

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^{۳*}

^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: ۱۳۹۴/۲/۱۶ : تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۸

چکیده

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

مواد و روش ها: در این مطالعه مقطعی توصیفی در سه مرحله، غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و زمینه، در ۴ انبار نگهداری سنگهای زینتی توسط دستگاه رادن سنج پرتابل RTM۱۶۸۸-۲ مورد اندازه گیری قرار گرفت. در مجموع سه مرحله، ۲۴ غلظت ۲۴ ساعته هوای داخلی و ۲۴ غلظت ۴ 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 74 ± 37 و 34 ± 16 Bq/m³ است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ های زینتی DSW1، DSW2، DSW3 و DSW4 به ترتیب $98/2 \pm 43$ ، $34/4 \pm 18$ و $88/92 \pm 51$ Bq/m³ است. دز موثر دریافتی کارگران ناشی از رادن ۲۲۲ و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب $0/03 \pm 0/05$ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری $1/05 \pm 0/36$ و $0/11 \pm 0/07$ mSv/y است. به طور کلی میانگین دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن ۲۲۲ در ۸ و ۱۶ ساعت کاری به ترتیب $0/08 \pm 0/2$ و $0/58 \pm 0/41$ 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: ۰۹۲۱۶۷۳۷۲۴۵

مقدمه

رادن یک گاز بی رنگ، بی بو و رادیو اکتیو است که می تواند از آب، خاک، سنگ‌ها و صخره‌ها منتشر گردد^{۱،۲}. رادن ۲۲۲، ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲۶ در زنجیره اورانیوم ۲۳۸ و تورن ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲۴ در زنجیره توریم ۲۳۲ است^۳. 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^۴. گاز رادن ۲۲۲، تورن و دخترانشان، $1/4 \text{ mSv}$ از دز موثر دریافتی سالانه ناشی از پرتو گیری طبیعی ($2/4 \text{ mSv}$) را به خود اختصاص داده اند (بیش از ۵۰٪)^{۵،۶}. 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^{۷،۸}. 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 می باشد^{۱۰}. EPA و WHO، برای رادن هوای داخلی به ترتیب غلظت استاندارد 148 Bq/m^3 و 100 Bq/m^3 را پیشنهاد داده اند^{۱۱،۱۲}. 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 20 mSv/y اعلام کرده است^{۱۳}. غلظت رادن هوای داخلی عمدتاً ناشی از انتشار از مصالح ساختمانی، خاک اطراف و منابع آب است^{۱۴}. با وجود اینکه نیمه عمر تورن (۵۶ ثانیه) کمتر از رادن ۲۲۲ ($3/82$ روز) است، اما نمی توان از خطرات آن به خصوص در مکان های بسته (انبارها و غیره)

چشم پوشی کرد^{۱۵}. در سال های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه میزان انتشار گاز رادن از سنگ مصالح ساختمانی مانند گرانیت، مرمر و غیره انجام شده است^{۱۶-۱۹}. 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 ۴ 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، ۴ 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 ۲۴ ساعت متوالی انجام گیرد^{۲۰}. از این رو، غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و هوای زمینه (بیرونی) به ترتیب به مدت ۲۴ و ۴ ساعت متوالی، توسط دستگاه پرتابل رادن سنج مدل RTM۱۶۸۸-۲ ساخت شرکت SARAD کشور آلمان اندازه گیری شد. حساسیت این دستگاه در ۱۵۰ دقیقه اندازه گیری مداوم $6/5 \text{ cts}/(\text{min} \times \text{KBq/m}^3)$ می باشد^{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 دستورالعمل اندازه گیری ارائه شده توسط شرکت SARAD، در اندازه گیری

یافته‌ها

میانگین غلظت رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) هوای داخلی $74 \pm 37 \text{ Bq/m}^3$ است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ زینتی DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب $74/5 \pm 34$ ، $98/25 \pm 43$ ، $34/4 \pm 18$ و $88/9 \pm 51$ است. دامنه غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب 124 ± 22 – 16 ± 3 ، 107 ± 27 – 33 ± 6 ، 64 ± 11 – 64 ± 4 و 31 ± 5 – $184 \pm 32 \text{ Bq/m}^3$ است (جدول ۱). ترتیب انبارهای سنگ های زینتی با توجه به میانگین غلظت رادن هوای داخلی (مجموع غلظت رادن ۲۲۲ و تورن)؛ $DSW_2 < DSW_1 < DSW_4 < DSW_3$ است. میانگین کلی رادن هوای بیرونی $34 \pm 16 \text{ Bq/m}^3$ است. میانگین غلظت رادن هوای بیرونی در انبارهای DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب 33 ± 6 ، $28/6 \pm 5$ ، $35/6 \pm 9$ و $39 \pm 9/7$ است (جدول ۲). میانگین غلظت رادن در طول روز در انبارهای DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب $44/5 \pm 8$ ، 63 ± 11 ، $19/5 \pm 4$ و $53/8 \pm 9 \text{ Bq/m}^3$ و در طول شب $100/5 \pm 18$ ، $133/5 \pm 23$ ، $49/33 \pm 9$ و $124 \pm 22 \text{ Bq/m}^3$ است. نسبت میانگین غلظت رادن شب به روز در هوای داخلی برای انبارهای DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب ۳، ۴/۷۵، ۱/۴ و ۳/۱۷ است. بیشترین و کمترین نسبت به ترتیب مربوط به انبارهای DSW_2 و DSW_3 است.

میانگین رادن ۲۲۲ هوای داخلی انبارهای سنگ‌های زینتی DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4 به ترتیب $51/13$ ، 56 ، $26/3$ و $67/07$ و تورن به ترتیب $21/37$ ، $42/17$ ، $7/93$ و $21/33 \text{ Bq/m}^3$ است. به طور کلی میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی به ترتیب $50/1 \pm 17$ و $23/2 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ و هوای بیرونی به ترتیب $25/8 \pm 18$ و $8/2 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ است (جدول ۲). دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن هوای داخلی انبارهای سنگ های زینتی DSW_1 ، DSW_2 ، DSW_3 و DSW_4

مداوم بیشتر از ۲ ساعت، برای کاهش خطای آماری و دو برابر شدن دقت اندازه گیری، دستگاه باید در حالت کند قرار گیرد^{۲۱} و^{۲۲}. در هر انبار، دستگاه در ارتفاع ۱ متری و در مرکز انبار قرار داده شد. در هر مرحله از هر انبار، ۲ اندازه گیری ۲۴ ساعته و ۲ اندازه گیری ۴ ساعته انجام گرفت. در مجموع سه مرحله از ۴ انبار نگهداری، ۲۴ غلظت ۲۴ ساعته هوای داخلی و ۲۴ غلظت ۴ 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 (رابطه ۱):

$$E_{Rn} = C_{Rn} \times 0.4 \times T \times 9 \times 10^{-6} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه E_{Rn} ؛ دز موثر دریافتی سالانه (mSv/y)، C_{Rn} ؛ میانگین ژئومتریکی غلظت رادن ۲۲۲ (Bq/m^3)، 0.4 ؛ فاکتور تعادل، T ؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت (2920 h/y) و ۱۶ ساعت (5840 h/y)، ۹ ضریب تبدیل غلظت رادن ۲۲۲ به دز موثر دریافتی سالانه ($\text{nSv/Bq.m}^3.\text{h}$) و 10^{-6} ضریب تبدیل نانو سیورت به میلی سیورت می باشد^{۲۳}.

دز موثر دریافتی سالانه ناشی از تورن هوای داخلی نیز توسط UNSCEAR محاسبه شد (رابطه ۲):

$$E_{Tn} = C_{Tn} \times 0.02 \times T \times 4 \times 10^{-6} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه E_{Tn} ؛ دز موثر دریافتی سالانه (mSv/y)، C_{Tn} ؛ میانگین ژئومتریکی غلظت تورن (Bq/m^3)، 0.02 ؛ فاکتور تعادل، T ؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت (2920 h/y) و ۱۶ ساعت (5840 h/y)، ۴۰ ضریب تبدیل غلظت تورن به دز موثر دریافتی سالانه ($\text{nSv/Bq.m}^3.\text{h}$) و 10^{-6} ضریب تبدیل میلی سیورت به میلی سیورت می باشد^{۲۳}.

اختلاف غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در ۴ انبار نگهداری سنگ‌های زینتی، غلظت رادن شب و روز توسط آزمون Independent Sample Test در نرم افزار SPSS16 مورد آنالیز آماری قرار گرفت. $P \text{ Value} < 0.05$ به عنوان سطح معنی دار، در نظر گرفته شد.

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

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

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

جدول ۱: میانگین غلظت رادن هوای داخلی در ۴ انبار سنگ‌های زینتی در طول ۲۴ ساعت شبانه روز (Bq/m^3)

زمان (ساعت)	DSW ^{*۱}	۲DSW	۳DSW	۴DSW
۹	۲۹±۵**	۵۲±۹	۱۱±۴	۵۴±۹
۱۱	۱۶±۳	۳۳±۶	۱۶±۳	۴۵±۸
۱۳	۴۰±۷	۶۰±۱۱	۲۶±۵	۳۱±۵
۱۵	۴۴±۸	۴۰±۷	۲۸±۵	۸۹±۱۶
۱۷	۶۶±۱۲	۸۷±۱۵	۱۶±۳	۵۷±۱۰
۱۹	۷۲±۱۳	۱۰۶±۱۹	۲۰±۴	۴۷±۸
۲۱	۸۸±۱۵	۱۲۳±۲۲	۴۶±۸	۷۶±۱۳
۲۳	۹۶±۱۸	۱۳۱±۲۳	۴۶±۸	۱۲۶±۲۲
۱	۱۰۲±۱۸	۱۳۹±۲۴	۶۲±۱۱	۱۲۱±۲۱
۳	۱۱۷±۲۱	۱۴۵±۲۵	۶۴±۱۱	۱۷۳±۳۰
۵	۱۲۴±۲۲	۱۵۷±۲۷	۴۹±۹	۱۸۴±۳۲
۷	۷۶±۱۳	۱۰۶±۱۹	۲۹±۵	۶۴±۱۱
روز	۴۴/۵±۸	۶۳±۱۱	۱۹/۵±۴	۵۳/۸±۹
شب	۱۰۰/۵±۱۸	۱۳۳/۵±۲۳	۴۹/۳±۹	۱۲۴±۲۲
میانگین	۷۲/۵±۳۴	۹۸/۲۵±۴۳	۳۴/۴±۱۸	۸۸/۹±۵۱

* میانگین $\pm$ انحراف معیار ** میانگین سه مرحله

جدول ۲: میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و بیرونی در ۴ انبار سنگ‌های زینتی (Bq/m^3)

مجموع	مرحله ۱		مرحله ۲		مرحله ۳		مجموع	
	داخلی	زمینه	داخلی	زمینه	داخلی	زمینه	داخلی	زمینه
	رادن	تورن	رادن	تورن	رادن	تورن	رادن	تورن
	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲
DSW ^۱	۴۵	۱۸	۱۱	۲	۵۵	۲۳	۲۵	۴
DSW ^۲	۵۴	۴۰	۲۶	۶	۵۷	۴۲	۱۶	۱۱
DSW ^۳	۲۵	۹	۳۱	۴	۲۹	۸	۲۴	۶
DSW ^۴	۶۷	۱۵	۱۹	۶	۶۵	۳۴	۱۳	۵
میانگین *	۴۸±۱۸	۲۰±۱۴	۲۲±۹	۵±۲	۵۱±۱۶	۲۷±۱۵	۲۰±۱۶	۷±۳
	۵۱±۱۸	۲۳±۱۶	۵۱±۱۸	۲۳±۱۶	۱۴±۴	۱۴±۴	۵۰±۱۷	۲۳/۲±۱۴
	۲۵±۸	۲۰±۷	۲۶±۸	۲۰±۷	۲۱/۳	۲۱/۳	۲۰/۳	۲۵/۶
	۲۵±۸	۲۰±۷	۲۶±۸	۲۰±۷	۲۱/۳	۲۱/۳	۲۰/۳	۲۵/۶
	۲۵±۸	۲۰±۷	۲۶±۸	۲۰±۷	۲۱/۳	۲۱/۳	۲۰/۳	۲۵/۶

* Mean± Standard Deviation

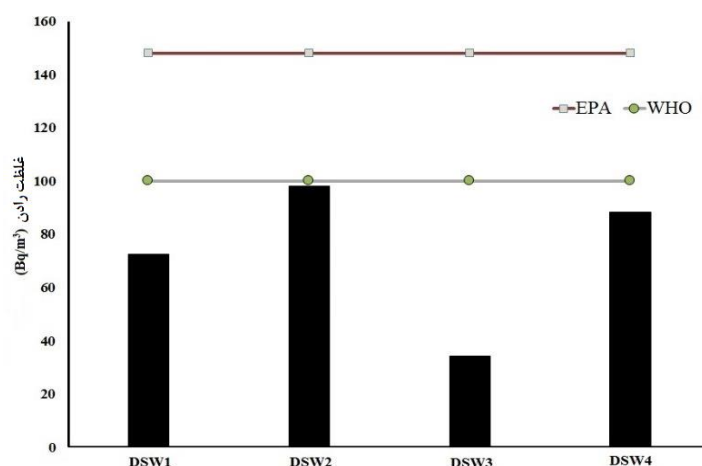
جدول ۳: غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و دز موثر دریافتی در کارکنان ۴ انبار سنگ های زینتی

ردن ۲۲۲	تورن	مجموع	دز موثر دریافتی (mSv/y)	
			۸	۱۶
DSW _۱	۵۱/۱	۷۴±۳۴	۰/۵۹	۱/۱۷
DSW _۲	۵۶	۹۸±۷۳	۰/۶۹	۱/۳۷
DSW _۳	۲۶/۳	۳۸±۱۸	۰/۳	۰/۵۹
DSW _۴	۶۷	۸۸±۵۱	۰/۷۵	۱/۵۱
میانگین	۵۰/۱±۱۷	۷۳±۳۷	۰/۵۸±۰/۲	۱/۱۶±۰/۴۱

بحث

نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به استاندارد EPA (۱۴۸ Bq/m^۳) در انبارهای سنگ های زینتی DSW_۱، DSW_۲، DSW_۳ و DSW_۴ به ترتیب ۶۶/۳٪، ۲۳/۳٪، ۶۰٪ و ۸۸/۹٪ 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 WHO (۱۰۰ Bq/m^۳) در انبارهای سنگ های زینتی DSW_۱، DSW_۲، DSW_۳ و DSW_۴ به ترتیب ۷۲/۵٪، ۹۸/۲٪، ۳۴/۴٪ و ۸۸/۹٪ است.^{۱۱} میانگین غلظت رادن هوای داخلی نیز کمتر از حد استاندارد WHO است (شکل ۱).

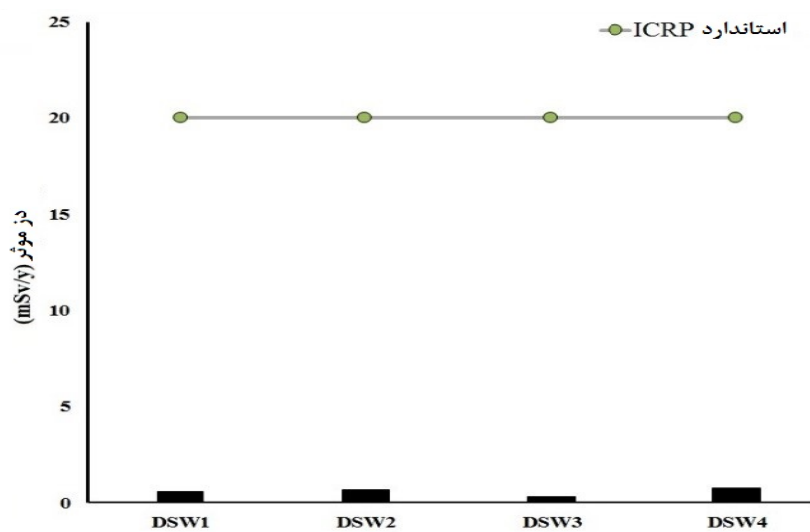
دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۱۸ mSv/y و ۰/۰۵±۰/۰۳ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری برابر ۱/۰۵±۰/۳۶ mSv/y و ۰/۱۱±۰/۰۷ mSv/y است. به طور کلی، میانگین دز موثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) در ۸ و ۱۶ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۸±۰/۲ mSv/y و ۱/۱۶±۰/۴۱ mSv/y است (جدول ۳). ترتیب انبارهای سنگ های زینتی از لحاظ دز موثر دریافتی رادن DSW_۱ < DSW_۲ < DSW_۳ < DSW_۴ است. دز موثر دریافتی ناشی از رادن و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۰/۱۸ mSv/y و ۰/۰۵±۰/۰۳ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری ۱/۰۵±۰/۳۶ mSv/y و ۰/۱۱±۰/۰۷ mSv/y است (جدول ۳).



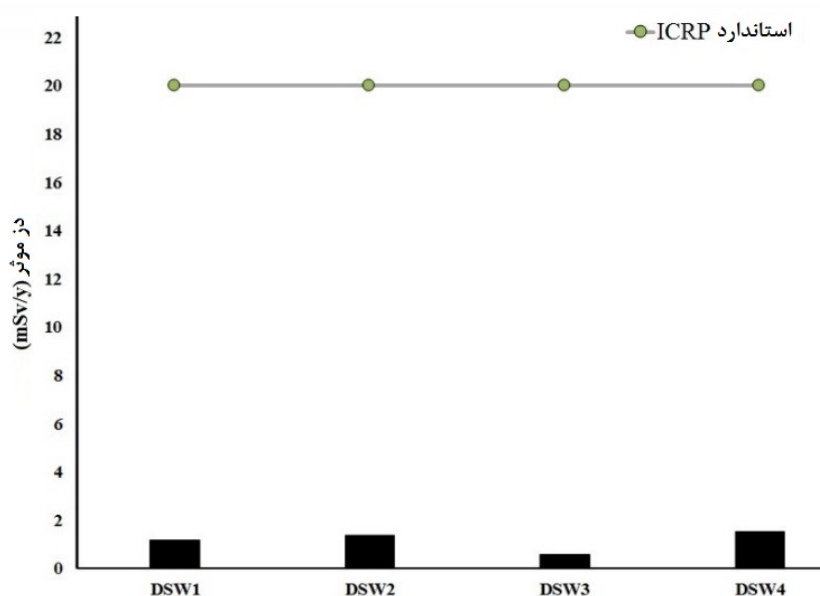
شکل ۱: مقایسه میانگین غلظت رادن هوای داخلی ۴ انبار سنگ های زینتی (رادن ۲۲۲ و تورن) با استاندارد های EPA و WHO

انبارهای سنگ های زینتی می توانند یک منبع رادن باشند. این تفاوت غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ های زینتی ناشی از تفاوت در میزان تهویه هوا (طبیعی و مصنوعی)، مقدار سنگ های ذخیره شده، حجم انبار (تبادل هوا)، جنس مصالح انبار و تفاوت در نوع سنگ (گرانیت، مرمر و غیره) می باشد^{۲۴}.
^{۲۶} پایین بودن نسبت غلظت رادن هوای داخلی به بیرونی در انبار DSW^۳ می تواند ناشی از بیشتر بودن تهویه هوا، تفاوت جنس سنگ های ذخیره شده و مصالح بدنه ساختمان انبار باشد. از آنجایی که تهویه طبیعی و مصنوعی در هنگام شب کمتر از روز است از این رو غلظت رادن هوای داخلی نسبت به روز نیز بیشتر است. ($p \text{ value} < 0/05$) نشان داد که غلظت رادن هوای داخلی در شب به صورت معنی دار بیشتر از روز است. میانگین دز موثر دریافتی کارکنان در ۸ و ۱۶ ساعت کاری، کمتر از استاندارد ICRP برای کارکنان (20 mSv/y) است. بیشترین و کمترین دز موثر دریافتی کارکنان به ترتیب مربوط به انبارهای DSW^۳ و DSW^۴ است (شکل ۲ و ۳).

نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به هوای بیرونی در انبارهای سنگ های زینتی DSW^۱، DSW^۲، DSW^۳ و DSW^۴ به ترتیب ۲/۲۲، ۳/۵، ۰/۹۵ و ۲/۲۹ برابر بیشتر از هوای بیرونی است. بیشترین و کمترین نسبت غلظت رادن هوای داخلی به هوای بیرونی به ترتیب مربوط به انبار DSW^۲ و DSW^۳ است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای DSW^۱، DSW^۲ و DSW^۴ بیشتر از هوای بیرونی و در انبار DSW^۳ کمتر از هوای بیرونی است. آنالیز آماری اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در انبارهای DSW^۱ ($p \text{ value} = 0/027$)، DSW^۱ ($p = 0/014$)، DSW^۲ ($\text{value} = 0/031$) و DSW^۴ ($p \text{ value} = 0/031$) وجود دارد ($p \text{ value} < 0/05$). اما اختلاف معنی دار بین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در انبار DSW^۴ ($p \text{ value} = 0/019$) وجود ندارد. به طور کلی در ۴ انبار نگهداری سنگ های زینتی، اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی وجود دارد ($p \text{ value} < 0/05$). از این رو می توان گفت



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



شکل ۳: مقایسه دز موثر دریافتی کارکنان با استاندارد ICRP (۱۶ ساعت کاری)

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 DSW₂ بیشتر از انبار DSW₄ است از این رو دز موثر دریافتی ناشی از رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) در انبار DSW₄ بیشتر است. از آنجایی که

از آنجایی که با افزایش زمان مواجهه دز موثر نیز افزایش می یابد از این رو دز موثر دریافتی در ۱۶ ساعت کاری ۲ برابر ۸ ساعت است.^{۳۳} بیشتر بودن غلظت رادن هوای داخلی انبار DSW₄ 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^{۲۵،۲۴ و ۲۷}. از این رو

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^{۱۴ و ۱۵}.

تورن می‌تواند دز موثر دریافتی دقیق‌تری به دست آورد. از آنجایی که انبارهای نگهداری سنگ‌های زینتی از منابع انتشار گاز رادن می‌باشند، از این رو توصیه می‌گردد با انجام تهویه مناسب، کاهش زمان کاری و سایر روش‌های اصلاحی، دز موثر دریافتی کارگران را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

میانگین غلظت رادن هوای داخلی انبارهای سنگ‌های 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 می‌دهد، از این رو با اندازه‌گیری همزمان غلظت رادن ۲۲۲ و

منابع

- 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 ecocarar among construction materials. J Korean Phys Soc 2012;60(7):1177-86.
- 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.
- Cohen Bs, Xiong Jq, Fang C-P, Li W. Deposition of charged particles on lung airways J Health physics 1998;74(5):554-60.
- 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.
- Green B, Lomas P, Luykx F. Natural radiation atlas of europe. J Radiat Prot Dosim . 1991;36(2-4):85-8.
- 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.
- Magill J, Galy J. Radioactivity radionuclides radiation. Berlin heidelberg newyork: springer; 2005: 16-35.
- 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.
- Zeeb H, Shannoun F, editors. Who handbook on indoor radon, a public health perspective. Geneva ,switzerland: world health organization. 2009 Available from URL: <http://apps.who.int>.
- Environmental Protection Agency. Consumer's guide to radon reduction, 2010.
- World Health Organization. Sets radon action level of 2.7 - less lung cancer risk than epa 4.0. Global press release distribution, 2009.
- ICOR, ICRP. ICRP publication 66: human respiratory tract model for radiological protection: elsevier health sciences, 1994.
- Ramasamy V, Dheenathayalu M, Ravisankar R, Ponnusamy V, Rajamanickam 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.
- 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.
- 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.
- Righi S, Bruzzi L. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in italian dwellings. J Environ Radioactiv 2006;88(2):158-70.
- Nassiri P, Ebrahimi H, Jafari Shalkouhi P. Evaluation of

- 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.

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

Amir Hossein Mahvi¹, Mahbobeh Moradi², Bigard Moradi³, 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/m³, 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/m³, 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