مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۲، شمارهٔ ۲، بهار ۱۳۹۳

اندازه‌گیری غلظت رادن در برخی ساختمان‌های مسکونی شهر کاشان

منصور جعفری‌زاده[۱و۳*]، مصطفی زاهدی‌فر[۲]، مهران طاهری[۳] و سمانه برادران[۱و۳]

[۱] پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

[۳] 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 به‌صورت تصادفی، شامل ساختمان‌های قدیمی ساخته‌شده از خشت و گل و ساختمان‌های نوساز از آجر و سیمان انتخاب شده است. طبقهٔ وقوع واحدها زیرزمین تا طبقهٔ دوم بوده است. با درنظرگرفتن معیارهای ارزیابی غلظت رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت، بدون درنظرگرفتن نوع مصالح ساختمانی و طبقهٔ وقوع واحد مسکونی میانگین غلظت رادن در فصل زمستان، دارای بیشترین مقدار ۱۲۷ $Bq^{-3}m$ و به‌ترتیب، در پاییز ۱۰۸ $Bq^{-3}m$، در بهار ۹۶ $Bq^{-3}m$ و در تابستان، کمترین مقدار ۸۵ $Bq^{-3}m$ می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که غلظت رادن در بیش از ۹۵٪ از واحدهای مسکونی اندازه‌گیری شده کمتر از ۳۰۰$Bq^{-3}m$ است که کمتر از سطح مرجع غلظت رادن پیشنهاد شده توسط ICRP در سال ۲۰۰۹برای ساختمان‌های مسکونی ۳۰۰ $Bq^{-3}m$ می‌باشد.

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

۱. مقدمه

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

براساس گزارش کمیتهٔ علمی، اثرات پرتوهای اتمی سازمان ملل متحد UNSCEAR[1] به‌طور میانگین، نیمی از دز مؤثر سالانهٔ مردم در مناطق با پرتوهای زمینهٔ عادی، ناشی از گاز رادن و دختران آن است؛ به‌طوری‌که 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، به‌خصوص واحدهای مسکونی، به‌منظور ارزیابی پرتوگیری مردم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. هستهٔ پرتوزای رادن- ۲۲۲ دارای

1. United nations committee on effects of atomic radiation

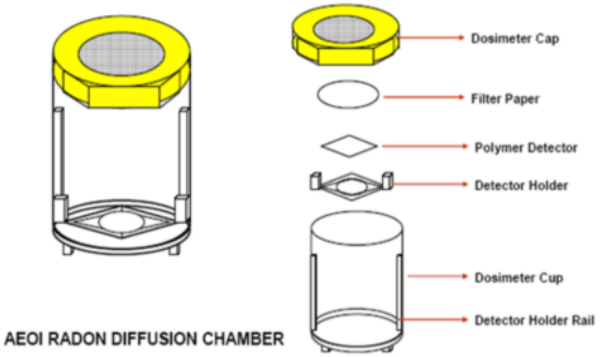
نیمه‌عمر ۳/۸ روز است که دو محصول واپاشی پلونیم-۲۱۸ (^{۲۱۸}Po) با نیمه‌عمر ۳/۰۵ دقیقه و پلونیم-۲۱۴ (^{۲۱۴}Po) با نیمه‌عمر $۱/۶\times۱۰^{-۴}$ ثانیه انتشار می‌دهد که دختران رادن نامیده می‌شوند و هر دو ذرهٔ آلفا انتشار می‌دهند. درصورتی‌که گاز رادن از طریق تنفس وارد ریه شود، ذارات آلفای انتشاریافته توسط دختران آن، سلول‌های پوششی ریه را آسیب می‌زنند و احتمال ابتلا به سرطان ریه را افزایش می‌دهند [۲].

مطالعات اپیدمیولوژیک انجام‌شده در سال‌های گذشته، نشان داده است پرتوگیری طولانی‌مدت 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 درخصوص سطح مرجع غلظت رادن در واحدهای‌های مسکونی مطرح شده است و با هدف کاهش پرتوگیری مردم از رادن و خطر ناشی از آن به‌روزرسانی می‌شود. این مقررات الزام می‌کند درصورتی‌که غلظت رادن بیشتر از سطوح مرجع باشد، باید برای کاهش آن اقدام نمود [۶-۷]. آخرین توصیهٔ کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعهٔ (ICRP) در سال ۲۰۰۹ سطح مرجع غلظت رادن برای ساختمان‌های مسکونی را ۳۰۰ $Bq^{-3}m$ 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 به‌صورت تصادفی و صرف‌نظر از طبقه انتخاب می‌شوند، صورت می‌پذیرد. در پایش جغرافیایی، کل کشور شبکه‌بندی شده و در هر شبکه، رادن در طبقهٔ اول ساختمان‌های مسکونی اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت، نقشهٔ موزائیکی پرتوزایی رادن در پهنهٔ 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 به‌صورت تصادفی در طبقات مختلف از زیرزمین تا طبقهٔ دوم انتخاب شده‌اند. برخی از ساختمان‌های انتخاب‌شده برای اندازه‌گیری قدیمی و ساخته‌شده از خشت و گل و برخی نوساز و ساخته‌شده 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$cm^{۳}$ است. برای عبور هوا به داخل اتاقک، وسط درب آن دارای سوراخ‌های ریز به‌صورت شبکه است. از یک فیلتر فایبرگلاس برای جلوگیری از نفوذ دختران رادون و تورون استفاده شده است که روی نگه‌دارندهٔ فیلتر قرار می‌گیرد. برای قرارگرفتن آشکارساز داخل اتاقک نیز از یک نگه‌دارندهٔ 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

برای بزرگ‌کردن قطر رد پای ذرات آلفای ایجادشده روی آشکارساز، فرایند خورش الکتروشیمیایی ECE[۲] روی آن اعمال و سپس، توسط میکروسکوپ نوری شمارش شد. شرایط بهینهٔ ترکیب محلول خورش در فرایند ECE، دارای درصد جرمی ٪۱۵ KOH + ٪۴۰ C2H5OH + ٪۴۵ H2O در ولتاژ ۸۰۰ V فرکانس ۲ kHz و دمای ۲۵ C است.

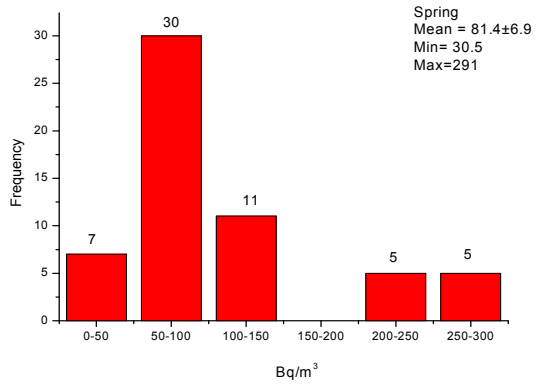
اطلاعات بیشتر دربارهٔ مشخصات اتاقک نفوذی رادن و فرایند خورش الکتروشیمیایی، در سایر مقالات ارائه شده است [۱۰و ۱۱]. کالیبراسیون اتاقک در محفظهٔ حاوی غلظت معینی از رادن، ۲۹/۴ $Bq^{-3}m$ انجام شده است. به‌منظور پرتودهی اتاقک در مقادیر مختلفِ غلظت رادن، زمان‌های پرتودهی مختلف انتخاب شد و در زمان پرتودهی،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

$$S = 15.1 \pm 0.6 \quad \frac{track cm^{2}}{kBq.m^{-3}.day}$$

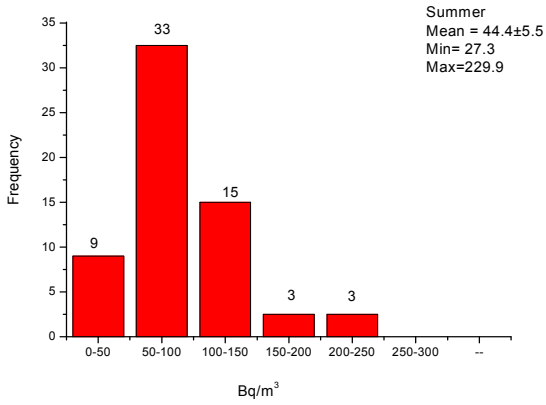
پس از انجام فرایند کالیبراسیون، تعداد ۱۰۰ اتاقک برای نصب در ساختمان‌های مسکونی آماده‌سازی شدند. اندازه‌گیری در فصل‌های مختلف سال انجام شد. همچنین، اندازه‌گیری‌ها در طبقهٔ اول، دوم و زیرزمین ساختمان‌ها انجام شده است. محل نصب اتاقک نفوذی رادن دور از دیوار و منابع گرما بوده است.

۳. نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در فصل‌های مختلف

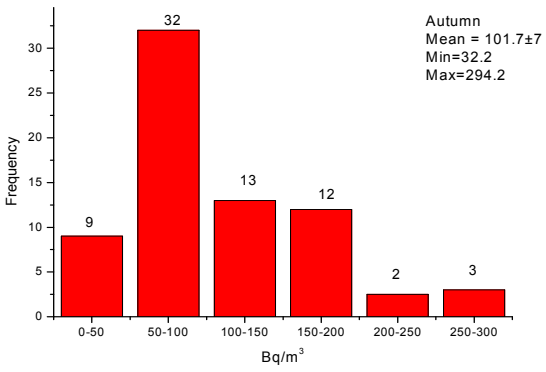
در شکل‌های (۲) تا (۵)، نتایج اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در فصل‌های مختلف و در شکل (۶) تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل‌های مختلف نشان داده شده است. تعداد واحدهای مسکونی در شکل‌های زیر، کمتر از ۱۰۰ می‌باشد که نشان می‌دهد برخی از دزیمترها بازگشت داده نشده یا نتایج آن‌ها پذیرفتنی نبوده است.



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

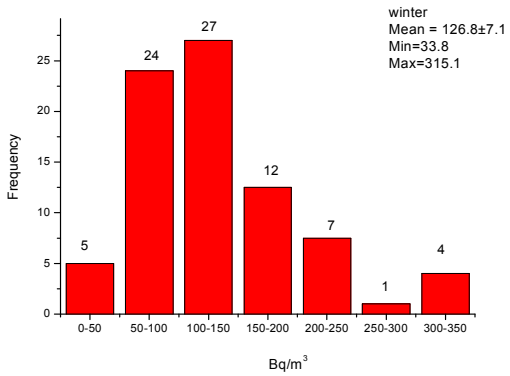


شکل ۳: تعداد واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن در فصل تابستان

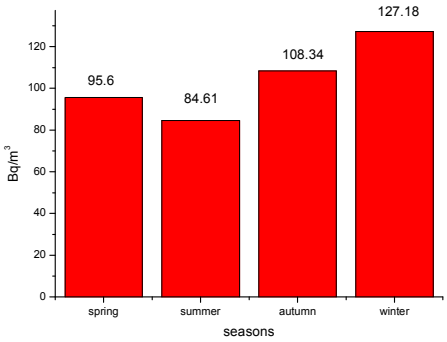


شکل ۴: تعداد واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن در فصل پاییز

2. Electro Chemical Etching



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



شکل ۶: مقایسه تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل‌های مختلف

جدول ۱: فراوانی واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلف غلظت رادن

غلظت رادن ($Bq^{-3}m$)	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	٪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. بحث و نتیجه‌گیری

۱. تغییرات میانگین غلظت رادن در فصل‌های مختلف (نمودار ۵) و فراوانی واحدهای مسکونی در بازه‌های مختلفِ غلظت رادن (جدول ۱) نشان می‌دهد که با شروع فصل سرد از پاییز، غلظت رادن در واحدهای مسکونی زیاد می‌شود تا اینکه در فصل زمستان، به بیشترین مقدار می‌رسد. دلیل اصلی زیاد شدن غلظت رادن در فصل‌های سرد، عدم گردش هوا در داخل ساختمان به‌دلیل بسته بودن پنجره‌هاست. همچنین، در فصل‌های گرم به‌دلیل گردش هوا در داخل ساختمان ناشی از باز بودن پنجره‌ها و استفاده از کولر که موجب هوادهی به داخل ساختمان می‌شود، غلظت رادن رقیق شده و به کمترین میزان در فصل تابستان می‌رسد.

۲. چنان‌که از جدول (۱) مشاهده می‌شود، نزدیک به ۳۴٪ واحدهای اندازه‌گیری‌شده در فصل زمستان، دارای غلظت رادن در بازه $۱۰۰Bq^{-3}m$ تا $۱۵۰ Bq^{-3}m$می‌باشند و نزدیک به ۶/۲٪ دارای غلظت رادن بیش از $۳۰۰Bq^{-3}m$ (سطح مرجع ICRP) می‌باشند. این واحدها عموماً زیرزمین هستند و بیشترین غلظت رادن در آن‌ها رخ می‌دهد.

۳. نتایج این پژوهش که در تعدادی از ساختمان‌های مسکونی شهر کاشان به‌عنوان شاهد اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد که غلظت رادن در بیش از ۹۵٪ آن‌ها کمتر از $۳۰۰Bq^{-3}m$ است.

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 diffussion 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.