

## اندازه‌گیری و مقایسه غلظت پرتوزایی رادن در ساختمان‌های با نمای داخلی از سنگ گرانیت و کربناتی

فرید اصغری‌زاده<sup>۱\*</sup>، محمد اسماعیل‌نژاد<sup>۱</sup>، پانته‌آ پورده<sup>۲</sup>، فرامرز معطر<sup>۲</sup>  
اصغر صدیق‌زاده<sup>۱</sup>، الهام صدق‌گویا<sup>۱</sup> و پروین نصیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
\*تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پستی: ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶  
پست الکترونیکی: farid.asgharizadeh@yahoo.com

### چکیده

بر اساس آخرین اطلاعات ارائه شده توسط UNSCEAR<sup>۱</sup> استنشاق گاز رادن و دختران نیمه‌عمر کوتاه آن از جمله مهم‌ترین عوامل پرتوگیری انسان از منابع پرتوزای طبیعی به شمار می‌رود. سرطان ریه اثر شناخته شده گاز رادن موجود در هوا برای سلامتی انسان است و در هوای داخلی کلیه ساختمان‌ها وجود دارد. مهم‌ترین ایزوتوپ آن گازی نادر به نام رادن-۲۲۲ است که حاصل واپاشی رادیم-۲۲۶ از سری زنجیره طبیعی اورانیوم-۲۳۸ می‌باشد. اورانیم و رادیم به طور طبیعی در خاک و سنگ زمین وجود دارند. این گاز پرتوزا به فراوانی در محیط زیست به‌ویژه در فضاهای سرپوشیده ساختمان‌هایی که در نمای داخلی آن‌ها از سنگ‌های گرانیتی استفاده شده، یافت می‌شود. در چند دهه گذشته، پرتوگیری طبیعی ناشی از گاز رادن و محصولات واپاشی آن در داخل منازل مسکونی به عنوان یک مشکل جهانی شناخته شده و باعث بروز خطر ابتلا به سرطان در میان عموم مردم تلقی گردیده است. در این مقاله، نتایج اندازه‌گیری میزان غلظت پرتوزایی گاز رادن در هوای داخلی دو ساختمان مختلف که در نمای داخلی آن‌ها به ترتیب از سنگ گرانیتی و کربناتی استفاده شده، ارائه و نتایج به دست آمده با هم مقایسه شده است. کلیه اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه AlphaGuard<sup>TM</sup> انجام شده است. میانگین غلظت این گاز در ساختمان کربناتی حدود  $11 \text{ Bq.m}^{-3}$  و در ساختمان گرانیتی حدود  $59 \text{ Bq.m}^{-3}$  اندازه‌گیری شده که در مقایسه با ساختمان کربناتی بسیار بالاتر است. مقادیر به دست آمده کمتر از حد مرجع توصیه شده توسط ICRP و IAEA یعنی  $200-600 \text{ Bq.m}^{-3}$  بوده و به حد اقدام تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) ( $148 \text{ Bq.m}^{-3}$ ) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) ( $100 \text{ Bq.m}^{-3}$ ) نمی‌رسد.

کلیدواژه‌گان: رادن، پرتوزایی طبیعی، سنگ گرانیت، سنگ کربناتی.

## ۱. مقدمه

پرتوگیری داخلی و خارجی انسان ناشی از پرتوزایی منابع طبیعی<sup>۱</sup>، امری اجتناب ناپذیر است. در این بین، گاز رادن به عنوان موثرترین عامل در دز دریافتی عموم مردم از پرتوهای یونیزه کننده طبیعی شناخته شده است [۱]. سهم رادن در مجموع پرتوگیری سالیانه انسان بیش از ۴۰٪ تخمین زده می شود [۲]. میانگین دز سالانه هر فرد ناشی از منابع طبیعی  $2\text{ mSv}$  است که از این مقدار  $1/2\text{ mSv}$  آن فقط مربوط به پرتوگیری از گاز رادن است [۳]، لذا امروزه خطرات ناشی از استنشاق گاز رادن به عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده سلامت انسان به شمار می آید.

رادن ( $^{222}\text{Rn}$ )، تورون ( $^{220}\text{Rn}$ ) و اکتینون ( $^{219}\text{Rn}$ ) ایزوتوپ های طبیعی گاز رادن هستند. نیمه عمر تورون  $3/55$  ثانیه است و از واپاشی  $^{232}\text{Th}$  حاصل می شود. اکتینون دارای نیمه عمر  $3/92$  ثانیه و محصول واپاشی اورانیوم-۲۳۵ است. بنابراین، از بین این سه ایزوتوپ طبیعی رادن، تنها رادن-۲۲۲ که نیمه عمر آن  $3/82$  روز است و از واپاشی اورانیوم-۲۳۸ تولید می شود، فرصت تجمع در فضای بسته ساختمان ها را دارد. این گاز پرتوزا به فراوانی در محیط زیست به ویژه در فضاهاى سرپوشیده از جمله ساختمان هایی که دارای سنگ های گرانیتی هستند، یافت می شود. این سنگ ها به طور متوسط محتوی  $4.7\text{ ppm}$  اورانیوم هستند [۴]. در سنگ های رسوبی میزان غلظت اورانیوم حدود  $2\text{ ppm}$  گزارش شده است [۵]. بسته به اینکه ترکیبات سنگ های مذاب چگونه و در کجا شکل گرفته اند، برخی از گرانیت ها پرتوزایی بیشتری نسبت به سایر سنگ های گرانیتی دارند [۶]. گرانیت ها از نوع سنگ های آذرین هستند که در ابتدا به صورت گدازه یا سنگ های مذاب بوده اند که در طول هزاران و یا حتی میلیون ها سال سرد شده و به شکل گرانیت درآمده اند. چون این شکل گیری به آرامی و در طول سالیان زیاد صورت گرفته است، زمان زیادی برای ورود و شکل گیری مواد معدنی در کریستال ها و در نتیجه تعیین خصوصیات آن دارد. سنگ های گرانیت دارای رنگ های مختلفی هستند که به نوع عناصر تشکیل دهنده آن مرتبط است. دوام و مشخصات تزئینی گرانیت باعث شده است این سنگ به طور گسترده ای در ساختمان ها به عنوان سنگ کف، دیوار و میز آشپزخانه مورد استفاده عمومی قرار گیرد [۷]. وجود اورانیوم و توریم در سنگ های گرانیتی موجب تولید گاز رادن و انتشار آن از این نوع سنگ می شود.

جدول (۱): حد اقدام غلظت رادن

منبع	محل	حد اقدام غلظت رادن
NCRP <sup>۲</sup>	محیط بسته (مسکونی)	$2\text{ mSv}$ معادل $10\text{ PCi/L}$
EPA <sup>۳</sup>	محیط بسته (مسکونی) مدارس	$4\text{ mSv}$ معادل $148\text{ Bq.m}^{-3}$ ( $1\text{ PCi/L}$ )
NIOSH <sup>۴</sup>	شغلی (معادن)	$1\text{ WLM/year}$
OSHA <sup>۵</sup>	شغلی	$4\text{ WLM/year}$ معادل $100\text{ PCi/L}$ (متوسط ۴۰ ساعت کار در هفته)
WHO <sup>۶</sup> , 2009	مسکونی	$7/2\text{ PCi/L}$ معادل $100\text{ Bq.m}^{-3}$

رادن-۲۲۲ در سری واپاشی های اورانیوم-۲۳۸ حاصل واپاشی آلفای رادیم-۲۲۶ است که به صورت گازی بوده و دارای نیمه عمر واپاشی ۳۸ روز و انرژی آلفای  $5.49\text{ MeV}$  می باشد. این گاز پرتوزا دارای ۴ محصول واپاشی شامل  $^{214}\text{Po}$ ،  $^{214}\text{Pb}$ ،  $^{214}\text{Bi}$  و  $^{214}\text{Po}$  است. این محصولات واپاشی همگی جامدند و به ذرات هوا برد می چسبند و هنگام تنفس مقادیری از این ذرات پرتوزا داخل ریه انسان می رود. رادن-۲۲۲، پولونیوم-۲۱۸ و پولونیوم-۲۱۴ ذرات آلفا و سرب-۲۱۴ و بیسموت-۲۱۴ پرتوهای بتا و گاما از خود تابش می کنند. خطر بالقوه پولونیوم-۲۱۸ و پولونیوم-۲۱۴ حدود بیست برابر بیشتر از خود رادن است. چون رادن گازی اثر است، بنابراین بیشتر مقدار آن پس از استنشاق به سرعت از ریه خارج می شود، ولی دختران آن در ریه باقی مانده و تابش آن ها سلول ها را مورد پرتو دهی قرار می دهد و این باعث بروز سرطان ریه در اثر شکست کروموزومی ناشی از پرتوهای یونیزاسیون می گردد. خطرات ناشی از استنشاق گاز رادن در محیط بسته<sup>۷</sup> به عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده سلامتی انسان به شمار می رود و از دیدگاه پزشکی، دومین عامل ابتلا به سرطان ریه محسوب می شود. در جدول (۱) حد اقدام غلظت رادن در موارد مختلف ارائه شده است.

2. NCRP: National Council for Radon Protection
3. EPA: U.S. Environmental Protection Agency
4. NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health
5. OSHA: Occupational Safety and Health Administration
6. WHO: World Health Organization
7. indoor

1. NORM: Naturally Occurring Radioactive Materials

دو نوع این‌گونه ساختمان‌ها انجام شد. البته تعداد و عمق درز و شکاف‌های ریز در فونداسیون ساختمان‌ها و نحوه لوله‌کشی در آن‌ها نقش زیادی در میزان نفوذ گاز رادن حاصل از مواد پرتوزایی طبیعی زمینی<sup>۶</sup> به فضای داخلی ساختمان‌ها دارد، که در این تحقیق تحقیق برای هر دو ساختمان یکسان در نظر گرفته شده است.

اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه AlphaGuard<sup>TM</sup> و بر حسب بکرل بر مترمکعب هوا ( $Bq.m^{-3}$ ) انجام شده است. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری و ذخیره اطلاعات در دو سیکل ۱۰ و ۶۰ دقیقه‌ای می‌باشد. انتخاب سیکل مورد نظر برای اندازه‌گیری رادن، بستگی به محدوده و موقعیت جغرافیایی و همچنین زمان لازم برای اندازه‌گیری دارد. حداقل غلظت پرتوزایی قابل اندازه‌گیری با این دستگاه  $2 Bq.m^{-3}$  می‌باشد. در نمای داخلی اولین ساختمان مورد بررسی از سنگ گرانیت استفاده شده است. در این ساختمان که آن را ساختمان گرانیتی می‌نامیم، در سه ایستگاه در اتاق‌ها و سالن، میزان غلظت گاز رادن اندازه‌گیری شد. برای داشتن اطلاعات مربوط به غلظت رادن در فضای آزاد مجاور، اندازه‌گیری دیگری به صورت فضای باز و در حیاط آن ساختمان صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع حدود یک متری انجام شد. سیکل‌های اندازه‌گیری ۱۰ دقیقه‌ای بوده و فشار هوا در موقع اندازه‌گیری ثبت و در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در ساختمان با نمای داخلی گرانیتی

مکان	ارتفاع اندازه‌گیری (m)	مدت هر سیکل اندازه‌گیری (min)	مدت زمان اندازه‌گیری (h)	غلظت رادن* (Bm3)	فشار هوا (mba)	تاریخ اندازه‌گیری
اتاق ۱	۱	۱۰	۲۴	$59 \pm 20$	۸۶۷	پانز ۸۸
اتاق ۲	۱	۱۰	۲۴	$56 \pm 19$	۸۷۲	پانز ۸۸
سالن	۱	۱۰	۲۴	$61 \pm 21$	۸۷۱	پانز ۸۸

جدول (۳): نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در ساختمان با نمای داخلی کربناتی

مکان	ارتفاع اندازه‌گیری (m)	مدت هر سیکل اندازه‌گیری (min)	مدت زمان اندازه‌گیری (h)	غلظت رادن* (Bm3)	فشار هوا (mba)	تاریخ اندازه‌گیری
سالن	۱	۱۰	۱	$9 \pm 5$	۸۵۹	پانز ۸۸
اتاق	۰/۷	۱۰	۱	$12 \pm 6$	۸۵۶	پانز ۸۸

\* خطای زیاد به علت سرعت باد و تغییرات در فشار و غلظت رادن در مدت زمان اندازه‌گیری بوده است. اعداد نشان‌دهنده خطا گرد شده‌اند.

جدول (۱): حد اقدام غلظت رادن

منبع	محل	حد اقدام غلظت رادن
NCRP <sup>۱</sup>	محیط بسته (مسکونی)	$2$ معادل $(PCi/L)$ ۱۰-۸
EPA <sup>۲</sup>	محیط بسته (مسکونی) مدارس	$4$ معادل $(Bq.m^{-3})$ ۱۴۸ $< 4$ $(PCi/L)$
NIOSH <sup>۳</sup>	شغلی (معادن)	$1$ $(WLM/year)$
OSHA <sup>۴</sup>	شغلی	$4$ معادل $(WLM/year)$ $100 PCi/L$ (متوسط ۴۰ ساعت کار در هفته)
WHO <sup>۵</sup> , 2009 2009	مسکونی	$7/2$ معادل $(PCi/L)$ $(100 Bq.m^{-3})$

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) وجود ۱۴۸ بکرل رادن در هر متر مکعب هوای خانه را به عنوان حد اقدام منظور داشته است، به طوری که اگر غلظت رادن بیش از این مقدار باشد، باید برای کاهش آن در ساختمان اقدام شود [۸]. گرچه بسیاری از پژوهشگران معتقدند که خطر بروز سرطان ریه در پایین‌تر از حد اقدام نیز وجود دارد، ولی احتمال بروز خطر ناشی از آن اندک است. این سازمان پیش‌بینی می‌کند که در این حد پیشنهادی، خطر ابتلا به سرطان ریه برای افراد غیر سیگاری ۰/۱٪، برای افرادی که قبلاً سیگاری بوده‌اند، ۰/۳٪ و برای افراد سیگاری ۰/۵٪ است [۸]. حد مرجع توصیه شده برای غلظت رادن توسط ICRP و IAEA در محدوده ۶۰۰-۲۰۰ بکرل رادن در هر متر مکعب هوای خانه است [۹ و ۱۰].

## ۲. روش اندازه‌گیری

در این تحقیق، میزان غلظت پرتوزایی گاز رادن در ساختمان‌هایی که در نمای داخلی آن‌ها از سنگ‌های گرانیتی و کربناتی استفاده شده، اندازه‌گیری و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده است. برای مقایسه میزان غلظت رادن و دختران آن در ساختمان‌های با نمای داخلی از سنگ‌های کربناتی با ساختمان‌هایی که برای تزئین و نمای داخلی آن‌ها از قبیل دیوارها، کف و میز آشپزخانه از سنگ‌های مختلف گرانیتی استفاده شده است، اندازه‌گیری‌ها در هر

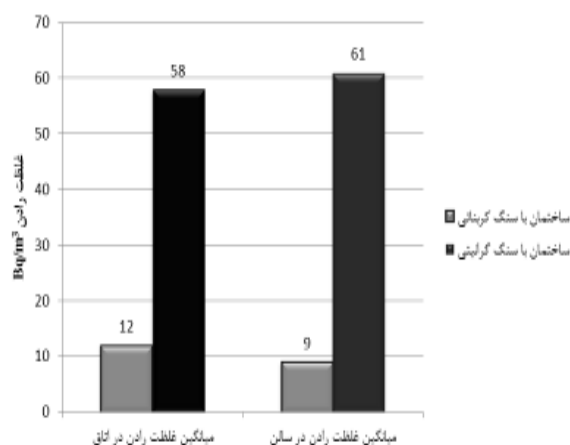
1. NCRP: National Council for Radon Protection
2. EPA: U.S. Environmental Protection Agency
3. NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health
4. OSHA: Occupational Safety and Health Administration
5. WHO: World Health Organization

در ساختمانی که دارای کف و دیواره‌های گرانیتی است، متوسط میزان غلظت رادن در حدود  $59 \text{ Bq.m}^{-3}$  اندازه‌گیری شد که در مقایسه با ساختمان کربناتی بسیار بالاتر است. با توجه به نوع کاربری و باز بودن درب ورود و خروج و رفت و آمد زیاد، تهویه طبیعی هوا در اتاق‌های این ساختمان بیشتر از سالن آن است و در نتیجه مشاهده می‌شود که غلظت رادن در سالن کمی بیشتر از اتاق‌ها اندازه‌گیری شده است. میانگین غلظت رادن در اتاق‌های این ساختمان حدود  $58 \text{ Bq.m}^{-3}$  می‌باشد. غلظت رادن در این ساختمان به حد اقدام توصیه شده توسط EPA و حتی WHO نیز نمی‌رسد.

### مراجع

- [1] WHO, *Handbook on indoor radon: a public health perspective*, edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun, World Health Organization, 2009.
- [2] World Nuclear Association; WNA: <http://www.world-nuclear.org>
- [3] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of ionizing Radiation*. UN, 2000.
- [4] Kuntson E.O. and George A.C., *Radon, thoron, and decay products in environmental analysis and remediation*, edited by R.A. Meyers, John Wiley and Sons, New York, 1998, pp. 4045-4068.
- [5] اصغری زاده فرید، بهرامی سامانی علی، فصل دوم کتاب چرخه سوخت هسته‌ای، ۱۳۸۸.
- [6] Richardson, Alicia, *Assessing Exposure to Radon and Radiation from Granite Countertops-Part 2 Radon*, 2009.
- [7] <http://www.epa.gov/rpdweb00/tenorm/granite-countertops.html>.
- [8] EPA, *Assessment of Risks from Radon in Homes*, EPA 402-R-03-003, June 2003.
- [9] ICRP, 1993. *Protection against Radon-222 at Home and at Work*. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).
- [10] Mohammad M. Abu-Samreh, *Indoor Radon-222 Concentration Measurements During The Summer Season Of Year 2000 In Some Houses In The Western Part Of Yatta City*, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 30, Number 2A. 2005, pp. 343-349.

ساختمان بعدی مورد اندازه‌گیری، دارای نمای داخلی از نوع سنگ کربناتی بوده و در سالن و اتاق غلظت گاز رادن اندازه‌گیری شد. با توجه به تغییرات فصلی، غلظت رادن در فضای بسته و اینکه حداکثر غلظت رادن در فصل زمستان قابل مشاهده است، همه اندازه‌گیری‌ها در یک فصل انجام گرفت.



شکل (۱): مقایسه نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در دو ساختمان با نمای داخلی کربناتی و گرانیتی

### ۳. نتایج

نتایج اندازه‌گیری گاز رادن در ۲ ایستگاه در ساختمان کربناتی نشان داد که در فصل پاییز، میانگین غلظت این گاز در آن ساختمان در حدود  $11 \text{ Bq.m}^{-3}$  است. بالاترین غلظت رادن به دست آمده در این ساختمان حدود  $12 \pm 6 \text{ Bq.m}^{-3}$  است که البته بسیار کمتر از حد توصیه شده EPA برای اقدام می‌باشد. بالاترین غلظت رادن مربوط به هوای اتاقی است که سیستم تهویه نداشته و رفت و آمد زیادی نیز در آن صورت نمی‌گرفته است. غلظت رادن در سالن نسبت به این اتاق عدد کمتری را نشان داد که خود دلیل روشنی بر این اصل است که در چنین محیط‌هایی که درب‌های ورود و خروج زیاد باز و بسته می‌شوند و تهویه طبیعی هوا در این مکان وجود دارد، ماندگاری و در نتیجه غلظت گاز رادن کمتر است. این نتیجه بر لزوم و اهمیت استفاده از سیستم تهویه طبیعی و به کارگیری هواکش برای تهویه هوا تأکید می‌کند. غلظت رادن در سالن، ۲۵٪ کمتر از اتاق بلا استفاده است.