

Indoor Radon Concentration in Gorgan Dwellings Using CR-39 Detector

Zabihollah Yousefi¹,
Kazem Naddafi²,
Reza Ali Mohamadpur Tahamtan³,
Mohammad Ali Zazouli⁴,
Zohre Koushki⁵

¹ Professor, Department of Environmental Health, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Professor, Department of Environmental Health, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Biostatistics, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Environmental Health, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁵ MSc Student in Environmental Health, Health Sciences Research Center, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received March 7, 2014 ; Accepted May 11, 2014)

Abstract

Background and purpose: Radon is a colorless inert gas which decay products are the main component of natural radioactive elements that are naturally produced in under layers of earth crust by decay of radium and uranium. It enters through buildings via gaps and cracks. Alpha particle emissions as a radon gas decay product can increase the incidence of lung cancer in human. Every person spends 65 to 95 percent of his life in closed environments, therefore, elevated concentrations of radon could negatively influence human health. This study aimed at measuring the indoor radon concentration in the dwelling of Gorgan and compare it with EPA standards.

Material and Methods: The indoor radon concentration was measured in 218 homes in Gorgan using solid-state nuclear track detectors (CR-39). Each CR-39 detector was mounted 50-90 cm from the bottom bedroom and living rooms, away from doors and windows. After about three months of exposure, the detectors were collected and transported to the laboratory. In next step, they were etched in 6.25N NaOH solutions at 85 C° for three hours. Finally, track densities were analyzed using an optical microscope scanning system.

Results: The radon concentration in three percent of the houses was found higher than 148 Bq/m³ receipted by EPA as the action level.

Conclusion: The result of this study could be used in mapping of national radon level

Keywords: Radon-222, CR-39 detector, lung cancer, Gorgan

اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر گرگان با آشکارساز CR-39

ذبیح اله یوسفی^۱

کاظم ندافی^۲

رضاعلی محمدپور تهمتن^۳

محمد علی ززولی^۴

زهره کوشکی^۵

چکیده

سابقه و هدف: گاز رادون پرتوی بی بو و بیرنگ است که به واسطه فروپاشی اورانیوم موجود در زمین ایجاد شده و از طریق درز و شکاف‌های ساختمانی به فضای داخلی خانه‌ها راه می‌یابد. گاز رادون با انتشار پرتو آلفا و چسبیدن به ذرات گرد و غبار و آئروسول‌های موجود در هوا می‌تواند باعث ایجاد سرطان ریه شود. با توجه به این که ۶۵ تا ۹۵ درصد از عمر انسان در محیط‌های بسته سپری می‌شود. این گاز می‌تواند بر سلامت انسان تاثیر منفی بگذارد. لذا هدف از این مطالعه اندازه گیری غلظت گاز رادون موجود در خانه‌های شهر گرگان و مقایسه میزان غلظت موجود با استاندارد توصیه شده توسط انجمن حفاظت محیط زیست امریکا می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای اندازه گیری گاز رادون، ۲۱۸ منزل مسکونی واقع در شهر گرگان انتخاب شد. دتکتورهای رد پای هسته‌ای حالت جامد SSNTD_s از نوع CR-۳۹ به مدت سه ماه طی فصل زمستان در اتاق خواب و نشیمن به فاصله ۵۰ تا ۹۰ سانتیمتری از کف زمین دور از پنجره و نور آفتاب نصب شدند. پس از جمع‌آوری، آشکارسازها در محلول سود ۶/۲۵ نرمال در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت سه ساعت قرار داده شد و پس از آماده سازی با استفاده از دستگاه اسکن اتوماتیک و روش‌های آماری مناسب، غلظت گاز رادون تعیین شد.

یافته‌ها: با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده با استانداردهای انجمن حفاظت محیط زیست آمریکا مشخص شد که تنها نزدیک به سه درصد منازل مسکونی شهر گرگان دارای غلظت گاز رادون بالاتر از ۱۴۸ بکرل بر متر مکعب می‌باشد. **استنتاج:** نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای تهیه نقشه ملی گاز رادون در سطح کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: رادون، آشکارساز CR-۳۹، سرطان ریه

مقدمه

درصد مربوط به هوای آزاد و یک درصد نیز از منابع آب‌های آشامیدنی می‌باشد (۱). گاز رادون و دخترانش منابع عمده تابش‌های طبیعی می‌باشند. طبق گزارش

منابع پرتوزای طبیعی عامل اصلی پرتوگیری بشر و موجودات زنده محسوب می‌شوند و از کل پرتوگیری انسان، ۹۵ درصد آن مربوط به داخل ساختمان‌ها، چهار

koushki.env90@gmail.com E-mail:

مؤلف مسئول: زهره کوشکی - ساری: کیلو متر ۱۸ جاده خزرآباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۴. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

© تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۳/۲/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۲۱

بر متر مکعب (۱۷) و سازمان جهانی بهداشت ۱۰۰ بکرل بر متر مکعب را به عنوان حد مجاز رادون در هوای داخل خانه در نظر گرفته اند (۱۸). مطالعات مربوط به غلظت گاز رادون در منازل مسکونی بسیار مهم بوده و در بیش تر کشورها و چند شهر ایران مقادیر گاز رادون اندازه گیری شده است. بر این اساس میانگین رادون در منازل مسکونی در آلمان غربی ۴۰، کانادا ۳۴ و انگلستان ۲۰ بکرل بر متر مکعب به ثبت رسیده است (۷). در ۵۰ درصد از منازل مسکونی آمریکا غلظت رادون ۱۴۸ بکرل بر متر مکعب می باشد (۹). مناطقی از شهر رامسر واقع در شمال ایران به دلیل وجود چشمه های آب گرم حاوی رادیوم - ۲۲۶، دارای بیش ترین میزان پرتوزایی طبیعی در جهان می باشند (۱۹) و به عنوان پرخطرترین نقطه دنیا در پرتو دهی گاز طبیعی رادون شناخته شده است (۲۰).

اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی به لحاظ ارتباط آن با پرتوگیری ساکنین ساختمان، بسیار مهم است، لذا ضرورت اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی واقع در سه استان شمالی کشور با هدف "تهیه نقشه ملی زمینه ای گاز رادون" به صورت پایلوت آغاز گردید که در مطالعه حاضر وضعیت گاز رادون در تعدادی از منازل مسکونی شهر گرگان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه برای تکمیل نقشه ملی گاز رادون در کشور استفاده خواهد شد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه گرگان یکی از شهرهای شمال ایران و مرکز استان گلستان می باشد. این شهر در حدود ۶۰ کیلومتر مربع مساحت داشته و جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۹۱ بالغ بر ۲۱۰۹۱۰ نفر می باشد. شهر گرگان از نظر جغرافیایی در ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و ۱۷۴ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است و دارای آب و هوای معتدل و نیمه مرطوب می باشد. از

کمیت علمی اثر پرتوهای اتمی سازمان ملل در سال ۲۰۰۰ میلادی، مقدار متوسط پرتوگیری (دوز مؤثر) سالانه انسان از تمام منابع پرتوزای طبیعی، حدود ۲/۴ میلی سیورت در سال برآورد شده است، که حدود ۵۲ درصد آن ناشی از استنشاق گاز رادون است (۲). گاز رادون - ۲۲۲ یکی از محصولات فروپاشی اورانیوم ۲۳۸ است که به طور طبیعی در لایه های زمین تولید می شود و گازی بی رنگ و بدون بو است (۳،۴) غلظت رادون در اتمسفر و هوای آزاد بسیار کم است، اما در یک ساختمان محبوس غلظت و در نتیجه سطح اکتیویته آن افزایش می یابد. به سرعت تجزیه شده و باعث انتشار ذرات پرتوزای آلفا در فضا می شود (۵). استنشاق این ذرات با طولانی تر شدن مدت تنفس، صدمات جدی به ریه وارد نموده و باعث ایجاد بیماری های آمفیزم (بزرگی ریه) و فیروزیس (ورم ریه) و در نهایت بروز سرطان ریه می شود (۶). رادون بعد از سیگار به عنوان دومین عامل سرطان ریه در کل دنیا شناخته شده است (۷). در آمریکا سالانه حدود ۲۱۸۰۰ مرگ و در نروژ ۱۰ تا ۲۰ درصد مرگ های ناشی از بر اثر سرطان ریه به رادون موجود در هوای داخل ساختمان نسبت داده شده است (۹،۱۰). منابع مختلفی برای ورود رادون به داخل ساختمان وجود دارد، سنگ بستر زیر ساختمان، مصالح ساختمانی، ترک های نامرئی در دیوارها و کف زمین منابع آبی و هوای محیط از جمله منابع ورود را درمان به داخل ساختمان هستند (۱۱-۱۳). رادون می تواند از طریق حل شدن در آب و هم چنین فروپاشی ^{226}Rn به هنگام عبور از روی صخره و خاک وارد آب شود (۱۴،۱۵). هم چنین با توجه به حضور و قابلیت انحلال فوق العاده زیاد گاز رادون در آب، افراد این گاز را در حین دوش گرفتن و یا استفاده های دیگر از طریق آب نیز استنشاق می نمایند، اما مقدار آن به نسبت مقادیر ورودی گاز رادون از طریق خاک ناچیز است (۱۶).

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) غلظت مجاز رادون در هوای داخل خانه را ۱۴۸ بکرل

است، جهت ثبت ذرات آلفا روی آن احتیاج به هیچ گونه منبع انرژی نمی باشد (۲۵) آشکارسازها مورد نظر در هنگام قرار داده شدن در هوای محیط ذرات آلفای تولید شده ناشی از گاز رادون را به صورت ردپا (شیار) از خود بر جای می گذارند که پس از ظهور به روش الکتروشیمی و با استفاده از میکروسکوپ قابل رویت و شمارش خواهند بود (۲۴-۲۶) (تصویر شماره ۱).



تصویر شماره ۱: آشکارساز جهت اندازه گیری گاز رادون

آنالیز آشکار سازها

پس از پایان سه ماه از زمان تماس، آشکار سازها در داخل پوشش آلومینیومی قرار گرفته و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در مرحله بعد آشکارسازهای CR-۳۹ در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد و به مدت سه ساعت درون محلول سود با نرمالیت 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 رادون در دستگاه اسکن اتوماتیک قرار گرفتند (۲۷، ۱۸). با شمارش تراکم ذرات آلفای ثبت شده روی آشکارسازهای CR-۳۹، میانگین غلظت گاز رادون موجود در هوای داخل ساختمان مشخص شد (تصویر شماره ۲). روش کالیبراسیون و تعیین ضریب کالیبراسیون توسط واحد حفاظت پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. صحت کار آنالیز نیز از طریق قرائت نمونه های مجهول توسط سازمان انرژی اتمی ایران مورد تأیید قرار گرفت. در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون

نظر زمین شناسی قدیمی ترین سازندهای زمین شناسی به نام شیست‌های گرگان با سن پرکامبرین تا دوره کنونی و نیز جدیدترین سازندهای زمین شناسی به نام لس‌های گرگان در آن دیده می شود که لس‌ها به صورت نوار باریکی در پای دامنه رشته کوه البرز و در جنوب شهر گرگان قرار دارند (۲۱).

جمع آوری اطلاعات

در این پژوهش، غلظت گاز رادون در ۲۱۸ واحد مسکونی مورد بررسی قرار گرفته است. در تعیین تعداد نمونه، پارامترهایی مثل مشاوره سازمان انرژی اتمی ایران و نظر مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت و تجارب جهانی موجود در تهیه نقشه رادون و نیز اعتبارات طرح دخالت داشته اند و براین اساس فواصل مابین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر برای انتخاب منازل به عنوان معیار مورد قبول وزارت بهداشت و سازمان انرژی اتمی ایران مبنی قرار گرفت، منازل مسکونی با فاصله تقریبی ۳۰۰ متر از یکدیگر با استفاده از نقشه الکترونیکی کاداستر انتخاب شدند (۲۲). اندازه گیری غلظت گاز رادون توسط آشکارسازهای حساس به ذره آلفا انجام شد. آشکارسازهای مورد نظر به مدت سه ماه در فصل زمستان در اتاق خواب و نشیمن و در ارتفاع ۵۰ تا ۹۰ سانتی متری از کف زمین، دور از پنجره و نور آفتاب بر طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا قرار داده شدند (۲۳). متغیرهایی از قبیل، تعداد طبقات و میانگین دز موثر سالانه مورد بررسی قرار گرفت.

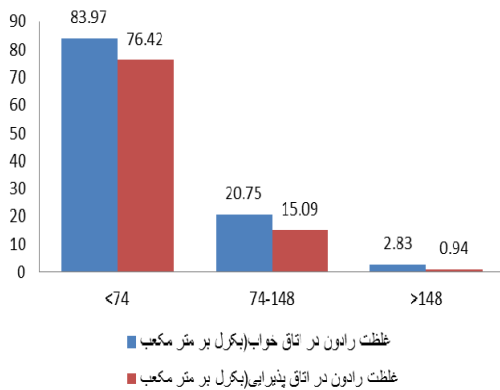
آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد- CR-39 (SSNTD)

آشکارسازهای SSNTD به دلیل استقامت و استحکام، در دسترس بودن و سهولت کاربرد یکی از بهترین روش‌های اندازه گیری گاز رادون به مدت طولانی می باشد (۲۴). این آشکارسازها نسبت به رطوبت و درجه حرارت‌های پایین بی اثر هستند. به دلیل کیفیت ذاتی موادی که در تهیه این آشکارسازها استفاده شده

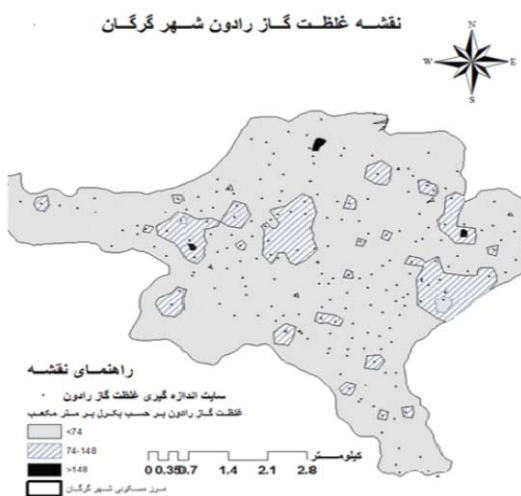
درصد از کل غلظت اندازه گیری شده گاز رادون در اتاق خواب و نشیمن کمتر از استانداردهای جهانی و در محدوده بی خطر، ۲۱ درصد در محدوده کم خطر و نزدیک به سه درصد غلظت گاز رادون در محدوده خطرناک قرار گرفته است (تصویر شماره ۳).

جدول شماره ۱: آمار توصیفی غلظت گاز رادون در اتاق خواب و نشیمن

محل اندازه گیری	فراوانی	میانگین (Bq/m ³)	کمینه (Bq/m ³)	بیشینه (Bq/m ³)	انحراف معیار
غلظت گاز رادون در اتاق خواب	۲۱۸	۴۸/۰۴	۰	۱۸۷	۴۰/۳۹
غلظت گاز رادون در اتاق نشیمن	۲۱۸	۳۹/۹۴	۰	۱۸۵/۶	۳۵/۲۲

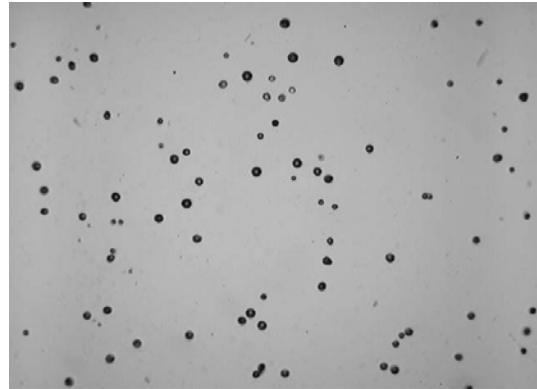


نمودار شماره ۱: مقایسه میانگین غلظت گاز رادون اندازه گیری شده در اتاق خواب و پذیرایی با استاندارد EPA



تصویر شماره ۳: نقشه غلظت گاز رادون شهر گرگان
تأثیر تعداد طبقات ساختمانی بر غلظت گاز رادون

تی مستقل و آنالیز واریانس با سطح معنی دار آماری $p < 0/05$ استفاده شد.



تصویر شماره ۲: تراکم ذرات آلفای ثبت شده روی آشکارسازهای 39CR-

یافته ها

مقایسه میانگین غلظت گاز رادون در اتاق خواب و نشیمن در جدول شماره ۱ آمارهای توصیفی مربوط به غلظت رادون در اتاق خواب و نشیمن نشان داده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد بیشترین غلظت اندازه گیری شده گاز رادون در شهر گرگان ۱۸۷ بکرل بر متر مکعب است. با توجه به این که میانگین غلظت گاز رادون در اتاق خواب، ۴۸/۰۴ و در نشیمن، ۳۹/۹۴ است و سطح معنی داری کم تر از ۰/۰۵ است می توان گفت که این اختلاف موجود در بین میانگین دو متغیر معنی دار است. لذا به طور متوسط، غلظت گاز رادون در اتاق خواب واحدهای مسکونی، بیش تر از غلظت گاز رادون در اتاق نشیمن بوده است.

در نمودار شماره ۱ میانگین غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر گرگان با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مقایسه شده است.

مطابق با استانداردهای EPA غلظت رادون در هوای داخل خانه در سه محدوده بی خطر (غلظت کم تر از ۷۴ بکرل در متر مکعب) محدوده بی خطر، محدوده کم خطر و محدوده بالاتر از خطر (۱۴۸ بکرل بر متر مکعب) روی نقشه مشخص شدند (۹). به طور میانگین ۷۶

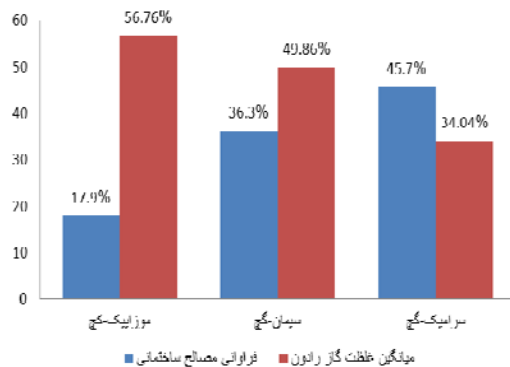
ساعت به ازای یک سال اقامت در خانه) و D فاکتور تبدیل دوز (۰/۹) نانو سیورت در بکرل بر متر مکعب به ازای هر ساعت) می باشد. طبق نتایج به دست آمده میانگین دوز زمینه ناشی از گاز رادون منازل مسکونی برای ساکنین شهر گرگان در طول فصل زمستان برای یک روز اقامت در داخل ساختمان های همکف، یک طبقه و بیش از یک طبقه به ترتیب ۱/۱، ۰/۹۹ و ۰/۳۴ میلی سیورت می باشد. در جدول شماره ۲، نتایج غلظت رادون و متوسط دوز دریافتی سالانه (mSv/h) متناظر با طبقات ساختمانی نشان داده شده است.

جدول شماره ۲: نتایج دوزیمتری منازل مسکونی بر اساس تعداد طبقات ساختمانی در شهر گرگان

غلظت رادون (بکرل بر متر مکعب)			
دوز (میلی سیورت بر سال)	میانگین	بیشترین	کمترین
۱/۱	۴۵/۴	۱۸۴/۵	۰
۰/۹۹	۳۹/۳۲	۹۲/۷	۳/۴
۰/۳۴	۱۳/۶	۶۴	۰

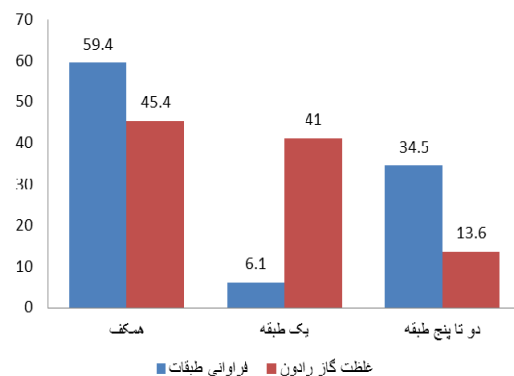
تاثیر مصالح ساختمانی بر غلظت گاز رادون

در نمودار شماره ۳، فراوانی انواع مصالح ساختمانی و غلظت گاز رادون نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین فراوانی مربوط به ساختمان هایی با مصالح داخلی از نوع سرامیک-گچ می باشد (۴۱ درصد).



نمودار شماره ۳: فرکانس توزیع نوع مصالح ساختمانی و غلظت گاز رادون (Bq/m³) در منازل مسکونی شهر گرگان

در نمودار شماره ۲ فرکانس توزیع تعداد طبقات به عنوان تابعی از غلظت رادون در محیط داخلی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه از لحاظ تعداد، طبقات به سه دسته هم کف، یک طبقه و منازلی تا تعداد واحد پنج طبقه تقسیم بندی شده اند. همان طور که در نمودار شماره ۲ آمده است بیشترین فراوانی، مربوط به واحدهای ویلایی (۵۹/۴ درصد) و کمترین فراوانی (۶/۱ درصد) مربوط به منازل یک طبقه بوده است. رادون به طور متوسط در طبقات مختلف ساختمان نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود غلظت گاز رادون در ساختمان های همکف دارای بیشترین غلظت را دارد.



نمودار شماره ۲: فرکانس توزیع تعداد طبقات و غلظت گاز رادون (Bq/m³) در منازل مسکونی شهر گرگان

محاسبه دوز موثر سالانه

با توجه به نتایج به دست آمده از تعداد طبقات واحدهای مسکونی میانگین دوز دریافتی سالانه (بر حسب میلی سیورت بر سال) ساکنین شهر گرگان به دلیل رادون ناشی از هوای داخل خانه با استفاده از فرمول زیر تعیین شد:

$$E = C \times F \times H \times T \times D$$

که در آن C غلظت رادون (بکرل بر متر مکعب)، F فاکتور تعادل (۰/۴) برای اندازه گیری های داخلی، H فاکتور اشغال (۰/۸) برای اندازه گیری های داخلی، T مدت زمان اقامت به ازای یک سال (۸۷۶۰

هم‌چنین کم‌ترین میزان فراوانی مربوط به منازلی از نوع مصالح داخلی موزاییک - گچ (۱۷/۹ درصد) می‌باشد داده‌های به دست آمده حاکی از آن است که منازل پوشیده شده با موزاییک دارای بیش‌ترین غلظت گاز رادون در داخل خانه می‌باشد.

بحث

مطالعه حاضر برای اولین بار به بررسی غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر گرگان پرداخته است. در این مطالعه پارامترهای مختلف تاثیرگذار بر غلظت گاز رادون مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که غلظت گاز رادون تنها در سه درصد از منازل مسکونی شهر گرگان بالاتر از استانداردهای EPA می‌باشد. با توجه به این که میزان رقیق‌شدگی گاز رادون موجود در یک خانه به خصوص در فصل زمستان به دلیل بسته بودن در و پنجره‌ها افزایش می‌یابد، لذا با استفاده از تهویه طبیعی یا به کار بردن تهویه‌های مصنوعی می‌توان غلظت رادون داخل ساختمان و فضاهای بسته را کاهش داد. طبق نتایج حاصل از این مطالعه غلظت گاز رادون ساختمان‌های پوشیده شده با مصالحی مانند موزاییک بیش‌تر از سایر ساختمان‌ها است. علت این امر آن است که موزاییک خلل و فرج بیش‌تری نسبت به سایر مصالح دارد و حرکت رادون از میان این شکستگی‌ها و فضاهای خالی و متخلخل باعث ورود گاز رادون به درون ساختمان می‌شود. رادون قبل از آن که متلاشی شود به دلیل سهولت تحرک مسافت زیادی را طی می‌کند، لذا می‌تواند تحرک بالایی در داخل فضاهای بسته ساختمان‌ها داشته باشد (۲۵). هم‌چنین با توجه به این که در ساخت خانه‌های مسکونی عموماً از مصالح ساختمانی بر گرفته از معادن سنگ و خاک استفاده می‌شود، لذا تابش‌گیری از پرتوهای طبیعی رادون در فضاهای بسته می‌تواند ناشی از مواد به کارفته در مصالح ساختمانی باشد (۲۸).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در

ساختمان‌های چند طبقه میزان دوز دریافتی ۰/۳۴ میلی‌سیورت در سال و در ساختمان‌های همکف ۱/۱ میلی‌سیورت در سال بود. بنابراین با افزایش تعداد طبقات ساختمانی مقدار گاز رادون کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته و در نتیجه میزان دوز دریافتی ساکنین این ساختمان‌ها کاهش بیش‌تری از خود نشان داد. علت این امر می‌تواند به دلیل فاصله گرفتن از قشر زمین و منشاء تشعشعات غلظت گاز رادون می‌باشد. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۰ توسط مولوی و همکاران وی در ۱۵۰ آپارتمان در مشهد انجام گرفت گزارش شده است که در ۹۴/۷ درصد آپارتمان‌ها غلظت رادون کم‌تر از ۱۰۰ بکرل در متر مکعب و در ۵/۳ درصد آن‌ها بیش‌تر از این مقدار بود، که غلظت به دست آمده از گاز رادون در مطالعه آن‌ها با نتایج حاصل از این مطالعه مشابهت داشت (۱۷).

در سال ۱۹۸۸ سحرابی و همکاران مطالعه‌ای روی غلظت گاز رادون در ۲۰۶ منزل مسکونی تهران، بابلسر و گنبد انجام دادند که غلظت گاز رادون به ترتیب ۸۰، ۸۸ و ۸۴ بکرل بر متر مکعب گزارش شد. که این غلظت در این مناطق کم‌تر از استانداردهای جهانی می‌باشد (۲۹).

مطالعه بوذرجمهری و همکاران نیز نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از زیرزمین‌های خانه مورد مطالعه آن‌ها دارای غلظت رادون بیش‌تر از ۱۴۸ بکرل بر متر مکعب می‌باشد که در مقایسه با نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر و بالا بودن غلظت گاز رادون در طبقات همکف هم‌خوانی دارد (۳۰). نتایج مطالعه حاضر هم‌سو با مطالعه‌ای است که در سال ۲۰۱۱ توسط حداد و همکاران در ۳۱۱ منزل مسکونی در شیراز انجام گرفت و در آن میانگین غلظت رادون ۹۴ بکرل بر متر مکعب گزارش شد و غلظت گاز رادون در طبقات پایین تر نسبت به طبقات بالایی ساختمان افزایش داشت (۳۱). مطالعات انجام شده در طبقات سوم در صربستان و بلغراد نیز کاهش حدود ۲۰ درصدی گاز رادون را به ازای افزایش طبقات نشان داده است (۳۲). هم‌چنین در

گرفته توسط سهرابی و باباپوران در مناطق با سطح پرتوافکنی پایین و بالا در رامسر، میزان گاز رادون در ۵۰۰ خانه در دو مطالعه جداگانه در زمستان و پاییز اندازه گیری شد، میانگین سالانه دور مؤثر در مناطق مختلف بین ۷۴/۷۱-۴۸/۲ میلی سیورت با سطح ماگزیمم ۶۴۰ میلی سیورت در یک خانه در محله تالش به دست آمد که چندین برابر بیش تر از نتایج مطالعه حاضر می باشد (۳۸).

در پایان می توان نتیجه گیری کرد که تفاوت در غلظت مواد پرتوزای موجود در خاک و مصالح ساختمانی مناطق مورد مطالعه منجر به غلظت های متفاوتی از گاز رادون در منازل مسکونی می شود طبق نتایج به دست آمده از این مطالعه حدود ۲۴ درصد از منازل مسکونی در محدوده خطر و کم خطر قرار دارند. لذا با افزایش اعتبارات، افزایش سطح آگاهی مردم نسبت به عوارض ناشی از گاز رادون پیشنهاد می شود بررسی های دقیق تر روی پارامترهای تأثیرگذار بر نفوذ گاز رادون در ساختمان ها انجام گیرد. لذا با توجه به این که گاز رادون به عنوان دومین عامل سرطان ریه در کل دنیا به اثبات رسیده است اقدامات مربوط به کاهش رادون در منزلی که غلظت رادون در آن بالاتر از حد استانداردهای جهانی است ضروری به نظر می رسد.

ایتالیا غلظت گاز رادون در طبقه اول و دوم ۰/۶۴ و در طبقه همکف ۰/۸۳ گزارش شده است (۳۳). هم چنین در مطالعه Denman و Rafigh با استفاده از دکتورهای Cr- ۳۹ در منازل مسکونی غلظت گاز رادون در اتاق خواب بیش تر از اتاق نشیمن ثبت شده است که با نتایج حاصل از این مطالعه مشابهت دارد (۳۴، ۳۵).

در بررسی که توسط Ei-Zaher و همکاران در کشور مصر انجام شد مقادیر میانگین غلظت رادون در اتاق های پذیرایی، اتاق های خواب، حمام ها و آشپزخانه ها به ترتیب: ۵۰/۹۳، ۶۳/۷۵، ۱۰۵/۳۶ و ۸۲/۳۸ بکرل بر متر مکعب بود. هم چنین مقادیر میانگین دوز مؤثر سالانه برای مکان های فوق به ترتیب، ۱/۲۶، ۱/۵۸، ۲/۶۳ و ۲/۰۵ میلی سیورت در سال بودند. این داده ها نشان داد که آشپزخانه و حمام به طور قابل توجهی غلظت و دوز رادون سالانه بالایی دارند (۳۶).

مطالعه ای توسط Bozkurt و همکاران در سال ۲۰۰۷ در ترکیه در شهر Edirne انجام شد و در آن در طی سه ماه دکتورهای CR- ۳۹ nuclear track به مدت ۳ ماه در طبقات زیرزمین آپارتمان ها قرار داده شد. نتایج مطالعه آن ها نشان داد که میانگین غلظت داخلی رادون برابر با ۴۹/۲ بکرل بر متر مکعب بود که معادل دوز مؤثر سالانه ۱/۲۴ میلی سیورت بود (۳۷). در بررسی انجام

References

1. Abbasnejad A. environmental Impacts Implications of the radon-222, and its urgency attention in iran. Journal of Nuclear Science and Technology. 2003; 26: 17-31 (Persian).
2. Samadi MT, GolzarKhojasteh B, Rostampour N. Indoor Natural Radiation Level in Hamadan Province, 2012. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(99): 54-60.
3. Bräuner EV, Andersen CE, Sørensen M, Andersen ZJ, Gravesen P, Ulbak K, et al. Residential radon and lung cancer incidence in a Danish cohort. Environmental Research 2012; 118: 130-136.
4. Sen GY, Ichedef M, Sac MM, Yener G. Effect of natural gas usage on indoor radon levels. J Radioanal Nucl Chem 2013; 295(1): 277-282.
5. Jelle BP. Development of a model for radon concentration in indoor air. Science of the Total Environment 2012; 416: 343-350.

6. Tirmarch 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. 2012; 41(3-4): 368-377.
7. Barros-Dios JM, Ruano-Ravina A, Gastelu-Iturri J, Figueiras A. Factors underlying residential radon concentration: Results from Galicia, Spain. *Environmental Research* 2007; 103(2): 185-190.
8. Tomasek L, Kunz E, Muller T, Hulka J, Heribanova A, Matzner J, et al. Radon exposure and lung cancer risk -Czech cohort study on residential radon. *The Science of the Total Environment* 2001; 272(1-3): 43-51.
9. Kitto ME, Green JG. Mapping the indoor radon potential in New York at the township level. *Atmospheric Environment* 2008; 42(34): 8007-8014.
10. Banks D, Royset O, Strand T, Skarphogen H. radioelement (u, th, Rn) concentrations in norwegian bedrock grounwaters. *Environment Geology* 1995; 25(3): 165-180.
11. Righi S, Bruzzi L. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *Journal of Environmental Radioactivity* 2006; 88(2): 158-170.
12. Sundal AV, Henriksen H, Soldal O, Strand T. The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *Science of the Total Environment* 2004; 328(1-3): 41-53.
13. Varhegyi A, Baranyi I, Gerzson I, Somogyi G, Hakl J, Hunyadi I. Application of underwater radon measurements in geology Original Research. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation* 1988; 15(1-4): 609-612.
14. Sola P, Srisuksawad K, Loaharojanaphand S, O-Manee A, Permmamtip V, Issarapan P, et al. Radon concentration in air, hot spring water, and bottled mineral water in one hot spring area in Thailand. *J Radioanal Nuclear Chemistry*. 2012; 297(2): 183-187.
15. Skeppstrom K, Olofsson B. A prediction method for radon in groundwater using GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment* 2006; 367(2-3): 666-680.
16. Fallahzade R, Farahzadi M, Shahvazian N. radon gaz lung cancer and Principles of protection against radon entry into buildings. 1th national confrence Strategies for achieving sustainable development. 2013 (Persian).
17. Mowlavi AA, Fornasier MR, Binesh A, Denaro Md. Indoor radon measurement and effective dose assessment of 150 apartments in Mashhad, Iran. *Environ Monit Assess* 2012; 184(2): 1085-1088.
18. Cucoş A, Cosma C, Dicu T. Thorough investigations on indoor radon in Băița radon-prone area (Romania). *Science of the Total Environment* 2012; 431: 78-83.
19. 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.
20. Safirzade M, Mohamadi S, Ghiasinejad M. Premature centromere separation of chromosomes in a woman being exposed to high-level natural radiation. *J Gonabad Univ Med Sci* 2007; 12(3): 50-55.
21. Maghsodlo R. Gorgan landslides and ways counter it Applied and Environmental. 2nd Congress on Geology and environmental 2007.

22. Rahmatizade S, Delavar M. Review basic concepts, design and implementation of a cadastral system in three dimensions. Geomatics conference 2004.
23. U.S.EPA National Radon Proficiency Program Handbook, Appendix A. Radon Proficiency Program Measurement Method Definitions. EPA 402-R-95-013. 1996; 70-74.
24. Espinosa G, Golzarri JI, Chavarria A, Castaño VM. Indoor radon measurement via Nuclear Track Methodology: A comparative study. Radiation Measurements. 2013; 50: 127-129.
25. Alvandi A, Esfandyar R. The measurement radon gas in hamedan city. 5th National Conference on Geology and Environment 2010; (Persian).
26. Ghandi K, Negarestani A, Ranjbar H, Marashi MB. Design and construction of cumulative monitoring system concentration of radon in soil. 1th Previous Attitudes the Earthquake 2008; 203-207 (Persian).
27. Saad AF, Abdallah RM, Hussein NA. Radon exhalation from Libyan soil samples measured with the SSNTD technique. Applied Radiation and Isotopes 2013; 72: 163-168.
28. Hafez AF, Hussein AS, Rasheed NM. A study of radon and thoron release from Egyptian building materials using polymeric nuclear track detectors. Applied Radiation and Isotopes 2001; 54(2): 291-298.
29. Sohrabi M, Solaymanian A. Indoor radon level measurements in some regions of Iran. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation 1988; 15(1-4): 613-616.
30. Bouzarjomehri F, Ehrampoosh MH. Radon level in dwellings basement of Yazd-Iran. Radiat Res 2008; 6(3): 141-144.
31. Hadad K, Hakimdavoud MR, Hashemi-Tilehnoee M. Indoor radon survey in Shiraz-Iran using developed passive measurement method. Radiat Res 2011; 9(3): 175-182.
32. Popovic D, Todorovic D. Radon indoor concentrations and activity of radionuclides in building materials in Serbia. Facta Univ Phys CheTechnol 2006;4: 11-20.
33. Gallelli G, Panatto D, Lai P, Orlando P, Risso D. Relevance of main factors affecting radon concentration in multi-storey buildings in Liguria (Northern Italy). Environ Radioact 1998; 39(2): 117-128.
34. Denman AR, Groves-Kirkby NP, Groves-Kirkby CJ, Crockett RGM, Phillips PS, Woolridge AC. Health implications of radon distribution in living rooms and bedrooms in U.K. dwellings-A case study in Northamptonshire. Environment International 2007; 33(8): 999-1011.
35. Rafique M, Rahman S, Rahman SU, Jabeen S, Shahzad MI, Rathore MH, Matiullah. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of district Poonch (Azad Kashmir), Pakistan. Radiat Prot Dosimetry 2010; 138(2): 158-165.
36. Ei-Zaher MA, Fahmi NM. Studying the Variation of Radon level in Some Houses in Alexandria City, Egypt. IX Radiation Physics & Protection Conference, 15-19 November 2008; 6: 271-280.
37. Bozkurt A, Kam E. Indoor Radon Measurement In The City Of Edirne, Turkey. American Institute of Physics 2007; 899(1): 395.
38. Sohrabi M, Babapouran M. New public dose assessment from internal and external exposures in low- and elevated-level natural radiation areas of Ramsar, Iran. International Congress Series 2005; 1276: 169-174 (Persian).