مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۴۸۶ تا ۴۷۷

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

مقاله پژوهشی

بررسی غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر فیروزکوه

محدثه بنار[۱]، علیرضا مصداقی نیا[۲،۱،*]، کاظم ندافی[۲،۱]، محمدصادق حسنوند[۳]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۵
تاریخ ویرایش: ۹۷/۱۱/۰۶
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۰
تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۱

واژگان کلیدی: گاز رادن، دتکتور رد پای آلفا، منازل مسکونی، اماکن عمومی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

mesdaghinia@sina.tums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: رادن یک گاز رادیواکتیو، بی‌بو است. گاز رادن با انتشار پرتو آلفا و چسبیدن به ذرات گرد و غبار موجود در هوا می‌تواند باعث ایجاد سرطان ریه شود. این مطالعه به اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر فیروزکوه و مقایسه مقادیر موجود با رهنمودها و استانداردهای توصیه شده بین المللی پرداخته است.

روش بررسی: جهت اندازه گیری غلظت گاز رادن از روش اندازه گیری غیرفعال و دتکتورهای CR-39 استفاده گردید. دتکتورها به مدت سه ماه در داخل منازل و اماکن عمومی سطح شهر جایگذاری گردیدند. بعد از طی این مدت، دتکتورها جمع آوری شدند و در آزمایشگاه، در محلول سود ۶/۲۵ N در دمای ۸۵ °C به مدت ۴ h قرار داده شدند و پس از آماده سازی با استفاده از دستگاه اسکن اتوماتیک و روش‌های آماری مناسب، غلظت گاز رادن تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه بیانگر این است که میانگین غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی به ترتیب ۱۳۷/۷۴ و ۱۱۰/۱۷ Bq/m^3 بوده است. مقایسه نتایج حاصل با رهنمود سازمان جهانی بهداشت نشان می‌دهد که ۷۶/۳ درصد از منازل و ۶۶/۷ درصد از اماکن دارای غلظت بیش از مقدار رهنمودی (۱۰۰ Bq/m^3) بوده‌اند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای تهیه نقشه ملی گاز رادن در سطح کشور مورد استفاده قرار گیرد.

Please cite this article as: Banar M, Mesdaghinia AR, Naddafi K, Hassanvand MS. Investigation of indoor radon concentration in dwellings and public places of Firuzkuh. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;11(4):477-86.

مقدمه

بشر در طی دوران زندگی خود بر روی کره زمین همواره تحت تابش پرتوهای یونیزان قرار دارد. این پرتوها یا منشا طبیعی دارند یا منشا آنها مواد پرتوزای مصنوعی ناشی از فعالیت‌های بشر است. برخلاف تصور عمومی، بیش از نیمی از پرتوگیری مردم جهان از مواد پرتوزای طبیعی است (۱). از کل پرتوگیری انسان، ۹۵ درصد آن مربوط به داخل ساختمان‌ها، ۴ درصد مربوط به هوای آزاد و ۱ درصد نیز از منابع آب‌های آشامیدنی است (۲) طبق گزارش کمیته علمی اثر پرتوهای اتمی سازمان ملل در سال ۲۰۰۰ میلادی، مقدار متوسط پرتوگیری سالیانه انسان از تمام منابع پرتوزای طبیعی، حدود ۲/۴ msv/y برآورد شده است که حدود ۵۲ درصد آن ناشی از استنشاق گاز رادن است (۳).

رادن یک گاز رادیواکتیو، بی بو، بی رنگ و بی مزه است که به‌طور معمول فاقد فعالیت به سمت دیگر عوامل شیمیایی است. رادن سنگین‌ترین گاز خنثی و دانسیته آن ۷/۵ برابر بیشتر از هوا است. این گاز در آب قابل حل بوده و می‌تواند به سهولت با گاز و بخارات آب پراکنده و پخش گردد (۴، ۵). این گاز که از دسته گازهای خنثی در جدول تناوبی است در سال ۱۹۰۰ میلادی توسط Friedrich Ernst Dorn کشف گردید. به‌طور طبیعی سه ایزوتوپ رادن وجود دارد که شامل Rn -219 (اکتینن)، Rn-220 (تورون) و Rn-222 (رادن) است (۶، ۷). Rn-222 که در زنجیره فروپاشی U-238 شکل می‌گیرد، مهمترین ایزوتوپ گاز رادن است زیرا دارای نیمه عمر ۳/۸۲ روز است (۴).

رادن گازی است که از سنگ‌ها و خاک ساطع می‌گردد و تمایل دارد که در مکان‌های بسته مانند معدن‌های زیرزمینی یا خانه‌ها تمرکز یابد. نفوذ گاز از خاک به‌عنوان مهمترین منبع رادن شناخته شده است (۸). منابع مختلفی برای ورود رادن به داخل ساختمان وجود دارد. سنگ بستر زیر ساختمان، مصالح ساختمانی، ترک‌های نامرئی در دیوارها و کف زمین، منابع آبی و هوای محیط از جمله منابع ورود رادن به داخل ساختمان هستند (۹، ۱۰).

غلظت رادن در اتمسفر و هوای آزاد بسیار کم است، اما در یک ساختمان محبوس، غلظت و در نتیجه سطح اکتیویته آن افزایش می‌یابد و به سرعت تجزیه شده و باعث انتشار ذرات پر انرژی آلفا در فضا می‌شود (۱۱). ذرات آلفا به ذرات گرد و غبار چسبیده و هنگام استنشاق، به ریه‌ها می‌چسبند و موجب تحریک بافت‌های ریه و در نهایت موجب سرطان می‌گردند (۱۲). براساس گزارش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)، گاز رادن دومین عامل سرطان ریه بعد از سیگار است. همچنین براساس تحقیقات انجام شده در این خصوص، گاز رادیواکتیو رادن از طریق استنشاق وارد ریه‌های انسان شده و با قرار گرفتن در کیسه‌های هوائی و تولید ذرات آلفا به بافت ریه آسیب می‌رساند (۱۳). در امریکا سالانه حدود ۲۱۸۰۰ مرگ و در نروژ ۱۰ تا ۲۰ درصد مرگ‌های ناشی از سرطان ریه به رادن موجود در هوای داخل ساختمان نسبت داده شده است (۱۴، ۱۵). اکثر مردم علی الخصوص خانم‌های خانه‌دار، به‌طور متوسط ۱۶ h (۹۰-۸۰ درصد) وقت خود را در منزل سپری می‌کنند و به همین علت است که مرگ و میر ناشی از آلودگی هوای داخل ساختمان نسبت به آلودگی هوای آزاد، بسیار قابل توجه است (۱۶). رادن توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO)، به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا و شاید یکی از بزرگ‌ترین خطرات بهداشت عمومی مورد توجه قرار گرفته است (۱۷).

میانگین جهانی غلظت Rn-222 هوای داخل و آزاد به ترتیب ۴۸ و ۱۵ Bq/m^3 است. کمیته حفاظت در برابر پرتو حداکثر دوز موثر دریافتی ناشی از استنشاق Rn-222 برای مردم عادی را ۱ msv/y بیان کرده است (۱۸). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا غلظت مجاز رادن در هوای داخل خانه را ۱۴۸Bq/m^3 (۱۹) و سازمان جهانی بهداشت ۱۰۰ Bq/m^3 را به‌عنوان حد مجاز رادن در هوای داخل خانه در نظر گرفته‌اند (۲۰).

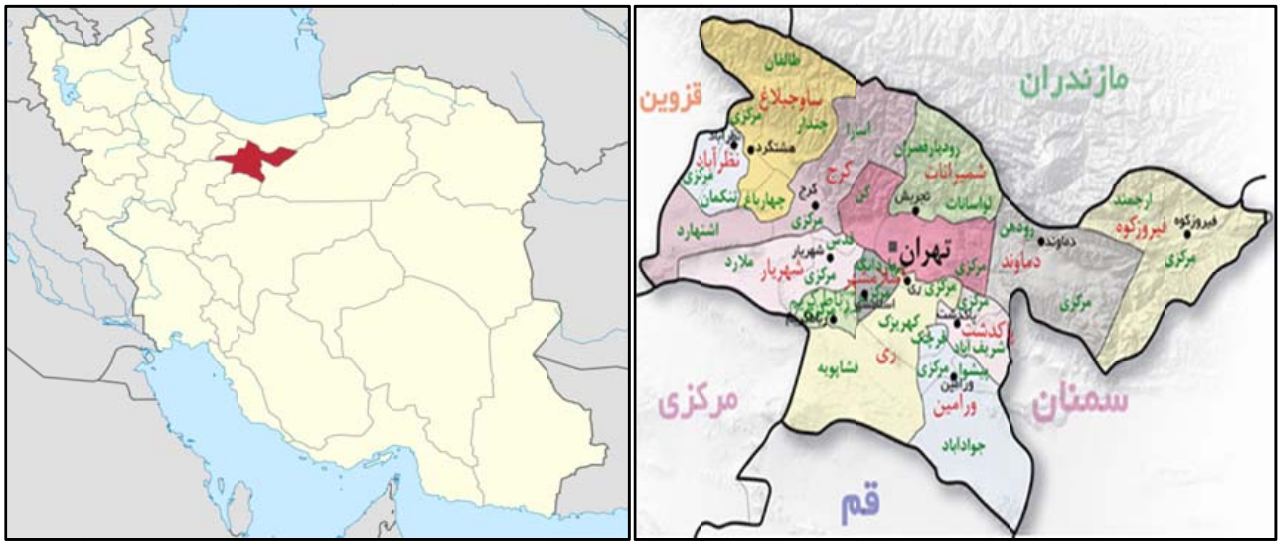
WHO برای نخستین بار در سال ۱۹۷۹ به اثرات سلامت ناشی از مواجهه با رادن در منازل مسکونی توجه نمود. در ادامه، رادن در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله موسسه بین المللی تحقیقات سرطان (IARC) به‌عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه بندی شد.

در سال ۲۰۰۵، WHO پروژه ملی رادن را برای شناسایی استراتژی‌های موثر برای کاهش اثرات سلامت رادن و بالا بردن آگاهی عمومی و سیاسی درباره اثرات مواجهه طولانی مدت با رادن بنا نهاد (۸). در ایران نیز اندازه گیری غلظت رادن از سال ۱۳۴۷ آغاز شد و سازمان انرژی اتمی ایران به‌عنوان متولی این بخش، به معرفی و توسعه روش‌های اندازه گیری رادن پرداخت (۲۱). لذا با توجه به اهمیت این موضوع و ارتباط آن با سلامت مردم، این مطالعه با هدف اندازه گیری غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر فیروزکوه انجام گردید.

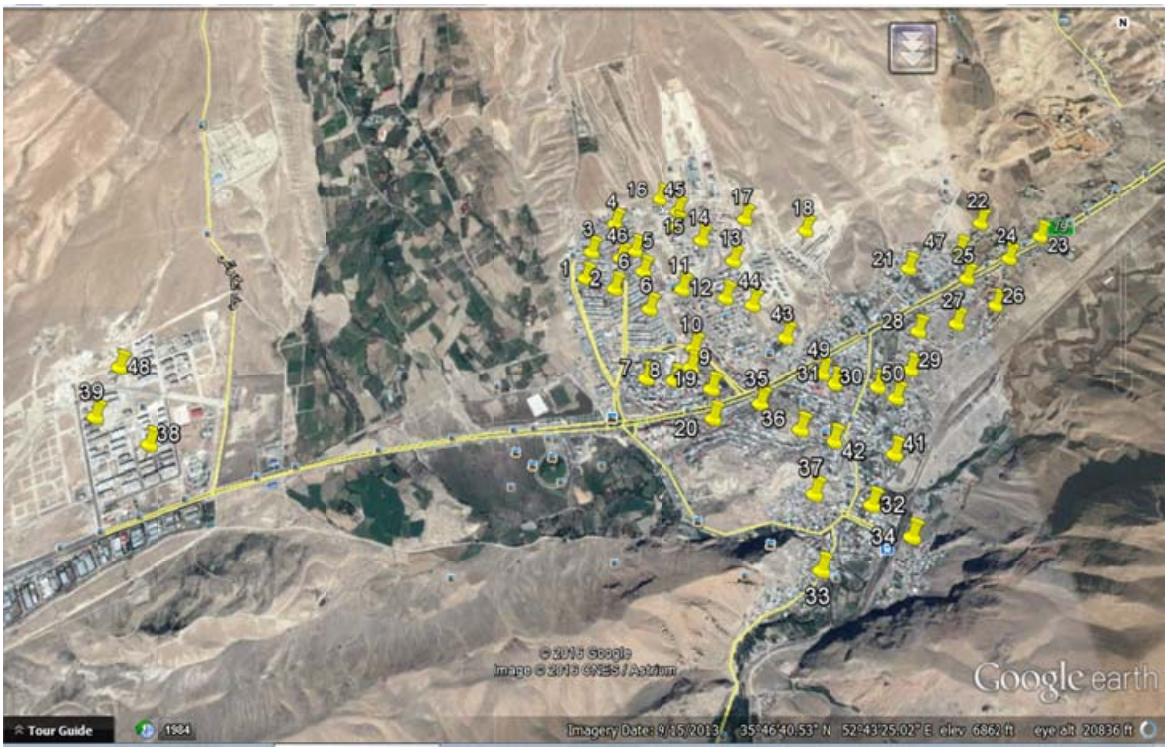
مواد و روش‌ها

شهرستان فیروزکوه در منتهی‌الیه شمال شرقی استان تهران و در طول جغرافیایی ۵۲/۴۶ و عرض جغرافیایی ۳۵/۲۸ واقع شده است (شکل ۱). برای انجام این مطالعه، ابتدا شهر فیروزکوه با استفاده از نقشه شهر و نرم افزار Google earth و براساس روش مساحت‌بندی به مساحت‌های ۳۰۰ m در ۳۰۰m تقسیم گردید و در هر کدام از این مساحت‌های تعیین شده، محل‌های مورد نظر انتخاب و سپس دتکتورهای تهیه شده که از نوع دتکتورهای Alpha track مجهز به فیلم پلیمری (CR-39) بودند به مدت ۳ ماه از آذر ماه ۹۵ تا پایان بهمن ماه سال ۹۵ در محل‌ها جایگذاری گردید (شکل ۲). بعد از طی مدت زمان مذکور، دتکتورها جمع آوری گردید و در داخل پوشش آلومینیمی به آزمایشگاه مرجع شمال کشور انتقال داده شد.

در مرحله بعدی در آزمایشگاه رادن، دتکتورهای CR-39 جهت اندازه گیری غلظت رادن در دمای ۸۵ °C و به مدت ۴ h درون محلول سود با نرمالیته ۶/۲۵ قرار گرفتند. در نهایت پس از سپری شدن زمان مورد نظر فیلم‌ها با استفاده از آب مقطر شست و شو داده شده و جهت قرائت غلظت گاز رادن در دستگاه اسکن اتوماتیک قرار داده شدند. با شمارش تراکم ذرات آلفای ثبت شده روی دتکتورها، میانگین غلظت رادن موجود در هوای داخل ساختمان مشخص گردید.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در شهر فیروزکوه - استان تهران



شکل ۲- نقاط جایگذاری دتکتورها در سطح شهر فیروزکوه

آشکارسازهـای ردپـای هستـه‌ای حالت جامـد (SSNTD) (شکـل ۳) که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند به‌دلیل استقامت و استحکام، در دسترس بودن و سهولت کاربرد یکی از بهتریـن روش‌های اندازه گیری گاز رادن به مدت طولانی است.

ایـن آشکارسازها نسبت به رطوبـت و درجه حرارت‌های پایین بی اثـر هستند. به دلیل کیفیت ذاتی مـوادی که در تهیه این آشکارسازها استفاده شده، جهت ثبت ذرات آلفا روی آن احتیاج به هیچ‌گونه منبع انرژی نیست (۲۲).

شکل ۳- دتکتورهای Alpha track

در ایـن مطالعـه نتایج حاصـل از آنالیز نمونه‌ها بـا استفاده از نـرم افـزار SPSS,18 مورد بررسـی قرار گرفـت و تجزیه و تحلیـل آماری بر روی آن انجام گردید. در ابتدا با کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنـوف (Kolmogorov–Smirnov test)، نرمـال بودن داده‌ها مورد بررسی قـرار گرفت و در ادامه جهت آنالیـز و بررسی رابطه بین غلظت گاز رادن و متغیرهای موجود از آزمون‌هـای آمـاری ANOVA (آنالیز واریانـس یکطرفه)، پیرسـون (Pearson) و t-test (مقایسـه میانگین دو نمونه) استفاده گردید. از متغیرهایی کـه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت می‌توان به نوع ساختمان، محل جایگذاری دتکتورها، طبقـات جایگذاری، عمر ساختمان، نوع پنجـره به‌کار رفته در ساختمان‌ها، نـوع سیستم گرمایشی، نوع مصالح به‌کار رفته در کف و دیوار و تعداد ساکنین در منازل اشاره نمود.

یافته‌ها

از مجمـوع دتکتورهای مورد استفـاده، تعداد ۳۸ مورد در منازل مسکونـی و ۹ مـورد در مـدارس به‌عنوان اماکـن عمومی شهر فیروزکـوه قـرار داده شد. پـس از تعیین مقادیر گـاز رادن در آزمایشگاه، براساس نتایج حاصل از آنالیز و با استفاده از نرم افزار یاد شده، تحلیل داده‌ها و ارزیابی روابط معنی‌داری صورت گرفت. در جـدول ۱ آماره‌هـای توصیفی مربوط به غلظـت گاز رادن در منـازل و اماکـن نشـان داده شـده اسـت. نتایـج به‌دست آمده حاکـی از این است که غلظـت رادن در منازل در محدوده ۸۳/۵۰ – ۳۳۵/۱۰ Bq/m^3 با میانگین ۱۳۷/۷۴ Bq/m^3 بوده اسـت و در اماکن نیز با میانگین ۱۱۰/۱۷ Bq/m^3 در محدوده ۷۶/۷۰ – ۱۴۷/۰۵ Bq/m^3 به‌دست آمد.

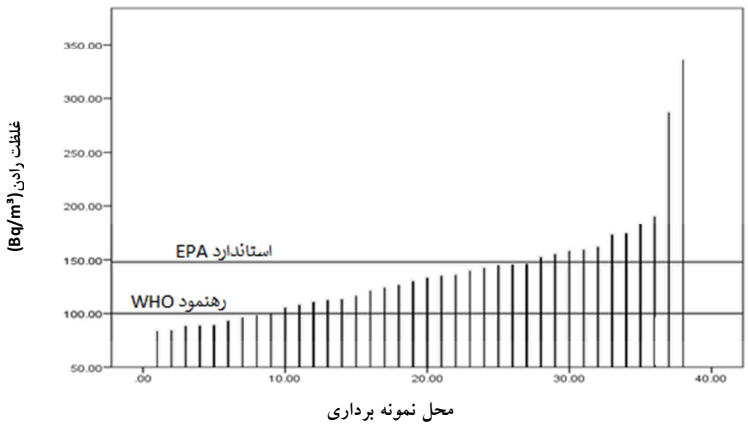
ارزیابـی نتایـج به‌دست آمده بـرای غلظـت رادن در برابر نوع ساختمـان و سایر متغیرهای یاد شده در منازل و اماکن حاکی از آن است که رابطه معنی‌داری میان این عوامل با غلظت رادن مشاهده نگردید.

در نمودار ۱، نتایج اندازه گیری غلظت رادن در منازل مسکونی شهـر فیروزکـوه نشان داده شده است و بـا رهنمود WHO و استاندارد EPA مقایسه شده است.

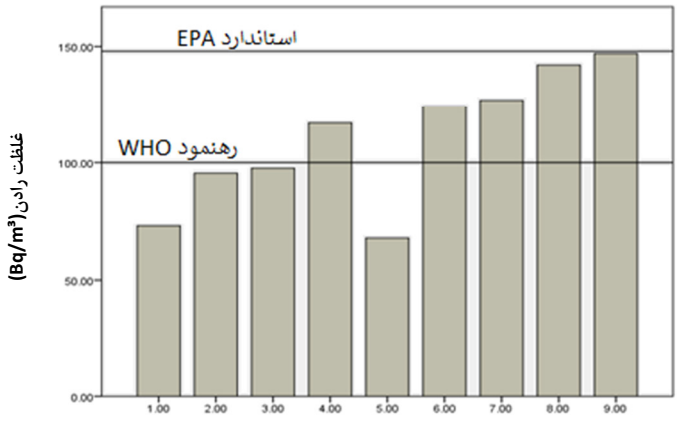
در نمـودار ۲ نیـز نتایج انـدازه گیری غلظـت رادن در اماکن عمومـی شهر فیروزکـوه نشان داده شده اسـت و با رهنمودها مقایسه شده است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی

متغیر	تعداد	میانگین	حداقل	حداکثر
غلظت گاز رادن در منازل مسکونی	۳۸	۱۳۷/۷۴	۸۳/۵۰	۳۳۵/۱۰
غلظت گاز رادن در اماکن عمومی	۹	۱۱۰/۱۷	۷۶/۷۰	۱۴۷/۰۵



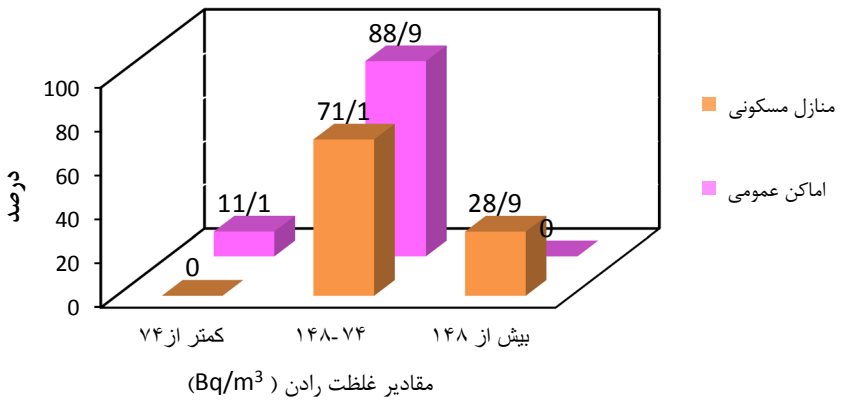
نمودار ۱- نتایج اندازه گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر فیروزکوه



نمودار ۲- نتایج اندازه گیری غلظت گاز رادن در اماکن عمومی شهر فیروزکوه

بحث

مطالعه حاضر برای اولین بار به بررسی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر فیروزکوه پرداخته است. در تعیین حد امن و قابل قبول گاز رادن، EPA هیچ سطح ایمن و بی‌خطری برای این آلاینده گزارش نکرده است (۲۱). مقدار پیشنهادی غلظت گاز رادن براساس توصیه EPA برابر با ۱۴۸ Bq/m^3 بیان شده است. EPA برای غلظت گاز رادن سه محدوده با غلظت کمتر از ۷۴ ، بین ۷۴ تا ۱۴۸ و بالاتر از ۱۴۸ Bq/m^3 تعیین نموده است که غلظت‌های کمتر از ۷۴ Bq/m^3 از حد قابل ملاحظه پایین‌تر است و اقدامی برای آن لازم نیست. غلظت ۷۴-۱۴۸ Bq/m^3 که می‌بایست مورد توجه و ملاحظه قرار گیرد و غلظت بیشتر از ۱۴۸Bq/m^3 که ضروری است اقدامات عملی برای کاهش غلظت به زیر حد قابل ملاحظه صورت گیرد (۲۳). مقایسه نتایج مطالعه با استاندارد EPA نشان‌دهنده این است که غلظت رادن در هیچ یک از منازل کمتر از مقدار ۷۴ نبوده است و ۷۱/۱ درصد از منازل در محدوده ۱۴۸- ۷۴ و ۲۸/۹ درصد نیز دارای غلظت بیش از ۱۴۸ Bq/m^3 بوده‌اند. در رابطه با اماکن عمومی نیز نتایج حاکی از این است که تنها در یک مورد از اماکن مورد مطالعه با سهم ۱۱/۱ درصد، غلظت رادن در محدوده کمتر از ۷۴ Bq/m^3 قرار دارد و سایر اماکن نیز با سهم ۸۸/۹ درصد در محدوده ۱۴۸ Bq/m^3- ۷۴ قرار دارند که باید مورد توجه و ملاحظه قرار گیرند (نمودار ۳).



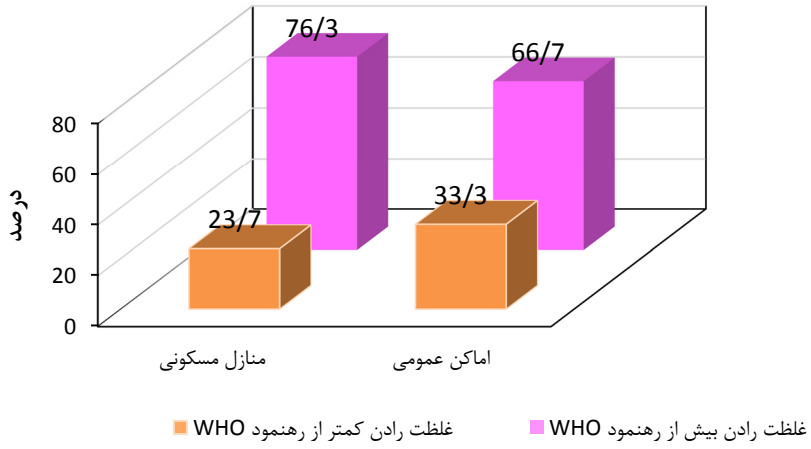
نمودار ۳- مقایسه توزیع غلظت گاز رادن منازل مسکونی و اماکن عمومی با استاندارد EPA

براســاس توصیه WHO از میان نمونه‌های مورد آنالیز منازل مشخــص شد که ۷۶/۳ درصــد نمونه‌هــا دارای رادن بیش از مقــدار رهنمودی و ۲۳/۷ درصد نیــز دارای غلظت پایین‌تر از ۱۰۰ Bq/m^3 هستنــد. در رابطه با اماکن نیز مقایسه با مقدار رهنمــودی نشان می‌دهد که ۶۶/۷ درصــد اماکن دارای رادن بیش از مقــدار رهنمودی و ۳۳/۳ درصد پایین‌تر از این مقدار بودند (نمودار ۴).

مطالعات مربوط به غلظت گاز رادن در منازل و اماکن در بیشتر کشورهــا و چند شهر ایران انجام شده اســت. بر این اساس در شهر porto کشور پرتغال اندازه گیری غلظت رادن هوای داخل مدارس ابتدایی توسط Madureira و همکاران انجام پذیرفت که غلظت رادن در محدوده ۵۶-۸۸۹ Bq/m^3 با میانگین ۱۹۷ بــوده است (۲۴). Abd-Elzaher غلظت گاز رادن را در شهر اسکندریه مصر انــدازه گیری نمود که غلظت رادن در محدوده ۱۵-۱۳۲ Bq/m^3 بــوده اســت (۲۵). در مطالعــه Quarto و همکاران در منطقــه Puglia در جنوب ایتالیا میانگین غلظت رادن در منــازل مسکونی برابر با ۱۱۴ Bq/m^3 بوده است (۲۶) و در مطالعــه دیگری که توسط Rastogi و همکاران در منازل مسکونی منطقه پرادش اوتــار مرادآباد هند انجام شد میانگین غظت رادن برابر با ۱۹/۸ بوده است که ساکنین منطقه با سطح پایینی از غلظت رادن مواجه بودند (۲۷).

Du و همکاران مطالعه‌ای را در ساختمان‌های چند خانواری در شمال شرق اروپا انجام دادند. در این تحقیق که در ساختمان‌های کشورهای فنلاند و لیتوانی انجام گردید، مشخص شد که سطح رادن در کشور فنلاند به‌طور میانگین ۹۶ Bq/m^3 بوده است و در لیتوانی غلظت متوسط رادن در طبقات اول ۲۳ ±۳۷ Bq/m^3 و در طبقات دوم ۲۳ ±۱۲ Bq/m^3 بوده است (۲۸).

در مطالعه‌ای کــه Amozad Khalili در شهر بهشهر انجام داد، غلظــت رادن در منازل و اماکن قدیمــی بیشتر از منازل و اماکــن جدید بــوده است که با نتایج حاصــل از این مطالعه همسو اســت (۲۳). در رابطه با جایگاه قــرار دادن دتکتورها، نتایج مطالعــه حاضر مشابه با مطالعــه Yousefi و همکاران در شهر گرگــان بوده است، بطوری‌کــه میانگین غلظت رادن در اتــاق خواب بیشتر از نشیمن بــوده است (۲۲). در مطالعه حاضر دتکتورها در طبقات زیرزمین و اول جایگذاری گردیدند کــه میانگین غلظت رادن در زیرزمین بیشتر از طبقه اول بوده اســت و در مطالعــه‌ای که توســط Haddadi در شهر تبریز انجــام گردید نیز، میانگیــن غلظــت رادن در طبقه زیرزمین بیشتــر از اول و اول نیز بیشتر از دوم و سوم بوده است (۲۹). در ارتبــاط با مصالح مورد استفاده در کف، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد کــه میانگین غلظت رادن در ساختمان‌هایی با پوشش کف موزاییک بیشتر از سرامیک بوده است که مشابه بــانتایــج‌مطالعــه‌Yousefi بــوده‌اســت.



نمودار۴- مقایسه توزیع غلظت گاز رادن منازل مسکونی و اماکن عمومی با رهنمود WHO

نتیجه‌گیری

نتایــج حاصل از ایــن پژوهش و مقایسه آن بــا استانداردها و رهنمودهــای جهانی، لزوم آگاه‌سازی مــردم نسبت به گاز رادن و عــوارض ناشی از آن را طلب می‌کنــد. همچنین باید تدابیر لازم جهت اصــلاح قوانین ساخت و ساز از قبیل آنالیز خــاک مناطق شهری و روستایــی و شناسایی مناطق پرخطر در منطقــه صورت پذیرد و اقداماتی برای کاهش غلظت رادن در ساختمان‌ها از قبیــل آب بندی ساختمان‌ها، حذف منابع ورود رادن، کاهش فشــار ساختمان، تهویه و ... انجام پذیرد. عــلاوه بر این لازم است مطالعاتــی در حوزه زمین شناسی و منابــع انتشار رادن در ایــن مناطق برای کاهــش مواجهه با رادن صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل رضایت آگاهانه، عدم سرقت ادبــی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌هــا و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. این مطالعه در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تهران با کــد IR.TUMS.SPH.REC.1395.1355 مصوب گردیده است.

تشکر و قدردانی

ایــن مقاله حاصل بخشی از پایان نامه بــا عنوان "بررسی غلظت گــاز رادن در هوای داخــل منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر فیروزکوه" در مقطع کارشناسی ارشــد در سال ۹۶-۱۳۹۵ بوده است. این مطالعه با حمایت‌های پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران با کد ۳۳۴۶۳-۴۶-۰۴-۹۵ انجام شده است.

References

1. Dehghan N. Concentration of radon gas assessment in residential homes and public places Norabad Mamasani City [dissertation]. Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2013 (in Persian).
2. Abbasnezhad A. environmental impacts implication of the radon-222 and its urgency attention in Iran. Journal of Nuclear Science and Technology. 2003;26:17-31 (in Persian).
3. Samadi MT, Golzar Khojasteh B, Rostampour N, Hamedan I. Indoor natural radiation level in Hamadan Province, 2012. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2013;23(99):54-60 (in Persian).
4. Field RW. Radon occurrence and health risk. Philadelphia, PA: Hanley and Belfus; 1999.
5. Forkapić S, Bikit I, Čonkić L, Vesković M, Slivka J, Krmar M, et al. Methods of Radon measurement. Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology. 2006;4(1):1-10.
6. IAEA. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2013.
7. Loghmani F, Rahimi K, Mohammadi A. An overview of the types of indoor air pollutants and their effects on the health of the inhabitants. International Conference on Environmental Science, Engineering & Technologies (CESET 2015); 2015; Tehran, Iran (in Persian).
8. WHO. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Geneva: World Health Organization; 2009.
9. Righi S, Bruzzi L. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. Journal of Environmental Radioactivity. 2006;88(2):158-70.
10. Sundal A, Henriksen H, Soldal O, Strand T. The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. Science of the Total Environment. 2004;328(1):41-53.
11. Jelle BP. Development of a model for radon concentration in indoor air. Science of the Total Environment. 2012;416:343-50.
12. Dehghani MH, Golestanifar H, Sarvi G. Indoor Air Pollution. Tehran: Farahmand University Publication; 2015 (in Persian).
13. USEPA. A physician's guide to radon. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2017.

14. Kitto ME, Green JG. Mapping the indoor radon potential in New York at the township level. Atmospheric Environment. 2008;42(34):8007-14.
15. Banks D, Røyset O, Strand T, Skarphagen H. Radioelement (U, Th, Rn) concentrations in Norwegian bedrock groundwaters. Environmental Geology. 1995;25(3):165-80.
16. Mokhtari M, Babaee AA. Housing and Institutional Health. Tehran: Sobhan Publishing; 2007 (in Persian).
17. Veloso B, Nogueira JR, Cardoso MF. Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal–an ecological study. Cancer Epidemiology. 2012;36(1):e26-e32.
18. Mahvi AH, Madani A, Fakhri Y. Comparison of effective dose of Radon 222 in old and new Dwellings in Minab City. Journal of Preventive Medicine. 2015;2(3):1-9 (in Persian).
19. National Research Council. Health Effects of Exposure to Radon. Washington DC: National Academies Press; 1999.
20. Cucoş A, Cosma C, Dicu T, Begy R, Moldovan M, Papp B, et al. Thorough investigations on indoor radon in Băiţa radon-prone area (Romania). Science of the Total Environment. 2012;431:78-83.
21. Tavakoli A, Parizanganeh A, Khosravi Y, Hemmati P. Reconnaissance study of residential radon concentration in Tarom country- Zanjan. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(1):115-24 (in Persian).
22. Yousefi Z, Naddafi K, Tahamtan M, Ali R, Zazouli MA, Koushki Z. Indoor radon concentration in Gorgan 212 dwellings using CR-39 detector. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2014;24(113):2-10 (in Persian).
23. Amozad Khalili F. Concentration of radon gas assessment in residential homes and public places in Behshahr, Iran [dissertation]. Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2013 (in Persian).
24. Madureira J, Paciência I, Rufo J, Moreira A, de Oliveira Fernandes E, Pereira A. Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose. Environmental Geochemistry and Health. 2016;38(2):523-33.
25. Abd-Elzaher M. Measurement of indoor radon concentration and assessment of doses in different districts of Alexandria city, Egypt. Environmental Geochemistry and Health. 2013;35(3):299-309.
26. Quarto M, Pugliese M, La Verde G, Loffredo F, Roca V. Radon exposure assessment and relative effective dose estimation to inhabitants of Puglia Region, South Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015;12(11):14948-57.
27. Rastogi N, Singh I. Levels of natural radioactivity in environment in residential area of Moradabad District, Western Uttar Pradesh. Pollution. 2017;3(1):1-7.
28. Du L, Prasauskas T, Leivo V, Turunen M, Pekkonen M, Kiviste M, et al. Assessment of indoor environmental quality in existing multi-family buildings in North–East Europe. Environment International. 2015;79:74-84.
29. Haddadi G. Assessment of Radon level in dwellings of Tabriz. Journal of Fasa University of Medical Sciences. 2011;1(1):13-19 (in Persian).

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

Original Article

Investigation of indoor radon concentration in dwellings and public places of Firuzkuh

M Banar[1], AR Mesdaghinia[1,2,*], K Naddafi[1,3], MS Hassanvand[3]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Center for Water Quality Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 06 November 2018
Revised: 26 January 2019
Accepted: 30 January 2019
Published: 12 March 2019

Keywords: Radon gas, Alpha track detector, Dwellings, Public places

***Corresponding Author:**

mesdaghinia@sina.tums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Radon is a radioactive, odorless gas. Radon gas with the emission of alpha radiation and sticking to aerosols in the air can cause lung cancer. This study evaluated the concentration of radon in residential houses and public places in Firuzkuh city and compared the values with the recommended international guidelines.

Materials and Methods: Radon gas concentration was measured by passive measurements using CR-39 detectors. The detectors were placed in houses and schools of the city for three months. After this time, the detectors were located and placed in a 6.25% normal solution at 85 °C for 4 hours in a laboratory. After preparation, using an automatic scan and appropriate statistical method, the concentration of radon gas was determined.

Results: The results indicated that the average concentrations of radon gas in homes and public places were 137.74 and 110.17 Bq/m^3, respectively. Comparing the results with the WHO guideline showed that 76.3% of the homes and 66.7% of the sites had a concentration above the guideline (100 Bq/m^3).

Conclusion: The results of this study can be used to prepare the National Radon gas map in the country.

Please cite this article as: Banar M, Mesdaghinia AR, Naddafi K, Hassanvand MS. Investigation of indoor radon concentration in dwellings and public places of Firuzkuh. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;11(4):477-86.