تعیین غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی انبارهای سنگ های زینتی و دز موثر دریافتی کارگران

امیر حسین محوی[۱]، محبوبه مرادی[۲]، بیگرد مرادی[۳]، یدالله فخری[۲*]

[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۲] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] گروه بهداشت عمومی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/٤/۸

چکیده

زمینه و هدف: رادن یک گاز بی رنگ، بی بو و رادیو اکتیو است که می تواند از سنگ های زینتی مانند گرانیت، مرمر و غیره منتشر گردد. استنشاق گاز رادن در طولانی مدت می تواند باعث بروز سرطان ریه در انسان شود.

مواد و روش‌ها : در این مطالعه مقطعی توصیفی در سه مرحله، غلظت رادن۲۲۲ و تورن هوای داخلی و زمینه، در ٤ انبار نگهداری سنگهای زینتی توسط دستگاه رادن سنج پرتابل RTM۱٦۸۸-۲ مورد اندازه گیری قرار گرفت. در مجموع سه مرحله، ۲٤ غلظت ۲٤ساعته هوای داخلی و ۲٤ غلظت ٤ ساعته رادن ۲۲۲ و تورن هوای زمینه مورد اندازه گیری قرار گرفت. سپس دز موثر دریافتی توسط معادلات UNSCEAR محاسبه شد.

یافته ها: میانگین غلظت رادن ۲۲۲ هوای داخلی و زمینه به ترتیب ۳۷±۷٤ و ۱٦±۳٤ Bq/m^3 است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ های زینتی DSW1، DSW2، DSW3 و DSW4 به ترتیب ۳٤±۷٤/٥، ٤۳±۹۸/۲٥، ۱۸±۳٤/٤۲ و ٥۱±۸۸/۹۲ Bq/m^3 است. دز موثر دریافتی کارگران ناشی از رادن۲۲۲ و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۱۸±۰/٥۳ و ۰/۰۳±۰/۰٥ mSv/y و در ۱٦ ساعت کاری ۰/۳٦±۱/۰٥ و ۰۷±۰/۱۱ mSv/y است. به طور کلی میانگین دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن ۲۲۲ در ۸ و ۱٦ ساعت کاری به ترتیب ۰/۲±۰/٥۸ و ۰/٤۱±۱/۱٦ mSv/y بود.

نتیجه گیری: میانگین غلظت رادن هوای داخلی و دز موثر دریافتی کارگران کمتر از استاندارد است. انبارهای سنگ های زینتی از منابع تجمع گاز رادن می باشند که می توان با انجام اقدامات اصلاحی، غلظت رادن هوای داخلی را کاهش داد.

کلمات کلیدی: رادن ۲۲۲، تورن، دز موثر، انبارهای سنگ های زینتی.

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

ایمیل: Ya.fakhri@gmail.com - **شماره تماس:** ۰۹۲۱٦۷۳۷۲٤٥

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

مقدمه

رادن یک گاز بی رنگ، بی بو و رادیو اکتیو است که می تواند از آب، خاک، سنگ‌ها و صخره‌ها منتشر گردد[۱و۲]. رادن ۲۲۲، ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲۶در زنجیره اورانیوم ۲۳۸ و تورن ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲٤ در زنجیره توریم ۲۳۲ است[۳و٤]. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط برد بین المللی حفاظت در برابر پرتو (National Radiation Protection Board)، ۸۵٪ از دز موثر دریافتی انسان از پرتو گیری طبیعی و ۱۵٪ مصنوعی (انسان ساز) است[۵]. گاز رادن ۲۲۲، تورن و دخترانشان، ۱/٤ mSv از دز موثر دریافتی سالانه ناشی از پرتو گیری طبیعی (۲/٤ mSv) را به خود اختصاص داده اند (بیش از ۵۰٪)[٦و۷]. پرتو آلفای منتشر شده از رادن ۲۲۲ و دخترانشان (^{218}Po و ^{214}Po)، در بلندمدت می تواند DNA سلول های ریوی را دچار آسیب کند و در نهایت موجب بروز سرطان ریه در افراد شود[۸و۹]. بعد از سیگار، دومین علت مرگ و میر ناشی از سرطان ریه، گاز رادن است[۹]. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا Environmental Protection Agency (EPA) میزان مرگ و میر ناشی از رادن هوای داخلی را تقریباً ۲۱۰۰۰ نفر در سال اعلام کرده است که ۱۰ برابر بیشتر از مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا می‌باشد[۱۰]. EPA و WHO، برای رادن هوای داخلی به ترتیب غلظت استاندارد ۱٤۸ Bq/m^3 و ۱۰۰ Bq/m^3 را پیشنهاد داده اند [۱۰و۱۱]. کمیته بین المللی حفاظت در برابر پرتو International Commission on Radiological Protection (ICRP)، حداکثر دز موثر دریافتی سالانه کارکنان ناشی از رادن هوای داخلی را ۲۰ mSv/y اعلام کرده است[۱۲]. غلظت رادن هوای داخلی عمدتا ناشی از انتشار از مصالح ساختمانی، خاک اطراف و منابع آب است[۱۳]. با وجود اینکه نیمه عمر تورن (٥٦ ثانیه) کمتر از رادن ۲۲۲ (۳/۸۲ روز) است، اما نمی توان از خطرات آن به خصوص در مکان های بسته (انبارها و غیره) چشم پوشی کرد[۱٤و۱۵]. در سال های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه میزان انتشار گاز رادن از سنگ مصالح ساختمانی مانند گرانیت، مرمر و غیره انجام شده است[۱٦-۱۹]. اما توجه کمتری به غلظت رادن هوای داخلی و دز موثر دریافتی کارگران در انبارهای نگهداری سنگهای زینتی شده است. از این رو، در این مطالعه تلاش شد غلظت رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) هوای داخلی و زمینه (بیرونی) در ٤ انبار نگهداری سنگهای زینتی Decorative stones Warehouse (DSW) در شهر میناب استان هرمزگان مورد اندازه گیری قرار گیرد. سپس دز موثر دریافتی کارگران ناشی از استنشاق گاز رادن ۲۲۲ و تورن محاسبه و با حدود استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در ابتدا، ٤ انبار مهم و بزرگ نگهداری سنگ های زینتی (گرانیت، مرمر و غیره) در شهر میناب انتخاب گردید. اندازه گیری در ۳ مرحله، از آذر سال ۱۳۹۰ الی بهمن سال ۱۳۹۰ انجام شد (هر ماه یک مرحله). بر طبق دستورالعمل ارائه شده توسط EPA، برای اندازه گیری غلظت رادن هوای داخلی، حداقل باید به مدت ۲٤ ساعت متوالی انجام گیرد[۲۰]. از این رو، غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و هوای زمینه (بیرونی) به ترتیب به مدت ۲٤ و ٤ ساعت متوالی، توسط دستگاه پرتابل رادن سنج مدل RTM۱٦۸۸-۲ ساخت شرکت SARAD کشور آلمان اندازه گیری شد. حساسیت این دستگاه در ۱۵۰ دقیقه اندازه‌گیری مداوم (٦/۵ $cts/(min \times KBq/m^3)$ می‌باشد[۲۱]. این دستگاه دما، فشار و رطوبت را نیز به همراه غلظت رادن ۲۲۲ و تورن اندازه گیری و به صورت ساعتی ثبت می کند. حساسیت بالا به همراه آنالیز طیف سنجی آلفا، منجر به زمان پاسخ دهی کوتاه حتی در غلظت های پایین می شود. بر طبق دستور العمل اندازه گیری ارائه شده توسط شرکت SARAD، در اندازه گیری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

مداوم بیشتر از ۲ ساعت، برای کاهش خطای آماری و دو برابر شدن دقت اندازه گیری، دستگاه باید در حالت کند قرار گیرد[۲۱ و۲۲]. در هر انبار، دستگاه در ارتفاع ۱ متری و در مرکز انبار قرار داده شد. در هر مرحله از هر انبار، ۲ اندازه گیری ۲٤ ساعته و ۲ اندازه گیری ٤ ساعته انجام گرفت. در مجموع سه مرحله از ٤ انبار نگهداری، ۲٤ غلظت ۲٤ ساعته هوای داخلی و ۲٤ غلظت ٤ ساعته رادن ۲۲۲ و تورن ۲۲۲ هوای زمینه مورد اندازه گیری قرار گرفت.

دز موثر دریافتی سالانه ناشی از رادن ۲۲۲ هوای داخلی، توسط رابطه UNSCEAR محاسبه گردید (رابطه۱)؛

رابطه ۱ $E_{Rn}=C_n \cdot /٤ \times T \times ٩ \times ١٠^{-٦}$

که در این رابطه E_{Rn} ؛ دز موثر دریافتی سالانه (mSv/y) ، C_{Rn}؛ میانگین ژئومتریک غلظت رادن ۲۲۲ (Bq/m^3)، ۰/٤ فاکتور تعادل ، T ؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت (۲۹۲۰ h/y) و ۱٦ ساعت (۵۸٤۰ h/y) ، ۹ ضریب تبدیل غلظت رادن ۲۲۲ به دز موثر دریافتی سالانه ($nSv/Bq.m^3.h$) و$^{-٦}$۱۰ضریب تبدیل نانو سیورت به میلی سیورت می‌باشد[۲۳].

دز موثر دریافتی سالانه ناشی از تورن هوای داخلی نیز توسط UNSCEAR محاسبه شد (رابطه۲)؛

رابطه ۲ $E_{Tn}= C_{Tn} \times ٠/٠٢ \times T \times ٤٠ \times ١٠^{-٦}$

در این رابطه E_{Tn}؛ دز موثر دریافتی سالانه (mSv/y)، C_{Rn}؛ میانگین ژئومتریک غلظت تورن (Bq/m^3)، ۰/۰۲ ؛ فاکتور تعادل ، T؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت (۲۹۲۰ h/y) و ۱٦ ساعت (۵۷٤۰ h/y)، ٤۰ ضریب تبدیل غلظت تورن به دز موثر دریافتی سالانه ($nSv/Bq.m^3.h$) و $^{-٦}$۱۰ ضریب تبدیل نانو سیورت به میلی سیورت می‌باشد[۲۳].

اختلاف غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در ٤ انبار نگهداری سنگهای زینتی، غلظت رادن شب و روز توسط آزمون Independent Sample Test در نرم افزار SPSS16 مورد آنالیز آماری قرار گرفت. P Value <۰/۰۵ به عنوان سطح معنی دار، در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

میانگین غلظت رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) هوای داخلی ۳۷±۷٤ Bq/m^3 است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۳٤±۷٤/۵، ٤۳±۹۸/۲۵، ۱۸±۳٤/٤ و ۵۱±۸۸/۹ است. دامنه غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۲۲±۱۲٤-۳±۱٦، ۲۷±۱۵۷-٦±۳۳، ۱۱±٦٤-٤±٦٤ و ۳۲±۱۸٤-۵±۳۱ Bq/m^3 است (جدول۱). ترتیب انبارهای سنگ های زینتی با توجه به میانگین غلظت رادن هوای داخلی (مجموع غلظت رادن۲۲۲ و تورن) ؛ DSW۳<DSW۱<DSW٤<DSW۲ است. میانگین کلی رادن هوای بیرونی ۱٦±۳٤ Bq/m^3 است. میانگین غلظت رادن هوای بیرونی در انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ٦±۳۳، ۵±۲۸/٦، ۹±۳۵/٦ و Bq/m^3 ۹/۷±۳۹ است (جدول ۲). میانگین غلظت رادن در طول روز در انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۸±٤٤/۵، ۱۱±٦۳، ٤±۱۹/۵ و ۹±۵۳/۸ Bq/m^3 و در طول شب ۱۸±۱۰۰/۵، ۲۳±۱۳۳/۵، ۹±٤۹/۳۳ و ۲۲±۱۲٤ Bq/m^3 است. نسبت میانگین غلظت رادن شب به روز در هوای داخلی برای انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۳، ٤/۷۵، ۱/٤ و ۳/۱۷ است. بیشترین و کمترین نسبت به ترتیب مربوط به انبارهای DSW۲ و DSW۳ است.

میانگین رادن ۲۲۲ هوای داخلی انبارهای سنگ‌های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۵۱/۱۳، ۵٦، ۲٦/۳ و ٦۷/۰۷ و تورن به ترتیب ۲۱/۳۷، ٤۲/۱۷، ۷/۹۳ و ۲۱/۳۳ Bq/m^3 است. به طور کلی میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی به ترتیب ۱۷±۵۰/۱ و ۱٤±۲۳/۲ Bq/m^3 و هوای بیرونی به‌ترتیب ۱۸±۲۵/۸ و ۱٤±۸/۲ Bq/m^3 است (جدول۲).

دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن هوای داخلی انبارهای سنگ های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۹، ۰/۳ و ۰/۷۵ mSv/y ۱/۵۱ است.

و همچنین در ۱۶ ساعت کاری به ۱/۱۷، ۱/۳۷، ۰/۵۹ و mSv/y

جدول ۱: میانگین غلظت رادن هوای داخلی در ٤ انبار سنگ های زینتی در طول ٢٤ ساعت شبانه روز (Bq/m^3)

زمان(ساعت)	DSW*۱	۲DSW	۳DSW	٤DSW
۹	**۲۹±۵** **	**۵۲±۹**	**۱۱±٤**	**۵٤±۹**
۱۱	۱٦±۳	۳۳±٦	۱٦±۳	٤۵±۸
۱۳	٤۰±۷	٦۰±۱۱	۲٦±۵	۳۱±۵
۱۵	٤٤±۸	٤۰±۷	۲۸±۵	۸۹±۱٦
۱۷	٦٦±۱۲	۸۷±۱۵	۱٦±۳	۵۷±۱۰
۱۹	۷۲±۱۳	۱۰٦±۱۹	۲۰±٤	٤۷±۸
۲۱	۸۸±۱۵	۱۲۳±۲۲	٤٦±۸	۷٦±۱۳
۲۳	۹٦±۱۸	۱۳۱±۲۳	٤٦±۸	۱۲٦±۲۲
۱	۱۰۲±۱۸	۱۳۹±۲٤	٦۲±۱۱	۱۲۱±۲۱
۳	۱۱۷±۲۱	۱٤۵±۲۵	٦٤±۱۱	۱۷۳±۳۰
۵	۱۲٤±۲۲	۱۵۷±۲۷	٤۹±۹	۱۸٤±۳۲
۷	۷٦±۱۳	۱۰٦±۱۹	۲۹±۵	٦٤±۱۱
روز	٤٤/۵±۸	٦۳±۱۱	۱۹/۵±٤	۵۳/۸±۹
شب	۱۰۰/۵±۱۸	۱۳۳/۵±۲۳	٤۹/۳±۹	۱۲٤±۲۲
میانگین	۷۲/۵±۳٤	۹۸/۲۵±٤۳	۳٤/٤±۱۸	۸۸/۹±۵۱

*میانگین± انحراف معیار ** میانگین سه مرحله

جدول ۲: میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و بیرونی در ٤ انبار سنگ زینتی(Bq/m^3)

	مرحله ۱				مرحله ۲				مرحله ۳				مجموع	
	داخلی		زمینه		داخلی		زمینه		داخلی		زمینه		داخلی	زمینه
	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن	رادن ۲۲۲	تورن
DSW۱	٤۵	۱۸	۱۱	۲	۵۵	۲۳	۲۵	٤	۵۳	۲۳	٤۱	۱٦	۲۱/۳	۵۱/۱	۲۵/٦	۷
DSW۲	۵٤	٤۰	۲٦	٦	۵۷	٤۲	۱٦	۱۱	۵۷	٤۵	۱۹	۸	٤۲/۱	۵٦	۲۰/۳	۸/۳
DSW۳	۲۵	۹	۳۱	٤	۲۹	۸	۲٤	٦	۲٦	۸	۲۹	۱۳	۷/۹	۲٦/۳	۲۸	۷/٦
DSW٤	٦۷	۱۵	۱۹	٦	٦۵	۳٤	۱۳	۵	٦۹	۱۵	۵٦	۱۸	۲۱/۳	٦۷	۲۹	۹/٦
میانگین *	**۱۸±٤۸**	**۱٤±۲۰**	**۹±۲۲**	**۲±۵**	**۱٦±۵۱**	**۱۵±۲۷**	**٦±۲۰**	**۳±۷**	**۱۸±۵۱**	**۱٦±۲۳**	**٤±۱٤**	**۱٦±۳٦**	**۱٤±۲۳/۲**	**۱۷±۵۰**	**۱۸±۲٦**	**٤±۸/۲**

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

* Mean± Standard Deviation

جدول ۳: غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و دز موثر دریافتی در کارکنان ٤ انبار سنگ های زینتی

	رادن ۲۲۲	تورن	مجموع	دز موثر دریافتی (mSv/y)	
				۸	۱٦
DSW۱	۵۱/۱	۲۱/۳	۷٤±۳٤	۰/۵۹	۱/۱۷
DSW۲	۵٦	٤۲/۱	۹۸±۷۳	۰/٦۹	۱/۳۷
DSW۳	۲٦/۳	۷/۹	۳۸±۱۸	۰/۳	۰/۵۹
DSW٤	٦۷	۲۱/۳	۸۸±۵۱	۰/۷۵	۱/۵۱
میانگین	۵۰/۱±۱۷	۲۳/۲±۱٤	۷۳±۳۷	۰/۵۸±۰/۲	۱/۱٦±۰/٤۱

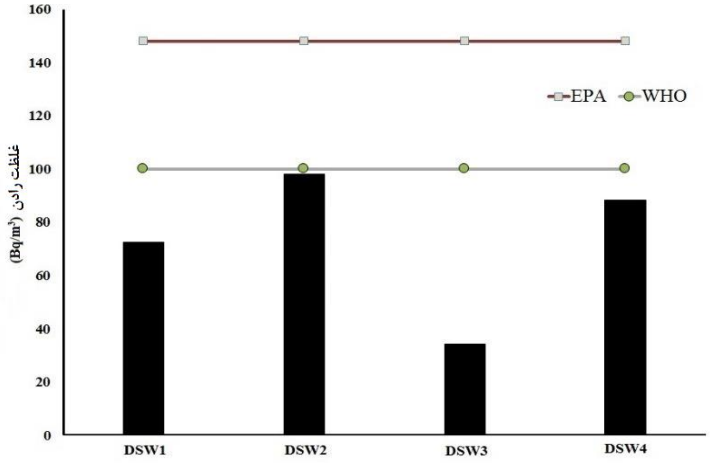
دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن۲۲۲ و تورن هوای داخلی در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۱۸ و mSv/y ۰/۰۵±۰/۰۳ و در ۱٦ ساعت کاری برابر ۱/۰۵±۰/۳٦ و mSv/y ۰/۱۱±۰/۰۷ است. به طور کلی، میانگین دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن (رادن۲۲۲ و تورن) در ۸ و ۱٦ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۸±۰/۲ و mSv/y ۱/۱٦±۰/٤۱ است (جدول ۳). ترتیب انبارهای سنگ های زینتی از لحاظ دز موثر دریافتی رادن DSW۳< DSW۱< DSW۲< DSW٤ است. دز موثر دریافتی ناشی از رادن و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۰/۱۸ و mSv/y ۰/۰۵±۰/۰۳ و در ۱٦ ساعت کاری ۱/۰۵±۰/۳٦ و mSv/y ۰/۱۱±۰/۰۷ است (جدول۳).

بحث

نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به استاندارد EPA (۱٤۸ Bq/m^3) در انبارهای سنگ های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ٤۸٪ ، ٦٦/۳ ٪، ۲۳/۳ ٪ و ٦۰ ٪ است[۱۰]. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در همه انبارها، کمتر از حد استاندارد EPA است. همچنین نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به استاندارد (۱۰۰ Bq/m^3)WHO در انبارهای سنگ های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ به ترتیب ۷۲/۵ ٪، ۹۸/۲ ٪، ۳٤/٤ ٪ و ۸۸/۹ ٪ است[۱۱]. میانگین غلظت رادن هوای داخلی نیز کمتر از حد استاندارد WHO است (شکل۱).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

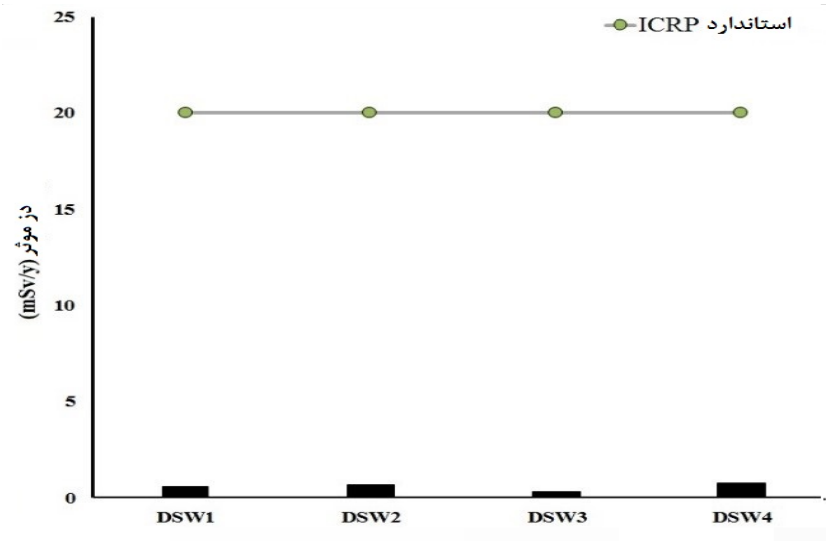


شکل ۱: مقایسه میانگین غلظت رادن هوای داخلی ٤ انبار سنگ های زینتی (رادن۲۲۲ و تورن) با استاندارد های EPA و WHO

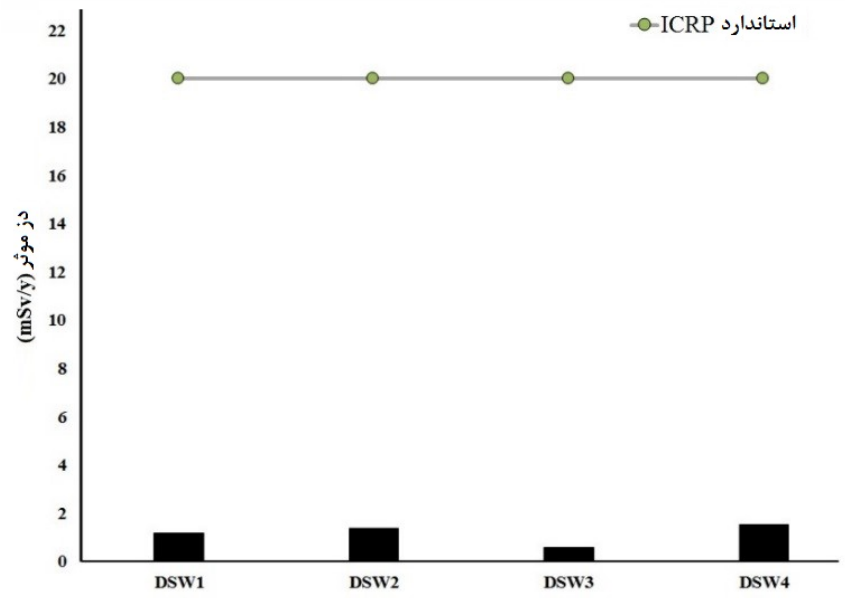
نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به هـوای بیرونـی در انبارهـای سـنگ هـای زینتـی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW٤ بـه ترتیـب ۲/۲۲، ۳/۵، ۰/۹۵ و ۲/۲۹ برابـر بیشـتر از هوای بیرونی اسـت. بیشـترین و کمتـرین نسـبت غلظـت رادن هوای داخلی به هوای بیرونی به ترتیب مربوط به انبـار DSW۲ و DSW۳، اسـت. میـانگین غلظـت رادن هـوای داخلـی در انبارهای DSW۱، DSW۲ و DSW٤ بیشتر از هـوای بیرونـی و در انبـار DSW3 کمتـر از هـوای بیرونـی اسـت. آنـالیز آمـاری اختلاف معنی دار بـین میـانگین غلظـت رادن هـوای داخلـی و بیرونـی در انبارهـای (p value=۰/۰۲۷) DSW۱، (p =۰/۰۱٤ value) DSW۲، (p value=۰/۰۳۱) DSW٤ وجـــــود دارد (p value <۰/۰۵). اما اختلاف معنی دار بین غلظت رادن هوای داخلـی و بیرونـی در انبـار (p value=۰/۰۱۹) DSW٤ وجـود ندارد. به طور کلـی در ٤ انبـار نگهـداری سـنگ هـای زینتـی، اختلاف معنی دار بـین میـانگین غلظـت رادن هـوای داخلـی و بیرونی وجود دارد (p value <۰/۰۵). از این رو می توان گفت انبارهای سنگ های زینتی می توانند یک منبع رادن باشند. این تفاوت غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ های زینتـی ناشی از تفاوت در میزان تهویه هوا (طبیعی و مصنوعی)، مقـدار سنگ های ذخیره شده، حجم انبار (تبادل هوا)، جـنس مصـالح انبار و تفاوت در نوع سنگ (گرانیت، مرمر و غیره) می باشد[۲٤-۲٦]. پایین بودن نسبت غلظت رادن هوای داخلـی بـه بیرونـی در انبار DSW۳ می تواند ناشی از بیشتر بودن تهویه هـوا، تفـاوت جنس سنگ های ذخیره شـده و مصـالح بدنـه سـاختمان انبـار باشد. از آنجایی که تهویه طبیعـی و مصـنوعی در هنگـام شـب کمتر از روز است از این رو غلظت رادن هوای داخلی نسبت به روز نیز بیشتر اسـت. (p value <۰/۰۵) نشـان داد کـه غلظـت رادن هوای داخلی در شب به صـورت معنـی دار بیشـتر از روز است. میـانگین دز مـوثر دریـافتی کارکنـان در ۸ و ١٦ سـاعت کـاری، کمتـر از اسـتاندارد ICRP بـرای کارکنـان (۲۰ mSv/y) است. بیشترین و کمترین دز موثر دریافتی کارکنـان بـه ترتیـب مربوط به انبارهایDSW۳ و DSW٤ است (شکل ۲ و ۳).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]



شکل ۲: مقایسه دز موثر دریافتی کارکنان با استاندارد ICRP (۸ ساعت کاری)



شکل ۳: مقایسه دز موثر دریافتی کارکنان با استاندارد ICRP (١٦ ساعت کاری)

از آنجایی که با افزایش زمان مواجهه دز موثر نیز افزایش می یابد از این رو دز موثر دریافتی در ١٦ ساعت کاری ٢ برابر ٨ ساعت است[٢٣]. بیشتر بودن غلظت رادن هوای داخلی انبار DSW٤ نسبت به سایر انبارها می تواند ناشی از تهویه کمتر هوا، فضای کمتر، تفاوت در جنس سنگ های ذخیره شده و یا تفاوت در مصالح ساختمانی بدنه انبار باشد[٢٥،٢٤ و٢٧]. از این رو می تواند در مطالعات بعدی تاثیر هر یک از این متغیرها به صورت جداگانه یا با هم مورد مطالعه قرار گیرد. ترتیب غلظت رادن هوای داخلی با دز موثر دریافتی در چهار انبار مورد مطالعه متفاوت است زیرا غلظت تورن در انبار DSW٢ بیشتر از انبار DSW٤ است از این رو دز موثر دریافتی ناشی از رادن (رادن ٢٢٢ و تورن) در انبار DSW٤ بیشتر است. از آنجایی که

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

نیمه عمر تورن (۵۶ ثانیه) نسبت به رادن ۲۲۲ (۳/۸۲ روز) بسیار کمتر است از این رو سهم تورن نیز در دز موثر دریافتی رادن کمتر است[۱۴و ۱۵].

نتیجه‌گیری

میانگین غلظت رادن هوای داخلی انبارهای سنگ های زینتی کمتر از حدود استاندارد WHO و EPA است. دز موثر دریافتی کارکنان در ۸ و ۱۶ ساعت کاری نیز کمتر از حد استاندارد ICRP است. از آنجایی که در انبارهای سنگهای زینتی غلظت تورن ۳۱/۷٪ از غلظت رادن را به خود اختصاص می دهد، از این رو با اندازه گیری همزمان غلظت رادن ۲۲۲ و تورن می توان دز موثر دریافتی دقیق تری به دست آورد. از آنجایی که انبارهای نگهداری سنگهای زینتی از منابع انتشار گاز رادن می باشند، از این رو توصیه می گردد با انجام تهویه مناسب، کاهش زمان کاری و سایر روش های اصلاحی، دز موثر دریافتی کارگران را کاهش داد.

تقدیر و تشکر

از گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، به عنوان تامین کننده دستگاه اندازه گیری رادن تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

1. Ju Y-J, Ryu Y-H, Jang H-C, Dong K-R, Chung W-K, Cho J-H, et al. A study on concentration measurements of radon-222 (uranium series) and radon-220 (thoron series) emitted to the atmosphere from tex (cementitious), red brick, and ecocarat among construction materials. J Korean Phys Soc 2012;60(7):1177-86.
2. Topçu N, Biçak D, Çam S, Ereeş F. Radon exhalation rate from building materials using cr-39 nuclear track detector. J Indoor Built Environ 2013;22(2):384-7.
3. Cohen Bs ,Xiong Jq, Fang C-P, Li W. Deposition of charged particles on lung airways J Health physics 1998;74(5):554-60.
4. Cothern Cr, Smith Je. Influence of Geological Factor on Indoor Radon Concentrations in Dwelling of Querétaro, México. J Environ radon 1987 ; 4(12): 83-90.
5. Green B, Lomas P, Luykx F. Natural radiation atlas of europe. J Radiat Prot Dosim . 1991;36(2-4):85-8.
6. Richard, C.C. , James E, Smith, Jr. . Assessment Risk of Lung Cancer from Inhalation of Radon 222 and Thoron. Environ Radon 1987; 35: 26-29.
7. Magill J, Galy J. Radioactivity radionuclides radiation. Berlin heidelberg newyork: springer; 2005: 16-35.
8. Kávási N, Somlai J, Szeiler G, Szabó B, Schafer I, Kovács T. Estimation of effective doses to cavers based on radon measurements carried out in seven caves of the bakony mountains in hungary. Radiat Measure 2010;45(9):1068-71.
9. Zeeb H, Shannoun F, editors. Who handbook on indoor radon, a public health perspective. Geneva ,switzerland: world health organization. 2009Available from URL: http://apps.who.int.
10. Environmental Protection Agency. Consumer's guide to radon reduction,2010.
11. World Health Organization. Sets radon action level of 2.7 - less lung cancer risk than epa 4.0. Global press release distribution,2009.
12. ICOR, ICRP. ICRP publication 66: human respiratory tract model for radiological protection: elsevier health sciences, 1994.
13. Ramasamy V, Dheenathayalu M, Ravisankar R, Ponnusamy V, Rajamanickkam Gv, Sahayam D, et al. Natural radioactivity measurements in beach-rock samples of south-east coast of tamilnadu, india. J Radiat Prot Dosim 2004;111(2):229-35.
14. Anjos Rmd, Ayub Jj, Cid As, Cardoso R, Lacerda T. External gamma-ray dose rate and radon concentration in indoor environments covered with brazilian granites. J Environ Radioactiv 2011;102(11):1055-61.
15. Janik M, Omori Y, Yonehara H. Influence of humidity on radon and thoron exhalation rates from building materials. J Appl Radiat Isotopes 2015;95:102-7.
16. Righi S, Bruzzi L. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in italian dwellings. J Environ Radioactiv 2006;88(2):158-70.
17. Nassiri P, Ebrahimi H, Jafari Shalkouhi P. Evaluation of

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

radon exhalation rate from granite stone. J Sci Indust Res 2011;70(3):230-1.

18. Kumar A, Chauhan R, Joshi M, Sahoo B. Modeling of indoor radon concentration from radon exhalation rates of building materials and validation through measurements. J environ radioactiv 2014;127:50-5.

19. Hosoda M, Sorimachi A, Yasuoka Y, Ishikawa T, Sahoo Sk, Furukawa M, et al. Simultaneous measurements of radon and thoron exhalation rates and comparison with values calculated by unscear equation. J Radiat Res. 2009;50(4):333-43.

20. Environmental Protection Agency. EPA indoor radon and radon decay product measurement device protocols http://www.epa.gov/radon/pubs/devprot3.htm

21. Ursulean I, Coretchi L, Chiruta I, Virlan S, editors. Estimation of indoor radon concentrations in the air of residential houses and mines in the republic of moldova. Paper presented at the first east european radon symposium–feras; 2012.

22. GMBHs. Application note an-003_en: measurement of the radon concentration of water samples june 2007. Available from: www.sarad.de.

23. United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation; united nations scientific committee on the effects of atomic radiation. Usa: 2000.

24. Perrier F, Richon P, Crouzeix C, Morat P, Le Mouël J-L. Radon-222 signatures of natural ventilation regimes in an underground quarry. J Environ Radioactiv 2004;71(1):17-32.

25. Alsaedi Ak, Almayahi B, Alasadi A. Cement 222rn and 226ra concentration measurements in selected samples from different companies. Asian J Nat Appl Sci 2013;2(4):95-100.

26. Nain M, Chauhan R, Chakarvarti S. Alpha radioactivity in indian cement samples. Iran J Radiat Res 2006;3:1-71.

27. Biira S, Kisolo AW, D'ujanga FM. Concentration levels of radon in mines, industries and dwellings in selected areas of tororo and busia districts, eastern uganda. Adv Appl Sci Res 2014; 5(6):31-44.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]

Determination of Radon-222 and Thoron Concentration in Decorative Stone Warehouses Indoor Air and the Received Effective Dose by Staff

Amir Hossein Mahvi[1], Mahbobeh Moradi[2], Bigard Moradi[3], Yadolah Fakhri[*2]

[1] *Department of environmental health engineering, faculty of health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Department of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran*

**E-mail: Ya.Fakhri@Gmail.Com*

Received: 6 May 2015 ; Accepted:29 Jun 2015

ABSTRACT

Background: Radon is a colorless, odorless, and radioactive gas that can be emitted from decorative stones such as granite, marble, etc. Inhaling radon gas in a long period may cause for incidence of lung cancer among peoples.

Material and Methods: In this cross-sectional descriptive study, Radon 222 and Thoron concentrations in background and indoor air were measured in four decorative stones warehouse using portable radon meter(RTM1688-2 model). Totally, 24 samples of 24- hours concentrations in indoor air and 24 samples of 4-hours concentrations of Radon 222 and thoron in the background air at three stages were measured. Then, received effective dose of Radon 222 and Thoron was calculated by UNSCEAR equations.

Results: The mean radon concentrations for indoor and background air were 74±37 and 34±16 Bq/m^3, respectively. The mean radon concentrations for indoor air in decorative stones warehouses for DSW1, DSW2, DSW3 and DSW4 were 72.50±34, 98.25±43, 34.42±18 and 88.92±51 Bq/m^3, respectively. The received effective dose mean of Radon 222 and Thoron by the staff at 8 working hours was 0.53±0.18 and 0.05±0.03 mSv/y and in 16 working hours was 1.05±0.36 and 0.11±0.07 mSv/y, respectively. Generally, the mean received effective dose by staff from Radon at 8 and 16 working hours was 0.58±0.2 and 1.16±0.41 mSv/y, respectively.

Conclusions: Radon concentration mean in indoor air and the received effective dose mean by staff was lower than the standards level. Decorative stone warehouses were the resources for accumulation of Radon gas that can be reduced by corrective actions.

Keywords: Decorative stone warehouses, Effective dose, Radon-222, Thoron

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.4.249]