



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

مقاله پژوهشی

اندازه گیری غلظت گاز رادن در هوای داخل اماکن مسکونی و عمومی شهر نورآباد ممسنی و برآورد دوز موثر دریافتی آن

هدیه حسوندا^۱، نسرين دهقان^۲، کاظم ندافی^۳، محمداصداق حسوندا^{۳*}، رامین نبی زاده^۳، ساسان فریدی^۲، ذبیح الله یوسفی^۴

- ۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: گاز رادن یکی از عوامل خطر محیطی در هوای داخل است که مواجهه با آن سبب افزایش ریسک سرطان ریه می‌شود و پس از سیگار دومین عامل سرطان ریه شناخته می‌شود. بنابراین هدف از این مطالعه اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد ممسنی و برآورد دوز موثر دریافتی ناشی از مواجهه با آن بوده است.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۳۰
تاریخ ویرایش: ۹۷/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۹
تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۱

روش بررسی: در این مطالعه ۵۲ منزل مسکونی و ۸ مکان عمومی جهت اندازه‌گیری غلظت گاز رادن هوای داخل مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری غلظت رادن هوای داخل به روش غیر فعال با استفاده از آشکارسازهای ردپای آلفا (CR-39) به مدت سه ماه انجام گرفت و پس از این مدت آشکارسازها برای شمارش تعداد ردپاها به آزمایشگاه ارسال شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد، میانگین (\pm انحراف معیار) غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی به ترتیب $42/4 (\pm 14/7)$ و $32/9 (\pm 20/1)$ Bq/m³ بود و در همه محل‌های نمونه‌برداری، غلظت رادن کمتر از مقادیر استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و رهنمود سازمان جهانی بهداشت بوده است. همچنین دوز مؤثر دریافتی سالانه ناشی از گاز رادن در منازل مسکونی به‌طور میانگین $1/07$ mSv تخمین زده شد. ارزیابی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در مورد منازل مسکونی رابطه معنی‌داری میان نوع اتاق و تعداد طبقه با غلظت رادن وجود دارد. نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه بیانگر این است که غلظت گاز رادن به‌عنوان یک عامل خطر محیطی در محل‌های مورد بررسی کمتر از حدود اعلام شده در رهنمود سازمان جهانی بهداشت بوده و احتمالاً نقش قابل ملاحظه‌ای در ایجاد اثرات بهداشتی منتسب به آن ندارد.

واژگان کلیدی: گاز رادن، سرطان ریه، هوای داخل، نورآباد ممسنی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

hassanvand@tums.ac.ir

مقدمه

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که حدود ۸۵ درصد از دوز مؤثر دریافتی انسان ناشی از پرتوگیری طبیعی و ۱۵ درصد مصنوعی (انسان‌ساز) است (۱) و مقدار متوسط پرتوگیری سالیانه انسان از تمام منابع پرتوزای طبیعی حدود $2/4 \text{ mSv/y}$ برآورد شده است که در حدود $1/15 \text{ mSv}$ (حدود ۵۰ درصد) از آن ناشی از استنشاق گاز رادن در محیط‌های داخلی است (۲). رادن یک گاز رادیواکتیو بدون رنگ و بو با عدد اتمی ۸۶ و چگالی $9/73 \text{ kg/m}^3$ است و دارای ۳۶ ایزوتوپ با جرم‌های اتمی ۱۹۳ تا ۲۲۸ است که هیچ یک از این ایزوتوپ‌ها پایدار نیستند (۳) و تنها سه ایزوتوپ Rn^{219} (اکتینون)، Rn^{220} (تورون) و Rn^{222} (رادن) در طبیعت تولید می‌شوند که پایدارترین آنها Rn^{222} با نیمه عمر ۳/۸ روز است (۴). محصولات واپاشی رادن (پولونیوم، بیسموت و سرب) که دختران رادن (۵) نامیده می‌شوند همگی جامد هستند (۶) و با تنفس هوای محتوی Rn^{222} و واپاشی آن در ریه، تولید شده و به سطح نسوج آن می‌چسبند و با عمل بازدم از ریه‌ها خارج نمی‌شوند. در نتیجه، ذرات آلفای ناشی از واپاشی آنها باعث آسیب رساندن و احتمالاً بروز سرطان در افراد می‌شوند (۷). طولانی‌تر شدن مدت تنفس صدمات جدی به ریه وارد نموده و باعث ایجاد بیماری‌های آمفیزم (بزرگی ریه) و فیبروزیس (ورم ریوی) و یا در نهایت احتمال بروز سرطان ریه را افزایش خواهد داد (۸).

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer (IARC)) در سال ۱۹۸۸ این گاز را به‌عنوان عامل سرطان ریه در انسان شناسایی کرد (۹). مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با رادن در هوای داخل، سبب افزایش ریسک سرطان ریه می‌شود و حدود ۳ تا ۱۴ درصد از کل سرطان‌های ریه منتسب به رادن است و براساس گزارش سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization (WHO))، رادن پس از سیگار دومین عامل سرطان ریه است و در افراد سیگاری، بیشتر سبب سرطان ریه می‌شود و در افراد غیرسیگاری اولین عامل سرطان ریه است (۱۰). مطالعات نشان داده‌اند که هر

ساله حدود ۲۱۰۰۰ مورد مرگ ناشی از سرطان ریه در ایالات متحده آمریکا منتسب به رادن بوده است (۱۱). در انگلستان نیز سهم موارد مرگ ناشی از مواجهه با رادن را در حدود ۲۰۰۰ نفر تخمین زده‌اند (۱۲). همچنین براساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۶، حدود ۰/۲ درصد از موارد مرگ در کل دنیا منتسب به مواجهه با رادن بوده است (۱۳).

از آنجایی که رادن حاصل واپاشی طبیعی اورانیوم موجود در خاک و سنگ است (۱۱) بنابراین منابع عمده این گاز به داخل ساختمان شامل خاک یا سنگ زیر و اطراف ساختمان، مصالح ساختمانی و آب مصرفی است (۱۴). رادن از طریق شکاف‌ها و دیگر راه‌های فوندانسیون و مجرای سیستم‌های گرم‌کننده و تهویه وارد ساختمان‌ها می‌شود (۱۱). غلظت رادن در هوای آزاد به‌علت حجم زیاد و حرکت مداوم آن معمولاً کمتر از 15 Bq/m^3 بوده و در این حالت تقریباً بی‌خطر است (۷) ولی مقدار آن در فضای بسته (هوای داخل ساختمان‌ها) به مراتب بالاتر بوده و در حدود ۳۷ تا 111000 Bq/m^3 گزارش شده است (۱۵). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (Environmental Protection Agency (EPA)) حداکثر غلظت مجاز رادن در هوای داخل ساختمان را 148 Bq/m^3 تعیین کرده (۱۶) و سازمان جهانی بهداشت مقدار رهنمودی 100 Bq/m^3 را برای هوای داخل اماکن مسکونی پیشنهاد کرده است (۱۰). از آنجایی که اغلب افراد تقریباً ۸۰ درصد از زمان خود را در محیط‌های داخل سپری می‌کنند (۴) اندازه‌گیری غلظت رادن در هوای داخل بسیار مهم است. در طی چند دهه اخیر، به‌واسطه اثرات سوء این گاز بر سلامت انسان در کشورهای مختلف اندازه‌گیری غلظت رادن توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. به‌عنوان مثال اندازه‌گیری غلظت رادن تقریباً ۴۰۰۰ منزل مسکونی در ۳۳ منطقه شهری کانادا در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲ موضوع مطالعه‌ای است که توسط Chen و همکاران انجام شد و نشان داد میانگین غلظت رادن در این منطقه 96 Bq/m^3 است که این مقدار از دو برابر میانگین جهانی غلظت رادن بیشتر است (۱۷). در پژوهش دیگری توسط Celik و همکاران در استان

با وضعیت غلظت گاز رادن در این منطقه را در اختیار متولیان سلامت قرار خواهد داد تا نسبت به مواجهه با رادن به‌عنوان یک عامل خطر محیطی آگاهی لازم را داشته باشند و در یک نگاه کلی نتایج این مطالعه می‌تواند بخشی از داده‌های مربوط به سیمای ملی نقشه رادن در کشور را در اختیار تصمیم‌گیرندگان سلامت کشور و محققین قرار دهد.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه شهری نورآباد ممسنی از توابع استان فارس انجام شد. شهر نورآباد به‌عنوان مرکز شهرستان ممسنی در شمال غرب استان فارس و در فاصله ۱۸۰ km شیراز (مرکز استان فارس) واقع شده است. از نظر ارتباطی نورآباد پیوند دهنده استان فارس با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و بوشهر است. براساس گزارش سرشماری در سال ۱۳۹۵، شهر نورآباد ۵۷۰۵۸ نفر جمعیت دارد.

- روش نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت رادن

این مطالعه توصیفی-تحلیلی و از نوع مقطعی است. برطبق پروتکل ارائه شده توسط U.S. EPA که برای اندازه‌گیری غلظت رادن هوای داخل برای مواجهه بلند مدت، زمان نمونه‌برداری می‌بایست ۳ الی ۱۲ ماه باشد (۲۵)، لذا در این مطالعه مدت زمان نمونه‌برداری ۳ ماه در سال ۱۳۹۱ انتخاب گردید که بخشی از آن در فصل پاییز و بخشی هم در فصل زمستان در سال ۱۳۹۱ انجام شد. در این مطالعه، ارتفاع از سطح زمین، نوع مصالح، قدمت ساختمان، ترک خوردگی و شکاف موجود در دیوار و سقف به‌عنوان متغیرهای مستقل و غلظت گاز رادن به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

نقشه شهر نورآباد ممسنی با استفاده از نرم افزار GIS (Geographic Information System) نقطه‌یابی شد (شکل ۱). نقطه‌یابی براساس تجارب جهانی موجود در تهیه نقشه رادن صورت گرفت. در بسیاری از کشورها به‌منظور اندازه‌گیری غلظت گاز رادن از مقیاس مساحت استفاده می‌شود و به عبارت دیگر در هر ۲ تا ۱۰ km² یک نمونه گرفته می‌شود

Giresun ترکیه، غلظت رادن را $360 - 52 \text{ Bq/m}^3$ با مقدار میانگین 130 Bq/m^3 گزارش کرده‌اند. براساس تحقیقات آنها سطح رادن داخلی متأثر از ژئولوژی، نفوذ پذیری خاک، شرایط آب و هوایی و فاکتورهایی مانند طراحی، ساخت، شرایط و کاربرد ساختمان است (۱۸). Ramsiya و همکاران نیز غلظت گاز رادن را در ۲۵ منزل مسکونی منطقه Pirayiri بخش Palakkad هند، با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای حالت جامد (Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTD)) از نوع LR-115 اندازه‌گیری کردند. آنها میانگین هندسی غلظت گاز رادن را $25/52 \text{ Bq/m}^3$ گزارش دادند که این مقدار از میانگین ملی اندکی بالاتر بود و مقدار دوز مؤثر سالانه برای رادن $1/99 - 0/37 \text{ mSv/y}$ تخمین زده شد که از سطح اقدام (3 mSv/y) پیشنهاد شده توسط کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو (International Committee of Radiation Protection (ICRP)) ($3 - 10 \text{ mSv/y}$) پایین‌تر است (۱۹). اندازه‌گیری غلظت رادن در کشور ایران نیز از سال ۱۳۴۷ آغاز (۲۰) و تاکنون پژوهش‌های متعددی در برخی از شهرها با موضوع اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در هوای داخل صورت گرفته است. به عنوان مثال، در بررسی دو ساله غلظت رادن در ۱۰ شهر استان یزد، خوشبختانه میانگین غلظت رادن در محدوده رهنمود ICRP و WHO بوده است (۲۱). علاوه بر این، براساس مطالعات انجام شده، غلظت گاز رادن در شهرهای خرم‌آباد، قم و مشهد به ترتیب در $1/10$ ، $3/24$ و $3/5$ درصد از منازل بررسی شده بیشتر از رهنمود WHO بوده است (۲۴-۲۲).

با توجه به اینکه رادن یکی از مهمترین عوامل خطر محیطی است که دارای اثرات متعددی بر سلامت است و سهم تقریباً زیادی در بار بیماری‌ها دارد و همچنین با عنایت به اینکه در کشور ضرورت تهیه نقشه ملی رادن در سطح کشور وجود دارد لذا بررسی غلظت گاز رادن در مناطق مختلف کشور حائز اهمیت است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد ممسنی انجام گرفت. نتایج این تحقیق اطلاعات لازم در رابطه

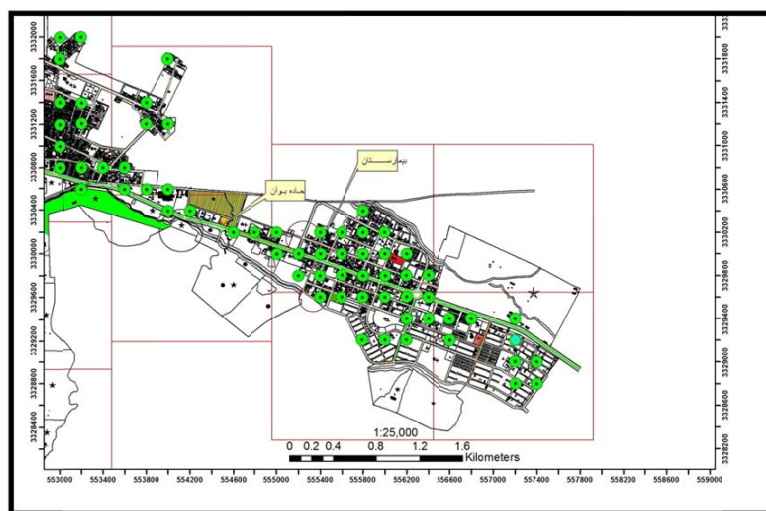
(۲۶). با توجه به اینکه در ایران معیاری برای انتخاب نقاط نمونه برداری وجود ندارد در این مطالعه به منظور دستیابی به نتایج با دقت بالا، از هر $600-400 m^2$ یک نمونه انتخاب گردید و در نهایت ۶۴ محل نمونه برداری (۵۶ منزل مسکونی و ۸ مکان عمومی) انتخاب شد. در کل مطالعه تعداد ۱۲۰ آشکارساز برای ۶۴ نقطه در شهر مورد استفاده قرار گرفت. در ۵۶ نقطه (منزل مسکونی) در هر نقطه دو آشکارساز (اتاق خواب و نشیمن) و در ۸ نقطه (اماکن عمومی) در هر نقطه یک آشکارساز جایگذاری شد.

اندازه گیری گاز رادن به دو روش فعال (Active) و غیر فعال (Passive) و به صورت کوتاه مدت یا بلند مدت انجام می شود (۱۰، ۲۷) که در این مطالعه از روش غیر فعال و بلند مدت استفاده شده است. به منظور اندازه گیری غلظت گاز رادن از آشکارساز رد پای آلفا (Alpha Track Detector) استفاده شد که شامل یک قطعه کوچکی از فیلم پلی مری CR-39 به ابعاد $2/5 \times 2/5 cm$ است و درون یک ظرف کوچک تعبیه شده است (شکل ۲) (۲۳). آشکارسازها از شرکت Test Track خریداری شدند. هوای موجود در محیط نمونه برداری از طریق یک شپاری که در اتصال دو قطعه پکیج ایجاد می شود عبور می کند و در فضای داخلی اتاقک به فیلم CR-39 برخورد می کند و ذرات آلفای منتشره از رادن و دخترانش سبب ردپا

در آشکارساز می شود.

بنابراین تعداد ۱۲۰ آشکارساز به صورت کاملا محافظت شده با پوشش آلومینیومی طی مدت سه روز در نقاط تعیین شده جایگذاری شدند و کلیه شرایط لازم جهت جانمایی آشکارسازها طبق پروتکل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۲۵) انجام گرفت، و به هر آشکارساز یک کد اختصاص داده شد تا پس از جمع آوری، مشخصات هر محل مشخص گردد. همزمان با نمونه برداری، مشخصات ساختمان اعم از مسکونی یا عمومی، قدمت ساخت، ارتفاع از سطح زمین، ترک خوردگی و شکاف موجود در دیوار و سقف و نوع مصالح به کار رفته نیز در یک فرم جمع آوری داده ها ثبت گردید. سپس بعد از ۳ ماه آشکارسازها (به مدت دو روز) به صورت کاملا محافظت شده با پوشش آلومینیومی جمع آوری و جهت آنالیز به آزمایشگاه فرانس رادن در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران ارسال شدند.

در آزمایشگاه بلافاصله بعد از برداشتن پوشش آلومینیومی، مقابل کد نمونه ها شماره حک شده بر روی آشکارسازها ثبت شد و برای بزرگ کردن قطر رد پای ذرات آلفای ایجاد شده روی آشکارسازها، از روش الکتروشیمیایی استفاده شد (۱۰). بدین صورت که آشکارسازها در محلول سود کوآستیک $6/25 N$ در دمای $85^\circ C$ به مدت ۳ h در بن ماری نگهداری و پس از سپری شدن زمان مورد نظر با آب مقطر شستشو و در ادامه خشک



شکل ۱- موقعیت محل های نمونه برداری در شهر نورآباد



شکل ۲- آشکارساز Alpha Track مجهز به فیلم پلیمری CR-39

که در آن: D ، دوز مؤثر سالیانه بر حسب $C \text{ mSv}$ ، غلظت رادن (Bq/m^3) ، F فاکتور تعادل بین رادن و محصولات واپاشی آن (0.4) برای اندازه‌گیری‌های داخلی)، H فاکتور اشغال (0.8) برای اندازه‌گیری‌های داخلی)، T مدت زمان اقامت به ازای یک سال (8766 h) به ازای یک سال مواجهه) و F' فاکتور تبدیل دوز $(0.9 \text{ nSv} \cdot \text{Bq}/\text{m}^3)$ به ازای هر ساعت) است.

یافته‌ها

از ۵۶ منازل مسکونی و تعداد ۸ مکان عمومی مورد بررسی در این پژوهش، ۴ مورد از نمونه‌های موجود در منازل مسکونی به‌علت عدم همکاری ساکنین و عدم تحویل آشکارسازها توسط ساکنین از مطالعه حذف گردید. بنابراین نتایج ارائه شده در این مطالعه و تجزیه و تحلیل آنها براساس ۵۲ منزل مسکونی و ۸ مکان عمومی انجام شد.

- غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی - نتایج به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌ها در شهر نورآباد ممسنی حاکی از آن است که میانگین به همراه انحراف معیار غلظت گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی به ترتیب برابر با $42/4 \pm 14/7$ و $32/9 \pm 20/1$ Bq/m^3 است (جدول ۱).

- دوز مؤثر سالیانه دریافتی ناشی از گاز رادن - طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین دوز مؤثر سالیانه ناشی از گاز رادن منازل مسکونی برای ساکنین شهر نورآباد $1/07 \text{ mSv}$ (تخمین زده شد).

و توسط دستگاه شمارشگر اتوماتیک ردپای ذرات آلفا قرائت گردید. در دستگاه شمارشگر که مجهز به سیستم مکانیکی و الکترونیکی است و به‌طور کامل توسط نرم افزار ویژه از طریق کامپیوتر کنترل می‌شود از هر فیلم ۳۰ تصویر میکروسکوپی برداشت شد و تمامی ذرات آلفای این تصاویر توسط دستگاه شمارشگر محاسبه و جدول خروجی بر حسب میانگین تعداد ردپا در هر cm^2 و براساس ضریب کالیبراسیون و ضریب تبدیل به واحد Bq/m^3 هوا ثبت گردید. لازم به ذکر است ضریب کالیبراسیون دستگاه از قبل توسط سازمان انرژی اتمی ایران بر روی این آشکارسازها تعیین و در نرم افزار گنجانده شد. صحت نتایج کار آنالیز رادن دانشکده بهداشت ساری از طریق واحد حفاظت پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران با تحویل نمونه‌های اندیکاتور با دوز معین از ذرات آلفا کنترل گردید و مورد تایید قرار گرفت. در نهایت داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری مقایسه میانگین دو نمونه مستقل (T-test) و آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) در نرم‌افزار SPSS, 18 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. $p < 0/05$ به‌عنوان سطح معنی‌دار، در نظر گرفته شد.

-محاسبه دوز مؤثر سالیانه دریافتی ناشی از گاز رادن - جهت محاسبه پرتوگیری سالیانه از معادله ۱ که توسط انتشارات کمیته علمی سازمان ملل متحد درباره پرتوهای یونیزان پیشنهاد شده، استفاده گردید (۲).

$$D = C \times F \times H \times T \times F' \quad (1)$$

در دیوار و سقف و نوع مصالح بکار رفته در ساختمان است
(جدول ۲).

جدول ۳ خلاصه برخی از مطالعات اندازه گیری غلظت رادن
داخلی در شهرهای ایران را نشان می دهد.

- عوامل مؤثر بر غلظت گاز رادن

از جمله عوامل مؤثر بر غلظت گاز رادن که در این پژوهش
مورد بررسی قرار گرفتند شامل تعداد طبقات ساختمان (ارتفاع
از سطح زمین)، عمر ساختمان، ترک خوردگی و شکاف موجود

جدول ۱- خلاصه آمار توصیفی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد ممسنی

غلظت گاز رادن در هوای داخل (Bq/m^3)				تعداد نمونه ها	محل مورد بررسی
بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین		
۸۳/۶۵	۱۵/۶۵	۱۴/۷۷	۴۲/۴۳	۵۲	منازل مسکونی
۶۴/۷۰	۹/۴۰	۲۰/۰۷	۳۲/۹	۸	اماکن عمومی

جدول ۲- خلاصه آمار توصیفی نتایج غلظت گاز رادن با توجه عوامل مؤثر بر آن

غلظت گاز رادن (Bq/m^3)				تعداد نمونه	متغیر	محل بررسی	پارامتر	
بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین					
۸۳/۶۵	۲۰/۰۵	۱۴/۱۷	۴۴/۵۱	۴۶	اول	مسکونی	طبقه مورد بررسی	
۳۷/۱۰	۱۵/۶۵	۸/۴۶	۲۶/۴۳	۶	دوم و بالاتر			
۶۴/۷۰	۹/۴۰	۳۱/۶۸	۳۱/۶۸	۶	اول	عمومی	درز و شکاف	
۵۶/۶۰	۱۶/۵۰	۳۶/۵۵	۳۶/۵۵	۲	دوم و بالاتر			
۸۳/۶۵	۱۵/۶۵	۱۵/۹۰	۴۱/۵۷	۳۶	جدید*	مسکونی	سن بنا	
۶۲/۵۰	۲۳/۸۵	۱۲/۱۰	۴۴/۳۶	۱۶	قدیمی**			
۶۴/۷۰	۹/۴۰	۲۴/۶۸	۳۴/۹۸	۵	جدید*	عمومی		
۴۲	۱۶/۵۰	۱۲/۷۵	۲۹/۴۳	۳	قدیمی**			
۷۶/۰۵	۲۳/۸۵	۱۷/۱۲	۴۷/۷۶	۸	دارای درز و شکاف	مسکونی	درز و شکاف	
۸۳/۶۵	۱۵/۶۵	۱۴/۳۱	۴۱/۴۶	۴۴	بدون درز و شکاف			
۴۲	۲۹/۸۰	۸/۶۲	۳۵/۹	۲	دارای درز و شکاف	عمومی		
۶۴/۷۰	۹/۴۰	۲۳/۳۳	۳۱/۹	۶	بدون درز و شکاف			
۷۶/۰۵	۲۰/۸۵	۱۸/۳۳	۴۱/۶۸	۹	بلوک	مسکونی	نوع مصالح ساختمان	
۸۳/۶۵	۱۵/۶۵	۱۴/۲۷	۴۲/۳۷	۴۲	آجر			
۵۱/۵۵	۵۱/۵۵	-	۵۱/۵۵	۱	گل و سنگ			
۶۴/۷۰	۱۶/۵۰	۳۴/۰۸	۴۰/۶۰	۲	بلوک			
۵۶/۶۰	۹/۴۰	۱۹/۳۷	۳۱/۲۵	۴	آجر	عمومی	نوع اتاق	
۴۲/۰۰	۴۲/۰۰	-	۴۲/۰۰	۱	سنگ			
۱۵/۰۰	۱۵/۰۰	-	۱۵/۰۰	۱	چوب			
۹۴	۱۱/۷۰	۱۷/۸۰	۴۵/۶۹	۵۲	خواب	مسکونی		
۷۳/۳۰	۱۰/۸۰	۱۴/۸۴	۳۹/۱۶	۵۲	نشیمن			

* جدید: کمتر از ۱۵ سال

** قدیمی: بیش از ۱۵ سال

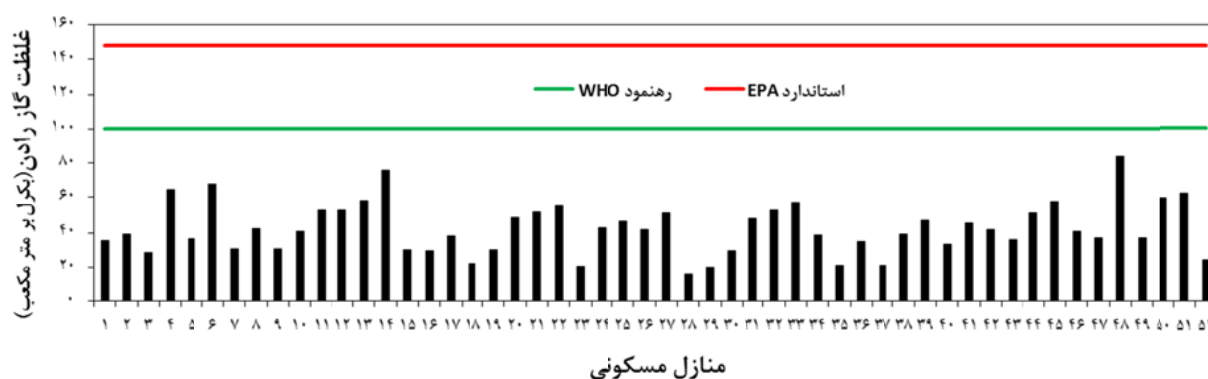
جدول ۳- خلاصه برخی از مطالعات بررسی غلظت رادن داخلی در ایران

شهر	محل اندازه‌گیری	حداکثر غلظت رادن (Bq/m^3)	میانگین غلظت رادن (Bq/m^3)	حداقل غلظت رادن (Bq/m^3)	رفرنس
کرمان	خوابگاه‌های دانشگاه علوم پزشکی	۲۴/۵	۵/۸۵	۱/۰۱	(۲۸)
کرمانشاه	بیمارستان‌ها	۱۳/۷	۱۱/۴۴	۶/۸	(۲۹)
چورزق آب بر گیلوان	منازل مسکونی	۲۹۹/۴	۲۲۰/۵۱	۱۵۶/۴۹	(۲۰)
		۱۹۹/۱۵	۹۵/۲۵	۱۲/۰۲	
تنکابن	منازل مسکونی	۲۰۱/۴۷	۱۱۹/۸۴	۱۸/۶۲	(۳۰)
		-	۲۳۲/۵	-	
همدان	منازل مسکونی	۳۶۴	۱۰۸	۴	(۳۱)
مشهد	منازل مسکونی	۱۳۵/۲	۳۱/۹	۱۲/۳	(۲۴)
قم	منازل مسکونی	۲۵۹	۹۵/۸۳	۱۵	(۲۳)
خرم‌آباد	منازل مسکونی	۱۹۶/۷۸	۴۳/۴۳	۱/۰۸	(۲۲)
نورآباد	منازل مسکونی	۸۳/۶۵	۴۲/۴۳	۱۵/۶۵	مطالعه حاضر
ممسنی	اماکن عمومی	۶۴/۷۰	۳۲/۹	۹/۴۰	

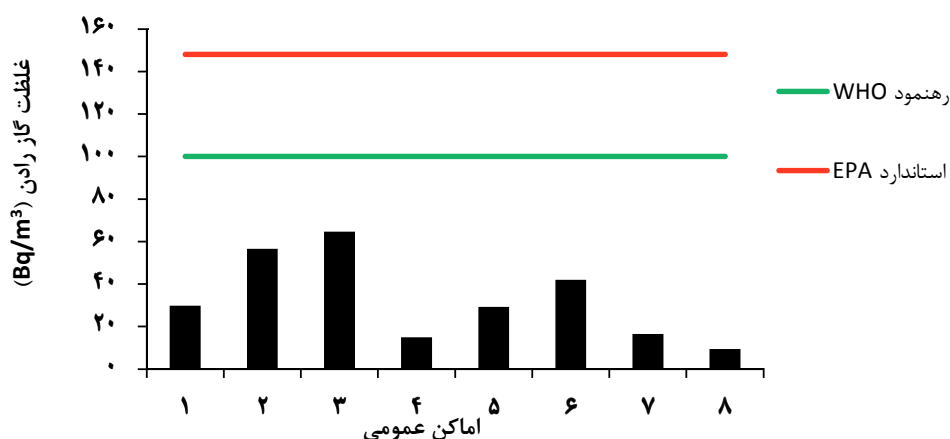
بحث

نشان داد که بسیار کمتر از مقدار توصیه شده توسط WHO و EPA است. علاوه بر این، در هیچ یک از منازل و اماکن عمومی این مطالعه غلظت رادن هوای داخلی از ۱۰۰ و $148 Bq/m^3$ تجاوز نکرد (نمودار ۱ و ۲). مطابق با استانداردهای EPA غلظت رادن در هوای داخل خانه

در این مطالعه غلظت گاز رادن برای اولین بار در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش میانگین غلظت $42/4 Bq/m^3$ برای منازل مسکونی و $32/9 Bq/m^3$ برای اماکن عمومی را



نمودار ۱- مقایسه میانگین غلظت گاز رادن در منازل مسکونی شهر نورآباد با استانداردهای WHO و EPA



نمودار ۲- مقایسه میانگین غلظت گاز رادن در اماکن عمومی شهر نورآباد با استانداردهای WHO و EPA

خواب است. در مطالعه Rafique و همکاران و Denman و همکاران غلظت گاز رادن در اتاق خواب بیشتر از اتاق نشیمن ثبت شده است که با نتایج حاصل از این مطالعه مشابهت دارد (۳۳، ۳۴). مقایسه غلظت گاز رادن در ساختمان‌های یک طبقه و بیشتر از یک طبقه نشان داد که میانگین غلظت این گاز در منازل مسکونی بیشتر از یک طبقه، کمتر از منازل مسکونی یک طبقه است ($p=0/004$). پایین بودن غلظت رادن در طبقات بالاتر می‌تواند ناشی از این باشد که گاز رادن با چگالی $9/73 \text{ g/L}$ نسبت به هوا یک گاز سنگین محسوب می‌شود و تمایل دارد که به طرف پایین حرکت کند. دلیل دوم فاصله گرفتن طبقات بالاتر از قشر زمین و منشا تشعشعات گاز رادن است. نتایج مطالعه حاضر هم‌سو با مطالعه‌ای است که در سال ۲۰۱۱ توسط Hadad و همکاران در شیراز انجام گرفت و در آن میانگین غلظت رادن 94 Bq/m^3 گزارش شد و غلظت گاز رادن در طبقات پایین‌تر نسبت به طبقات بالایی ساختمان بالاتر بود (۳۵). علاوه بر این، در مطالعه‌ای که توسط Kim و همکاران در سال ۲۰۱۱ در زمینه بررسی رادن ملی در کره صورت گرفت، غلظت گاز رادن در خانه‌ها بالاتر از آپارتمان‌ها گزارش شد (۳۶). در بقیه موارد مقایسه غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی، اگرچه وجود تفاوت‌هایی از نظر آمار توصیفی به چشم می‌خورد اما این تفاوت‌ها از نظر آزمون‌های آماری معنی‌دار نیستند.

در سه محدوده بی‌خطر (کمتر از 74 Bq/m^3)، کم‌خطر (بین 74 تا 148 Bq/m^3) و محدوده بالاتر از خطر (بیشتر از 148 Bq/m^3) طبقه بندی شده است. در این پژوهش تنها در ۳ مورد (۵/۷ درصد) میزان غلظت گاز رادن در اتاق خواب، بین 74 تا 148 Bq/m^3 و در ۴۹ مورد (۹۴/۳ درصد) میزان غلظت گاز رادن در اتاق خواب کمتر از 74 Bq/m^3 است. میزان غلظت گاز رادن در اتاق نشیمن، در ۱۰۰ درصد موارد کمتر از 74 Bq/m^3 است. همچنین به‌طور کلی میزان غلظت گاز رادن در منازل مسکونی در ۲ مورد (۳/۸ درصد) بین 74 تا 148 Bq/m^3 و در ۵۰ مورد (۹۶/۲ درصد) کمتر از 74 Bq/m^3 است. همچنین در ۸ مکان عمومی مورد بررسی در این پژوهش، میزان غلظت گاز رادن در ۱۰۰ درصد موارد کمتر از 74 Bq/m^3 است.

با توجه به مطالعات قبلی، میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی نورآباد ممسنی از میانگین غلظت رادن در شهر مشهد بالاتر است و از میانگین غلظت رادن در سایر شهرهای ذکر شده در جدول ۳ پایین‌تر است.

میانگین دوز دریافتی ناشی از استنشاق رادن هوای منازل مسکونی $1/07 \text{ mSv/y}$ تخمین زده شد که کمتر از مقدار توصیه شده توسط ICRP در سال ۱۹۹۵ (3 mSv/y) است (۳۲).

براساس این پژوهش میانگین غلظت گاز رادن در اتاق نشیمن کمتر از میانگین غلظت گاز رادن در اتاق خواب است ($p=0/045$). این موضوع به دلیل عدم تهویه کافی در اتاق

نتیجه گیری

میانگین غلظت رادن هوای داخلی منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد کمتر از مقادیر رهنمودی توصیه شده توسط WHO و EPA است و دوز مؤثر دریافتی ساکنین نیز کمتر از حد استاندارد ICRP است. بنابراین نتایج مطالعه حاضر بیانگر این است که غلظت گاز رادن در همه نقاط نمونه برداری پایین تر از حد مجاز توصیه شده است و لذا مواجهه با این عامل خطر محیطی احتمالاً اثر قابل ملاحظه‌ای بر سلامت ساکنین شهر نورآباد ممسنی ندارد. همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند بخشی از داده‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه ملی رادن در سطح کشور را در اختیار مسئولین و محققین کشور جهت انجام مطالعات و سیاست‌های کلان ملی قرار دهد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل رضایت آگاهانه، عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد ممسنی" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۹۲-۱۳۹۱ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران اجرا شده است.

References

1. Mahvi AH, Moradi M, Moradi B, Fakhri Y. Determination of radon-222 and thoron concentration in decorative stone warehouses indoor air and the received effective dose by staff. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2015;2(4):249-58 (in Persian).
2. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2000.
3. Tchorz-Trzeciakiewicz D, Kłos M. Factors affecting atmospheric radon concentration, human health. *Science of the Total Environment*. 2017;584:911-20.
4. Ansre CY, Miyittah MK, Andam AB, Dodor DE. Risk assessment of radon in the South Dayi District of the Volta Region, Ghana. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2018;11(1):10-17.
5. Hashemi M, Negarestani A. Effective dose rate of radon gas in Jooshan Hot Spring of Kerman Province. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*. 2010;18(3): 279-85 (in Persian).
6. Denton GR, Namazi S. Indoor radon levels and lung cancer incidence on Guam. *Procedia Environmental Sciences*. 2013;18:157-66.
7. Abbasnezhad A. Environmental Impacts and implications of the radon-222, and its urgency attention in Iran. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2003;26:17-31 (in Persian).
8. Tirmarche M, Harrison J, Laurier D, Blanchardon E, Paquet F, Marsh J. Risk of lung cancer from radon exposure: contribution of recently published studies of uranium miners. *Annals of the ICRP*. 2012;41(3-4):368-77.
9. Alzimami K, Maghraby AM, Abo-Elmagd M. Radon levels and the expected population mortality in dwellings of Al-Kharj, Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2014;7(4):572-76.
10. WHO. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Geneva: World Health Organization; 2009.
11. AARST. Protocol for conducting radon and radon decay product measurements in multifamily buildings. Hendersonville, North Carolina: the American Association of Radon Scientists and Technologists; 2017.
12. Owen LA, Pickering KT, Pickering KT. An Introduction to Global Environmental Issues. UK: Routledge; 2006.
13. World Bank. The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. Washington, DC: World Bank; 2016.
14. Singh P, Singh P, Singh S, Sahoo B, Sapra B, Bajwa B. A study of indoor radon, thoron and their progeny measurement in Tosham region Haryana,

- India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2015;8(2):226-33.
15. Coch NK. *Geohazards: Natural and Human*. New York: Prentice Hall; 1995.
 16. EPA. *A citizen's guide to radon: The guide to protecting yourself and your family from radon*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 2012.
 17. Chen J, Bergman L, Falcomer R, Whyte J. Results of simultaneous radon and thoron measurements in 33 metropolitan areas of Canada. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014;163(2):210-16.
 18. Çelik N, Çevik U, Çelik A, Kucukomeroglu B. Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008;99(8):1349-54.
 19. Ramsiya M, Joseph A, Jojo P. Estimation of indoor radon and thoron in dwellings of Palakkad, Kerala, India using solid state nuclear track detectors. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2017;10(3):269-72.
 20. Tavakoli A, Parizanganeh A, Khosravi Y, Hemmati P. Reconnaissance Study of Residential Radon Concentration in Tarom Country-Zanjan. *Iranian Journal of Health & Environment*. 2017;10(1):115-24 (in Persian).
 21. Hadad K, Mokhtari J. Indoor radon variations in central Iran and its geostatistical map. *Atmospheric Environment*. 2015;102:220-27.
 22. Hassanvand H, Hassanvand MS, Birjandi M. Indoor Radon Measurement in Dwellings of Khorramabad City, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 2018;15(1):19-27.
 23. Fahiminia M, Fouladi Fard R, Ardani R, Naddafi K, Hassanvand M, Mohammadbeigi A. Indoor radon measurements in residential dwellings in Qom, Iran. *International Journal of Radiation Research*. 2016;14(4):331-39.
 24. 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.
 25. USEPA. *Protocols for radon and radon decay product measurements in homes*. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1993.
 26. Miles J, Appleton J. Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *Journal of Radiological Protection*. 2005;25(3):257-63.
 27. USEPA. *Radon decay product measurement device protocols*. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1992.
 28. Montazerabadi A, Ahmadian M, Vahed M, Yousefi N, Fatehizadeh A, Borhani P, et al. Evaluation of ²²²Rn rate in medical dormitory of Kerman City. *International Journal of Radiation Research*. 2012;10(3-4):171-75.
 29. Pirsaeheb M, Najafi F, Haghparast A, Azizi E, Hemati L. Effective dose and concentration of radon and thoron gases at hospitals of Kermanshah University of Medical Sciences (2012). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. 2014;18(6):362-70.
 30. Amirzadi M, Hosseini PMS, Taheri M, Babakhani A. Complementary measurements of radon concentration in water sources and natural exposure in dwellings in the vicinity of the Ramsar HLNRA, Iran. *Nuclear Technology and Radiation Protection*. 2012;27(4):399-403.
 31. Gillmore G, Jabarivasal N. A reconnaissance study of radon concentrations in Hamadan city, Iran. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2010;10(4):857-63.
 32. ICRP. *ICRP Publication 69: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3 Ingestion Dose Coefficients*. The Netherlands: Elsevier Health Sciences; 1995.
 33. Rafique M, Rahman S, Rahman S, Jabeen S, Shahzad MI, Rathore MH. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of district Poonch (Azad Kashmir), Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry*. 2009;138(2):158-65.
 34. Denman AR, Groves-Kirkby N, Groves-Kirkby CJ, Crockett RG, Phillips PS, Woolridge AC. Health implications of radon distribution in living rooms and bedrooms in UK dwellings—A case study in Northamptonshire. *Environment International*. 2007;33(8):999-1011.
 35. Hadad K, Hakimdavoud M, Hashemi-Tilehnoee M. Indoor radon survey in Shiraz-Iran using devel-

- oped passive measurement method. International Journal of Radiation Research. 2011;9(3):175-82.
36. Kim Y, Chang B-U, Park H-M, Kim C-K, Tokonami S. National radon survey in Korea. Radiation Protection Dosimetry. 2011;146(1-3):6-10.



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

Original Article



Measurement of radon concentration in indoor air of residential and public buildings in Nourabad Mammasani city and estimation of its effective dose

H Hassanvand¹, N Dehghan², K Naddafi^{2,3}, MS Hassanvand^{3,*}, R Nabizadeh^{2,3}, S Faridi², Z Yousefi⁴

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

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

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

4- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 21 November 2018

Revised: 13 February 2019

Accepted: 18 February 2019

Published: 12 March 2019

Keywords: Radon, Lung cancer, Indoor air, Nourabad Mammasani

*Corresponding Author:

hassanvand@tums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Radon gas is one of the environmental risk factors which can increase the risk of lung cancer and it is well known as the second-leading cause of lung cancer after smoking. The aim of the present study was to investigate indoor radon gas concentration in residential and public environments of Nourabad Mammasani city and to estimate the effective dose due to radon exposure.

Materials and Methods: In this study, 52 homes and 8 public places were investigated to measure the concentration of indoor radon gas. Indoor radon concentrations were measured using passive sampling approach, alpha-track detectors (CR-39) for three months, and after that, detectors were sent to the laboratory to count the number of tracks.

Results: The results of this research showed that the average radon concentration (\pm SD) in the homes and public places was $42.4(\pm 14.7)$ and $32.9(\pm 20.1)$ Bq/m³, respectively. All radon concentration values were lower than the US Environmental Protection Agency standard and WHO guideline. The average of annual effective dose due to the radon exposure in homes was estimated to be 1.07 mSv. The evaluation of the results showed that there was a significant relationship between the room type and the number of floors with radon concentration in the residential buildings.

Conclusion: The results indicated that the indoor radon concentration as an environmental risk factor in the studied places was lower than the WHO guideline levels. Consequently, the indoor radon is not likely a major environmental risk factor in the studied environments.

Please cite this article as: Hassanvand H, Dehghan N, Naddafi K, Hassanvand MS, Nabizadeh R, Faridi S, Yousefi Z. Measurement of radon concentration in indoor air of residential and public buildings in Nourabad Mammasani city and estimation of its effective dose. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;11(4):587-98.