

مطالعه مقایسه‌ای دو ساختمان با زیر ساخت متفاوت از نظر نفوذپذیری در برابر گاز پرتوزای رادن

منصور جعفری‌زاده^{۱*}، محمدرضا کاردان^۱، مرضیه مؤذن^۲، شادی فراهانی اقدام^۲، علی فاضل ساعتچی^۲، سمانه برادران^۱،
مهران طاهری^۲، فریدون میانجی^۱ و ناصر راستخواه^۱

^۱ گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتوی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

^۲ دفتر حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

* تهران، خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۳۶ - ۱۴۳۹۵

پست الکترونیکی: mjafarizadeh@aeoi.org.ir

چکیده

غلظت رادن در طبقه همکف دو ساختمان با زیرسازی متفاوت با روش فعال، اندازه‌گیری و مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد ساختمان با زیرسازی ضد رطوبت در برابر ورود گاز رادن به داخل ساختمان نیز مقاوم‌تر است. غلظت رادن در طبقه همکف ساختمان با زیرسازی ضد رطوبت در مقایسه با ساختمان بدون زیرسازی ضد رطوبت یازده برابر کمتر است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد غلظت رادن داخل ساختمان با زیرساخت ضد رطوبت تنها ۴۱ درصد بیشتر از غلظت رادن در هوای آزاد اطراف ساختمان می‌باشد. همچنین نتایج اندازه‌گیری انتشار رادن از سطح خاک و در عمق یک متری خاک محل ساخت ساختمان‌ها نشان می‌دهد که غلظت گاز رادن خاک ساختمان شماره ۲ نزدیک به ۵ برابر بزرگتر از گاز رادن خاک ساختمان شماره ۱ است. در صورتی‌که انتشار رادن از خاک ساختمان ۲ تنها ۳۰ درصد بیشتر از انتشار رادن از سطح خاک ساختمان ۱ است. این اطلاعات نشان می‌دهد انتشار رادن از سطح خاک رابطه مستقیم و خطی با غلظت رادن داخل خاک ندارد. سایر عوامل از جمله بافت خاک، فشردگی و ساختار ماتریس خاک در انتشار رادن از داخل به سطح خاک اثرگذار است.

کلیدواژگان: رادن، غلظت رادن، گاز رادن خاک، بکرل.

۱. مقدمه

به سطح زمین آمده و در بستر رودها رسوب می‌نماید و بسته به پراکندگی غلظت رادیوم در نقاط مختلف باعث ایجاد مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا^۱ (HNRA) می‌گردد. وجود رادیوم-

در میان مواد پرتوزای طبیعی موجود در پوسته زمین، هسته پرتوزای رادیوم-۲۲۶ (نیمه‌عمر ۱۶۲۰ سال) یکی از اثرگذارترین آن‌ها بر محیط زیست اطراف انسان می‌باشد. این هسته پرتوزا در زنجیره واپاشی اورانیوم-۲۳۸ تولید شده، در جریان‌های آب زیرزمینی حل شده و از شکستگی‌های عمقی

^۱ High natural radiation area

مقاوم سازی ساختمان‌ها در برابر ورود گاز رادن تهیه و ارائه شده است. یکی از روش‌های ارزان و مؤثر در کاهش فشار گاز رادن خاک (depressurization)، روش ایجاد مسیرهای تهویه در زیر پی و کف ساختمان است. در این روش گاز رادن خاک از طریق مسیر تخلیه، به هوای آزاد راه می‌یابد در نتیجه نمی‌تواند در اثر اختلاف فشار مثبت خاک نسبت به داخل ساختمان وارد ساختمان شود [۸-۶]. در این پژوهش غلظت گاز رادن در دو ساختمان مسکونی (ساختمان شماره ۱ و ساختمان شماره ۲) با زیرسازی متفاوت اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت گاز رادن در خاک و آهنگ انتشار رادن از سطح خاک محل ساخت ساختمان‌ها اندازه‌گیری و با غلظت رادن در داخل ساختمان‌ها مقایسه و بحث شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مشخصات ساختمان شماره ۱

این ساختمان با کاربری مسکونی دارای سه طبقه روی زمین و بدون زیرزمین است و در زمینی ساخته شد که ابتدا به عمق یک متر خاک برداری شده و محل خاک برداری با سنگ‌ریزه و نخاله‌های ساختمانی پر شد و روی آن بتن‌ریزی شد. با توجه به اینکه ساختمان در ناحیه ساحلی شمال ایران واقع شده این اقدام برای جلوگیری از نفوذ رطوبت زمین به داخل ساختمان انجام شد. سپس دور تا دور محل احداث دیوارهای ساختمان به ارتفاع ۱/۵ متر آرماتوربندی و با بتن پر شد و روی آن قیرگونی شد. زیر کف ساختمان یک کانال به ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی‌متر به منظور اقدامات توسعه‌ای نظیر عبور کابل برق و لوله‌ها ایجاد شد. در شکل ۱ برش عرضی زیرسازی ساختمان نشان داده شده است.

۲.۲. مشخصات ساختمان شماره ۲

این ساختمان مسکونی دو طبقه در نزدیکی ساختمان شماره ۱ واقع شده و بدون زیرزمین است. اندازه‌گیری در طبقه همکف انجام شد که کف آن از سیمان است. این ساختمان در یک

در لایه‌های زیرین پوسته زمین و در رسوب بستر رودها باعث انتشار گاز پرتوزای رادن -۲۲۲ (نیمه‌عمر ۳/۸۲ روز) می‌شود. این گاز از سطح پوسته زمین انتشار می‌یابد و به داخل ساختمان نفوذ کرده و متراکم می‌شود. انسان‌ها در محل زندگی و محل کار در مواجهه با آن قرار می‌گیرند و گاز رادن از طریق تنفس وارد ریه آن‌ها می‌شود.

رادن به عنوان یکی از گازهای پرتوزای طبیعی واپاشی نموده رادیونوکلیدهای تابش‌کننده ذره آلفا به نام پلونیوم-۲۱۸ (نیمه‌عمر ۳/۰۴ دقیقه) و پلونیوم-۲۱۴ (نیمه‌عمر ۱۶۱ میکروثانیه) را تولید می‌کند. ذره آلفا دارای انتقال انرژی خطی^۱ (LET) زیاد، برد کوتاه و توان انتقال انرژی به DNA برای ایجاد آسیب دائمی در بافت ریه می‌باشد. با ورود رادن به دستگاه تنفسی محصولات واپاشی آن در ریه باقی مانده و سلول‌های پوششی مجاری هوایی را دچار آسیب نموده و در نهایت باعث افزایش احتمال بروز سرطان ریه می‌شود. براساس مطالعات اپیدمیولوژیک انجام شده در سال‌های اخیر اثبات شده است که پرتوگیری طولانی از رادن و محصولات واپاشی آن احتمال ابتلا به سرطان ریه را افزایش می‌دهد [۵-۱].

ورود گاز رادن به داخل ساختمان‌ها ناشی از وجود غلظت‌های متغیر از رادیوم-۲۲۶ در نقاط مختلف پوسته زمین است. که به دلیل نفوذپذیری خاک، گاز رادن خاک به راحتی عبور کرده به سطح زمین می‌رسد و به دلیل اختلاف فشار داخل ساختمان و خاکی که ساختمان روی آن بنا شده است، گاز رادن خاک به راحتی از طریق کف ساختمان، سوراخ‌ها، ترک‌ها و درزهای موجود در پی و دیوار، وارد ساختمان شده و در صورتی که تخلیه نشود در داخل ساختمان متراکم می‌شود. بنابراین روش اصلی در کاهش غلظت رادن داخل ساختمان، کاهش فشار گاز رادن خاک، گازبندی و مقاوم‌سازی پی و کف ساختمان در برابر ورود گاز رادن به داخل ساختمان است. از این رو دستورالعمل‌ها و کدهای ساختمانی مختلفی برای

^۱ Linear energy transfer

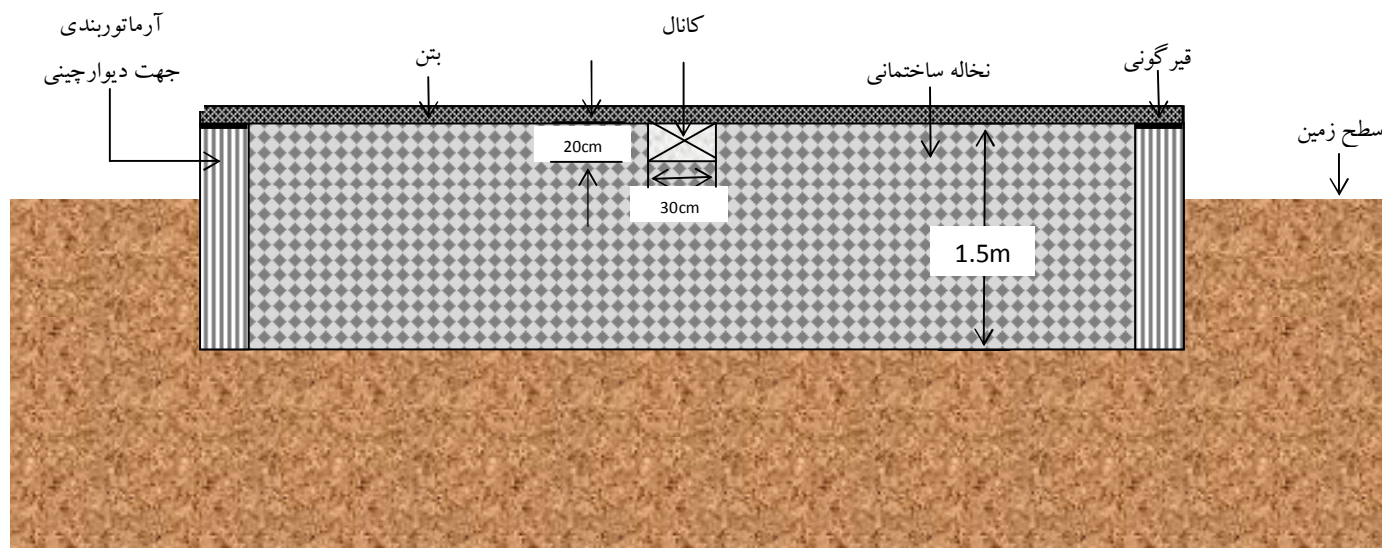
ساختمان و هوای آزاد اطراف آن‌ها انجام شد. برای رعایت شرایط یکسان در اندازه‌گیری‌ها، پروتکل اندازه‌گیری پیوسته آژانس حفاظت محیطی آمریکا (EPA) مورد استفاده قرار گرفت [۹]. اندازه‌گیری داخل ساختمان به مدت ۴۸ ساعت در فصل بهار انجام شد. برای جلوگیری از جابجایی هوا و تغییرات غلظت رادن، در تمام مدت اندازه‌گیری درب اتاق‌ها بسته بود و رفت و آمد در آن‌ها صورت نگرفت. همچنین اندازه‌گیری غلظت رادن در هوای آزاد اطراف ساختمان‌ها در شرایط هوای پایدار و بدون وزش باد انجام شد. نتیجه اندازه‌گیری‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

زمین معمولی ساخته شد و محل ساخت دیوارها به عمق ۰/۵ متر خاک‌برداری شد و محل خاک‌برداری با سنگ‌ریزه و نخاله‌های ساختمانی پر شد و سپس کل کف ساختمان با سیمان پوشیده شد. در زیرسازی این ساختمان همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است در قسمت زیرین ساختمان خاک‌برداری نشده و هیچ‌گونه کانالی هم ایجاد نشده است.

۳.۲. اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در داخل

ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ و هوای آزاد

اندازه‌گیری داخل ساختمان‌ها با استفاده از دستگاه الکترونیکی پایش رادن (روش فعال) و در اتاق‌های طبقه همکف در هر دو



شکل (۱): برش عرضی زیرسازی ساختمان شماره ۱



شکل (۲): برش عرضی زیرسازی ساختمان شماره ۲

۴.۲. اندازه‌گیری انتشار رادن از سطح خاک

این اندازه‌گیری برای تعیین میزان انتشار گاز رادن از سطح خاک و براساس دستورالعمل دستگاه انجام شد. روش کار به این صورت است که یک محفظه لبه‌دار به قطر خارجی cm $25/4$ ، قطر داخلی cm $21/6$ و عمق cm $1/27$ ، با حجم فضای داخلی ml $432/6$ روی سطح خاک قرار گرفت و گاز رادن انتشار یافته از سطح خاک درون محفظه خاک جمع شد. اندازه‌گیری در بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد. از طریق یک مدار لوله‌ای بسته که ورودی و خروجی آن به محفظه خاک متصل شده است، هوای داخل محفظه مکیده شده و از درون مدار بسته از میان خشک‌کن (به منظور کاهش میزان رطوبت) و فیلتر ورودی (برای جلوگیری از ورود گرد و خاک به دستگاه) عبور کرده و به سمت محفظه آشکارسازی برای اندازه‌گیری غلظت رادن پمپ قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری روی سطح زمین جلوی ساختمان‌ها انجام شد. براساس دستورالعمل دستگاه با استفاده از نتایج اندازه‌گیری غلظت رادن در بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای نمودار غلظت بر حسب زمان رسم شد. از حاصلضرب شیب نمودار غلظت در حجم مدار بسته آهنگ انتشار رادن از سطح خاک محاسبه شد که نتیجه به‌دست آمده

برای انتشار رادن از سطح خاک جلوی ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ در جدول ۲ آمده است.

۵.۲. اندازه‌گیری گاز رادن در خاک

در همان نقاطی که انتشار رادن از سطح خاک جلوی ساختمان‌های ۱ و ۲ اندازه‌گیری شد، گاز رادن در عمق یک متری خاک نیز اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری با استفاده از یک لوله استیل که ابتدای آن در عمق یک متری خاک قرار گرفت و انتهای آن با استفاده از لوله پلاستیکی به مداری متصل شد که دارای پمپ مکنده هوا، فیلتر جذب گرد و غبار، خشک‌کن رطوبت و دستگاه اندازه‌گیری رادن می‌باشد انجام شد. نمونه‌گیری به صورت گسسته (grab sampling) انجام شد. بدین صورت که گاز رادن از طریق انتهای لوله استیل وارد مدار مکنده و در انتها وارد دستگاه آشکارساز شده و غلظت رادن اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری رادن در یک بازه زمانی ۳۰ دقیقه‌ای انجام شد، به نحوی که در ابتدا پمپ ۵ دقیقه کار کرده و پس از ۵ دقیقه مکث، در ۴ سیکل ۵ دقیقه‌ای شمارش انجام شد. نتایج به‌دست آمده و مشخصات اندازه‌گیری در جدول ۳ آمده است.

جدول (۱): نتیجه اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در داخل ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ و هوای آزاد

ردیف	مکان اندازه‌گیری داخل ساختمان	شماره ساختمان	نتیجه اندازه‌گیری (Bq/m^3)
۱	اتاق شماره ۱ واقع در طبقه همکف - کف سنگ	۱	$15/8 \pm 1/2$
۲	اتاق همکف - کف سیمان	۲	182 ± 12
۳	-	هوای آزاد	$11/2 \pm 2$

جدول (۲): آهنگ انتشار رادن از سطح خاک

ردیف	مکان اندازه‌گیری	نوع اندازه‌گیری	نتیجه اندازه‌گیری (Bq/min)
۱	محوطه جلوی ساختمان شماره ۱	انتشار رادن از سطح خاک	$0/127 \pm 0/013$
۲	محوطه جلوی ساختمان شماره ۲	انتشار رادن از سطح خاک	$0/165 \pm 0/013$

جدول (۳): نتایج اندازه‌گیری گاز رادن خاک در محوطه ساختمان‌های ۱ و ۲

ردیف	مکان اندازه‌گیری	نوع اندازه‌گیری	نتیجه اندازه‌گیری (Bq/m^3)
۱	محوطه جلوی درب ورودی ساختمان شماره ۱	گاز رادن در خاک	5272 ± 359
۲	محوطه جلوی درب ورودی ساختمان شماره ۲	گاز رادن در خاک	26075 ± 1445

۳. بحث و نتیجه‌گیری

(۲) از طرفی استفاده از سنگ در کف ساختمان ۱ به عنوان یکی از عوامل بازدارنده ورود رادن به ساختمان اثر مطلوب گذاشته در نتیجه گاز رادن به آسانی از طریق کف به طبقه همکف وارد نمی‌شود. البته سنگ استفاده شده باید بدون آلودگی ساختاری به مواد پرتوزا باشد.

(۳) عوامل مؤثر در کاهش رادن در ساختمان شماره ۱، نظیر خاک‌برداری، وجود کانال و استفاده از سنگ در کف ساختمان به صورت مطلوبی باعث کاهش غلظت رادن در ساختمان شده است. چنانچه نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد غلظت رادن داخل ساختمان شماره ۱ نسبت به غلظت رادن در هوای آزاد اطراف ساختمان تنها ۴۱ درصد بیشتر است. این خود به دلیل زیر ساخت و کفپوش مؤثر ساختمان در جلوگیری از ورود رادن به داخل ساختمان می‌باشد.

(۴) نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در دو ساختمان ۱ و ۲ نشان می‌دهد در صورتی که در نواحی شمال کشور زیرسازی ساختمان‌ها را ضد رطوبت اجرا نمایند چنین ساختمان‌هایی در برابر نفوذ رادن هم مقاوم می‌شوند که البته کافی نیست و لازم است اقدامات کامل‌تری از جهت جلوگیری از ورود گاز رادن به داخل ساختمان انجام شود. در صورتی که ساختمان مستقیم روی خاک بنا شود و ضد رطوبت هم نباشد رادن به میزان زیاد از طریق کف به داخل

(۱) کاهش فشار گاز رادن خاک یکی از روش‌های شناخته شده در ساخت ساختمان‌های مقاوم در برابر ورود گاز رادن به داخل ساختمان می‌باشد. امروزه با روش‌های مختلفی از قبیل ایجاد گره‌رو، نصب شبکه لوله زیر همکف و اتصال این شبکه به لوله عمودی تا پشت‌بام، ایجاد چاه رادن در نزدیکی ساختمان تلاش می‌شود تا با شکستن فشار گاز رادن خاک از ورود آن به داخل ساختمان جلوگیری نمایند [۶]. چنانچه نتایج در جدول ۱ نشان می‌دهد، غلظت رادن در طبقه همکف ساختمان شماره ۱ در مقایسه با ساختمان شماره ۲ یازده برابر کمتر می‌باشد. با توجه به خاک‌برداری انجام شده در زمین ساختمان شماره ۱ بدیهی است که بافت خاک تغییر کرده و فضای بین ذرات خاک زیاد شده است که این خود باعث حرکت آسان‌تر رادن در درون خاک شده و از زیاد شدن فشار گاز رادن خاک جلوگیری می‌کند. از طرفی وجود کانال زیر کف‌سازی این ساختمان باعث تخلیه گاز رادن از مسیر این کانال می‌شود در نتیجه گاز رادن فشار لازم را برای ورود به داخل ساختمان از طریق کف را ندارد. ساختار زیرسازی ساختمان ۱ اگر چه برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان انجام شده است، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای جلوگیری از ورود رادن به داخل ساختمان از طریق کف می‌باشد.

برابر گاز رادن خاک ساختمان ۱ است. در صورتی که انتشار رادن از سطح خاک ساختمان ۲ تنها ۳۰ درصد (نتایج جدول ۲) بیشتر از انتشار رادن از سطح خاک ساختمان ۱ است. این نشان دهنده این است که انتشار رادن از سطح خاک رابطه مستقیم و خطی با غلظت رادن داخل خاک ندارد. سایر عوامل از جمله بافت خاک، فشردگی و ساختار ماتریس خاک نیز اثرگذار است.

ساختمان نفوذ می کند که در دراز مدت برای ساکنان از نظر بهداشتی خطرناک می باشد. (۵) خاک برداری و دستکاری در خاک محل ساخت ساختمان نیز یکی از عوامل کاهش فشار رادن خاک می باشد که در جلوگیری از ورود رادن به داخل ساختمان نیز کارآیی دارد. اطلاعات گاز رادن خاک در جدول ۳ نشان دهنده بالاتر بودن غلظت رادن خاک ساختمان ۲ به میزان نزدیک به ۵

۴. مراجع

- [1] UNSCEAR, Sources, Effects and Risks of Ionization Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York, (2000).
- [2] J. H. Lubin, et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies, *Int. J. Cancer*. 109 (2004).
- [3] S. Darby, 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 (2006).
- [4] BEIR IV, National Research Council: Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation: Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha Emitters, Washington, DC, National Academy Press, (1988).
- [5] S. Darby, et al. "Radon in Homes and Risk of Lung Cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies", *British medical journal*, Jan 29; 330(7485): 223, (2005).
- [6] EPA/402-k-01-002, Building radon out, April, (2001).
- [7] EPA 402/K-12/002, A citizen's guide to radon, (2012).
- [8] BHRC publication No. S-626, Regulations for the protection of buildings against the penetration of radon gas, Iranian building codes and standards, (1391). (in Persian).
- [9] EPA "Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols" publication, EPA 402-R-92-004 (1992).