

## اندازه‌گیری پرتوگیری سالانه مردم در مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا در شهر رامسر

فرشته عباسی سیر<sup>۱</sup>، پرویز عبدالمالکی<sup>۲\*</sup>، سیدابوالقاسم حائری<sup>۱</sup>، سیدمهدی حسینی‌پویا<sup>۱</sup>، سمانه برادران<sup>۱</sup>، مجید صادقخانی<sup>۳</sup> و محمدرضا دشتی‌پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>دفتر حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

\*تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم زیستی، صندوق پستی: ۱۱۱-۱۴۱۱۵

پست الکترونیکی: parviz@modares.ac.ir

### چکیده

قسمت‌هایی از شهر رامسر در شمال ایران، به دلیل غلظت بالای رادیوایزوتوپ‌های رادیم-۲۲۶ و دختران آن به ویژه رادون-۲۲۲، دارای بالاترین میزان پرتوزایی طبیعی در دنیا می‌باشند و لذا همواره مورد علاقه جهت مطالعات مرتبط پرتوی قرار دارند. در این مطالعه با هدف برآورد به روز پرتوگیری مردم (Public Exposure) در مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا در این شهر، ۲۴ خانه و از هر خانه یک نفر از افراد ساکن در این مناطق انتخاب شده و میزان پرتوگیری خارجی ناشی از رادیم و محصولات واپاشی آن، به روش غیرفعال به وسیله دزیمتری ترمولومینسانس و اتاقک نفوذی رادون، اندازه‌گیری شد. کمترین و بیشترین مقدار دز مجموع مؤثر سالانه ناشی از گامای رادیم-۲۲۶ و دختران آن، سرب-۲۱۴ و بیسموت-۲۱۴ و همچنین رادون-۲۲۲ موجود در فضای داخل منازل به ترتیب ۲/۱۱ و بیش از ۶۸ میلی‌سیورت در سال اندازه‌گیری شده است.

**کلید واژگان:** پرتوزایی طبیعی بالا، رادیم-۲۲۶، رادون-۲۲۲، دزیمتری ترمولومینسانس، اتاقک نفوذی رادون.

### ۱. مقدمه

توزیع ناهمگن مواد پرتوزای طبیعی در پوسته خارجی زمین، سبب به‌وجود آمدن بخش‌هایی از مناطق مختلف جهان موسوم به "نواحی با پرتوزایی طبیعی بالا" شده است. این نواحی در نقاط مختلف جهان از جمله رامسر در ایران، کرالا و مدرس در هند، گواراپاری و آراکسا تاپیرا در برزیل، یانگ جیانگ در چین، نیل در مصر، بگستاین در اتریش و کوپرشیفر در آلمان شناسایی شده‌اند که البته رادیونوکلئیدهای متفاوتی در بالابودن پرتوزایی طبیعی در هر یک از آن‌ها، شناسایی شده‌اند. از میان این مناطق، شهر رامسر، از نظر میزان دز مؤثر دریافتی و جمعیت ساکن در مناطق با پرتوزایی طبیعی

در جهت حفظ سلامت جامعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر بررسی تأثیر پرتوگیری بر سلامتی افراد در مناطق با پرتوزایی بالا مورد توجه مراکز تحقیقاتی قرار گرفته و در این زمینه مقالات متعددی انتشار یافته است [۶،۵]. تعیین میزان صحیح پرتوگیری مردم در این مناطق مطالعات گسترده و دقیقی را می‌طلبد و با توجه به تغییرات طبیعی و یا مصنوعی ایجاد شده در این مناطق، اندازه‌گیری‌های انجام یافته باید به روز گردد لذا در این مطالعه سعی شده است با دقیق‌ترین سیستم‌های سنجش دز پرتوی، میزان پرتوگیری خارجی مردم در این مناطق اندازه‌گیری شود.

## ۲. روش‌ها

### ۱.۲. اندازه‌گیری تندی دز گاما

آهنگ دز گامای درونی و بیرونی در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین، در ۲۴ خانه به صورت تصادفی که از مناطق شناخته شده با پرتوزایی طبیعی بالا در شهر رامسر (شکل ۱) که در محله‌های طالش محله، چپرسر و آب سیاه انتخاب شدند، توسط دزسنج کالیبره رادوس-۱۱۰ که دارای آشکارساز گایگر می‌باشد، اندازه‌گیری شد و منازل مورد مطالعه از مناطقی که تندی دز گامای بیشتری قرائت گردید، انتخاب شدند.

### ۲.۲. دزیمتری فردی

به منظور اندازه‌گیری دز گامای خارجی فردی که بخش عمده آن به دلیل حضور  $^{226}\text{Ra}$  و دختران گاما دهنده آن یعنی سرب-۲۱۰ ( $^{210}\text{Pb}$ ) و بیسموت-۲۱۴ ( $^{214}\text{Bi}$ ) در منطقه می-باشد، به یکی از افراد ساکن در منزل مورد مطالعه، یک کیف گردنی حاوی دزیمتر کارتی (شکل ۲) با دو چیپ دزیمتر ترمولومینسانس لیتیم فلوراید با ناخالصی منیزیم، مس و فسفر

بالا، مقام اول را دارا می‌باشد [۲۰،۱]. دز مؤثر دریافتی ساکنین این شهر و به‌ویژه برخی از مناطق آن مانند منطقه طالش محله، حتی چندین برابر بیشتر از حداکثر دز مجاز پرتوکاران می‌باشد (حدود ۲۶۰ میلی‌سیورت در سال در این مناطق در مقایسه با ۲۰ میلی‌سیورت در سال برای پرتوکاران). دلیل اصلی پرتوزایی طبیعی بالا در این مناطق از شهر رامسر آن است که در طول سالیان متمادی، وجود چشمه‌های آبگرم حاوی رادیوم-۲۲۶ ( $^{226}\text{Ra}$ ) در منطقه رامسر باعث تشکیل رسوب در بستر رودها شده و استفاده از این سنگ‌های رسوبی پرتوزا در ساختن منازل مسکونی باعث پرتوگیری ساکنین این منازل از رادیوم-۲۲۶ و محصولات واپاشی آن، به ویژه تنفس غلظت بالای رادون-۲۲۲ ( $^{222}\text{Rn}$ ) در فضای بسته منازل شده است. همچنین بعضاً در خاک این مناطق توریم-۲۳۲ ( $^{232}\text{Th}$ ) نیز اندازه‌گیری شده است که غلظت پرتوزایی آن نسبت به رادیوم-۲۲۶ به مراتب کمتر بوده و لذا سهم اندکی در پرتوگیری مردم منطقه دارد. [۳].

بنا به گزارش سال ۲۰۰۰ کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد پرتوهای یون‌ساز، میانگین پرتوگیری سالانه از منابع طبیعی پرتوی شامل: پرتوهای کیهانی، تنفس، بلع و پرتوگیری خارجی از منابع زمینی ۲/۴ میلی‌سیورت می‌باشد. از میان منابع پرتوگیری طبیعی، سهم رادون-۲۲۲ با میانگین سالانه ۱/۱۵ میلی‌سیورت، از همه بیشتر است. رادون-۲۲۲ از عوامل اصلی سرطان ریه در جهان مشخص شده است که کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP 2011) سطح اقدام ۳۰۰  $\text{Bq.m}^{-3}$  را برای آن در ساختمان‌های مسکونی توصیه نموده است [۴].

تعیین میزان پرتوگیری‌های داخلی و خارجی و ریسک ناشی از پرتوگیری‌های طولانی مدت ساکنین این نواحی و در پی آن کاهش پرتوگیری‌های طبیعی ناخواسته از محیط زیست



شکل (۲): دزیومتر فردی ترمولومینسانس.

به‌منظور محاسبه دز فردی سالانه از رابطه ۱ استفاده شده است [۹]:

$$E = \frac{(T1 \times 0.004 \times 1.21 \times 365)}{t} \quad (1)$$

که در آن E دز مؤثر سالانه بر حسب میلی‌سیورت، T1 خوانش تصحیح شده پاسخ دزیومتر ترمولومینسانس، ۰/۰۰۴ میانگین ضریب کالیبراسیون برای دزیومترهای ترمولومینسانس بر حسب میلی‌گری بر نانو کولن ( $\text{mGy} \cdot \text{nC}^{-1}$ )، ۱/۲۱ ضریب تبدیل دز در هوا (کرما) به دز عمقی بافت بدن ( $\text{Hp10}, \alpha$ ) بر حسب سیورت بر گری [۱۰]، t بازه زمانی دزیومتی بر حسب روز (day) می باشد.

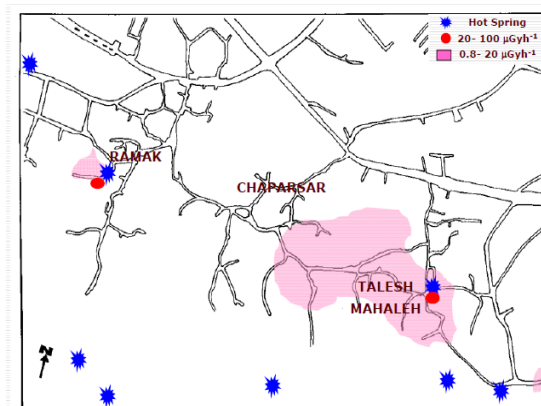
### ۳.۲. سنجش غلظت گاز رادون

تعیین غلظت گاز رادون در منازل، در آزمایشگاه مرجع رادون ایران، به روش فعال (Passive) و با استفاده از اتاقک نفوذی رادون<sup>۱</sup> که در ایران ساخته شده و به طور وسیعی در اندازه‌گیری‌های محیطی مورد استفاده قرار گرفته است، انجام شد. اندازه‌گیری گاز رادون در اتاقک نفوذی، با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای لگزان پلی‌کربنات می‌باشد که به صورت یک قطعه فیلم در انتهای اتاقک قرار دارد. این اتاقک

(LiF;Mg,Cu,P) با نام تجاری GR-200، تحویل داده شد تا در بازه سه‌ماهه، همراه فرد باشد. کالیبراسیون چیپ‌های ترمولومینسانس توسط چشمه سزیم-۱۳۷ ( $^{137}\text{Cs}$ )، انجام و ضرایب کالیبراسیون و ضرایب حساسیت هر چیپ تعیین شد.

قبل و بعد از هر قرائت، به منظور پاک کردن هر گونه اثری از دز باقیمانده در دزیومترهای ترمولومینسانس و یا صفر کردن دزیومتر، چیپ‌ها در دمای  $240^\circ\text{C}$ ، در کوره الکتریکی به مدت ۱۰ دقیقه حرارت‌دهی شده‌اند. قرائت دزیومترهای ترمولومینسانس با دستگاه خوانشگر هارشا-۴۰۰۰ (Harshaw-4000) انجام شد.

کالیبراسیون و خوانش دزیومترهای ترمولومینسانس توسط کارشناسان آزمایشگاه دزیومتی ترمولومینسانس امور حفاظت در برابر اشعه انجام شده است. شایان ذکر است که این آزمایشگاه، معتبرترین آزمایشگاه دزیومتی ترمولومینسانس می‌باشد که توسط مراجع ذی صلاحی همچون آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، از طریق شرکت در آزمون‌های بین‌المللی مقایسه-ای بین آزمایشگاهی اعتباردهی شده است. بنا بر تضمین کیفیت انجام شده، روش تعیین و میزان عدم قطعیت کلی در اندازه‌گیری دز فردی با این دزیومتر مشخص بوده و مقدار آن ۱۵٪ برآورد شده است [۷،۸].



شکل (۱): تندی دز گاما در مناطق با پرتوآبی طبیعی بالا در شهر

رامسر.

<sup>۱</sup> Radon diffusion chamber

مقدار آن  $[(nSv/h).(Bq.m^{-3})]^{-1}$  ۹ می‌باشد [۱۲]. همچنین به منظور برآورد دز گامای داخل منازل<sup>۲</sup>، یک عدد دزیمتر ترمولومینسانس به دیواره هر دزیمتر رادون الصاق شد و مجدداً به منظور محاسبه دز مؤثر مربوطه از رابطه ۱ استفاده شده است [۱۳]. با توجه به فرآیند تضمین کیفیت در آزمایشگاه مرجع رادون ایران که شرکت در آزمون‌های تخصصی بین‌المللی یکی از آنها بوده است، میزان عدم قطعیت آزمون اندازه‌گیری غلظت پرتوزایی رادون-۲۲۲، به روش غیرفعال اتاقت نفوذی رادون، ۵٪ گزارش شده است [۱۱]. به منظور بررسی غلظت رادون در دو فصل سرد و گرم، تعدادی از منازل در هر دو فصل توسط دزیمتر ترمولومینسانس و آشکارساز رادون مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه سعی شد بناهای قدیمی با قدمت بیش از ۲۰ سال و هم بناهای نسبتاً جدید با قدمت کمتر از ۱۰ سال در محله‌های شناخته شده با پرتوزایی طبیعی بالا که بیشتر در طبقات همکف یا اول قرار داشتند و غلظت گاز رادون در آنها بیشتر است، به عنوان نمونه انتخاب شوند. این منازل همان‌گونه که قبلاً اشاره شد [۱،۲] عمدتاً در محله‌های تالش محله، چپر سر، آب سیاه و سادات شهر که از مناطق شناخته شده با پرتوزایی طبیعی بالا بوده و نسبتاً تراکم جمعیت نیز در آنها بالا است، قرار دارند.



شکل (۳): اتاقت نفوذی رادون به همراه دزیمتر ترمولومینسانس جهت اندازه‌گیری دز گامای داخل منازل.

شامل یک ظرف پلاستیکی استوانه‌ای شکل با قطر داخلی ۶/۶ میلی‌متر و ارتفاع ۸۶/۳ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۳). درب دزیمتر دارای یک قسمت مشبک برای عبور هوا است و برای جلوگیری از نفوذ دختران رادون و تورون، یک فیلتر فایبرگلاس، بر روی نگهدارنده فیلتر قرار گرفته و آشکارساز نیز در فاصله ۴ سانتی‌متری از فیلتر کف لیوان بر روی یک نگهدارنده پلاستیکی قرار می‌گیرد. گاز رادون موجود در هوا پس از نفوذ به درون اتاقت، واپاشی نموده و آلفاهای ناشی از آن پس از برخورد به سطح فیلم پلی کربنات، ثبت و توسط فرآیند خورش الکتروشیمیایی شمارش و اندازه‌گیری می‌شود. محل استقرار دزیمتر رادون در داخل منازل، به گونه‌ای تعیین می‌گردد که ساکنین در آن مکان بیشترین زمان سکونت خود را داشته باشند. سنجش غلظت گاز رادون در مورد تعدادی از منازل، در دو فصل گرم و سرد انجام پذیرفت.

غلظت گاز رادون با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید [۱۱]:

$$C_{Rn} = \frac{d \times 1000}{13.55 \times t} \quad (2)$$

که در آن  $C_{Rn}$  غلظت گاز رادون بر حسب بکرل بر مترمکعب  $(Bq.m^{-3})$ ،  $d$  دانسیته ردپاهای آلفای ناشی از رادون بر حسب  $track.cm^{-2}$  ۱۳/۵۵ ضریب کالیبراسیون آشکارساز بر حسب  $track.cm^{-2}.(Bq.m^{-3}.day)^{-1}$  می‌باشد،  $t$  بازه زمانی دزیمتری بر حسب روز (day) می‌باشد [۱۱].

دز سالیانه مؤثر ناشی از رادون در داخل منازل از رابطه ۳ محاسبه شده است [۱۲]:

$$E_{Rn} = C_{Rn} \times F \times O \times (DCF) \quad (3)$$

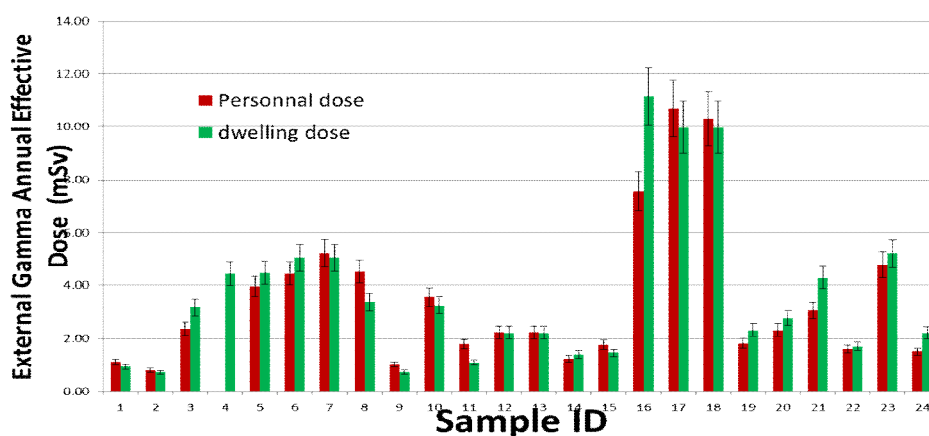
که در آن  $F$  میانگین جهانی فاکتور تعادل برای رادون و دخترانش با مقدار ۰/۴ می‌باشد،  $O$  میانگین جهانی فاکتور اشغال داخلی با مقدار ۷۰۰۰ ساعت در سال بوده و  $DCF$  فاکتور تبدیل دز برای رادون و محصولات واپاشی آن بوده که

<sup>2</sup> dwelling dose

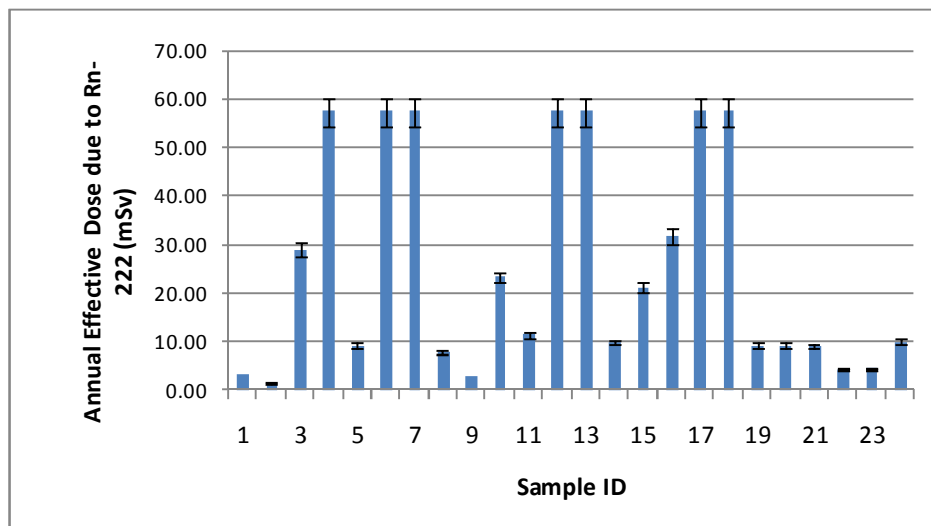
## ۳. بحث و نتایج

مقادیر محاسبه شده دز مؤثر سالانه ناشی از پرتوهای خارجی و همچنین مربوط به آهنگ دز خارجی ناشی از پرتوهای گاما در فضای بسته داخل منازل و حیاط آن‌ها در فاصله یک متری از سطح زمین به همراه مقادیر در این نقاط در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج به دست آمده حاکی از هم-خوانی نزدیک مقادیر دز محاسبه شده از دزیمترهای فردی داده شده با دزیمترهای نصب شده در داخل منازل می‌باشد که این امر تأییدی بر صحت نتایج دزیمتری بوده و در مواردی که نتایج کاملاً مشابه یکدیگرند (شکل ۴)، دال بر یکسان بودن شرایط و موقعیت پرتوگیری فرد می‌باشد. همچنین غلظت گاز رادون و در نتیجه دز ناشی از آن در برخی بناهای قدیمی که در آن‌ها از سنگ‌های حاوی کربنات رادیم استفاده شده است و به‌ویژه در طبقات همکف یا اول قرار دارند و فاقد سیستم تهویه مناسب هستند، بسیار بالا بوده که سبب اشباع شدن فیلم لگزان پلی‌کربنات شده و در نتیجه اندازه‌گیری دقیق در غلظت بیش از ۲۰۰۰ بکرل بر مترمکعب، میسر نشده است. شایان ذکر است که مطالعات انجام یافته در سال‌های قبل در مناطق با پرتوایی طبیعی بالا در شهر رامسر نیز غلظت گاز رادون در منطقه را تا  $31000 \text{ Bq.m}^{-3}$  و دز سالانه ناشی از آن را در گستره  $2/4$  تا  $71/74$  گزارش نموده‌اند [۱۵-۱۴] که با نتایج به دست آمده در

مطالعه حاضر، هم‌خوانی دارد (شکل ۵). همچنین نکته قابل توجه در این تحقیق، تغییراتی در برخی از نتایج مطالعات پیشین می‌باشد به‌عنوان مثال: منطقه سادات شهر که در مطالعات پیشین از مناطق با پرتوایی طبیعی بالا در شهر رامسر معرفی شده بود [۱۶]، بنا بر اندازه‌گیری‌های تندی دز در نقاط متعدد این منطقه، پرتوایی بالایی مشاهده نشد (شکل ۴) و حتی در منازل انتخاب شده در این منطقه نیز، دز مؤثر سالانه و غلظت گاز رادون، مقادیر بالایی را نشان نداده است. این امر مؤید آن است که به‌منظور تعیین دقیق پرتوگیری مردم منطقه، نیاز به مطالعات جامع و به روز می‌باشد. در مورد اندازه‌گیری غلظت رادون در دو فصل سرد و گرم، اگرچه انتظار می‌رفت در فصل سرما به دلیل بسته‌بودن پنجره‌ها، غلظت گاز رادون بیشتر باشد، اما نتایج به دست آمده در اکثر موارد خلاف این روند را نشان داد (شکل ۶) و در مطالعات دیگری نیز مشابه این وضعیت مشاهده شده است [۱۷]. در اندازه‌گیری‌های رادون در فصول سرد و گرم سال، شرایط محیطی همچون جاری شدن رودخانه‌ها، سطوح آب‌های زیرزمینی و همچنین پارامترهایی همچون دما و میزان رطوبت هوای محیط تأثیرگذار بوده و سبب عدم مشاهده روند مشابهی در اندازه‌گیری غلظت رادون در داخل منازل شده است [۱۱].



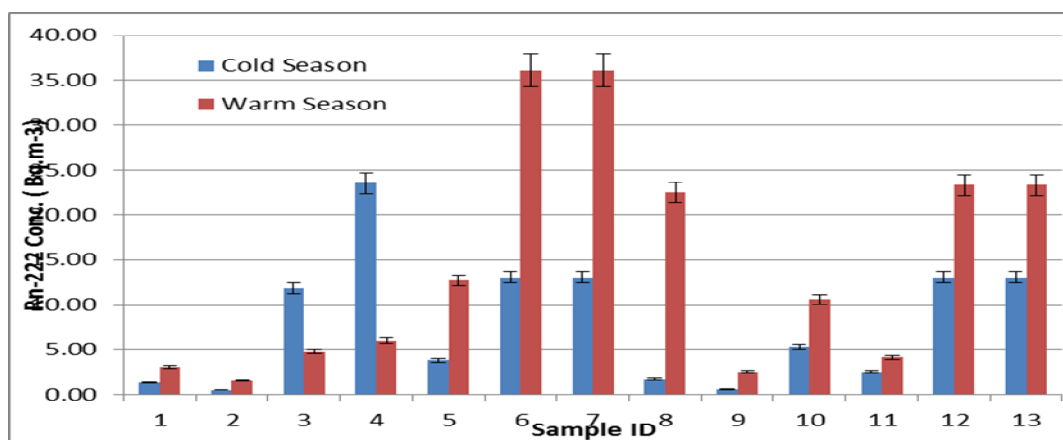
شکل (۴): دز مؤثر سالانه افراد و داخل منازل.



شکل (۵): دز مؤثر سالانه ناشی از رادون اندازه‌گیری شده در داخل منازل.

جدول (۱): نتایج دزیمتری فردی و محیطی در مناطق با پرتوژایی طبیعی بالا در شهر رامسر.

کمیت	میانگین	کمینه	بیشینه	میانه	انحراف از معیار
دز مؤثر گامای سالانه (بر اساس نتایج دزیمتر فردی) (mSv)	۳/۴	۰/۷۹	۱۰/۷۰	۲/۳	۲/۷۶
دز مؤثر گامای سالانه (بر اساس نتایج دزیمتر واقع در داخل منازل) (mSv)	۳/۷۱	۰/۸۳	۱۱/۱۳	۲/۹۵	۲/۸۷
آهنگ دز گاما در فضای بسته ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	۰/۸۷	۰/۰۹	۴/۵۰	۰/۴۷	۱/۱۸
آهنگ دز گاما در فضای باز ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	۰/۸۴	۰/۱۱	۲/۶۵	۰/۳۹	۰/۹۲
غلظت رادون در فضای بسته ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	۹۸۸	۵۲	> ۲۰۰۰	۴۲۵	۹۰۱/۶۰
دز مؤثر سالانه (ناشی از رادون) (mSv)	۲۴/۸۹	۱/۳۲	> ۵۷/۵۲	۱۰/۷۰	۲۲/۷۲
مجموع دز سالانه (مجموع دز مؤثر گامای سالانه و دز مؤثر سالانه ناشی از رادون) (mSv)	۲۸/۲۹	۲/۱۱	> ۶۸/۲۲	۱۳	۲۲/۸۹



شکل (۶): مقایسه غلظت گاز رادون در دو فصل در داخل منازل.

## ۴. نتیجه‌گیری

میزان پرتوگیری زمینه در منطقه رامسر دارای نوسانات زیادی می‌باشد به طوری که حتی در مناطق با پرتوژی طبیعی بالای این شهر، با فواصل کم، تندی دز گاما بسیار متفاوت می‌باشد و حتی در همین مناطق، نقاطی با میزان پرتوگیری زمینه طبیعی با فاصله کمی از نقاط با پرتوژی طبیعی بالا مشاهده می‌گردد بنابراین ارزیابی دقیق پرتوگیری مردم در این منطقه، به ویژه برای جمعیتی که دزهای متفاوتی را دریافت می‌کنند، مطالعات بسیار جامعی را طلب می‌نماید تا بتوان از نتایج دقیق و صحیح به دست آمده در تصمیم‌گیری‌های لازم و اجرایی بهره برد. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، کمینه، بیشینه و متوسط دز خارجی مؤثر سالانه در داخل منازل به ترتیب ۲، ۶۸ و ۲۷ میلی‌سیورت و همچنین کمینه،

بیشینه و متوسط دز مؤثر سالانه ناشی از رادون در داخل منازل به ترتیب ۱/۳، ۵۷ و ۲۴/۹۰ می‌باشد و در نهایت کمینه، بیشینه و متوسط پرتوگیری داخلی و خارجی یا دز مؤثر مجموع سالانه به ترتیب ۲/۱۱، ۲۸/۳۰ و ۶۸ میلی‌سیورت اندازه‌گیری شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه و مطالعات پیشین بیانگر آنست که پرتوگیری مردم در این مناطق بعضاً از حدود پرتوگیری شغلی کارکنان با منابع پرتوی نیز بالاتر می‌باشد و اگرچه برخی مطالعات رادیوبیولوژیکی نشان‌دهنده سازگاری با چنین پرتوگیری‌هایی در منطقه می‌باشد [۱۸-۱۹]، به نظر می‌رسد بهتر است اقداماتی با رویکردهای کاهش پرتوگیری مردم و بر اساس بررسی‌های جامع، توسط دستگاه‌های اجرایی صورت پذیرد.

## ۵. مراجع

- خارجی، انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، چاپ اول، (۱۳۹۴)، ۱۴۷-۱۳۸.
- [1] A.S. Aliyu and A.T. Ramli. The world's high background natural radiation areas (HBNRAs) revisited: A broad overview of the dosimetric, epidemiological and radiobiological issues, *Radiation Measurements*, 73 (2015) 51-59.
- [2] M. Sohrabi. World high background natural radiation areas: need to protect public from radiation exposure. *Radiation Measurements*, 50 (2013) 166-171
- [3] M. Ghiassi-nejad, S.M.J. Mortazavi, J.R. Cameron, A. Niroomand-rad and P.A. Karam. VERY HIGH BACKGROUND RADIATION AREAS OF RAMSAR, IRAN: PRELIMINARY BIOLOGICAL STUDIES, *Health Physics* 82(1) (2002) 87-93.
- [4] A. Ruano-Ravina, T.K. Kelsey, A. Fernández-Villar and J.M. Barros-Dios. Action levels for indoor radon: Different risks for the same lung carcinogen?, *European Respiratory Journal*, 50(5) (2017) 1701609.
- [5] E. Bavarnegin, N. Fathabadi, M. Vahabi-Moghaddam, M. Vasheghani Farahani, M. Moradi and A. Babakhni. Radon exhalation rate and natural radionuclide content in building materials of high background areas of Ramsar, Iran. *Journal of Environmental Radioactivity* 117 (2013) 36-40.
- [6] M. Ghiassi-Nejad, M.M. Beitollahi, N. Fallahian and M. Saghizade. New finding in very high natural radon area at Ramsar, Iran. *International Congress Series* 1276 (2005).
- [7] M. Jafari-zadeh, F. Nazeri, S.M. Hosseini-Pooya, M. Taheri, F. Gheshlaghi, M.R. Kardan, A. Babakhani N. Rastkhah, F. Yousefi-Nejad, M. Darabi, T. Oruji, Z. Gholamali-zadeh, J. Karimi-Diba, A.A. Kazemi-Movahed, M.R. Dashti-pour, A. Enferadi, M.H. Jahanbakhshian and M.R. Sadegh-khani. OCCUPATIONAL DOSE ASSESSMENT AND NATIONAL DOSE REGISTRY SYSTEM IN IRAN, *Radiation Protection Dosimetry (RPD)*, 144(1-4) (2011) 52-55.
- [8] S.M. Hosseini-Pooya and T. Oruji. Evaluation of Effective Sources in Uncertainty Measurements of Personal Dosimetry by a Harshaw TLD System, *Journal of Biomed Physic Engineering*, 4(2) (2014) 43-48.
- [۹] حسینی پویا، سیدمهدی. مبانی دزسنجی در پرتوگیری
- [10] IAEA SAFETY GUIDE No. RS-G-1.3, Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, (1999) 77.
- [۱۱] حسینی پویا، سیدمهدی. طاهری، مهران. رادون، روش‌های اندازه‌گیری و سنجش‌های محیطی، انتشارات آرمان نگار، (۱۳۹۳) ۷۷-۷۶.
- [12] UNSCEAR (2000).
- [13] S. Almgren, M. Isaksson and L. Barregard. Gamma radiation doses to people living in Western Sweden, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99 (2008) 394-403.
- [14] M. Sohrabi and A.R. Esmaili. New public dose assessment of elevated natural radiation areas of Ramsar (Iran) for epidemiological studies. *Int. Congr. Ser.* 1225 (2002) 15-24.
- [15] M. Sohrabi and M. Babapouran. New public dose assessment from internal and external exposures in low-and elevated-level natural radiation areas of Ramsar, Iran. *Int. Elsevier. Congress Ser.* (2005) 169-174.
- [16] T. Allahverdi-Pourfallah, H. Babapour and M. Shahidi. Evaluation of High Level Environmental Background Radiation Areas and its Variation in Ramsar. *Iranian Journal of Medical Physics*, 9(2) (2012) 87-92.
- [17] M. Amirzadi, S.M. Hosseini-Pooya, M. Taheri and A. Babakhani. Complementary measurement of Radon concentraion in water sources and natural exposure in dwellings in the vicinity of the Ramsar HLNRA, IRAN, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 27(4) (2012) 399-403.
- [18] S. Mohammadi, M. Taghavi-Dehaghani, M.R. Gharaati, R. Masoomi and M. Ghiassi-Nejad. Adaptive Response of Blood Lymphocytes of Inhabitants Residing in High Background Radiation Areas of Ramsar- Micronuclei, Apoptosis and Comet Assays. *J Radiat Res*; 47(3-4) (2006) 279-285.
- [19] F. Zakeri, M. Rajabpour, S.A. Haeri, R. Kanda, I. Hayata and S. Nakamura. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of individuals living in high background radiation areas of Ramsar, Iran. *Radiat Environ Biophys*, 50(4) (2011) 571-578.