

Amir Hossein Mahvi¹, Hassan Keramati², Bigard Moradi³, Rokhsane Hosseini Pouya⁴, Yadollah Fakhri^{5*}

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, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

3. Department of Health Public, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

4. Food Health Research Center, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran

5. Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Health Risk Assessment Induced by Inhalation Radon Content in the Indoor Air of Decorative Stone of Storehouses

Received: 25 Jun. 2016 ; Accepted: 1 Jul. 2017

Abstract

Background: Radon is a colorless, odorless half-life radioactive gas that that can be emission from decorative stones such as granite, marble, etc. inhaling radon gas over a long period may increase in lung cancer among patients.

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

Results: The mean indoor air radon and background air were 74 ± 37 and 34 ± 16 Bq/m³, respectively. The mean concentration of Radon of indoor air in Decorative stones of warehouses in DSW1, DSW2, DSW3 and DSW4 is 72.50 ± 34 , 98.25 ± 43 , 34.42 ± 18 and 88.92 ± 51 Bq/m³. The mean effective dose received by the staff from Radon 222 and Thoron at 8 working hours is 0.53 ± 0.18 and 0.05 ± 0.03 mSv/y and in 16 working hours is 1.05 ± 0.36 and 0.11 ± 0.07 mSv/y, respectively. Also, the mean effective dose received by staff from Radon at 8 and 16 working hours is 0.58 ± 0.2 and 1.16 ± 0.41 mSv/y.

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

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

***Corresponding Author:**
Environmental Health Engineering
Department, Student Research
Committee, Shahid Beheshti
University of Medical Sciences
, Tehran, Iran

Tel: 0921-6737245
E-mail: Ya.Fakhri@Gmail.Com

ارزیابی خطر سلامت ناشی از استنشاق رادن هوای داخل انبارهای سنگ‌های زینتی

امیرحسین محوی^۱، حسن کرامتی^۲،
بیگرد مرادی^۳، رخسانه حسینی بویا^۴،
یدالله فخری^{۵*}

^۱استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط،
دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی
تهران، تهران، ایران
^۲دانشجوی دکتری بهداشت محیط، گروه
مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم
پزشکی سمنان، سمنان، ایران
^۳دانشجوی بهداشت عمومی، گروه
بهداشت عمومی، دانشگاه علوم پزشکی
کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
^۴دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی
بهداشت محیط، مرکز تحقیقات سلامت
مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی
هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۵دانشجوی دکترای بهداشت محیط،
کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه
مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم
پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۴/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: رادن یک گاز بی‌رنگ، بی‌بو و رادیواکتیو است که می‌تواند از سنگ‌های زینتی مانند گرانیت، مرمر و غیره متصاعد شده و در هوای اطراف منتشر گردد. استنشاق گاز رادن در طولانی‌مدت باعث بروز سرطان ریه در انسان می‌شود. **مواد و روش‌ها:** 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 اندازه‌گیری قرار گرفت. در مجموع سه مرحله، ۲۴ غلظت ۲۴ ساعته هوای داخلی و ۲۴ غلظت ۴ ساعته رادن ۲۲۲ و تورن هوای زمینه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس دز مؤثر دریافتی توسط معادلات UNSCEAR محاسبه شد.

یافته‌ها: 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 سنگ‌های زینتی DSW1، DSW2، DSW3 و DSW4 به ترتیب $98/25 \pm 43$ ، $74/5 \pm 34$ ، $98/25 \pm 43$ و $74/5 \pm 34$ Bq/m³ است. دز مؤثر دریافتی کارگران ناشی از رادن ۲۲۲ و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب $0/53 \pm 0/18$ mSv/y و $0/05 \pm 0/03$ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری $1/05 \pm 0/36$ و $0/11 \pm 0/07$ mSv/y است. به‌طور کلی میانگین دز مؤثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن ۲۲۲ در ۸ و ۱۶ ساعت کاری به ترتیب $0/58 \pm 0/2$ و $1/16 \pm 0/41$ mSv/y است. **نتیجه‌گیری:** میانگین غلظت رادن هوای داخلی و دز مؤثر دریافتی کارگران کمتر از استاندارد است. انبارهای سنگ‌های زینتی از منابع تجمع گاز رادن می‌باشند که می‌توان با انجام اقدامات اصلاحی، غلظت رادن هوای داخلی را کاهش داد.

کلمات کلیدی: رادن ۲۲۲، تورن، دز مؤثر، انبارهای سنگ‌های زینتی

* نویسنده مسئول:

دانشجوی دکترای بهداشت محیط،
کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه
مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم
پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۰۹۲۱-۶۷۳۲۲۴۵
E-mail: Ya.fakhri@gmail.com

مقدمه

میناب استان هرمزگان مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. سپس دز مؤثر دریافتی کارگران ناشی از استنشاق گاز رادن ۲۲۲ و تورن مورد محاسبه و با حدود استاندارد مورد مقایسه گیرد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا ۴ انبار مهم و بزرگ نگهداری سنگ‌های زیتسی (گرانیت، مرمر و غیره) در شهر میناب انتخاب گردید. اندازه‌گیری در ۳ مرحله از آذر سال ۱۳۹۰ الی بهمن سال ۱۳۹۰ انجام شد (هرماه یک مرحله). بر طبق دستورالعمل ارائه‌شده توسط EPA، برای اندازه‌گیری 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 سنسج مدل ۲-RTM1688 ساخت شرکت SARAD کشور آلمان اندازه‌گیری شد. حساسیت این دستگاه در ۱۵۰ دقیقه اندازه‌گیری مداوم $\text{cts}/(\text{min} \times \text{KBq}/\text{m}^3)$ می‌باشد.^{۲۱} این دستگاه دما، فشار و رطوبت را نیز به همراه غلظت رادن ۲۲۲ و تورن اندازه‌گیری و به صورت ساعتی ثبت می‌کند. حساسیت بالا به همراه آنالیز طیف‌سنجی آلفا، منجر به زمان پاسخ‌دهی کوتاه حتی در غلظت‌های پایین می‌شود. بر طبق دستورالعمل اندازه‌گیری ارائه‌شده توسط شرکت SARAD، در اندازه‌گیری مداوم بیشتر از ۲ ساعت، برای کاهش خطای آماری و دو برابر شدن دقت اندازه‌گیری، دستگاه باید در حالت کند قرار گیرد.^{۲۱، ۲۲} در هر انبار، دستگاه در ارتفاع ۱ متری و در مرکز انبار قرار داده شد. در هر مرحله از هر انبار، ۲ اندازه‌گیری ۲۴ ساعته و ۲ اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری قرار گرفت.

دز مؤثر دریافتی سالانه ناشی از رادن ۲۲۲ هوای داخلی، توسط معادله UNSCEAR محاسبه گردید (معادله ۱)؛

$$E_{Rn} = C_n \cdot 0.4 \times T \times 9 \times 10^{-6} \quad (1)$$

در این معادله E_{Rn} ؛ دز مؤثر دریافتی سالانه (mSv/y)، C_{Rn} ؛ میانگین ژئومتریکی غلظت رادن ۲۲۲ (Bq/m^3)، ۰/۴؛ فاکتور تعادل، T؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت (۲۹۲۰ h/y) و ۱۶ ساعت (h/y)

رادن یک گاز بی‌رنگ، بی‌بو و رادیواکتیو است که می‌تواند از آب، خاک، سنگ‌ها و صخره‌ها منتشر گردد.^{۱۳} رادن ۲۲۲، ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲۶ در زنجیره اورانیوم ۲۳۸ و تورن ناشی از واپاشی رادیوم ۲۲۴ در زنجیره توریم ۲۳۲ است.^{۳۴} بر اساس اطلاعات ارائه‌شده توسط برد بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو (National Radiation Protection Board)، ۸۵٪ از دز مؤثر دریافتی انسان از پرتوگیری طبیعی و ۱۵٪ مصنوعی (انسان‌ساز) است.^۵ گاز رادن ۲۲۲، تورن و دخترانشان، ۱/۴ mSv از دز مؤثر دریافتی سالانه ناشی از پرتوگیری طبیعی (۲/۴ mSv) را به خود اختصاص داده‌اند (بیش از ۵۰٪).^{۳۷} پرتو آلفای منتشرشده از رادن ۲۲۲ و دخترانشان (^{218}Po و ^{214}Po)، در بلندمدت می‌تواند DNA سلول‌های ریوی را دچار آسیب کند و در نهایت موجب بروز سرطان ریه در افراد شود.^{۳۹} بعد از سیگار دومین علت مرگ و میر ناشی از سرطان ریه، گاز رادن است.^۹ آژانس حفاظت محیط‌زیست 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 استاندارد $148 \text{ Bq}/\text{m}^3$ و $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ را پیشنهاد داده‌اند.^{۱۱} کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو (ICRP) حداکثر دز مؤثر دریافتی سالانه کارکنان ناشی از رادن هوای داخلی را $20 \text{ mSv}/\text{y}$ اعلام کرده است.^{۱۲} غلظت رادن هوای داخلی عمدتاً ناشی از انتشار از مصالح ساختمانی، خاک اطراف و منابع آب است.^{۱۳} با وجود اینکه نیمه‌عمر تورن (۵۶ ثانیه) کمتر از رادن ۲۲۲ (۳/۸۲ روز) اما نمی‌توان از خطرات آن به خصوص در مکان‌های بسته (انبارها و غیره) چشم‌پوشی کرد.^{۱۴} در سال‌های 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 مؤثر دریافتی کارگران در انبارهای نگهداری سنگ‌های زیتسی 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 زیتسی (Decorative stones Warehouse (DSW)) در شهر

یافته‌ها

میانگین غلظت رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) هوای داخلی Bq/m^3 74 ± 37 است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ زینتی DSW_1, DSW_2, DSW_3 و DSW_4 به ترتیب $98/25 \pm 43$ ، $34/4 \pm 18$ 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 ، 157 ± 27 - 33 ± 6 ، 64 ± 11 - 64 ± 4 و 32 ± 37 - 184 ± 5 است (جدول ۱). ترتیب انبارهای سنگ‌های زینتی با توجه به میانگین غلظت رادن هوای داخلی (مجموع غلظت رادن ۲۲۲ و تورن)؛ $DSW_4 < DSW_1 < DSW_2 < DSW_3$ است. میانگین کلی رادن هوای بیرونی Bq/m^3 34 ± 16 است. میانگین غلظت رادن هوای بیرونی در انبارهای DSW_1, DSW_2, DSW_3 و DSW_4 به ترتیب $98/25 \pm 43$ ، $34/4 \pm 18$ ، $88/9 \pm 51$ و 74 ± 37 Bq/m^3 است (جدول ۲).

۵۸۴۰، ۹ ضریب تبدیل غلظت رادن ۲۲۲ به دز مؤثر دریافتی سالانه $(nSv/Bq.m^3.h)$ و 10^{-6} ضریب تبدیل نانو سیورت به میلی سیورت می‌باشد^{۲۳}.

دز مؤثر دریافتی سالانه ناشی از تورن هوای داخلی نیز توسط UNSCEAR محاسبه شد (معادله ۲)؛

$$E_{Tn} = C_{Tn} \times 0.02 \times T \times 40 \times 10^{-6} \quad (2)$$

در این معادله E_{Tn} ؛ دز مؤثر دریافتی سالانه (mSv/y) ، C_{Rn} ؛ میانگین ژئومتریک غلظت تورن (Bq/m^3) ، 0.02 ؛ فاکتور تعادل، T ؛ زمان کار روزانه که ۸ ساعت $(2920 h/y)$ و ۱۶ ساعت (h/y) ، 40 ؛ ضریب تبدیل غلظت تورن به دز مؤثر دریافتی سالانه $(nSv/Bq.m^3.h)$ و 10^{-6} ضریب تبدیل نانو سیورت به میلی سیورت می‌باشد^{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 نرم‌افزار SPSS16 مورد آنالیز آماری قرار گرفت. p value < 0.05 به‌عنوان سطح معنی‌دار در نظر گرفته شد.

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

زمان (ساعت)	* DSW_1	DSW_2	DSW_3	DSW_4
۹	$29 \pm 5^{**}$	52 ± 9	11 ± 4	54 ± 9
۱۱	16 ± 3	33 ± 6	16 ± 3	45 ± 8
۱۳	40 ± 7	60 ± 11	26 ± 5	31 ± 5
۱۵	44 ± 8	40 ± 7	28 ± 5	89 ± 16
۱۷	66 ± 12	87 ± 15	16 ± 3	57 ± 10
۱۹	72 ± 13	106 ± 19	20 ± 4	47 ± 8
۲۱	88 ± 15	123 ± 22	46 ± 8	76 ± 13
۲۳	96 ± 18	131 ± 23	46 ± 8	126 ± 22
۱	102 ± 18	139 ± 24	62 ± 11	121 ± 21
۳	117 ± 21	145 ± 25	64 ± 11	173 ± 30
۵	124 ± 22	157 ± 27	49 ± 9	184 ± 32
۷	76 ± 13	106 ± 19	29 ± 5	64 ± 11
روز	$44/5 \pm 8$	63 ± 11	$19/5 \pm 4$	$53/8 \pm 9$
شب	$100/5 \pm 18$	$133/5 \pm 23$	$49/3 \pm 9$	124 ± 22
میانگین	$72/5 \pm 34$	$98/25 \pm 43$	$34/4 \pm 18$	$88/9 \pm 51$

* میانگین \pm انحراف معیار ** میانگین سه مرحله

جدول ۲: میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و بیرونی در ۴ انبار سنگ زینتی (Bq/m³)

مجموع	مرحله ۳		مرحله ۲		مرحله ۱		میانگین ^۱									
	داخلی	زمینه	داخلی	زمینه	داخلی	زمینه										
رادن	تورن	رادن	تورن	رادن	تورن	رادن	تورن									
۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲									
۷	۲۵/۶	۲۱/۳	۵۱/۱	۱۶	۴۱	۲۳	۵۳	۴	۲۵	۲۳	۵۵	۲	۱۱	۱۸	۴۵	DSW۱
۸/۳	۲۰/۳	۴۲/۱	۵۶	۸	۱۹	۴۵	۵۷	۱۱	۱۶	۴۲	۵۷	۶	۲۶	۴۰	۵۴	DSW۲
۷/۶	۲۸	۷/۹	۲۶/۳	۱۳	۲۹	۸	۲۶	۶	۲۴	۸	۲۹	۴	۳۱	۹	۲۵	DSW۳
۹/۶	۲۹	۲۱/۳	۶۷	۱۸	۵۶	۱۵	۶۹	۵	۱۳	۳۴	۶۵	۶	۱۹	۱۵	۶۷	DSW۴
۸/۲±۴	۲۶±۱۸	۲۳/۲±۱۴	۵۰±۱۷	۱۴±۴	۳۶±۱۶	۲۳±۱۶	۵۱±۱۸	۷±۳	۲۰±۶	۲۷±۱۵	۵۱±۱۶	۵±۲	۲۲±۹	۲۰±۱۴	۴۸±۱۸	

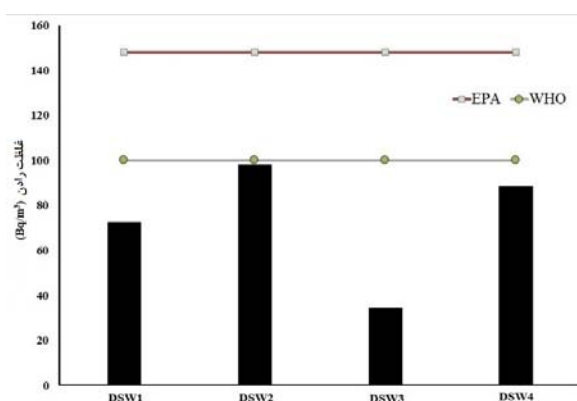
(Mean± Standard Deviation)^۱

دز مؤثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن هوای داخلی انبارهای سنگ‌های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW۴ در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۹، ۰/۳ و ۰/۷۵ mSv/y و همچنین در ۱۶ ساعت کاری به ۱/۱۷، ۱/۳۷، ۰/۵۹ و ۱/۵۱ mSv/y است. دز مؤثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۱۸ و ۰/۰۵±۰/۰۳ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری برابر ۱/۰۵±۰/۳۶ و ۱/۰۵±۰/۰۷ mSv/y است. به‌طورکلی میانگین دز مؤثر دریافتی کارکنان ناشی از رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) در ۸ و ۱۶ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۸±۰/۲ و ۱/۱۶±۰/۴۱ mSv/y است (جدول ۳). ترتیب انبارهای سنگ‌های زینتی از لحاظ دز مؤثر دریافتی رادن DSW۱ < DSW۲ < DSW۴ < DSW۳ است. دز مؤثر دریافتی ناشی از رادن و تورن در ۸ ساعت کاری به ترتیب ۰/۵۳±۰/۱۸ و ۰/۰۵±۰/۰۳ mSv/y و در ۱۶ ساعت کاری ۱/۰۵±۰/۳۶ و ۰/۱۱±۰/۰۷ mSv/y است (جدول ۳).

میانگین غلظت رادن در طول روز در انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW۴ به ترتیب ۴۴/۵±۸، ۶۳±۱۱، ۱۹/۵±۴ و ۵۳/۸±۹ Bq/m³ و در طول شب ۱۰۰/۵±۱۸، ۱۳۳/۵±۲۳، ۴۹/۳۳±۹ و ۱۲۴±۲۲ Bq/m³ است. نسب میانگین غلظت رادن شب به‌روز در هوای داخلی برای انبارهای DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW۴ به ترتیب ۳، ۴/۷۵، ۱/۴ 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 DSW۴ به ترتیب ۵۱/۱۳، ۵۶، ۲۶/۳ و ۶۷/۰۷ و تورن به ترتیب ۲۱/۳۷، ۴۲/۱۷، ۷/۹۳ و ۲۱/۳۳ Bq/m³ است. به‌طورکلی میانگین رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی به ترتیب ۵۰/۱±۱۷ و ۲۳/۲±۱۴ Bq/m³ و هوای بیرونی به ترتیب ۲۵/۸±۱۸ و ۸/۲±۱۴ Bq/m³ است (جدول ۲).

جدول ۳: غلظت رادن ۲۲۲ و تورن هوای داخلی و دز مؤثر دریافتی در کارکنان ۴ انبارهای سنگ‌های زینتی

دز مؤثر دریافتی (mSv/y)		مجموع	تورن	رادن ۲۲۲	
۱۶	۸				
۱/۱۷	۰/۵۹	۷۴±۳۴	۲۱/۳	۵۱/۱	DSW۱
۱/۳۷	۰/۶۹	۹۸±۷۳	۴۲/۱	۵۶	DSW۲
۰/۵۹	۰/۳	۳۸±۱۸	۷/۹	۲۶/۳	DSW۳
۱/۵۱	۰/۷۵	۸۸±۵۱	۲۱/۳	۶۷	DSW۴
۱/۱۶±۰/۴۱	۰/۵۸±۰/۲	۷۳±۳۷	۲۳/۲±۱۴	۵۰/۱±۱۷	میانگین



شکل ۱: مقایسه میانگین غلظت رادن هوای داخلی ۴ انبارهای سنگ‌های زینتی (رادن ۲۲۲ و تورن) با استانداردهای WHO و EPA

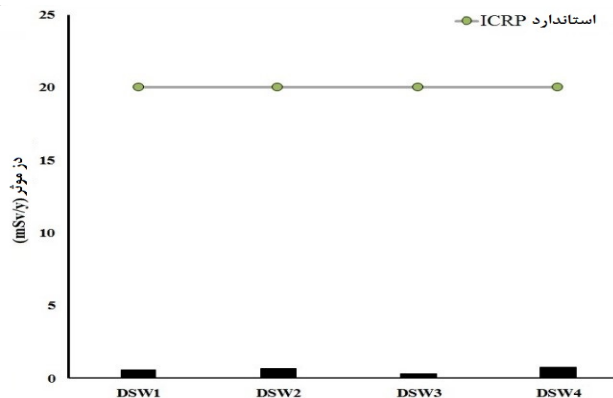
بحث

نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به استاندارد EPA (۱۴۸ Bq/m^۳) در انبارهای سنگ‌های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳ و DSW۴ به ترتیب ۴۸٪، ۶۶/۳٪، ۲۳/۳٪ و ۶۰٪ است.^{۱۱} 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 سنگ‌های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳، DSW۴ 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).

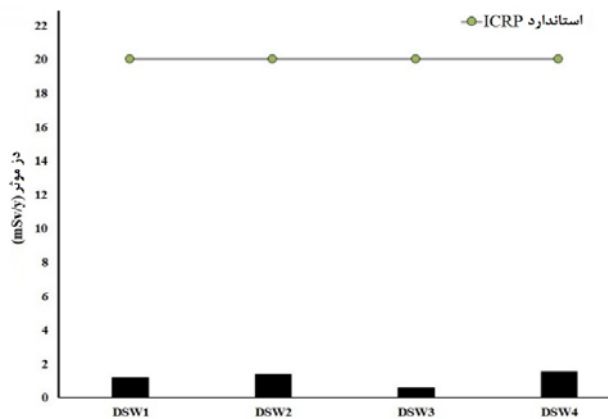
نسبت میانگین غلظت رادن هوای داخلی به هوای بیرونی در انبارهای سنگ‌های زینتی DSW۱، DSW۲، DSW۳، DSW۴ به ترتیب ۲/۲۲، ۳/۵، ۰/۹۵ و ۲/۲۹ برابر بیشتر از هوای بیرونی است. بیشترین و کمترین نسبت غلظت رادن هوای داخلی به هوای بیرونی به ترتیب مربوط به انبار DSW۲ و DSW۳، است. میانگین غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای DSW۱، DSW۲ و DSW۴ بیشتر از هوای بیرونی و در انبار DSW3 کمتر از هوای بیرونی است. آنالیز آماری اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در انبارهای (p value=۰/۰۲۷) DSW۱، (p value=۰/۰۱۴) DSW۲، (p value=۰/۰۳۱) DSW۴ وجود دارد (p value < ۰/۰۵). اما اختلاف معنی‌دار بین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی در انبار DSW۴ (p value=۰/۰۱۹) وجود ندارد. به‌طورکلی در ۴ انبار

نگهداری سنگ‌های زینتی، اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت رادن هوای داخلی و بیرونی وجود دارد (p value < ۰/۰۵). از این رو می‌توان گفت انبارهای سنگ‌های زینتی می‌توانند یک منبع رادن باشند. این تفاوت غلظت رادن هوای داخلی در انبارهای سنگ‌های زینتی ناشی از تفاوت در میزان تهویه هوا (طبیعی و مصنوعی)، مقدار سنگ‌های ذخیره‌شده، حجم انبار (تبادل هوا)، جنس مصالح انبار و تفاوت در نوع سنگ (گرانیت، مرمر و غیره) می‌باشد.^{۲۴-۲۶} پایین بودن نسبت غلظت رادن هوای داخلی به بیرونی در انبار ۳ DSW می‌تواند ناشی از بیشتر بودن تهویه هوا، تفاوت جنس سنگ‌های ذخیره‌شده 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 < ۰/۰۵) نشان داد که غلظت رادن هوای داخلی در شب به‌صورت معنی‌دار بیشتر از روز است. میانگین دز مؤثر دریافتی کارکنان در ۸ و ۱۶ ساعت کاری، کمتر از استاندارد ICRP برای کارکنان (mSv/y) ۲۰ است. بیشترین و کمترین دز مؤثر دریافتی کارکنان به ترتیب مربوط به انبارهای DSW۳ و DSW۴ است (شکل ۲ و ۳).

از آنجایی که با افزایش زمان مواجهه دز مؤثر نیز افزایش می‌یابد از این رو دز مؤثر دریافتی در ۱۶ ساعت کاری ۲ برابر ۸ ساعت است.^{۲۳} بیشتر بودن غلظت رادن هوای داخلی انبار DSW۴ نسبت به سایر انبارها می‌تواند ناشی از تهویه کمتر هوا، فضای کمتر، تفاوت در جنس سنگ‌های به ذخیره‌شده و یا تفاوت در مصالح ساختمانی بدنه انبار باشد.^{۲۴ و ۲۵}



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



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

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 می‌توان با اندازه‌گیری هم‌زمان غلظت رادن ۲۲۲ و تورن دز مؤثر 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 مؤثر دریافتی کارگران را کاهش داد.

سپاسگزاری

کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تأمین کننده مالی این تحقیق می‌باشد (74310).

از این رو می‌تواند در مطالعات بعدی تأثیر هر یک از این متغیرها به صورت جداگانه یا باهم مورد مطالعه قرار گیرد. ترتیب غلظت رادن هوای داخلی با دز مؤثر دریافتی در چهار انبار مورد مطالعه متفاوت است زیرا غلظت تورن در انبار DSW۲ بیشتر از انبار DSW۴ است از این رو دز مؤثر دریافتی ناشی از رادن (رادن ۲۲۲ و تورن) در انبار DSW۴ بیشتر است. از آنجایی که نیمه‌عمر تورن (۵۶ ثانیه) نسبت به رادن ۲۲۲ (۳/۸۲ روز) بسیار کمتر است از این رو سهم تورن نیز در دز مؤثر دریافتی رادن کمتر است^{۱۵} و^{۱۴}.

نتیجه‌گیری

میانگین غلظت رادن هوای داخلی انبارهای سنگ‌های زینتی کمتر از حدود استاندارد WHO و EPA است. دز مؤثر دریافتی

References

- 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 ecocarats among construction materials. *Journal of the Korean Physical Society*. 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. *Indoor and built environment*. 2013;22(2):384-7.
- Cohen bs, xiong jq, fang c-p, li w. Deposition of charged particles on lung airways. *Health physics*. 1998;74(5):554-60.
- Cothern cr, smith je. *Environmental radon*: springer; 1987.
- Green b, lomas p, luykx f. *Natural radiation atlas of europe*. *Radiation protection dosimetry*. 1991;36(2-4):85-8.
- Richard cc, e sj. *Environmental radon*: springer; 1987.
- Magill j, galy j. *Radioactivity radionuclides radiation*. Berlin heidelberg newyork: springer; 2005. Available from: www.nuclides.net.
- Kávási n, somlai j, szeiler g, szabó b, schaffer i, kovács t. Estimation of effective doses to cave dwellers based on radon measurements carried out in seven caves of the bakony mountains in hungary. *Radiation measurements*. 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.
- 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.
- Protection 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. *Radiation protection dosimetry*. 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. *Journal of environmental radioactivity*. 2011;102(11):1055-61.
- Janik m, omori y, yonehara h. Influence of humidity on radon and thoron exhalation rates from building materials. *Applied radiation and isotopes*. 2015;95:102-7.
- Righi s, bruzzi l. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in italian dwellings. *Journal of environmental radioactivity*. 2006;88(2):158-70.
- Nassiri p, ebrahimi h, jafari shalkouhi p. Evaluation of radon exhalation rate from granite stone. *Journal of scientific & industrial research*. 2011;70(3):230-1.
- Kumar a, chauhan r, joshi m, saho b. Modeling of indoor radon concentration from radon exhalation rates of building materials and validation through measurements. *Journal of environmental radioactivity*. 2014;127:50-5.
- Hosoda m, sorimachi a, yasuoka y, ishihara t, saho sk, furukawa m, et al. Simultaneous measurements of radon and thoron exhalation rates and comparison with values calculated by unsecar equation. *Journal of radiation research*. 2009;50(4):333-43.
- Environmental protection agency. *Epa indoor radon and radon decay product measurement device protocols* <http://www.epa.gov/radon/pubs/devprot3.htm>
- Ursulean i, coreţchi l, chiruţă 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.
- Gmbh s. *Application note an-003_en: measurement of the radon concentration of water samples june 2007*. Available from: www.sarad.de.
- United nations scientific committee on the effects of atomic radiation (unsecar). *Sources and effects of ionizing radiation; united nations scientific committee on the effects of atomic radiation*. Usa: 2000.
- Perrier f, richon p, crouzeix c, morat p, le mouél j-l. Radon-222 signatures of natural ventilation regimes in an underground quarry. *Journal of environmental radioactivity*. 2004;71(1):17-32.
- Alsaedi ak, almayahi b, alasadi a. Cement 222rn and 226ra concentration measurements in selected samples from different companies. *Asian journal of natural & applied sciences (ajsc)*. 2013;2(4):95-100.
- Nain m, chauhan r, chakarvarti s. Alpha radioactivity in indian cement samples. *Iran j radiat res*. 2006;3:1-71.
- 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.