

اندازه‌گیری غلظت گاز رادون ۲۲۲ در مدارس ابتدایی دخترانه شهر یزد

آرزو خویشداری^۱، محمد اسلامی کلاتری^{۱*}، فتح‌الله بوذرجمهری^۲ و اعظم عسگری^۳

^۱ گروه هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

^۳ دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.

* یزد، دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای، کدپستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

پست الکترونیکی: meslami@yazd.ac.ir

چکیده

تعداد زیادی از سازمان‌های سلامت عمومی، پرتوگیری رادون در فضای بسته را به‌عنوان دومین عامل سرطان ریه پس از سیگار دسته‌بندی کرده‌اند. با توجه به مدت حضور کودکان در محیط‌های بسته یعنی مدارس و خطر سرطان‌پذیری بیش‌تر آن‌ها نسبت به بزرگسالان، اندازه‌گیری غلظت رادون در مدارس از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، تعدادی کلاس درس از مدارس ابتدایی دخترانه شهر یزد به‌طور تصادفی انتخاب و غلظت گاز رادون در آن‌ها اندازه‌گیری شد. غلظت گاز رادون به روش اندازه‌گیری فعال توسط دستگاه رادون‌سنج (RAD7) در کلاس‌های ۲۳ مدرسه ابتدایی شهر یزد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها به مدت ۲۴ ساعت طی ۱۶ چرخه ۱/۵ ساعته انجام شد. نتایج حاکی از وجود غلظت گاز رادون در محدوده ۱۳ تا ۱۴۵ بکرل بر مترمکعب با متوسط $47/87 \text{ Bq/m}^3$ و خطای استاندارد ۱/۷۳ است.

کلیدواژگان: یزد، مدارس ابتدایی، کودکان، سرطان ریه، غلظت رادون، RAD7.

۱. مقدمه

مهم‌ترین معادن اورانیوم در ایران است که در فاصله تقریبی ۲۰۰ کیلومتر از شهر یزد قرار دارد.

رادون، گاز بدون رنگ، بو و مزه با نیمه‌عمر ۳/۸ روز یک گاز نجیب و بی‌اثری است که از واپاشی رادیوم-۲۲۶ موجود در سراسر پوسته زمین متصاعد می‌گردد [۲]. با توجه به اینکه اکثر پرتوگیری بشر از منابع طبیعی حاصل می‌شود، لذا استنشاق هوای شامل گاز رادون و محصولات واپاشی آن

شهرستان یزد در دره‌ای خشک و پهناور بین کوه‌های شیرکوه و خراتق با پهنه‌ای حدود ۸۷۰۰ هکتار در مرکز استان یزد واقع است. بلندی این شهر از سطح دریا، ۱۲۱۵ متر با آب‌وهوای گرم و خشک در تابستان و سرد و خشک در زمستان، همراه با بارش سالیانه اندک است [۱].

کویر ساغند از کویرهای مرکزی ایران واقع در جنوب‌شرقی روستای ساغند در استان یزد دارای یکی از

۲. مکان‌یابی و انتخاب نمونه‌ها

جهت بررسی رادون، تعداد مناسبی مدرسه به روش تصادفی طبقه‌بندی شده از میان مدارس شهر یزد انتخاب شد. بدین منظور، سطح شهر یزد به ۶ منطقه با مساحت یکسان تقسیم شد که هر بخش دارای مساحت تقریبی ۲۵/۶ کیلومترمربع بود. مطابق با پرونده مدارس ارائه شده توسط سازمان آموزش و پرورش و مشخص بودن مکان مدارس بر روی نقشه شهر، با توجه به تراکم مدارس هر بخش، تعداد مناسبی مدرسه جهت بررسی رادون به روش تصادفی ساده انتخاب شد. در نهایت ۲۵ مدرسه در سطح شهر به این طریق انتخاب شد که به دلیل برهم خوردن شرایط اندازه‌گیری، غلظت رادون در ۲ مدرسه نادیده گرفته شد. تقسیمات شهری انجام شده به همراه مدارس منتخب در هر قسمت در شکل ۱ مشخص شده‌اند.

۳. اندازه‌گیری رادون در مدارس

مجموعه‌ای از شرایط گوناگون برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در مدارس باید مورد توجه قرار گیرد، تا نتایج اندازه‌گیری‌ها با استانداردهای جهانی قابل مقایسه و بحث باشد. این شرایط تحت عنوان پروتکل‌های مختلف برای اندازه‌گیری رادون در دسترس هستند که در ادامه به معرفی آن‌ها و سپس به بیان نحوه عمل‌کرد دستگاه اندازه‌گیری گاز رادون که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، پرداخته می‌شود.

۱.۳. شرایط اندازه‌گیری غلظت رادون

پروتکل اندازه‌گیری رادون در مدارس به شماره EPA 402-R-92 که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۳ تهیه شده است، شرایط اندازه‌گیری گاز رادون

مسئول بیش از ۵۰ درصد دز سالیانه دریافتی از تابش طبیعی است [۳]. در سال ۱۹۸۸، آژانس بین‌المللی تحقیق سرطان IARC^۱ و سازمان بهداشت جهانی WHO^۲، رادون را به‌عنوان عامل سرطان ریه معرفی کردند [۴، ۵]. به‌علاوه، آژانس‌های سلامت عمومی متعددی، پرتوگیری رادون در فضای بسته را به‌عنوان دومین عامل سرطان ریه بعد از سیگار رده‌بندی کرده‌اند [۶، ۵]. در واقع ذرات آلفای حاصل از واپاشی رادون و دختران آن با آسیب به DNA می‌توانند به‌طور چشم‌گیری منجر به خطر سرطان ریه شوند [۷].

با توجه به اینکه میزان واقعی کیفیت یک جامعه در توسعه برنامه‌های طراحی شده برای حفظ سلامت کودکان آن جامعه نهفته است و نیز به دلیل حساسیت کودکان در برابر عوامل سرطان‌زا، لذا شناسایی و کاهش عوامل مذکور در محیط پیرامون آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. چون کودکان اکثر اوقات خود را بعد از خانه در مدرسه سپری می‌کنند، لذا بررسی مدارس از نظر استاندارد بودن سطوح رادون از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌همین دلیل افراد در شهرهای مختلف دنیا با روش‌های گوناگون به اندازه‌گیری غلظت رادون پرداخته‌اند [۸-۱۱]. به دلیل نزدیک بودن شهر یزد به منابع اورانیوم ساغند، ذهنیت وجود غلظت‌های بالای رادون در مدارس این شهر وجود داشت. به‌علاوه بررسی غلظت رادون در زیرزمین منازل مسکونی توسط بوذرجمهری و احرامپوش (۲۰۰۷) نشان داد که ۳۰ درصد از زیرزمین‌های شهر یزد دارای سطوح رادون بالاتر از حد استاندارد هستند [۱۲]. با توجه به موارد بیان شده، در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در ۲۳ مدرسه ابتدایی دخترانه شهر یزد مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

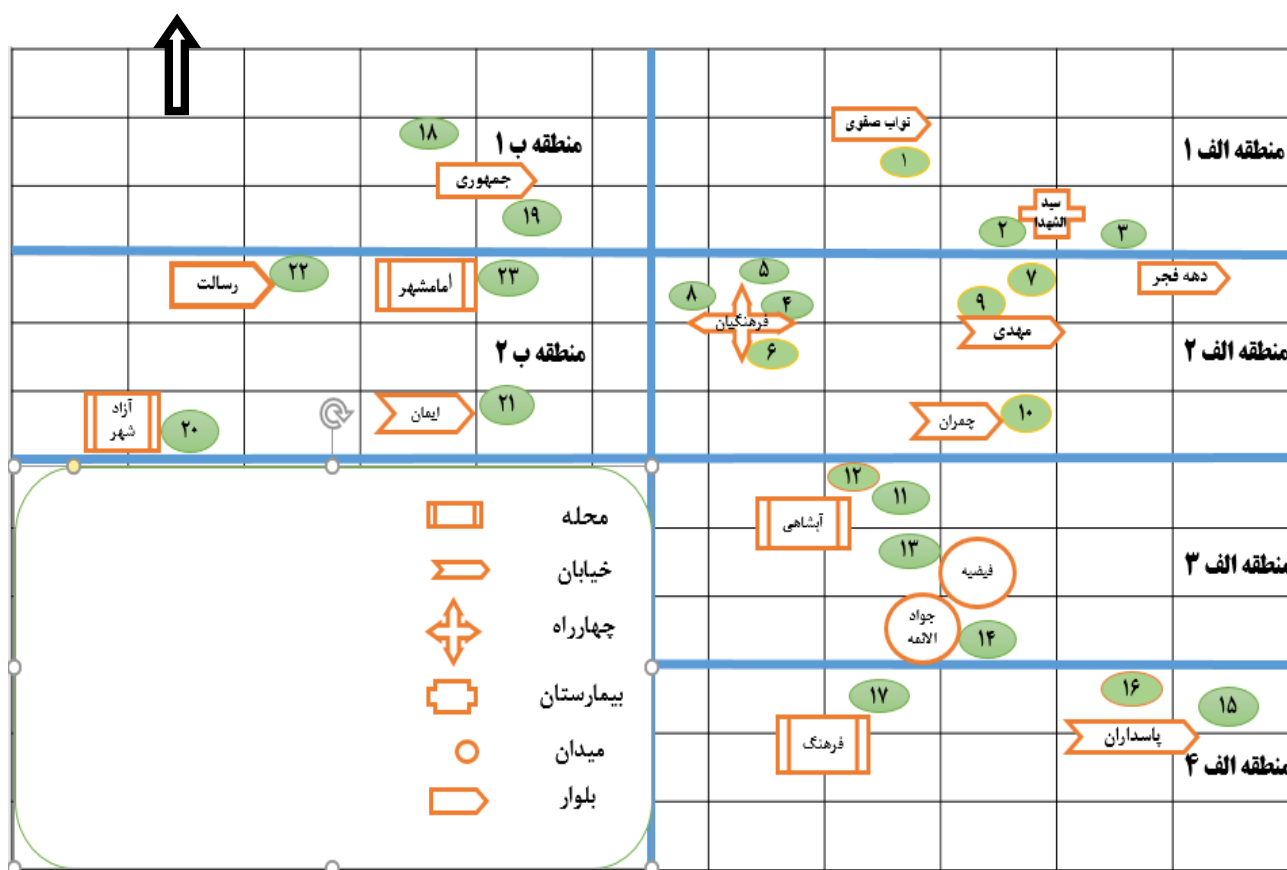
¹ International Agency for Research on Cancer

² World Health Organization

³ Environmental Protection Agency

مناسب در مدرسه (کلاس‌های موجود در پایین‌ترین سطح مدرسه و اغلب مورد استفاده)، عدم وجود شرایط غیرعادی جوی مثل طوفان، عدم تعمیرات در ساختمان مدرسه و سیستم‌های گرمایشی و نحوه قرارگیری آشکارساز در کلاس (در ارتفاع یک متری از کف، در فاصله ۹۰ سانتی‌متر از دیوارها و ۱۰ سانتی‌متر از سایر اشیاء) می‌باشد.

در کلاس‌های مدارس را بیان می‌کند. بر طبق این سند، مهم‌ترین شرط اندازه‌گیری، شرط بسته بودن کلاس است که باید حداقل ۱۲ ساعت قبل از شروع اندازه‌گیری رعایت شود و در تمام طول اندازه‌گیری نیز کاملاً حفظ شود. ایجاد فضای بسته در کلاس شامل بستن کلیه راه‌های ورود و خروج هوا اعم از درب و پنجره‌ها، کانال کولر، دریچه تهویه هوا، دریچه بخاری و غیره می‌باشد. سایر شرایط شامل نحوه انتخاب کلاس



شکل (۱): نقشه پراکندگی مدارس تحت بررسی رادون در شهر یزد.

۲.۳. معرفی دستگاه اندازه‌گیری گاز رادون

متصل می‌شود. هنگام راه‌اندازی، پمپ مقادیری از هوای اتاق (شامل رادون) را بعد از عبور از داخل ستون رطوبت‌گیر به داخل اتاقک نمونه‌گیری وارد می‌کند. این اتاقک یک نیم‌کره ۰/۷ لیتری است که داخل آن با یک رسانای الکتریکی پوشانده شده است. یک آشکارساز نیمه‌هادی یون-کاشته مسطح

در این پژوهش از مانیتور پیوسته RAD7 جهت اندازه‌گیری غلظت گاز رادون استفاده شده است. RAD7 با استفاده از نیروی الکتریکی قادر به اندازه‌گیری غلظت رادون در فواصل زمانی مختلف از دقیقه تا هفته‌ها است. مطابق شکل ۲، یک ستون رطوبت‌گیر به وسیله لوله‌ای به دستگاه RAD7

میانگین غلظت رادون در هر مدرسه به همراه یک انحراف استاندارد بیان شده‌است که این شاخص توسط خود دستگاه محاسبه شده و نمایش داده می‌شود. به علاوه، میانگین غلظت رادون برای هر منطقه به همراه انحراف استاندارد آمیخته آن منطقه نیز مشخص شده است. فرمولی که انحراف معیار آمیخته برای هر منطقه به وسیله آن محاسبه شده است در زیر بیان می‌گردد [۱۴]:

$$\sigma_{12...k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k N_i (d_i^2 + \sigma_i^2)}{\sum_{i=1}^k N_i}} \quad (1)$$

که در این رابطه d_i عبارت است از:

$$d_i = M_i - M_{12...k} \quad (2)$$

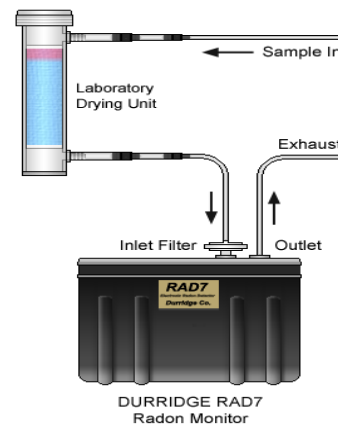
البته $M_{12...k}$ (میانگین آمیخته k سری داده) نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$M_{12...k} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i M_i}{\sum_{i=1}^k N_i} \quad (3)$$

σ_i انحراف معیار سری نام از داده‌ها و N_i تعداد داده‌ها در سری نام است. با تقسیم انحراف معیار آمیخته بر تعداد کل اندازه‌گیری‌ها، خطای استاندارد حاصل می‌شود. جدول ۱ میانگین غلظت رادون در مدارس منطقه الف ۱ تا ب ۲ به همراه انحراف استاندارد را نشان می‌دهد و جدول ۲ میانگین غلظت گاز رادون مدارس مناطق تقسیم‌بندی شده به همراه خطای استاندارد محاسبه شده توسط روابط ذکر شده در بالا را نشان می‌دهد.

جهت مقایسه، تعدادی از اقدامات اندازه‌گیری گاز رادون در مدارس کشورهای مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

سیلیکونی در مرکز نیم‌کره قرار دارد. میدان الکتریکی داخل اتاقک، پلونیوم-۲۱۸ (یون باردار حاصل از واپاشی رادون) را به سمت آشکارساز می‌راند تا به آن بچسبد. هنگامی که این هسته کوتاه‌عمر بر روی سطح فعال آشکارساز واپاشی می‌کند، ذره آلفای حاصل از آن به احتمال ۵۰ درصد وارد آشکارساز شده و تولید یک سیگنال الکتریکی متناسب با شدت انرژی ذره آلفا می‌کند. RAD7 دارای ۸ محدوده انرژی متناسب با انرژی ذرات آلفای حاصل از واپاشی دختران رادون است. هنگامی که اندازه‌گیری‌ها در حالت خودکار انجام شود، ریزپردازنده RAD7 شمارش‌های دو محدوده انرژی مربوط به ذرات آلفای حاصل از واپاشی پلونیوم-۲۱۸ و پلونیوم-۲۱۴ را برای محاسبه غلظت رادون به کار می‌برد [۱۳].



شکل (۲): شکل طرح وار RAD7 و تجهیزاتش.

۴. نتایج اندازه‌گیری

جدول ۱ تا ۶ نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در مدارس مناطق تقسیم‌بندی شده شهر توسط دستگاه RAD7 را نشان می‌دهد. میانگین غلظت رادون در هر مدرسه حاصل میانگین غلظت رادون اندازه‌گیری شده طی ۱۶ چرخه ۱/۵ ساعته است. در واقع RAD7 میانگین غلظت رادون طی ۲۴ ساعت را محاسبه کرده و در خروجی نمایش می‌دهد.

جدول (۱): میانگین غلظت رادون در مدارس مناطق تقسیم‌بندی شده.

نام منطقه	شماره مدرسه	رادون \pm انحراف استاندارد (Bq/m ³)	میانگین غلظت
الف ۱	۱	۵۵,۱۵ \pm ۸,۸۹	الف ۱
الف ۱	۲	۴۹,۳۷ \pm ۸,۱۹	الف ۱
الف ۱	۳	۴۸,۷۵ \pm ۹,۰۵	الف ۱
الف ۲	۴	۳۰,۷۳ \pm ۶,۳۲	الف ۲
الف ۲	۵	۲۷,۹۲ \pm ۶,۱۲	الف ۲
الف ۲	۶	۸۴,۲۴ \pm ۱۲,۱۷	الف ۲
الف ۲	۷	۵۱,۷۱ \pm ۱۲,۲۵	الف ۲
الف ۲	۸	۱۸,۴۹ \pm ۴,۶۹	الف ۲
الف ۲	۹	۷۶,۹۹ \pm ۱۰,۶۱	الف ۲
الف ۲	۱۰	۷۷,۸۴ \pm ۱۸,۰۲	الف ۲
الف ۳	۱۱	۳۳,۶۲ \pm ۶,۲۵	الف ۳
الف ۳	۱۲	۱۰۹,۹۸ \pm ۱۵,۶	الف ۳
الف ۳	۱۳	۲۹,۱۷ \pm ۹,۶۷	الف ۳
الف ۳	۱۴	۳۸,۱۴ \pm ۱۰,۶۹	الف ۳
الف ۴	۱۵	۴۶,۵۷ \pm ۱۱,۴۷	الف ۴
الف ۴	۱۶	۱۴۴,۳ \pm ۲۶,۹۹	الف ۴
الف ۴	۱۷	۲۳,۹۵ \pm ۶,۳۵	الف ۴
ب ۱	۱۸	۱۸,۱۷ \pm ۷,۴	ب ۱
ب ۱	۱۹	۳۷,۱۳ \pm ۶,۲	ب ۱
ب ۲	۲۰	۲۲,۳۹ \pm ۵,۲۵	ب ۲
ب ۲	۲۱	۱۳,۲۶ \pm ۳,۷۲	ب ۲
ب ۲	۲۲	۳۸,۲۲ \pm ۷,۵۵	ب ۲
ب ۲	۲۳	۲۵,۰۴ \pm ۷,۵۳	ب ۲

جدول (۲): میانگین غلظت رادون برای مدارس مناطق تقسیم‌بندی شده.

نام منطقه تحت بررسی	میانگین غلظت رادون \pm خطای استاندارد (Bq/m ³)
الف ۱	۵۱,۰۹ \pm ۱,۳۲
الف ۲	۵۲,۵۶ \pm ۲,۶۰
الف ۳	۷۳,۵۲ \pm ۴,۳۷
الف ۴	۷۱,۶۱ \pm ۷,۹۴
ب ۱	۲۷,۶۵ \pm ۲,۰۶
ب ۲	۲۴,۷۳ \pm ۱,۳۶

جدول (۳): نمونه‌هایی از اندازه‌گیری رادون در مدارس دنیا [۸-۱۱].

نام کشور	سال بررسی	روش اندازه‌گیری	میانگین غلظت (Bq/m ³)
صربستان	۲۰۰۴	CR-39	≤ 200
پاکستان	۲۰۱۰	CR-39	بین ۱۸ تا ۱۶۸
اسلونی	۲۰۱۲	RAD7	بین ۷۰ تا ۷۷۰
ایتالیا	۱۹۹۸	CR-39	بین ۱۰ تا ۱۰۸

به دلیل اینکه عوامل زمین‌شناسی و نوع خاک بستر هر مدرسه یکی از عوامل مؤثر بر غلظت رادون داخل کلاس بود، لذا شهر به ۶ ناحیه تقسیم و از هر ناحیه مدارس انتخاب شد تا مدارس هر بخش از نظر خاک زیرین شبیه به هم باشند. با وجود تقریباً یکسان بودن زمین زیر مدارس هر بخش، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در غلظت‌های رادون برای مدارس هر ناحیه وجود داشت. از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر عامل خاک زیرین، عوامل گوناگون دیگری مانند قدمت ساختمان، ارتفاع کلاس‌ها، فاصله کف‌پوش‌ها و غیره نیز می‌توانند به شدت بر غلظت‌های رادون داخلی تأثیرگذار باشند. برای

جدول (۴): تأثیر قدمت ساختمان مدرسه بر غلظت رادون.

میانگین غلظت رادون \pm خطای استاندارد (Bq/m^3)	قدمت مدرسه (سال)
43.12 ± 1.75	[۱-۵۰]
79.56 ± 3.92	[۵۰-۱۰۰]

۲.۵. تأثیر درز بین کفپوش کف کلاس بر غلظت رادون

برای بررسی تأثیر باز یا بسته بودن درز بین کفپوش کف کلاس (موزاییک یا سرامیک) بر غلظت رادون در هر کلاس، برای دو گروه کلاس که در آن‌ها درز بین کفپوش‌ها کاملاً بسته و نیمه‌بسته بود، آزمون تی با نمونه‌های مستقل انجام و مقدار P بزرگتر از ۰/۰۵ گزارش شد. بنابراین، میانگین غلظت رادون برای دو گروه تحت بررسی، تفاوت معناداری ندارند. لذا دقیقاً نمی‌توان گفت که کلاس‌های با کف دارای شکاف‌های باز غلظت رادون بالاتری دارند. این امر می‌تواند ناشی از غلبه سایر عوامل تأثیرگذار بر غلظت رادون نسبت به این عامل باشد که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. جدول ۵ میانگین غلظت رادون به همراه خطای استاندارد را برای دو گروه کلاس تحت بررسی نشان می‌دهد.

جدول (۵): تأثیر فاصله بین قطعات کف کلاس بر غلظت رادون.

میانگین غلظت رادون \pm خطای استاندارد (Bq/m^3)	نوع شکاف بین قطعات کف
43.47 ± 2.36	کاملاً بسته
56.13 ± 2.05	نیمه بسته

۳.۵. تأثیر ارتفاع کلاس بر غلظت رادون

برای بررسی تأثیر ارتفاع کلاس از سطح زمین بر غلظت گاز رادون، دو گروه کلاس شامل کلاس‌های طبقه هم‌کف و کلاس‌های طبقه زیرزمین در نظر گرفته شد. آزمون تی با

بررسی نحوه تأثیر این عوامل از آزمون تی^۱ با نمونه‌های مستقل (یکی از انواع آزمون‌های تی موجود در نرم‌افزار آماری SPSS) استفاده شده است. آزمون تی بر چند نوع تقسیم می‌شود که به معرفی دو نوع آن که در این پژوهش استفاده شده است، پرداخته می‌شود. الف) آزمون تی با نمونه‌های مستقل^۲: این آزمون تفاوت میانگین‌های دو گروه مستقل را ارزیابی می‌کند. از این آزمون برای ارزیابی اختلاف معنی‌دار بین میانگین متغیر آزمون در یک گروه با میانگین متغیر آزمون در گروه دوم استفاده می‌شود. ب) آزمون تی یک نمونه‌ای^۳: با این آزمون می‌توان تفاوت بین یک میانگین نمونه و یک مقدار شناخته شده یا فرضی (مقدار آزمون) را آزمایش کرد و سطح اطمینان را برای تفاوت تعیین نمود.

۵. بیان نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر بر غلظت رادون در کلاس‌ها

۱.۵. تأثیر قدمت ساختمان مدرسه بر غلظت رادون

برای بررسی تأثیر این عامل بر غلظت گاز رادون، کلیه مدارس تحت اندازه‌گیری به دو دسته تقسیم و میانگین غلظت رادون به همراه خطای استاندارد هر دسته محاسبه شد. برای مقایسه مقادیر این دو دسته، ابتدا آزمون تی با نمونه‌های مستقل صورت گرفت و مقدار P حاصل بزرگتر از ۰/۰۵ گزارش شد. بنابراین نتیجه، مقادیر میانگین این دو گروه تفاوت معناداری ندارند. هرچند میانگین غلظت رادون در مدارس با قدمت کم‌تر، پایین‌تر است اما نمی‌توان گفت که لزوماً این مدارس، غلظت رادون کم‌تری نسبت به مدارس با قدمت بیش‌تر دارند. نمونه بارز این امر، مدرسه‌ای با تنها ۱۲ سال قدمت که دارای بالاترین میانگین غلظت رادون نسبت به سایر مدارس بود.

^۱ T-Test

^۲ Independent Sample Test

^۳ One Sample Test

مدت استنشاق شود. لذا شناسایی تمامی عوامل مؤثر بر غلظت رادون در یک کلاس و شناسایی و به کارگیری روش‌های مناسب کاهش رادون در یک کلاس برای تأمین سلامت دانش‌آموزان یکی از مهم‌ترین برنامه‌های سازمان آموزش و پرورش است.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)، غلظت ۱۴۸ بکرل بر مترمکعب را به‌عنوان سطح اقدام رادون معرفی می‌کند. هنگامی که در یک محیط بسته مثلاً کلاس درس غلظت رادون از این مقدار فراتر رود نشان‌دهنده خطر است و باید اقدامات لازم برای کاهش غلظت صورت گیرد. به علاوه کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیک^۱ ICRP مقدار ۳۰۰ بکرل بر مترمکعب و سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقدار ۱۰۰ بکرل بر متر مکعب را برای غلظت رادون در یک فضای بسته پیشنهاد می‌دهند. در صورتی که غلظت رادون در هر محیط بسته‌ای از این مقادیر فراتر رود، باید برای کاهش غلظت رادون چاره‌ای اندیشید.

در این پژوهش میانگین غلظت گاز رادون در کلیه مدارس شهر و همچنین میانگین غلظت رادون در مدارس هر منطقه از هر ۳ غلظت پیشنهادی EPA و ICRP و WHO کوچک‌تر بوده است. البته این نتیجه از نگرانی‌های مدارس از جانب رادون نمی‌کاهد. چون غلظت رادون از روزی به روز دیگر و از فصلی به فصل دیگر و از مدرسه به مدرسه‌ای دیگر و حتی از کلاسی به کلاس دیگر تغییر می‌کند. از آنجایی که این اندازه‌گیری‌ها با محدودیت‌های زیادی انجام شده است، لذا پیشنهاد می‌شود که سازمان آموزش و پرورش با جذب نیروی متخصص و فراهم کردن امکانات لازم، میزان گاز رادون را در تمامی مدارس فعال و در طول سال تحصیلی اندازه‌گیری کند

نمونه‌های مستقل، مقدار P را کم‌تر از ۰/۰۵ نشان داد. لذا مقادیر دو گروه مقایسه شده تفاوت معناداری داشتند و کلاس‌های زیرزمین دارای میانگین غلظت رادون بالاتری نسبت به کلاس‌های هم‌کف بودند. در واقع همان‌گونه که جدول ۶ نشان می‌دهد می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع کلاس از سطح زمین، غلظت رادون کاهش می‌یابد.

جدول (۶): تأثیر ارتفاع کلاس از سطح زمین بر غلظت رادون.

ارتفاع کلاس از سطح زمین (متر)	میانگین غلظت رادون ± خطای استاندارد (Bq/m ³)
[۰-۳]	۷۵/۱۰ ± ۴/۷۱
[۰-۱/۵]	۴۰/۳۱ ± ۱/۵۰

۴.۵. بررسی اثر زمان بر غلظت رادون

با توجه به تنظیمات RAD7 جهت اندازه‌گیری رادون در هر مدرسه، دستگاه غلظت رادون را در ۱۶ چرخه ۱/۵ ساعت نشان می‌داد. بنابراین تعیین زمان وقوع چرخه‌ای که در آن غلظت رادون، بیشینه یا کمینه بود، امکان داشت. این امر نتایج زیر را نشان می‌داد:

- ۱- تنها ۱۲ درصد از مدارس تحت اندازه‌گیری دارای چرخه با غلظت بیشینه در زمان فعالیت مدرسه (۷ الی ۱۴) بود.
- ۲- ۸۴ درصد از مقادیر کمینه غلظت‌های اندازه‌گیری شده در زمان فعالیت مدرسه (۷ الی ۱۴) قرار داشت.

بنابر نتایج به‌دست آمده در بالا می‌توان دریافت که تا حد زیادی، مقادیر بیشینه غلظت رادون در زمان‌های عدم حضور دانش‌آموزان در کلاس و مقادیر کمینه غلظت رادون در زمان حضور دانش‌آموزان در کلاس‌ها اتفاق افتاده است. اما این امر به معنی عدم خطر نیست چنانکه مقادیر کم رادون نیز می‌تواند خطراًفرین باشد به خصوص هنگامی که در زمان‌های طولانی

¹ International Commission on Radiological Protection

می‌توان بیان نمود که میانگین غلظت گاز رادون در مدارس ابتدایی دخترانه شهر یزد از سطح پیشنهادی EPA برای اقدامات کاهش غلظت کم‌تر می‌باشد. با این حال، به دلیل اینکه غلظت گاز رادون به عوامل متعددی وابسته است و می‌تواند از روزی به روز دیگر و از فصلی به فصل دیگر تغییر کند، لذا حداقل تهویه مناسب برای کلاس‌ها و یا در هر فرصتی باز نگه‌داشتن پنجره کلاس‌ها برای کاهش غلظت رادون توصیه می‌گردد.

تا با شناسایی عوامل خطرزا در مدارس درصدد کاهش رادون برآید. برای تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری، با استفاده از نرم‌افزار spss آزمون تی با یک نمونه انجام گرفت و میانگین غلظت رادون در مدارس ($47/87 \text{ Bq/m}^3$) با مقدار پیشنهادی EPA یعنی 148 بکرل بر مترمکعب مقایسه شد. با توجه به اینکه مقدار P که همان احتمال شانس بودن اختلاف میانگین غلظت‌ها ($47/87$) با مقدار آزمون ثابت 148 کوچکتر از $0/001$ شد، لذا تفاوت بین میانگین نمونه (میانگین غلظت رادون کلیه مدارس) و مقدار آزمون معنادار است. با وجود این نتایج،

۵. مراجع

[۱] افشار سیستانی، ایرج. شناخت استان یزد. تهران، انتشارات هیرمند، (۱۳۷۸).

[2] R.I. Obed, A.K. Ademola, M. Vascotto and G. Giannini. Radon measurements by nuclear track detectors in secondary schools in Oke-Ogun region, Nigeria. *Journal of environmental radioactivity*. 102.11 (2011) 1012–1017.

[3] H. Alzabadi, K. Mallah and G. Saffarini. Indoor exposure assessment of radon in the elementary schools, Palestine. *Int. J. Radiate. Res* 13.3 (2015) 221–228.

[4] ICRP (2010) Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. International Commission on Radiological Protection, Publication 115, *Annals ICRP* 40(1), Oxford: Pergamon Press.

[5] WHO (2009) Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization, Geneva: WHO Press.

[6] EPA (2012) Radiation: Facts, Risks and Realities. United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington: EPA 402-K-10-008.

[7] L. Sompayrac. How Cancer Works. Colorado, Jones and Bartlett, (2004).

[8] R. Banjanac, A. Dragić, B. Grabež, D. Joković, D. Markushev, B. panić, V. Udovičić and I. Aničin.

Indoor radon measurements by nuclear track detectors: Applications in secondary schools. *Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology* 4.1 (2006) 93–100.

[9] S.U. Rahman, Matiullah, J. Anwar, A. Jabbar and M. Rafique. Indoor radon survey in 120 schools situated in four districts of the punjab Province-Pakistan. *Indoor and Built Environment* 19.2 (2010) 214–220.

[10] J. Vaupotič, M. Bezek, N. Kavasi, T. Ishikawa, H. Yonehara and S. Tokonom. Radon and thoron doses in kindergartens and elementary schools. *Radiation protection dosimetry* 152.1-3 (2012) 247–252.

[11] A. Malanca, R. Fava and L. Gaidolfi. Indoor radon levels in kindergartens and play-schools from the province of Parma. *Journal of environmental radioactivity* 40.1 (1998) 1–10.

[12] F. Bouzarjomehri, M. Ehrampoosh. Radon level in dwellings basement of Yazd-Iran. *Iranian journal of radiation research* 6.3 (2008) 141–144.

[13] Radon reference manual. U. S. Environmental Protection Agency, office of radiation programs Washington DC 20460, EPA 520/1-87-20, (1987) 15–23.

[۱۴] گنجی، مسعود. آمار توصیفی و کاربرد آن. اردبیل، باغ

اندیشه، (۱۳۸۱).