

## اندازه‌گیری غلظت رادن در برخی ساختمان‌های مسکونی شهر کاشان

منصور جعفری‌زاده<sup>۱\*</sup>، مصطفی زاهدی‌فر<sup>۲</sup>، مهران طاهری<sup>۳</sup> و سمانه برادران<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

<sup>۳</sup> امور حفاظت در برابر اشعه کشور، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

\* تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، امور حفاظت در برابر اشعه کشور، کدپستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

پست الکترونیک: mjafarizadeh@aeoi.org.ir

### چکیده

در این پژوهش، اندازه‌گیری غلظت رادن در برخی واحدهای مسکونی شهر کاشان انجام شده است. فهرست ساختمان‌ها به صورت تصادفی، شامل ساختمان‌های قدیمی ساخته شده از خشت و گل و ساختمان‌های نوساز از آجر و سیمان انتخاب شده است. طبقه وقوع واحدها زیرزمین تا طبقه دوم بوده است. با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی غلظت رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت، بدون در نظر گرفتن نوع مصالح ساختمانی و طبقه وقوع واحد مسکونی میانگین غلظت رادن در فصل زمستان، دارای بیشترین مقدار  $127 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$  و به ترتیب، در پاییز  $108 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$ ، در بهار  $96 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$  و در تابستان، کمترین مقدار  $85 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$  می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که غلظت رادن در بیش از ۹۵٪ از واحدهای مسکونی اندازه‌گیری شده کمتر از  $300 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$  است که کمتر از سطح مرجع غلظت رادن پیشنهاد شده توسط ICRP در سال ۲۰۰۹ برای ساختمان‌های مسکونی  $300 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}$  می‌باشد.

کلیدواژگان: رادن، غلظت رادن، سطح مرجع غلظت رادن، کاشان.

### ۱. مقدمه

بر اساس گزارش کمیته علمی، اثرات پرتوهای اتمی سازمان ملل متحد<sup>۱</sup> UNSCEAR به طور میانگین، نیمی از دز مؤثر سالانه مردم در مناطق با پرتوهای زمینه عادی، ناشی از گاز رادن و دختران آن است؛ به طوری که از مجموع ۲/۴ میلی سیورت دز مؤثر سالانه (میانگین جهانی) از منابع پرتوزای طبیعی، در حدود ۱/۲ میلی سیورت آن متعلق به گاز رادن و دختران آن است؛ از این رو، اندازه‌گیری آن در محیط‌های بسته، به خصوص واحدهای مسکونی، به منظور ارزیابی پرتوگیری مردم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. هسته پرتوزای رادن-۲۲۲ دارای

رادن یک گاز طبیعی پرتوزای بدون بو، رنگ و مزه است و سه رادیوایزوتوپ پرتوزا دارد که عبارت‌اند از: اکتینیون-۲۱۹ ( $^{219}\text{Rn}$ ) از محصولات واپاشی سری اکتینیم، تورون-۲۲۰ ( $^{220}\text{Rn}$ ) از محصولات واپاشی سری توریم و رادن-۲۲۲ ( $^{222}\text{Rn}$ ) از محصولات واپاشی سری اورانیم. اورانیم یک ماده پرتوزای طبیعی است که با مقادیر مختلف در صخره‌ها، خاک، سیمان و آجر یافت می‌شود. در پوسته زمین و به خصوص در نواحی کوهستانی و صخره‌ای نیز وجود دارد. از نظر حفاظت در برابر اشعه رادن-۲۲۲، مهم‌ترین ایزوتوپ رادن است که منجر به پرتوگیری مردم می‌شود.

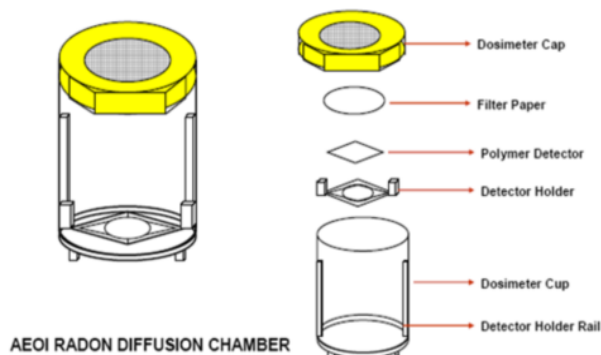
1. United nations committee on effects of atomic radiation

ساختمان‌های مسکونی اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت، نقشه‌موزائیکی پرتوزایی رادن در پهنه کشور تولید می‌شود [۹].

در این پژوهش که پایش رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت است، غلظت رادن در تعدادی از واحدهای مسکونی شهر کاشان اندازه‌گیری شده است. واحدهای مسکونی به صورت تصادفی در طبقات مختلف از زیرزمین تا طبقه دوم انتخاب شده‌اند. برخی از ساختمان‌های انتخاب شده برای اندازه‌گیری قدیمی و ساخته شده از خشت و گل و برخی نوساز و ساخته شده از آجر و سیمان بوده است.

## ۲. روش اندازه‌گیری غلظت رادن

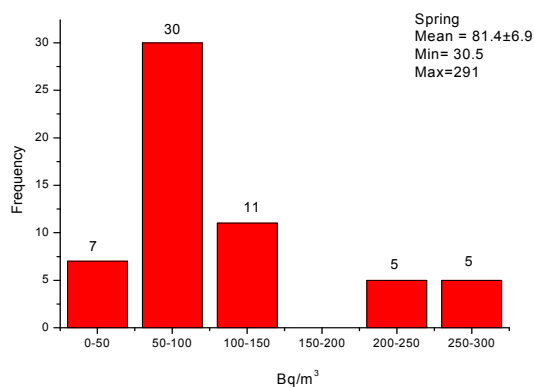
برای اندازه‌گیری غلظت رادن، از اتاقک نفوذی گاز رادن حاوی آشکارساز پلی‌کربنات (lexan) استفاده شده است. اتاقک نفوذی رادن مورد استفاده در این پژوهش، یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی با قطر داخلی ۶۴/۶ mm، ارتفاع ۸۶/۳ mm و حجم داخلی ۲۴۹ cm<sup>۳</sup> است. برای عبور هوا به داخل اتاقک، وسط درب آن دارای سوراخ‌های ریز به صورت شبکه است. از یک فیلتر فایبرگلاس برای جلوگیری از نفوذ دختران رادون و تورون استفاده شده است که روی نگه‌دارنده فیلتر قرار می‌گیرد. برای قرارگرفتن آشکارساز داخل اتاقک نیز از یک نگه‌دارنده پلاستیکی استفاده شده است که توسط آن می‌توان آشکارساز را تا ارتفاع حداکثر ۴ cm بالاتر از کف اتاقک قرار داد (شکل ۱).



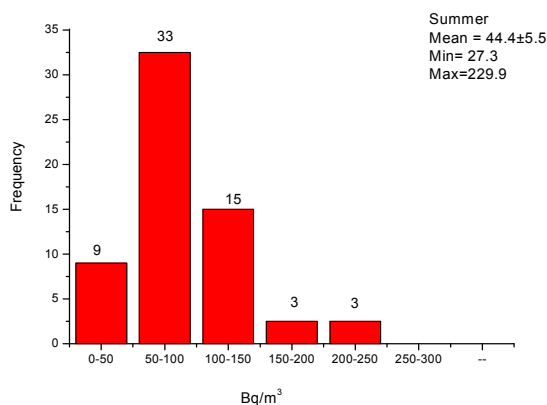
شکل ۱: اتاقک نفوذی رادن و اجزای آن

نیمه عمر ۳/۸ روز است که دو محصول واپاشی پلونیوم-۲۱۸ (<sup>۲۱۸</sup>Po) با نیمه عمر ۳/۰۵ دقیقه و پلونیوم-۲۱۴ (<sup>۲۱۴</sup>Po) با نیمه عمر  $1/6 \times 10^{-4}$  ثانیه انتشار می‌دهد که دختران رادن نامیده می‌شوند و هر دو ذره آلفا انتشار می‌دهند. در صورتی که گاز رادن از طریق تنفس وارد ریه شود، ذرات آلفای انتشار یافته توسط دختران آن، سلول‌های پوششی ریه را آسیب می‌زنند و احتمال ابتلا به سرطان ریه را افزایش می‌دهند [۲].

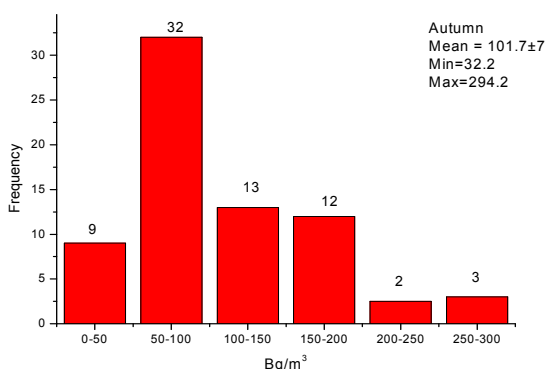
مطالعات اپیدمیولوژیک انجام شده در سال‌های گذشته، نشان داده است پرتوگیری طولانی مدت طی چندین سال از رادن و محصولات واپاشی آن در ساختمان‌های مسکونی، خطر ابتلا به سرطان ریه را افزایش می‌دهد [۳-۵]. بنابراین مقررات و توصیه‌های بین‌المللی و ملی در خصوص سطح مرجع غلظت رادن در واحدهای مسکونی مطرح شده است و با هدف کاهش پرتوگیری مردم از رادن و خطر ناشی از آن به روزرسانی می‌شود. این مقررات الزام می‌کند در صورتی که غلظت رادن بیشتر از سطوح مرجع باشد، باید برای کاهش آن اقدام نمود [۶-۷]. آخرین توصیه کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) در سال ۲۰۰۹ سطح مرجع غلظت رادن برای ساختمان‌های مسکونی را  $300 \text{ Bq}^{-3} \text{ m}^3$  پیشنهاد کرده است [۸]. گام نخست در تعریف سطح مرجع رادن در هر کشوری، نیازمند ارزیابی اولیه از وضعیت پرتوزایی رادن در ساختمان‌های مسکونی است. بدین منظور، براساس توصیه‌ها و استانداردهای بین‌المللی، دو روش پایش رادن تعریف شده است: ۱. روش پایش رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت؛ ۲. پایش رادن بر مبنای جغرافیا. هدف از پایش رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت، ارزیابی پرتوگیری مردم از رادن است که براساس ارزیابی رادن در واحدهای مسکونی که به صورت تصادفی و صرف نظر از طبقه انتخاب می‌شوند، صورت می‌پذیرد. در پایش جغرافیایی، کل کشور شبکه‌بندی شده و در هر شبکه، رادن در طبقه اول



شکل ۲: تعداد واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن در فصل بهار



شکل ۳: تعداد واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن در فصل تابستان



شکل ۴: تعداد واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن در فصل پاییز

برای بزرگ کردن قطر رد پای ذرات آلفای ایجادشده روی آشکارساز، فرایند خورش الکتروشیمیایی ECE<sup>۲</sup> روی آن اعمال و سپس، توسط میکروسکوپ نوری شمارش شد. شرایط بهینه ترکیب محلول خورش در فرایند ECE، دارای درصد جرمی  $۸۰۰\text{ V}$  ولتاژ  $۰.۱۵\% \text{ KOH} + ۰.۴۰\% \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + ۰.۴۵\% \text{ H}_2\text{O}$  فرکانس  $۲\text{ kHz}$  و دمای  $۲۵\text{ C}$  است.

اطلاعات بیشتر درباره مشخصات اتاقک نفوذی رادن و فرایند خورش الکتروشیمیایی، در سایر مقالات ارائه شده است [۱۰ و ۱۱]. کالیبراسیون اتاقک در محفظه حاوی غلظت معینی از رادن،  $۲۹/۴\text{ Bq}^{-3}\text{m}$  انجام شده است. به منظور پرتودهی اتاقک در مقادیر مختلف غلظت رادن، زمان‌های پرتودهی مختلف انتخاب شد و در زمان پرتودهی، غلظت رادن درون محفظه با استفاده از دستگاه فعال اندازه‌گیری رادن اتاقک اندازه‌گیری و کنترل شده است. میانگین حساسیت به دست آمده اتاقک نفوذی رادن برابر با مقدار زیر است:

$$S = 15.1 \pm 0.6 \frac{\text{trackcm}^2}{\text{kBq.m}^{-3}.\text{day}}$$

پس از انجام فرایند کالیبراسیون، تعداد ۱۰۰ اتاقک برای نصب در ساختمان‌های مسکونی آماده‌سازی شدند. اندازه‌گیری در فصل‌های مختلف سال انجام شد. همچنین، اندازه‌گیری‌ها در طبقه اول، دوم و زیرزمین ساختمان‌ها انجام شده است. محل نصب اتاقک نفوذی رادن دور از دیوار و منابع گرما بوده است.

### ۳. نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در فصل‌های مختلف

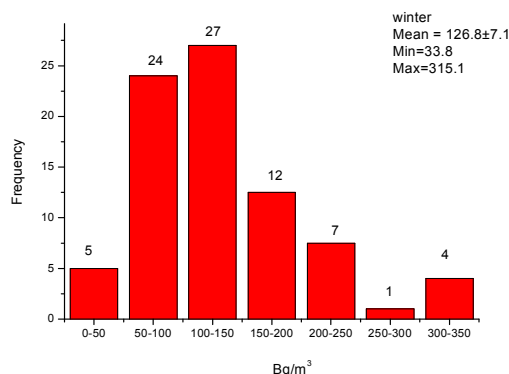
در شکل‌های (۲) تا (۵)، نتایج اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در فصل‌های مختلف و در شکل (۶) تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل‌های مختلف نشان داده شده است. تعداد واحدهای مسکونی در شکل‌های زیر، کمتر از ۱۰۰ می‌باشد که نشان می‌دهد برخی از دزیمترها بازگشت داده نشده یا نتایج آن‌ها پذیرفتنی نبوده است.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

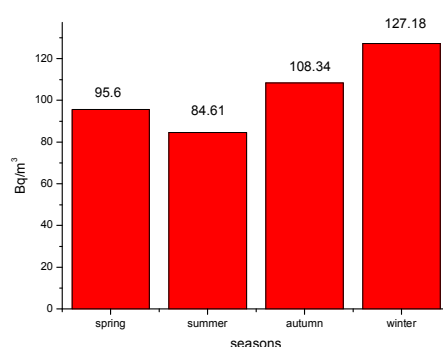
۱. تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل های مختلف (نمودار ۵) و فراوانی واحدهای مسکونی در بازه های مختلف غلظت رادن (جدول ۱) نشان می دهد که با شروع فصل سرد از پاییز، غلظت رادن در واحدهای مسکونی زیاد می شود تا اینکه در فصل زمستان، به بیشترین مقدار می رسد. دلیل اصلی زیاد شدن غلظت رادن در فصل های سرد، عدم گردش هوا در داخل ساختمان به دلیل بسته بودن پنجره هاست. همچنین، در فصل های گرم به دلیل گردش هوا در داخل ساختمان ناشی از باز بودن پنجره ها و استفاده از کولر که موجب هوادهی به داخل ساختمان می شود، غلظت رادن رقیق شده و به کمترین میزان در فصل تابستان می رسد.

۲. چنان که از جدول (۱) مشاهده می شود، نزدیک به ۳۴٪ واحدهای اندازه گیری شده در فصل زمستان، دارای غلظت رادن در بازه  $100 \text{ Bq}^{-3} \text{m}^3$  تا  $150 \text{ Bq}^{-3} \text{m}^3$  می باشند و نزدیک به ۶/۲٪ دارای غلظت رادن بیش از  $300 \text{ Bq}^{-3} \text{m}^3$  (سطح مرجع ICRP) می باشند. این واحدها عموماً زیرزمین هستند و بیشترین غلظت رادن در آن ها رخ می دهد.

۳. نتایج این پژوهش که در تعدادی از ساختمان های مسکونی شهر کاشان به عنوان شاهد اندازه گیری شده، نشان می دهد که غلظت رادن در بیش از ۹۵٪ آن ها کمتر از  $300 \text{ Bq}^{-3} \text{m}^3$  است.



شکل ۵: تعداد واحدهای مسکونی در بازه های مختلف غلظت رادن در فصل زمستان



شکل ۶: مقایسه تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل های مختلف جدول ۱: فراوانی واحدهای مسکونی در بازه های مختلف غلظت رادن

غلظت رادن (Bq <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	کمتر از ۵۰	۵۰ تا ۱۰۰	۱۰۰ تا ۱۵۰	۱۵۰ تا ۲۰۰	۲۰۰ تا ۲۵۰	۲۵۰ تا ۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰
بهار	٪۱۲	٪۵۲	٪۱۹	---	٪۸/۶	---	---
تابستان	٪۱۴/۳	٪۵۲/۴	٪۲۴/۸	٪۴/۸	٪۴/۸	---	---
پاییز	٪۱۲/۶	٪۴۵	٪۱۸/۳	٪۱۶/۹	٪۸/۲	٪۴/۲	---
زمستان	٪۶/۲	٪۳۰	٪۳۳/۷	٪۱۵	٪۸/۷	٪۱/۲	٪۵

#### ۴. مراجع

- [1] UNSCEAR, Sources, Effects and Risks of Ionization Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 2000.
- [2] DARBY, S., et al., Radon in homes and lung cancer risk: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330 (2005) 223–226.
- [3] LUBIN, J.H., et al., (2004). Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies, *Int. J. Cancer* 109 1 (2004) 132–137.
- [4] DARBY, S., et al., Radon in homes and lung cancer risk: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330 (2005) 223–226.
- [5] DARBY, S., et al., Residential radon and lung cancer: Detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7,148 subjects with lung cancer and 14,208 subjects without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. *Scand. J. Work, Environ. & Health* 32 1 (2006) 1–84.
- [6] WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health

- Perspective, WHO, Geneve (2009).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – Interim edition, General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3 (Interim) (2011).
- [8] International Commission on Radiological Protection Statement on Radon, ICRP Ref 00/902/09, 2009.
- [9] IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33, National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings, 2013.
- [10] Sohrabi, M., Solaymanian, A.R. Some characteristics of AEOI passive radon diffusion dosimeter, Nuclear Tracks and Radiation Measurements, Vol. 15, Nos. 1-4, p.605, (1988a).
- [11] M. Taheri and S. Hosseini Toudeshki, "Characteristic studies for fast detection of a wide energy range of alpha particles in polycarbonate detectors," Radiation Measurements, vol. 40, no. 2-6, pp. 307-310, 2005.