفا ناشی از فروپاشی رادن ۲۲۲ و محصولات آن (ذرات آلفا حاصل از فروپاشی  $^{218}\text{Po}$ ،  $^{222}\text{Rn}$  و  $^{214}\text{Po}$ ) به اندازه کافی یونیزه‌کننده و می‌تواند اثری قابل رویت بر روی اغلب مواد پلیمری جامد به جای بگذارند (۲) دیگر تابش‌های خفیف و یونیزه‌کننده از قبیل پرتوهای بتا و گاما ناشی از راديو اکتیوهای طبیعی و اشعه‌های کیهانی بر روی



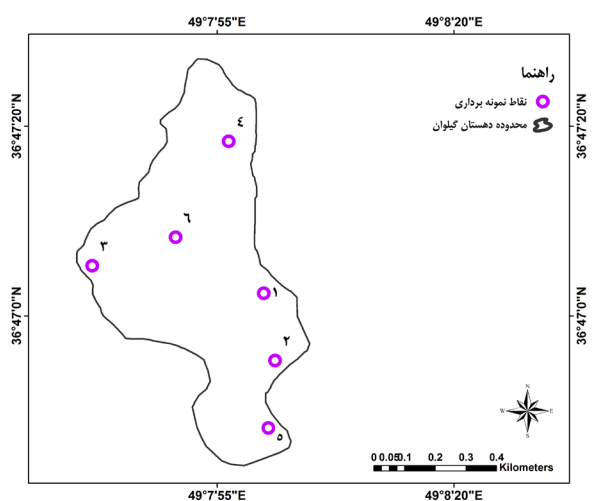
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در شهرستان طارم- زنجان

کف اتاق و  $10\text{ cm}$  از اشیاء، به دور از آشپزخانه، حمام، بخاری، تهویه، درب ورود و خروج و پنجره‌ها در منازل مسکونی سه منطقه مورد مطالعه استقرار داده شد. آشکارسازها در یک بازه زمانی سه ماهه (۹۴/۱۰/۱۴ الی ۹۵/۱/۱۴) در منازل مسکونی باقیمانده و پس از اتمام دوره، به صورت کاملاً محافظت شده با پوشش آلومینیومی به آزمایشگاه سنجش رادن، وابسته به آزمایشگاه جامع تحقیقاتی شمال کشور به عنوان آزمایشگاه مرجع تحویل گردید. در آزمایشگاه بلافاصله بعد از برداشتن پوشش آلومینیومی آشکارسازها در دمای  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  به مدت  $3\text{ h}$  در محلول سود  $6/25\text{ N}$  نگهداری و سپس با آب مقطر شستشو، خشک و توسط دستگاه شمارشگر مورد آنالیز قرار گرفت. تعداد ردپا در هر پلیمر سه بار شمارش و میانگین ردپا بعنوان تعداد شمارش در یک میدان در نظر گرفته شد.

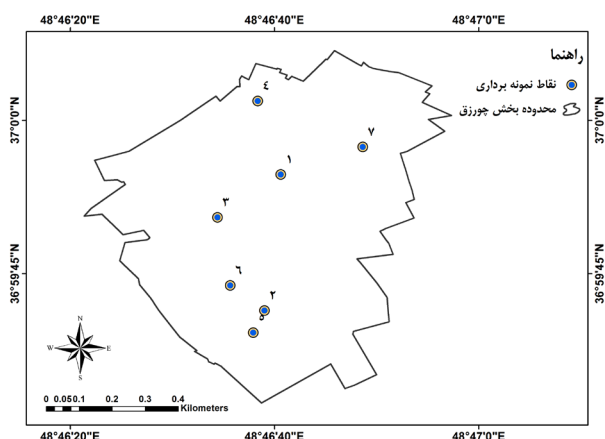
را فراهم می‌کند. در منطقه مورد مطالعه براساس ابعاد گسترش منازل مسکونی در منطقه و استانداردهای استقرار سنجنده‌های رادن، تعداد آشکارساز مورد نیاز در سه منطقه مورد مطالعه برآورد شده است. فاصله طولی استاندارد پیشنهادی برای آشکارسازها در حدود  $200\text{--}500\text{ m}$  برآورد و تلاش شد توزیع بصورت یکنواخت در سطح شهر انجام شود. پیش از استقرار آشکارسازها در منازل مسکونی اطلاعات مورد نیاز از قبیل کد آشکارساز، مختصات جغرافیایی منازل (X و Y) و آدرس، نوع ساختمان، نوع مصالح ساختمانی مورد استفاده در کف و دیوارها، سال ساخت بنا، تعداد افراد ساکن از طریق پرسش‌نامه‌هایی که به همین منظور تهیه شده بود، ثبت شد. در مرحله بعدی تعداد  $30$  عدد آشکارساز در طبقه همکف ساختمان‌های مسکونی منتخب، در فاصله حداقل  $50\text{ cm}$  از



شکل ۲- توزیع مکانی نقاط نمونه برداری در آببر



شکل ۳- توزیع مکانی نقاط نمونه برداری در گیلوان



شکل ۴- توزیع مکانی نقاط نمونه برداری در چورزق

پس از کسر تعداد ردپاهای زمینه، مقدار غلظت رادن با استفاده از معادله ۱ تعیین شد. که در اینجا  $N$  تعداد ردپا در هر  $\text{cm}^2$ ،  $k$  ضریب حساسیت آشکارساز (نسبت تعداد ردپا به غلظت رادن) و  $T$  مدت زمان پرتوگیری در محیط است.

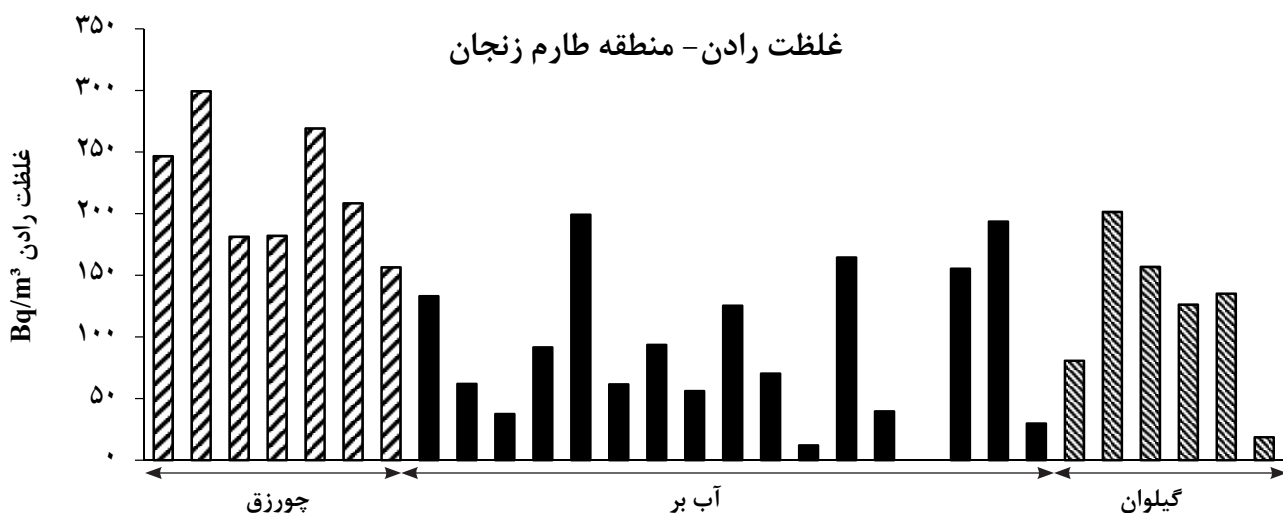
$$\text{غلظت گاز رادن در محیط} = \frac{N}{k.T} \quad (1)$$

### یافته‌ها

از مجموع آشکارسازهای مورد استفاده، تعداد ۷ مورد آن در منطقه چورزق، ۱۷ مورد در منطقه آببر و ۶ مورد باقیمانده در منطقه گیلوان قرار داده شده است. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ توزیع مکانی نقاط نمونه برداری مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. براساس مقادیر بدست آمده از آنالیز و با استفاده از نرم افزار Excel میانگین، تحلیل داده‌ها و ارزیابی روابط معنی داری صورت گرفته است. نتایج بدست آمده از آنالیز نمونه‌ها در منطقه طارم (سه بخش چورزق، آببر و گیلوان) حاکی از آن است که در بخش چورزق غلظت رادن در محدوده  $299/4 - 156/49 \text{ Bq/m}^3$  و میانگین  $220/51 \text{ Bq/m}^3$  در بخش آببر محدوده غلظت  $199/15 - 12/02 \text{ Bq/m}^3$  و میانگین  $95/25 \text{ Bq/m}^3$  و در بخش گیلوان محدوده غلظت  $201/47 - 18/62 \text{ Bq/m}^3$  و میانگین  $119/84 \text{ Bq/m}^3$  بدست آمده است. در مجموع میانگین غلظت رادن در شهرستان طارم معادل  $130/57 \text{ Bq/m}^3$  برآورد می‌شود. نمودار ۱ به ارائه نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها در سه منطقه مورد مطالعه پرداخته است. ارزیابی نتایج بدست آمده برای غلظت رادن در برابر سن ساختمان و تعداد ساکنین حاکی از آن است که هیچ رابطه معنی داری میان این دو عامل با غلظت رادن در محیط وجود ندارد. غلظت رادن در طبقات زیرزمین و همکف به مراتب بالاتر از مقادیر بدست آمده در طبقات بالاتر است.

### بحث

در تعیین حد امن و قابل قبول گاز رادن، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) بعنوان سازمان متولی در



نمودار ۱- نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در سه منطقه طارم- زنجان

از سطح عمل و نسبت به خطوط راهنمای پیشنهادی WHO بالاتر از سطح مجاز قرار دارد. براساس خطوط راهنمای پیشنهادی USEPA از میان ۳۰ منزل مسکونی مورد مطالعه، تنها یک مورد در محدوده سطح هدف رادن در محیط‌های بسته (یعنی کمتر از  $14/8 \text{ Bq/m}^3$ ) واقع شده است. ۱۵ مورد از منازل در بازه متوسط تا سطح عمل ( $14/8 \text{ Bq/m}^3$ ) و ۱۳ مورد باقیمانده در مواجهه با سطح بالایی از رادن و نیازمند اقدامات اصلاحی هستند (یک مورد از آشکارسازها در محل مفقود شده است). براساس توصیه WHO از میان نمونه‌های مورد آنالیز ۱۲ مورد سطح رادن کمتر از محدوده مرجع ( $100 \text{ Bq/m}^3$ ) و باقی نمونه‌ها در سطح بالاتر از مرجع قرار می‌گیرند. میانگین غلظت رادن در سه منطقه مطالعاتی اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهند که بیانگر نقش زمین‌شناسی و معادن زیرزمینی اورانیوم در انتشار گاز رادن است. براساس این پژوهش رابطه معنی‌داری میان عمر ساختمان‌ها و تعداد ساکنان با غلظت رادن در محیط وجود ندارد. مقایسه غلظت‌های حاصل از این پژوهش با مطالعات مشابه در کشور ایران نشان می‌دهد که مناطق همجوار از قبیل رامسر، لاهیجان، اردبیل، سرعین، نمین نیز سطح بالایی از غلظت را تجربه می‌کنند، در حالی که در

معیارها و خطوط راهنمای پیشنهادی عنوان می‌کند که هیچ سطح امن و بی‌خطری برای این آلاینده وجود ندارد. بدین معنا که هر میزان مواجهه با رادن در نرخ ابتلا به سرطان ریه موثر است (۳۳). براساس مطالعات صورت گرفته، سطح هدف رادن در مقیاس ملی معادل  $0/4 \text{ pCi/L}$  ( $14/8 \text{ Bq/m}^3$ ) برآورد شده و آکادمی ملی علوم تخمین می‌زند هر ساله این سطح مواجهه با رادن در محیط‌های باز منجر به حدود ۸۰۰ مورد مرگ ناشی از سرطان ریه (از ۲۱۰۰۰ مورد) در ایالات متحده می‌شود (۳۴). براساس قانون ۵۱ رادن، مصوب کنگره آمریکا، سطح آستانه رادن در محیط‌های بسته معادل سطح محیط‌های باز  $4 \text{ pCi/L}$  ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ) در نظر گرفته شده است. همچنین غلظت  $4 \text{ pCi/L}$  ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ) بعنوان سطح عمل (Action Level) معرفی شده و در غلظت‌هایی معادل یا بالاتر، برای کاهش مواجهه باید اقدامات اصلاحی صورت پذیرد. WHO (۳۵) ضمن اشاره به تأثیرات منفی این آلاینده بر سلامت، غلظت  $100 \text{ Bq/m}^3$  (معادل  $2/7 \text{ pCi/L}$ ) را بعنوان سطح مرجع به کشورها پیشنهاد می‌دهد. نتایج بدست آمده از این پژوهش میانگین غلظت  $130/57 \text{ Bq/m}^3$  برای منازل مسکونی طارم را نشان داد که در مقایسه با غلظت پیشنهادی سازمان USEPA پایین‌تر

گواهی ایمنی در برابر رادن از دیگر نیازمندی‌های این منطقه به شمار می‌رود. علاوه بر این، گسترش مطالعات در حوزه زمین‌شناسی این مناطق و پتانسیل‌های پنهان موثر در انتشار رادن باید مدنظر محققان این حوزه قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "اندازه‌گیری غلظت رادن (Rn) در محیط‌های بسته با استفاده از آشکارساز CR-39، مطالعه موردی شهرستان طارم-استان زنجان" در مقطع کارشناسی ارشد و در سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شده است.

### منابع

1. Abbadly A, Abbadly AG, Michel R. Indoor radon measurement with the Lucas cell technique. *Applied Radiation and Isotopes*. 2004;61(6):1469-75.
2. Kant K, Upadhyay S, Sharma G, Chakarvarti S. Measurement of inhalation dose due to radon and its progeny in an oil refinery and its dwellings. *Iranian Journal of Radiation Research*. 2004;1(4):181-86.
3. UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2015.
4. Robé M, Rannou A, Le Bronec J. Radon measurement in the environment in France. *Radiation Protection Dosimetry*. 1992;45(1-4):455-57.
5. IARC. Man-made mineral fibres and radon. Lyon: International Agency for Research on Cancer, World Health Organization; 1987 Jun. Report No.: IARC Monographs Volume 43.
6. Kang DR, Kang D, Min K-B, Kim C, Oh S-S, Koh S-B. Trends in research on indoor radon exposure and lung cancer in South Korea. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*. 2016;28(1):1-10.
7. USEPA. EPA assessment of risks from radon in homes. Washington, DC: Office of Radiation and Indoor Air, United States Environmental Protection Agency; 2003 June. Report No.: EPA 402-R-03-003.
8. WHO. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public

دیگر مناطق مورد اندازه‌گیری همچون یزد، شیراز، مشهد و همدان سطوح غلظت به مراتب امن‌تری دیده می‌شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش در ترکیب با مطالعات قبلی در مناطق همجوار لزوم توجه به اصلاح قوانین ساخت و ساز در این مناطق از قبیل آنالیز خاک مناطق شهری و مسکونی پیش از عملیات ساخت و ساز، از نقطه نظر انتشار رادن، استفاده از مصالح مقاوم در پی‌ریزی ساختمان‌ها، استفاده از دال‌های بتنی یکپارچه و کفسازی‌های یکپارچه را طلب می‌کند. اجرای طرح اندازه‌گیری متناوب سطح رادن در منازل مسکونی و کاربری‌هایی از قبیل بیمارستان‌ها، مدارس و ادارات و ارائه

Health Perspective. Geneva: World Health Organization; 2009.

9. Ramola R, Sandhu A, Singh M, Singh S, Virk H. Geochemical exploration of uranium using radon measurement techniques. *Nuclear Geophysics*. 1989;3(1):57-69.
10. Hauri DD, Huss A, Zimmermann F, Kuehni CE, Rössli M. A prediction model for assessing residential radon concentration in Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012;112:83-89.
11. Ursulean I, Coretchi L, Chiruta I, Vîrlan S. Estimation of indoor radon concentrations in the air of residential houses and mines in the Republic of Moldova. *Romanian Journal of Physics*. 2013;58:S291-S97.
12. Chauhan N, Chauhan R. Active-passive measurements and CFD based modelling for indoor radon dispersion study. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015;144:57-61.
13. Singh P, Sahoo B, Bajwa B. Theoretical modeling of indoor radon concentration and its validation through measurements in South-East Haryana, India. *Journal of Environmental Management*. 2016;171:35-41.
14. Jiang FL, Yang ZG, Qi XW, Li XY, editors. The indoor radon concentration measurement and analysis in a university and its adjacent areas. *Applied Me-*



- chanics and Materials. 2014;737:512-15.
15. Taghizadeh N, Eftekharnajad J. Geological Survey of Iran, Report on Radioactivity in Ramsar Area. Tehran: University of Tehran; 1968 (in Persian).
  16. Sohrabi M. New developments on electrochemical etching processes at the atomic energy organization of Iran. *Radiation Measurements*. 1999;31(1):115-20.
  17. Sohrabi M, Solaymanian A. Indoor radon level measurements in some regions of Iran. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1988;15(1):613-16.
  18. Ghiassi-Nejad M, Beitollahi M, Fathabadi N, Nasiree P. Exposure to <sup>222</sup>Rn in ten underground mines in Iran. *Radiation Protection Dosimetry*. 2002;98(2):223-25.
  19. Ghiassi-Nejad M, Mortazavi S, Cameron J, Niroomand-Rad A, Karam P. Very high background radiation areas of Ramsar, Iran: Preliminary biological studies. *Health Physics*. 2002;82(1):87-93.
  20. Mortazavi S, Ghiassi-nejad M, Azam N-r, Andrew Karam P, Cameron John R. How should governments address high levels of natural radiation and radon? Lessons from the Chernobyl nuclear accident and Ramsar, Iran. *Risk: Health, Safety and Environment*. 2002;13(1.2):31-45.
  21. Mortazavi S, Ghiassi-Nejad M, Rezaiean M. Cancer risk due to exposure to high levels of natural radon in the inhabitants of Ramsar, Iran. *International Congress Series*. 2005;1276:436-37.
  22. Mowlavi AA, Shahbahrami A, Binesh A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2009;45(3):269-72.
  23. Hadad K, Doulatdar R, Mehdizadeh S. Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007;95(1):39-52.
  24. Gillmore GK, Jabarivasal N. A reconnaissance study of radon concentrations in Hamadan city, Iran. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2010;10(4):857-63.
  25. Hadad K, Hakimdavoud MR, Hashemi-Tilehnoee M. Indoor radon survey in Shiraz-Iran using developed passive measurement method. *Iranian Journal of Radiation Research (IJRR)*. 2011;9(3):175-82.
  26. Mowlavi AA, Fornasier MR, Binesh A, De Denaro M. Indoor radon measurement and effective dose assessment of 150 apartments in Mashhad, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(2):1085-88.
  27. Yarahmadi M, Shahsavani A, Mahmoudian MH, Shamsedini N, Rastkari N, Kermani M. Estimation of the residential radon levels and the annual effective dose in dwellings of Shiraz, Iran, in 2015. *Electronic Physician*. 2016;8(6):2497-2505.
  28. Fleischer RL. Radon in the environment- opportunities and hazards. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part D Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1988;14(4):421-35.
  29. Baskaran M. *Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies*. Switzerland: Springer International Publishing; 2016.
  30. Miles J. Temporal variation of radon levels in houses and implications for radon measurement strategies. *Radiation Protection Dosimetry*. 2001;93(4):369-75.
  31. Pershagen G, Akerblom G, Axelson O, Clavensjö B, Damber L, Desai G, et al. Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. *New England Journal of Medicine*. 1994;330(3):159-64.
  32. Pinel J, Fearn T, Darby S, Miles J. Seasonal correction factors for indoor radon measurements in the United Kingdom. *Radiation Protection Dosimetry*. 1995;58(2):127-32.
  33. EPA. *A Citizen's guide to radon: The guide to protecting yourself and your family from radon*. Washington, DC: Office of Radiation and Indoor Air United States Environmental Protection Agency; 2012 May. Report No.: EPA 402/K-12/002.
  34. USEPA. *Health risk of radon*. Washington: USEPA; 2016 [cited 2016 March 17]. Available from: <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon>, 2016
  35. WHO. *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*. Geneva: World Health Organization; 2014.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Reconnaissance study of residential radon concentration in Tarom country-Zanjan

A Tavakoli\*, A Parizanganeh, Y Khosravi, P Hemmati

Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 5 March 2017

**Revised:** 23 May 2017

**Accepted:** 28 May 2017

**Published:** 21 June 2017

**Key words:** Measurement, Radon, CR-39 Detector, Tarom, Zanjan

### \*Corresponding Author:

atavakoli@znu.ac.ir

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Radon is highly regarded because of its impacts on public health. Northern regions of Iran have a high potential for radon emissions. This research aimed to measure residential radon concentrations in Tarom country- Zanjan and to compare the results with international standards and acceptable values.

**Materials and Methods:** Passive diffusive samplers, Solid State Nuclear Track Detector (SSNTD), with the ability to determine background and longtime concentration, were selected for this study. A total of 30 detectors were located based on a pre-identified network in the residential buildings of Chavarzaq, Ab Bar and Gilvan for a period of three months. Then, detectors were sent to a laboratory for counting the traces.

**Results:** Based on the results, average radon concentrations in Chavarzaq, Ab Bar and Gilvan were 220.51, 95.25 and 119.84 Bq/m<sup>3</sup>, respectively. The average radon concentration in Tarom was about 130.57 Bq/m<sup>3</sup>. There was no meaningful relationship between radon concentration with the age of buildings or number of occupants. In comparison of the results with USEPA standards it was observed that among total samples just one of them was in the range of target level, and 15 detectors were in the range of target to action levels and the remaining samples showed high level of radon requiring corrective measures. In addition, 12 detectors showed values less than the reference level of WHO and the remaining detectors had higher values than WHO level.

**Conclusion:** Based on results of this research, soil analysis before construction, application of building materials resistant to leakage and regular monitoring of radon levels in region were suggested.