

غلظت و دوز مؤثر ناشی از گاز رادن و تورون در بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه (1391)*

مقداد پیرصاحب¹؛ فرید نجفی²؛ عباس حق‌پرست³؛ اسماعیل عزیزی⁴؛ لیدا همتی^{4*}

چکیده

زمینه: با توجه به اهمیت بهداشتی گاز رادن به‌ویژه در ابتلا به سرطان ریه، این مطالعه با هدف سنجش سطوح رادن و تورون در هوای ساختمان سه بیمارستان با مراجعه بالا در شهر کرمانشاه طراحی شد.

روش‌ها: اندازه‌گیری سطوح رادن و تورون داخل ساختمان بیمارستان‌های امام رضا(ع)، امام خمینی(ره) و طالقانی در شهر کرمانشاه در بخش‌های مختلف از جمله ICU، بخش‌های بستری، اتاق عمل و بخش‌های اداری با استفاده از مانیتور رادن‌متر RTM 1688-2 انجام گرفت. اندازه‌گیری‌ها در سه ماه پاییز سال 1391 سه بار (در هر ماه یک‌بار) به انجام رسید و به‌طور کلی 102 اندازه‌گیری از هوای داخل ساختمان این بیمارستان‌ها انجام شد. دوز مؤثر سالانه با استفاده از معادله محاسبه دوز مؤثر سالانه معرفی شده توسط کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد تشعشعات اتمی برآورد شد.

یافته‌ها: متوسط سطوح رادن و تورون داخل ساختمان به‌ترتیب $11/44 \pm 4/9$ Bq/m³ و $4 \pm 3/9$ Bq/m³ بود. بیشترین غلظت رادن در بیمارستان امام رضا(ع) ($13/7 \pm 4/3$ Bq/m³) و کم‌ترین مقدار آن در بیمارستان امام خمینی(ره) ($6/8 \pm 4/4$ Bq/m³) اندازه‌گیری شد. دوز مؤثر سالانه ناشی از گازهای رادن و تورون به‌طور میانگین $0/13$ mSv/y تخمین زده شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج، سطوح رادن و تورون و متوسط دوز مؤثر ناشی از آن‌ها در ساختمان همه بیمارستان‌ها پایین‌تر از مقادیر توصیه شده بود. غلظت رادن و تورون با تهویه طبیعی و مصنوعی اتاق‌ها و مصالح ساختمانی مورد استفاده در دیوارها و کف تحت تأثیر قرار می‌گرفت. غلظت رادن و تورون در ICU بالا بود.

کلیدواژه‌ها: رادن و تورون داخل ساختمان، دوز مؤثر، بیمارستان، کرمانشاه

«دریافت: 1393/1/19 پذیرش: 1393/6/25»

1. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و عضو مرکز تحقیقات عوامل محیطی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

2. مرکز تحقیقات عوامل محیطی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

3. گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

4. عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمانشاه

* عهده‌دار مکاتبات: کرمانشاه، میدان ایثار، جنب م.آ.د. فارابی، دانشکده بهداشت، کد پستی: 6719851351، تلفن: 09187240367

Email: hematilh@gmail.com

* این مقاله منتج از پایان‌نامه دانشجویی خانم لیدا همتی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه می‌باشد.

مقدمه

از استحاله آن، مسئول 50 درصد از دوز کلی ناشی از

منابع طبیعی هستند (2).

گاز رادن (²²²Rn) بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه بوده و از

گازهای نادر به‌شمار می‌آید که به‌طور طبیعی دارای

خاصیت رادیواکتیو بوده و منشأ تشکیل آن اورانیوم

عامل اصلی پرتوگیری همه موجودات زنده از جمله

انسان، منابع پرتوزای طبیعی است. به‌گونه‌ای که برآورد

می‌شود، سهم منابع طبیعی در پرتوگیری انسان حدود 90

درصد باشد (1). در این میان رادن و محصولات حاصل

رادن، بررسی آن امروزه رایج‌ترین موضوع مطالعه در تعیین رادیواکتیویته محیطی است؛ به‌گونه‌ای که بررسی آن در سطح وسیعی در بسیاری از کشورها انجام گرفته است (2). با این حال بررسی‌های گسترده رادن داخل ساختمان در بسیاری از کشورها از جمله ایران، تنها به منازل مسکونی و آپارتمان‌ها محدود می‌شود؛ درحالی‌که به‌منظور بررسی مسایل ناشی از گاز رادن مانند سرطان ریه که بر جمعیت‌ها تحمیل می‌گردد و میزان مواجهه با آن، علاوه بر خانه‌های شخصی باید در ساختمان‌های عمومی نیز این مسأله مدنظر قرار گیرد (4). طی چند سال گذشته، بیشتر توجهات به انجام بررسی‌های رادن و توسعه روش‌های تقلیل آن در ساختمان‌های عمومی از جمله مدارس، بیمارستان‌ها، ادارات، معادن و اماکن عمومی دیگر معطوف شده است (12 و 13). در میان ساختمان‌های عمومی، مدارس و بیمارستان‌ها اغلب به‌دلیل جمعیت بالای مراجعه‌کننده به این اماکن از اولویت بالاتری برخوردارند (14).

به هر حال نگرانی‌هایی مبنی بر افزایش سطح رادن در ساختمان‌های احداث‌شده در ایران به‌دلیل تغییر در شیوه ساخت و ساز و مصالح ساختمانی در سال‌های اخیر وجود دارد. از طرف دیگر ساختمان‌های امروزی عمدتاً با ارتقای هوابندی ساختمان و کاهش تهویه طبیعی شناخته شده هستند. با در نظر گرفتن موارد فوق و با توجه به این‌که در حال حاضر هیچ‌گونه اطلاعاتی در خصوص پرتوافکنی گاز رادن در ساختمان‌های عمومی شهر کرمانشاه وجود ندارد، این مطالعه با هدف بررسی سطح گازهای رادن و تورون در بیمارستان‌های امام رضا (ع)، امام خمینی (ره) و طالقانی شهر کرمانشاه در یک دوره سه ماهه طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

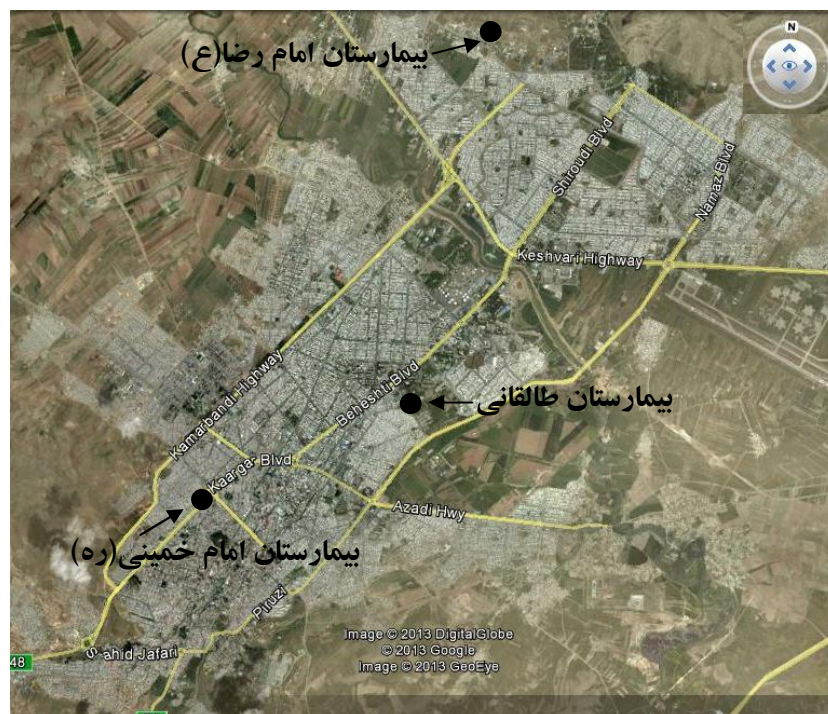
در این مطالعه اندازه‌گیری گازهای رادن و تورون در داخل ساختمان سه بیمارستان پرمراجعه شهر کرمانشاه که در نقاط مختلف سطح شهر استقرار دارند (تصویر 1)

موجود در ترکیب صخره‌ها و خاک است. بنابراین مقدار رادن انتشاریافته به دورن خانه‌ها، به جنس صخره‌ها و خاکی که خانه بر روی آن ساخته شده است، بستگی دارد. گاز رادن بعد از بیرون آمدن از خاک، از طریق هر فضای بازی که جریان هوا بتواند از آن عبور کند، به داخل ساختمان نفوذ می‌کند (3). هر چند که مصالح ساختمانی خاصی با غلظت بالای رادیوم و حتی آب خانگی با غلظت بالای رادن، می‌توانند سهم مهمی در مواجهه با رادن در داخل ساختمان داشته باشند (4 و 5). تنها ایزوتوپ دیگر رادن که می‌تواند در فضاهای داخلی در مقادیر قابل توجه ایجاد شود، تورون (^{220}Rn) است. این گاز به‌علت نیمه عمر کوتاه (55/6 ثانیه)، اغلب نمی‌تواند در گاز موجود در خاک زیر یک ساختمان، به اندازه کافی دوام داشته و به خانه وارد شود و به‌همین دلیل در سطح تورون هوای داخل ساختمان سهمی ندارد. بنابراین تورون داخل ساختمان ناشی از انتشار تورون از توریومی است که ممکن است در مصالح به‌کار رفته در سطح داخلی ساختمان موجود باشد (6). باید توجه داشت که برای مواجهه یکسان (یعنی غلظت و زمان یکسان)، برآورد می‌شود که دوز ناشی از محصولات واپاشی تورون، حدود 4 برابر محصولات واپاشی رادن باشد (2). بر این اساس محتمل است که علاوه بر گاز رادن، ساکنان یک ساختمان در معرض پرتوافکنی حاصل از گاز تورون نیز قرار گیرند. غلظت گاز رادن در هوای آزاد بسیار اندک است. اما در محیط‌های بسته، غلظت و در نتیجه سطح رادیواکتیویته آن افزایش می‌یابد. ورود گاز رادن که منتشرکننده ذرات آلفا است، از طریق تنفس، خوردن و آشامیدن به بدن، دوز دریافتی سیستم تنفسی و گوارش را افزایش داده و موجب اثرات بیولوژیکی در این ارگان‌ها می‌شود (7-10). مهم‌ترین اهمیت بهداشتی گاز رادن برای انسان، افزایش ابتلا به سرطان ریه ناشی از استنشاق این گاز است (2 و 11). به‌دلیل مخاطرات بهداشتی ناشی از مواجهه با گاز

گرفت. برای به دست آوردن نتایج واقعی انتشار گاز رادن و تورون در محیط‌های مورد بررسی، دستگاه به مدت 150 دقیقه هوای محیط را مکش نموده و سپس نتیجه اندازه‌گیری پس از در معرض قرارگیری دستگاه با هوای محیط ثبت گردید. بر اساس رهنمود سازمان جهانی بهداشت (6)، اندازه‌گیری رادن داخل ساختمان می‌بایست حداقل سه ماه تا یکسال انجام گیرد. بنابراین در ساختمان‌های این سه بیمارستان 34 نقطه تعیین شد (8) نقطه در بیمارستان امام خمینی (ره)، 10 نقطه در بیمارستان طالقانی و 16 نقطه از بیمارستان امام رضا (ع) و از هر نقطه در سه ماه پاییز سال 1391 سه بار (در هر ماه یک بار) اندازه‌گیری شد. بنابراین به‌طور کلی 102 اندازه‌گیری از هوای داخل ساختمان این بیمارستان‌ها صورت پذیرفت. داده‌ها به نرم‌افزار آماری STATA 8 منتقل و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون one-way ANOVA و در صورت لزوم آزمون Kruskal-Wallis استفاده شد.

با استفاده از دستگاه RTM 1688-2 ساخت شرکت SARAD آلمان انجام گرفت. حساسیت این دستگاه در 150 دقیقه اندازه‌گیری مداوم $6/5 \text{ cts}/(\text{min} \cdot \text{KBq}/\text{m}^3)$ می‌باشد. حساسیت بالا به همراه آنالیز طیف‌سنجی آلفا، منجر به یک زمان پاسخ‌دهی کوتاه حتی در غلظت‌های پایین می‌شود.

اندازه‌گیری‌ها در بخش‌های مختلف این بیمارستان‌ها از جمله ICU، بخش‌های بستری، اتاق عمل و بخش‌های اداری صورت پذیرفت. پس از انتخاب محل اندازه‌گیری، دستگاه در محلی که حداقل 2-0/8 متر از کف در منطقه تنفسی، 50 سانتی‌متر از سقف، 20 سانتی‌متر از وسایلی که مانع جریان طبیعی هوا در اطراف آشکار ساز شود و 40 سانتی‌متر از دیوار فاصله داشت، نصب و راه‌اندازی شد. همچنین سعی شد تا در حد امکان، محل نصب دستگاه در معرض جریانات ایجادشده توسط سیستم گرمایشی و تهویه و درها، پنجره‌ها و فن‌ها قرار نگیرد (15). کالیبراسیون دستگاه با استفاده از منوال دستگاه و نرم‌افزار مختص آن انجام



تورون از فرمول ذیل استفاده گردید:

$$H_{Th} = C_{Th}.F.T.D$$

در این معادله C_{Th} غلظت تورون اندازه‌گیری شده در فاکتور تعادل تورون در داخل ساختمان F ، (Bq/m^3) ، T ، زمان سکونت در داخل ساختمان $(0/1)$ ، (2338 h/y) و D فاکتور تبدیل دوز $40 \times 10^{-6} \text{ mSv/h}$ به ازاء هر (Bq/m^3) است.

یافته‌ها

بر اساس نتایج، میانگین کل غلظت رادن و تورون در بیمارستان‌های مورد مطالعه به ترتیب $11/44 \pm 4/9 Bq/m^3$ و $4 \pm 3/9 Bq/m^3$ و دوز مؤثر کل ناشی از آن‌ها برای پرسنل بیمارستان $0/13 \text{ mSv/y}$ برآورد گردید. بیشترین غلظت رادن در بیمارستان امام رضا (ع) و کم‌ترین مقدار آن در بیمارستان امام خمینی (ره) اندازه‌گیری شد (نمودار 1)، به گونه‌ای که غلظت در بیمارستان امام رضا (ع) حدود دو برابر مقدار آن در بیمارستان امام خمینی (ره) بود ($P=0/003$). بیمارستان امام رضا (ع) و بیمارستان امام خمینی (ره) همچنین به ترتیب دارای بیشترین و کم‌ترین غلظت تورون بودند گرچه این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود ($P=0/56$). در بیمارستان امام خمینی (ره) (جدول 1) بیشترین

به‌منظور برآورد دوز مؤثر سالانه ناشی از رادن و تورون داخل ساختمان، آنچه باید مدنظر قرار گیرد ضریب تبدیل دوز جذب‌شده از هوا به دوز مؤثر و فاکتور سکونت در محیط داخل ساختمان است. بر اساس گزارش سال 2000 UNSCEAR (2) مقدار 9 nSv/h در هر Bq/m^3 به‌عنوان فاکتور تبدیل برای رادن (دوز مؤثر دریافتی توسط بزرگسالان در هر واحد فعالیت ^{222}Rn در واحد حجم هوا)، مقدار 40 nSv/h در هر Bq/m^3 به‌عنوان فاکتور تبدیل برای تورون و $0/8$ به‌عنوان فاکتور سکونت در داخل ساختمان استفاده شد. بنابراین دوز مؤثر در داخل ساختمان بر حسب mSv/y برای رادن از طریق فرمول ذیل محاسبه گردید:

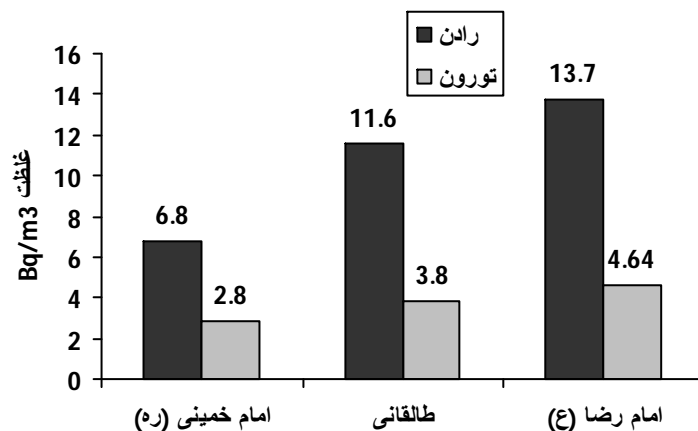
$$H_{Rn} = C_{Rn}.F.T.D$$

در این معادله C_{Rn} ، غلظت رادن اندازه‌گیری شده در F ، فاکتور تعادل ^{222}Rn در داخل ساختمان $(0/4)$ ، T زمان سکونت در داخل ساختمان که مقدار آن برابر است با:

$$0/8 \times 8h^* \times 365/25 = 2338 \text{ h/y}$$

* پرسنل بیمارستان 8 ساعت کاری در ساختمان حضور دارند.

و D فاکتور تبدیل دوز $9 \times 10^{-6} \text{ mSv/h}$ به ازاء هر (Bq/m^3) می‌باشد. به‌منظور محاسبه دوز مؤثر ناشی از گاز



نمودار 1- غلظت رادن و تورون در بیمارستان‌های مورد مطالعه

بخش‌های بستری و اتاق عمل این بیمارستان اندازه‌گیری شد ($P=0/5$). دوز مؤثر کل ناشی از گازهای رادن و تورون در این بیمارستان $0/14$ mSv/y برآورد گردید. در بیمارستان امام رضا (ع) (جدول 3) واحد ایترونشن و رادیوتراپی دارای بیشترین و اتاق عمل دارای کمترین غلظت رادن بودند ($P=0/002$). بیشترین غلظت تورون در بانک خون و CCU این بیمارستان و کمترین مقدار آن در اتاق عمل و رادیوتراپی اندازه‌گیری شد هرچند تفاوت میان داده‌ها معنادار نبود ($P=0/97$). دوز مؤثر کل ناشی از گازهای رادن و تورون در این بیمارستان $0/16$ mSv/y برآورد گردید.

غلظت رادن در واحد اپتومتری و پس از آن ICU و اتاق عمل و کمترین غلظت آن در درمانگاه این بیمارستان اندازه‌گیری شد ($P=0/53$). ICU و درمانگاه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت تورون بودند گرچه تفاوت‌های معناداری بین داده‌ها مشاهده نشد ($P=0/24$). دوز مؤثر کل ناشی از گازهای رادن و تورون در این بیمارستان $0/09$ mSv/y برآورد گردید. در بیمارستان طالقانی (جدول 2)، اورژانس و پس از آن اتاق عمل و بخش اداری دارای بیشترین و بخش‌های بستری دارای کمترین غلظت رادن بودند ($P=0/06$). بیشترین غلظت تورون در ICU و کمترین مقدار آن در

جدول 1- میانگین غلظت رادن و تورون و دوز مؤثر ناشی از آن‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان امام خمینی (ره)

کاربری	میانگین غلظت (Bq/m^3)		دوز مؤثر (mSv/y)	
	رادن	تورون	ناشی از رادن	ناشی از تورون
ICU	10	9	0/08	0/16
واحد اپتومتری	13/67	2/33	0/12	0/14
بخش‌های بستری	4/78±4/22	2/56±1/71	0/04±0/04	0/06
اتاق عمل	9/33	0/67	0/08	0/08
رادیولوژی	4/67	2/67	0/04	0/06
درمانگاه	2/33	0/33	0/02	0/02
میانگین کل	6/8±4/41	2/83±2/81	0/06±0/02	0/09

جدول 2- میانگین غلظت رادن و تورون و دوز مؤثر ناشی از آن‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان طالقانی

کاربری	میانگین غلظت (Bq/m^3)		دوز مؤثر (mSv/y)	
	رادن	تورون	ناشی از رادن	ناشی از تورون
ICU	9/5±0/23	7/2±5	0/08±0/002	0/13
بخش‌های بستری	8/22±3	2±1/33	0/07±0/03	0/09
اورژانس	18	4/67	0/15	0/2
بخش اداری	13	4/33	0/11	0/15
اتاق عمل	15/5±0/7	2	0/13±0/007	0/15

0/14	0/04±0/03	0/1±0/03	3/8±2/75	11/6±4	میانگین کل
0/13	0/05	0/08±0/002	7/2±5	9/5±0/23	ICU

جدول 3- میانگین غلظت رادن و تورون و دوز مؤثر ناشی از آن‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان امام رضا (ع)

کاربری	میانگین غلظت (Bq/m ³)		دوز مؤثر (mSv/y)		کل
	رادن	تورون	ناشی از رادن	ناشی از تورون	
ICU	11/2±1/6	3/4±3	0/09±0/01	0/03±0/02	0/12
بخش‌های بستری	13±2	5/7±6/8	0/11±0/02	0/05±0/06	0/16
بانک خون	10/3	7/67	0/09	0/07	0/16
CCU	16/67	6/67	0/14	0/06	0/2
ایستروشن	24	3	0/2	0/02	0/22
اتاق عمل	8/33	1	0/07	0/01	0/08
رادیوتراپی	22	1	0/18	0/01	0/19

جدول 4- میانگین غلظت رادن و تورون در طبقات مختلف بیمارستان‌های مورد مطالعه

طبقه	بیمارستان					
	امام خمینی (ره)		طالقانی		امام رضا (ع)	
	غلظت (Bq/m ³)					
	رادن	تورون	رادن	تورون	رادن	تورون
زیرزمین	--	--	10/9±1/9	6/44±3/66	--	--
اول	5/44±3/56	2/33±1/85	14/83±4/5	4±0/94	15/7±5/5	9/44±10
دوم	6/78±5	3/44±4/81	10/33±4/37	2/11±1/5	15/8±7/2	5/22±2/3
سوم	8/83±6/83	2/67±0/47	11/33±6/6	2±0/01	--	--
چهارم	--	--	--	--	10/33±2/8	0/83±0/2
ششم	--	--	--	--	10/7±1/5	2/9±0/84
هشتم	--	--	--	--	14/7±1/7	3/33±3
دهم	--	--	--	--	13/8±3/5	5±1/4
P-value	0/8	0/9	0/7	0/18	0/58	0/5

در این مطالعه غلظت گازهای رادن و تورون برای اولین بار در شهر کرمانشاه در ساختمان سه بیمارستان این شهر، بیمارستان امام رضا (ع)، بیمارستان طالقانی و بیمارستان امام خمینی (ره)، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و دوز مؤثر ناشی از استنشاق هوای حاوی این گازها

غلظت رادن و تورون در طبقات مختلف بیمارستان‌های مورد مطالعه، الگوی مشخصی نداشت و تفاوت معناداری نیز میان داده‌ها مشاهده نشد (جدول 4).

بحث

رس‌دار همراه با ماسه با تخلخل بالا ساخته شده است. تخلخل بالای خاک، نفوذ رادن به داخل ساختمان را تسهیل می‌کند. از طرف دیگر قدمت ساختمان این بیمارستان نسبت به دو بیمارستان دیگر کم‌تر بوده و در پوشش دیوارها و کف داخل آن عمدتاً از سنگ گرانیت استفاده شده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی سنگ گرانیت در ایران، میزان انتشار گاز رادن از این مصالح بالا گزارش شده است (20 و 21). از طرف دیگر بر خلاف دو بیمارستان دیگر که از طریق طبیعی (پنجره) تهویه می‌شوند، در بیمارستان امام رضا (ع) از سیستم تهویه مرکزی و پنجره‌های دوجداره استفاده شده است و بنابراین میزان تبادل هوا با هوای بیرون کم‌تر است.

در بررسی غلظت گازهای رادن و تورون در بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها مشاهده شد که بخش ICU در بیمارستان‌های امام خمینی (ره) و طالقانی دارای بیشترین غلظت رادن و تورون بود. علت آن را می‌توان به پوشش دیوارها و کف این بخش که از سنگ تراورتن یا گرانیت پوشیده شده بودند و همچنین تبادل هوای اندک آن نسبت به بخش‌های دیگر به دلیل ممنوعیت ورود نسبت داد. در بیمارستان طالقانی، اورژانس تنها بخشی است که دیوارها و کف آن از سنگ گرانیت پوشیده شده است و همین بخش با وجود رفت و آمد بالای آن، دارای بیشترین غلظت رادن در این بیمارستان بود. اما در بخش‌هایی مانند بخش‌های بستری و درمانگاه به دلیل پرفرت و آمد بودن آنها، تبادل هوا بالا بوده و غلظت پایین است. در بیمارستان امام رضا (ع) از آنجایی که واحدهای ایترونشن و رادیوتراپی تنها از طریق تهویه مرکزی فشار منفی تهویه می‌شوند، بالاترین غلظت رادن مشاهده گردید. بر خلاف آن‌ها در اتاق‌های عمل که سیستم تهویه فشار مثبت است، غلظت رادن کم‌ترین مقدار بود. بالا بودن غلظت تورون را که تنها به مصالح ساختمانی به کار رفته بستگی دارد، به پوشش‌های دیوار و کف گرانیتی می‌توان نسبت داد.

برآورد گردید. بر اساس نتایج، میانگین غلظت رادن در ساختمان این بیمارستان‌ها، $11/44 \pm 4/9 \text{ Bq/m}^3$ بود که بسیار کم‌تر از 100 Bq/m^3 مقدار توصیه شده توسط WHO است (6). در هیچ کدام از این بیمارستان‌ها غلظت رادن از 100 Bq/m^3 تجاوز نکرد. پایین بودن غلظت رادن و تورون در ساختمان‌های مورد مطالعه حاکی از پایین بودن محتوی رادیوم و همچنین تخلخل یا به اصطلاح نفوذپذیری پایین خاک منطقه است. چراکه محتوی رادیوم و نفوذپذیری زمین زیر ساختمان معرف‌های مناسبی برای غلظت رادون داخل ساختمان هستند (16). باید توجه نمود که این مطالعه در محیط بیمارستان صورت پذیرفته است و میزان تبادل بالای هوا در محیط بیمارستان ناشی از میزان رفت و آمد بالا و همچنین استفاده از تهویه مصنوعی می‌تواند غلظت گازهای رادن و تورون را تا حد زیادی کاهش دهد و پیش‌بینی می‌شود مقدار آن‌ها در منازل مسکونی شهر کرمانشاه بیشتر از این مقادیر باشد.

میانگین دوز مؤثر دریافتی ریه‌ها ناشی از استنشاق هوای این بیمارستان‌ها $0/13 \text{ mSv/y}$ تخمین زده شد که بسیار کم‌تر از $3-10 \text{ mSv/y}$ توصیه شده توسط ICRP در سال 1993 (9) و WHO در سال 2009 (17) است. سهم گاز رادن در ایجاد این دوز مؤثر بیشتر از دو برابر گاز تورون بود.

بیشترین غلظت رادن و تورون در بیمارستان امام رضا (ع) و کم‌ترین مقدار آن‌ها در بیمارستان امام خمینی (ره) اندازه‌گیری شد. بیمارستان امام رضا (ع) در شمال شهر کرمانشاه قرار دارد و از آنجایی که چین‌ها، گسل‌ها و ساخت‌های دگرگونی، حرکت رادن را در زمین تسهیل می‌کنند (18)، شاید مهم‌ترین دلیل بالا بودن غلظت گاز رادن در این بیمارستان، عبور گسل سراسری زاگرس (تراست زاگرس) از شمال شهر باشد (19). علاوه بر این بر خلاف بیمارستان امام خمینی (ره) و بیمارستان طالقانی که خاک زیر ساختمان آن‌ها از نوع رس با خاصیت خمیری کم است و تخلخل پایینی دارد، ساختمان بیمارستان امام رضا (ع) بر روی خاک با ویژگی شن

منطقه کامپانیا افزایش می‌یافت؛ در حالی که ساختار بتون مسلح که کم‌ترین مقدار را داشت ثابت کرد که عایق‌کاری خوبی در مقابل نفوذ و تجمع گاز رادن فراهم آورده است (23). در بررسی کبال و واپوتیک (2006)، غلظت رادن در هوای داخلی 201 اتاق 26 بیمارستان در اسلوونی بررسی و دوز مؤثر سالانه برای 1025 فرد کارمند در اتاق‌های بررسی شده برآورد گردید. بر اساس نتایج تنها در 7 اتاق، متوسط غلظت رادن از حد ملی 400Bq/m^3 تجاوز کرد که نیازمند عملیات کاهش رادن بودند. دوز مؤثر سالانه برای 966 فرد ($0.94/2$) کم‌تر از 1mSv و برای 10 شخص بین $2/1-7/3\text{mSv}$ تخمین زده شد (24). بررسی‌ها در کشورهای مختلف نشان می‌دهند که مقدار گاز تورون بین $0/3-3/5\text{Bq/m}^3$ با مقدار میانگین کم‌تر از 1Bq/m^3 متغیر است (25).

از آنجایی که منشأ اصلی گاز رادن خاک زیر ساختمان است، بنابراین غلظت این گاز بسته به محتوی اورانیوم موجود در خاک منطقه و تخلخل آن و همچنین ترک‌ها و منفذهای موجود در پی ساختمان، در نقاط مختلف متفاوت است. هرچند نوع سیستم تهویه و مصالح ساختمانی به کار رفته نیز عوامل تعیین‌کننده غلظت گازهای رادن و تورون در یک ساختمان می‌باشند. بنابراین غلظت رادن در داخل ساختمان از منطقه‌ای به منطقه دیگر، از یک ساختار به ساختار دیگر و حتی در ساختارهای مشابه بسیار متغیر است (26).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت رادن و دوز مؤثر ناشی از گازهای رادن و تورون در هیچ‌کدام از بیمارستان‌های بررسی شده، از مقادیر توصیه‌شده تجاوز نکردند. علی‌رغم آن بر طبق نتایج از بین بخش‌های مختلف بیمارستانی، ICU دارای غلظت‌های بالای رادن و تورون و اتاق عمل دارای غلظت بالای رادن بودند. غلظت رادن و تورون با تهویه طبیعی و مصنوعی اتاق‌ها

همچنین بر اساس نتایج، غلظت رادن و تورون در طبقات مختلف بیمارستان‌های بررسی شده، الگوی مشخصی نداشت که علت آن را می‌توان به وجود کاربری‌های مختلف در ساختمان بیمارستان‌ها نسبت داد چرا که در طبقات مختلف بیمارستان، کاربری‌های مختلفی مانند اتاق عمل، ICU، بخش‌های بستری و ... وجود دارد که هر کدام دارای مصالح ساختمانی خاص و تهویه متفاوت بوده و تغییرات در غلظت گاز رادن و تورون ناشی از شرایط موجود باعث می‌شود الگوی مشخصی در طبقات مختلف دیده نشود.

مطالعات محدودی بر روی غلظت رادن در ساختمان بیمارستان‌ها صورت گرفته است. در بررسی انجام گرفته توسط نسترو و همکاران وی (2006)، دو بیمارستان از دو روستای واقع در کالابرین (جنوب ایتالیا) واقع در دو منطقه زمین‌شناختی مختلف دارای الگوی رادیومتری متفاوت به لحاظ میزان رادن داخلی در سه دوره اندازه‌گیری سه‌ماهه، شش‌ماهه و یکساله مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که متوسط غلظت رادن در طول یک سال $74/4\text{Bq/m}^3$ در یک بیمارستان و $28/83\text{Bq/m}^3$ در بیمارستان دیگر بود. دوز مؤثر دریافتی 3mSv/y برآورد گردید (22). کاماروتا و همکاران وی (2009) نیز طی مطالعه‌ای غلظت گاز رادن و دوز مؤثر ناشی از آن را در دو بیمارستان در منطقه نپال مورد اندازه‌گیری قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد غلظت در همه تسهیلات بهداشتی در محدوده $186-1191\text{Bq/m}^3$ بود. در همه این مکان‌ها دوز مؤثر ناشی از مواجهه با گاز رادن از 3mSv/y پیشنهاد شده توسط قوانین ایتالیا هرگز تجاوز نکرد. بر اساس نتایج این مطالعه، غلظت رادن با تهویه طبیعی یا مصنوعی اتاق‌ها، مصالح ساختمانی مورد استفاده در دیوارها و حالت نگه‌داری و بهسازی ساختمان (عایق کاری طبقات و دیوارها) تحت تأثیر قرار می‌گرفت. یافته‌های به‌دست‌آمده تأیید کردند که غلظت رادیونوکلیئیدها در سنگ توف (خاکستر آتشفشان) زرد رنگ آتشفشانی نشأت گرفته از

و مصالح ساختمانی مورد استفاده در دیوارها و کف
تحت تأثیر قرار می‌گرفت.
تشکر و قدردانی
این مقاله منتج از پایان‌نامه دانشجویی رشته مهندسی
بهداشت محیط از دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه
می‌باشد.

References

- Ahmad N, Matiullah AH, Khatibeeh AJ. Comparative studies of indoor radon concentration levels in Jordan using Cr-39 based bag and cup dosimeters. *Health Physics*. 1998;75:60-2.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations. New York. 2000;97-105.
- Guarrini FD, Vascotto M. A radon survey in kindergartens of Trieste and Gorizia districts (North East of Italy) *International Journal of Medicine Biology and the Environment*. 2000;28:115-21.
- Kearfott KJ. Preliminary experiences with ²²²Rn gas Arizona homes. *Health Physics*. 1989;56:169-79.
- Li X, Zheng B, Wang Y, Wang X. A study of daily and seasonal variations of radon concentrations in underground buildings. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006;87(1):101-6.
- World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. WHO Regional Office for Europe. DK-2100 Copenhagen Ø. Denmark. 2010;347-69.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). National primary drinking water regulations; radio nuclides; proposed rules. *Federal Register*. 1991;56(138):33050.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). Man-made mineral fibres glasswool (group 2B) glass filaments (group 3) rockwool (group 2B) slagwool (group 2B) ceramic fibres (group 2B). *Summaries and Evaluation*. Lyon, France. 1988;43:39.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Rn-222 at home and at work. Pergamon Press, Oxford. 1993;23(2):65
- Baykara O, Doğru M. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey). *Radiation Measurement*. 2006;41:362-7.
- Khan AJ. A study of indoor radon levels in Indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks. *Radiation Measurement*. 2000;32:87-92.
- Papachristodoulou CA, Patiris DL, Ioannides KG. Exposure to indoor radon and natural gamma radiation in public workplaces in north-western Greece. *Radiation Measurement*. 2010;45(7):865-871.
- Espinosa G, Golarri JI, Angeles A, Griffith RV. Nationwide survey of radon levels in indoor workplaces in Mexico using Nuclear Track Methodology. *Radiation Measurement*. 2009;44(9-10):1051-1054.
- Chen J. Comparison of radon concentrations in schools and in hospitals. *Radiation Protection Bureau*. Ottawa K1A 1C1. Canada. Health Canada 775 Brookfield Road. 2006;1-4.
- Health Canada. Guide for radon measurements in public buildings (schools, hospitals, care facilities, detention centers). authority of the Minister of Health. 2008;11-12.
- Sundala AV, Henriksen H, Soldalc O, Strandd T. The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *Science of the Total Environment*. 2004;328:41-53.
- World Health Organization (WHO). Hand book on indoor radon. A public health perspective. Printed in France: WHO. 2009;89-90.
- Zhu HC, Charlet JM, Tondeur F. Geological controls to the indoor radon distribution in southern Belgium. *The Science of the Total Environment*. 1998;220:195-214.
- Negararesh H. [Earthquake, cities and faults (Persian)]. *Geographical Research*. 2005;52:34-51.
- Ranjbar AH, Barghordar H. Activity concentration of ²²²Rn released from crushed granite stones of Iranian origin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2006;268(1):43-46
- Nassiri P, Ebrahimi H, Jafari Shalkouhi P. Evaluation of radon exhalation rate from granite stone. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 2011;70:230-231.
- Nastro V, Niceforo G, Luca PD. Radon indoor case-studies of tow hospital buildings, *Environmental Engineering and Management Journal*. 2006; 5(4):771-780.
- Camarota B, Cascone MT, De Paola L, Schillirò F, Del Prete U. Radon risk in healthcare facilities: environmental monitoring and effective dose. *La Medicina del Lavoro*. 2009;100(5):375-83.
- Vaupotic J, Kobal I. Radon survey and exposure assessment in hospitals. *Radiation Protection Dosimetry*. 2006;121(2):158-167.
- MjOnes L. Gamma radiation in Swedish dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*. 1986;15(2):131-140.
- Bossew P, Lettner H. Investigations on indoor radon in Austria, Part 1: Seasonality of indoor radon concentration. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007;98:329-345.