



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شماره ۴، ویژه‌نامه پرتوهای یون‌ساز، ۱۳۹۹، صفحه ۲۳۷-۲۴۶

پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

## مقایسه اندازه‌گیری غلظت گاز رادن معاصر و گذشته‌نگر در منازل مسکونی شهر رامسر با آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد

علیرضا آزادبر<sup>۱</sup>، سمانه برادران<sup>۲\*</sup>، محمدرضا کاردان<sup>۲</sup> و داریوش سرداری<sup>۱</sup>

گروه مهندسی هسته‌ای- پرتو پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
گروه ایمنی پرتویی، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.  
\*تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کدپستی: ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳  
پست الکترونیکی: sbaradaran@aeoi.org.ir

### چکیده

منشاء گاز رادن زنجیره فروپاشی اورانیوم موجود در خاک زمین است که در فضا آزاد شده و از طریق شکاف‌های ساختمان به فضای داخلی خانه‌ها راه می‌یابد. این گاز از طریق تنفس می‌تواند وارد سیستم تنفسی شده و باعث بروز خطرات پرتویی گردد. تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر رادن را به عنوان دومین عامل ابتدا به سرطان ریه بعد از سیگار معرفی کرده است. غلظت دختران پرتوزای رادن در یک فضای بسته، کمیت مرتبط و مورد توجه محققین از نقطه نظر سلامتی می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری دقیق‌تر میزان غلظت گاز رادن در راستای ارزیابی میزان پرتوگیری مردم از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. هدف از این تحقیق اندازه‌گیری گاز رادن موجود در خانه‌های مسکونی شهر رامسر با دو روش معاصر و گذشته‌نگر و هم‌چنین مقایسه آن با اندازه‌گیری‌های قبلی انجام شده می‌باشد. جهت اندازه‌گیری غلظت رادن معاصر از روش غیرفعال با استفاده از اتاقک نفوذی گاز رادن و آشکارساز ردپای هسته‌ای حالت جامد و برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادن گذشته‌نگر از فعالیت پلونیوم ۲۱۰ کاشته شده در اشیاء شیشه‌ای استفاده شده است. آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد به کار رفته در این تحقیق پلی‌کربنات بوده که در دنیا برای روش گذشته‌نگر برای اولین بار از این نوع پلیمر استفاده شده است. میانگین غلظت اندازه‌گیری شده رادن معاصر حدود  $416 \text{ Bq/m}^3$  و رادن گذشته‌نگر حدود  $1299 \text{ Bq/m}^3$  می‌باشد. اختلاف غلظت گاز رادن گذشته‌نگر با غلظت گاز رادن معاصر می‌تواند به تغییر در نرخ تهویه و تغییر غلظت آیروسل‌ها و نسبت سطح به حجم اتاق مرتبط باشد. با توجه به مقایسه نتایج بدست آمده با استانداردهای انجمن حفاظت محیط زیست آمریکا مشخص شد که ۴۵ درصد از خانه‌ها دارای غلظت گاز رادن بالاتر از ۱۴۸ بکرل بر متر مکعب می‌باشد که لزوم اجرای روش‌هایی برای کاهش گاز رادن در این خانه‌ها حتمی است.

کلیدواژه‌گان: رادن گذشته‌نگر، رادن معاصر، آشکارساز پلی‌کربنات، سرطان ریه.

## ۱. مقدمه

منابع پرتوزای طبیعی عامل اصلی پرتوگیری بشر محسوب می‌شود و رادن به عنوان مهم‌ترین منبع پرتوزای طبیعی می‌باشد و با نماد شیمیایی  $^{222}\text{Rn}$  نشان داده می‌شود [۱]. این عنصر گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌طعم است که چگالی آن هشت برابر هوا تخمین زده شده است [۲]. گاز رادن ۲۲۲ یکی از محصولات واپاشی اورانیوم ۲۳۸ است که به طور طبیعی در لایه‌های زمین موجود می‌باشد [۳-۴]. غلظت این گاز در هوای آزاد اندک است اما در محیط بسته، غلظت و در نتیجه سطح اکتیویته آن افزایش می‌یابد و به سرعت تجزیه شده و باعث انتشار ذرات پر انرژی آلفا در محیط می‌شود [۵-۶]. استنشاق این ذرات صدمات جدی به ریه وارد نموده و باعث ایجاد بیماری‌های آمفیزم (بزرگی ریه) و فیبروزیس (ورم ریه) و در نهایت بروز سرطان ریه می‌شود [۷]. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان در سال ۱۹۸۸ این گاز را به عنوان عامل سرطان ریه در انسان شناسایی کرد. همچنین سازمان بهداشت جهانی رادن را پس از استعمال سیگار، به عنوان دومین عامل شیوع بروز سرطان ریه در انسان معرفی نموده است [۸]. در آمریکا سالانه حدود ۲۱۸۰۰ مرگ‌ومیر ناشی از گاز رادن اتفاق می‌افتد [۹].

از جمله عوامل مهم در میزان تجمع گاز رادن در منازل می‌توان به چاه‌های حفر شده در کف، مصالح ساختمانی مورد استفاده، ترک‌های نامرئی در دیوارها و کف زمین، منابع آبی و نوع بافت خاک پی و یا نزدیکی یا دوری از گسل‌های زیرزمینی اشاره کرد [۱۰].

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) غلظت مجاز رادن در هوای داخل خانه را ۱۴۸ بکرل بر متر مکعب و سازمان جهانی بهداشت ۱۰۰ بکرل بر متر مکعب را به عنوان

حد مجاز رادن در هوای داخل خانه در نظر گرفته‌اند [۱۱-۱۲]. مطالعات مربوط به غلظت گاز رادن در منازل مسکونی بسیار مهم می‌باشد، به طوری که در بسیاری از کشورها از جمله ایران به دلیل وجود مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. یکی از مناطق با پرتوزایی بالا در ایران برخی نقاط شهر رامسر واقع در شمال کشور می‌باشد که دلیل آن را می‌توان وجود چشمه‌های آب گرم حاوی رادیوم ۲۲۶ دانست [۱۳].

مهم‌ترین راه برای اندازه‌گیری رادن درون فضاها بسته روش‌های غیرفعال است که بر اساس آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد به خوبی توسعه پیدا کرده است و به طور گسترده استفاده می‌شود. بازه زمانی مناسب جهت اندازه‌گیری‌های غیرفعال طولانی مدت و غلظت گاز رادن معمولاً بین ۳ تا ۱۲ ماه می‌باشد [۱۴]. اما با توجه به این که این زمان در مقایسه با میانگین طول عمر یک فرد بسیار کوتاه است ممکن است عواملی مانند تغییرات در معماری خانه‌ها و یا تغییر در عادات فرد در طی سال‌های زندگی در نظر گرفته نشده باشد.

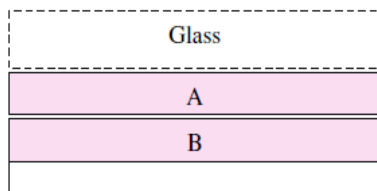
بنابراین در این مطالعه علاوه بر اندازه‌گیری غلظت گاز رادن معاصر در شهر رامسر، غلظت گاز رادن گذشته‌نگر نیز اندازه‌گیری شده و مقایسه‌ای با اندازه‌گیری‌های قبلی نیز انجام شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

رامسر یکی از شهرهای شمال ایران می‌باشد و در استان مازندران واقع می‌باشد. این شهر در حدود ۹ کیلومتر مربع مساحت داشته و جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ

بر ۷۴۱۷۹ نفر می باشد. شهر رامسر از نظر جغرافیایی در ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است و دارای آب و هوای معتدل و مرطوب می باشد. در این پژوهش، غلظت گاز رادن در ۱۹ واحد مسکونی مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه گیری غلظت گاز رادن معاصر و گذشته نگر با استفاده از آشکارساز رد پای هسته ای حالت جامد انجام شد. در انجام این تحقیق به دلیل استقامت، استحکام، حساس بودن به ذرات باردار، در دسترس بودن و سهولت کاربرد از فیلم های پلی کربنات که یکی از آشکارسازهای رد پای هسته ای حالت جامد می باشد، استفاده گردید.

برای اندازه گیری غلظت گاز رادن معاصر این فیلم ها در قطعات ۲/۵×۲/۵ سانتیمتر مربع برش داده شد و در انتهای اتاقک نفوذی گاز رادن قرار داده شد. شکل (۱) اجزای تشکیل دهنده اتاقک نفوذی گاز رادن را نشان می دهد. آشکارسازهای مورد نظر به مدت ۶ ماه در زمستان و بهار در اتاق خواب و نشیمن و در ارتفاع ۵۰ تا ۹۰ سانتی متری از کف زمین، دور از پنجره و نور آفتاب نصب شد.



شکل (۲): طریقه نصب آشکارساز گذشته نگر روی سطح شیشه.

پس از پایان شش ماه، آشکارسازها در داخل پوشش آلومینیومی قرار گرفته و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در مرحله بعد آشکارسازهای پلی کربنات در بین محفظه سلولی قرار گرفتند. در یک سمت محفظه سلولی محلول PEW که شامل درصد جرمی ۴۵٪ آب و ۴۰٪ الکل اتیلیک و ۱۵٪ پتاس می باشد و در سمت دیگر محفظه سلولی محلول اسید کلریدریک ۳٪ ریخته شد. خورش الکتروشیمیایی تحت

درپوش و پنجره ورودی

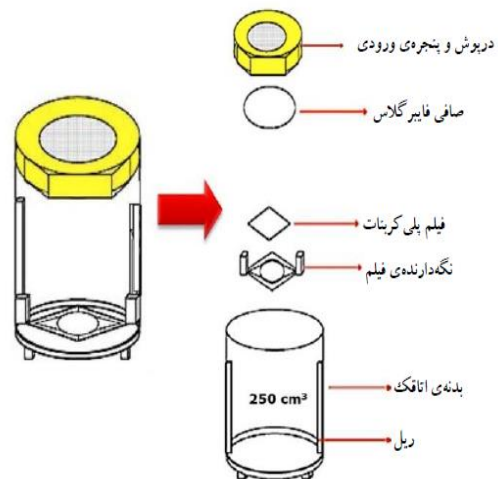
صافی فایبر گلاس

فیلم پلی کربنات

نگه دارنده فیلم

بدنه اتاقک 250 cm<sup>3</sup>

دبیل



شکل (۱): اجزای اتاقک نفوذی گاز رادن [۱۵].

برای اندازه گیری غلظت گاز رادن گذشته نگر از روش مبتنی بر کاشت پلونیوم ۲۱۰ در سطوح شیشه ای از روش تله سطحی

شرایط ولتاژ ۸۰۰ ولت، فرکانس ۲ کیلو هرتز، دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و به مدت سه ساعت انجام گرفت. پس از سپری فرایند خورش ردپاهای ثبت شده روی فیلم شمارش شد. با شمارش تراکم ذرات آلفای ثبت شده روی فیلم‌های پلی‌کربناتی که در انتهای اتاقک نفوذی گاز رادن قرار داشتند، میانگین غلظت گاز رادن معاصر در هوای داخل ساختمان از طریق رابطه (۱) بدست می‌آید.

۰/۰۶۴۵۶ گزارش شده است. با توجه به دانستن میزان فعالیت پلونیوم ۲۱۰ از طریق رابطه (۳) می‌توانیم غلظت گاز رادن گذشته‌نگر را بر حسب بکرل بر متر مکعب محاسبه نماییم [۱۴].

$$C_{Rn(Retrospective)} = \frac{245 \times A_{Po210}}{(1 - e^{-\lambda_{Pb210} t})} \quad (3)$$

در این رابطه  $A_{Po210}$  فعالیت پلونیوم ۲۱۰ و واحد آن  $mBq/cm^2$  می‌باشد.  $\lambda_{Pb210}$  ثابت استحالته سرب ۲۱۰ که مقدار آن ۰/۰۳۱ بر سال و  $t$  مدت زمان عمر شیشه مورد استفاده بر حسب سال می‌باشد.

در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ORIGINE مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون تی مستقل و آنالیز واریانس با سطح معنی‌دار آماری  $P < 0/05$  استفاده شد.

### ۳. بحث و نتایج

در مطالعه حاضر، ۱۹ ساختمان مسکونی در منطقه سادات محله شهر رامسر انتخاب گردید. در شکل (۳) نمودار مربوط به غلظت رادن معاصر در اتاق خواب و نشیمن نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین غلظت اندازه‌گیری گاز رادن معاصر  $1547 Bq/m^3$  و کم‌ترین آن  $18 Bq/m^3$  می‌باشد. همچنین با توجه به این‌که میانگین غلظت گاز رادن معاصر در اتاق خواب  $447 Bq/m^3$  و در اتاق نشیمن  $386 Bq/m^3$  بدست آمد (شکل (۳)) بنابراین به طور متوسط غلظت گاز رادن در اتاق خواب واحدهای مسکونی، بیش‌تر از غلظت گاز رادن در اتاق نشیمن بوده است.

$$C_{Rn(Contemporary)} = \frac{N_T - N_{T0}}{(t \times K)} \quad (1)$$

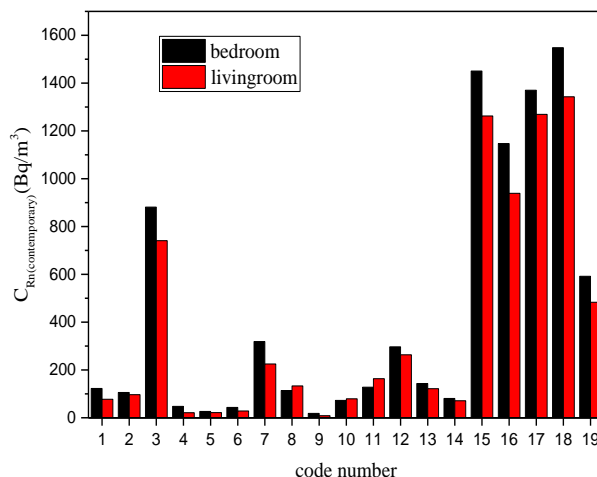
در این رابطه  $C_{Rn(contemporary)}$ ، غلظت گاز رادن معاصر بر حسب بکرل بر متر مکعب و  $N_T$  تعداد ردپای ثبت شده روی فیلم پلی‌کربنات و  $N_{T0}$  تعداد ردپای زمینه بر حسب  $Track/cm^2$  و  $t$  مدت زمانی که آشکارسازها در محل قرار گرفتند و  $k$  ضریب حساسیت نسبت به فیلم پلی‌کربنات می‌باشد و مقدار آن  $13/55 track.cm^2/(Bq.l^{-1}.day)$  می‌باشد [۱۵].

با شمارش ردپای ثبت شده روی فیلم‌های پلی‌کربنات که روی سطح شیشه چسبانده شده بودند، فعالیت اکتیویته پلونیوم ۲۱۰ بر حسب  $mBq/cm^2$  در شیشه از طریق رابطه (۲) تعیین گردید.

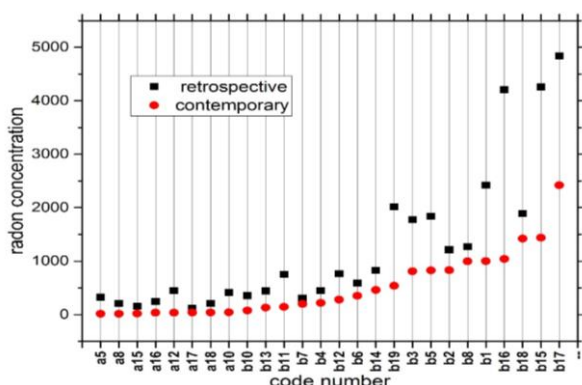
$$A_{Po210} = \frac{N_T - N_{T0}}{(T \times K)} \quad (2)$$

در این رابطه  $N_T$  تعداد ردپای ثبت شده روی فیلم نصب شده روی شیشه بر حسب  $track/cm^2$  و  $N_{T0}$  ردپای زمینه روی فیلم پلی‌کربنات و  $T$  مدت زمانی است که آشکارساز روی شیشه نصب می‌شود و  $K$  فاکتور حساسیت پلونیوم ۲۱۰ نسبت به فیلم پلی‌کربنات است که توسط سازمان انرژی اتمی اندازه‌گیری و مقدار آن  $(track / cm^2) / (mBq.h.cm^2)$

۴۴۱	۰/۹۹	۱۳
۸۲۴	۱/۹۹	۱۴
۲۲۶۱	۱۰/۵۳	۱۵
۲۲۱۰	۱۰/۴	۱۶
۲۸۲۴	۱۱/۹۶	۱۷
۱۸۸۸	۵/۱	۱۸
۲۰۱۶	۶/۴۸	۱۹



شکل (۳): غلظت گاز رادن معاصر در اتاق خواب و نشیمن در ۱۹ واحد مسکونی شهر رامسر.



شکل (۴): مقایسه بین غلظت گاز رادن گذشته نگر با غلظت گاز رادن معاصر (Bq/m³).

در اندازه گیری غلظت گاز رادن گذشته نگر که از روش فعالیت پلونیوم ۲۱۰ کاشته شده در سطوح شیشه ای استفاده گردید. نتایج حاصل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): غلظت گاز رادن گذشته نگر بر اساس فعالیت پلونیوم ۲۱۰ کاشته شده در سطوح شیشه ای.

کد واحد	فعالیت پلونیوم ۲۱۰ (mBq/cm²)	غلظت رادن گذشته نگر (Bq/m³)
۱	۲/۱۷	۲۴۲۰
۲	۱/۳۲	۱۲۱۴
۳	۱/۹۲	۱۷۷۳
۴	۰/۵۶	۴۴۳
۵	۰/۴۶	۳۰۴
۶	۰/۸۹	۵۹۱
۷	۲/۷۹	۱۸۴۰
۸	۲/۳	۱۲۶۶
۹	۰/۷۱	۳۷۹
۱۰	۰/۶۶	۳۵۲
۱۱	۱/۶۵	۷۵۱
۱۲	۱/۶۷	۷۶۰

شکل (۴) مقایسه بین غلظت گاز رادن معاصر با غلظت گاز رادن گذشته نگر را نشان می دهد. میانگین غلظت گاز رادن گذشته نگر  $1292 \text{ Bq/m}^3$  و میانگین غلظت گاز رادن معاصر در اتاق خواب  $447 \text{ Bq/m}^3$  و در اتاق نشیمن حدود  $386 \text{ Bq/m}^3$  می باشد. بنابراین غلظت گاز رادن گذشته نگر حدود ۳ برابر بیشتر از غلظت گاز رادن معاصر می باشد. این تغییرات ممکن است بدلیل تغییر در معماری داخل خانه ها یا تغییر انجام گرفته ناشی از بازسازی خانه ها، یا تغییر در وسایل مصرفی خانه ها مانند تغییر سیستم گرمایش از بخاری های گازی و یا نفتی به شوفاژ و یا حتی تغییر در عادات زندگی فردی باشد. البته محل قرار گرفتن اشیا شیشه ای داخل خانه ها هم روی غلظت گاز رادن گذشته نگر تاثیرگذار است زیرا گاهی اوقات شی در مکانی قرار می گیرد که آنجا فعالیت کاشت بیشتر

صورت می‌گیرد. البته تغییر در پارامترهای اتاق مانند تغییر در غلظت و اندازه آبروسلهای توزیع شده، نرخ تهویه و نسبت سطح به حجم و سرعت نشست ذرات چسبیده و نچسبیده نیز می‌تواند تاثیرگذار باشد. به عنوان مثال سیگار کشیدن یک فرد باعث تغییر در غلظت و اندازه آبروسلهای توزیع شده خواهد شد. این که یک فرد سیگاری چند نخ در طی یک روز سیگار مصرف می‌نماید اهمیت دارد و یا تغییر در عادات مصرف نیز منجر به تغییر پارامترها خواهد شد.

جدول (۲) مروری بر اندازه‌گیری‌های غلظت گاز رادن در رامسر به روش های فعال و غیرفعال می باشد. سهرابی و سلیمانیان در سال ۱۹۸۸، با استفاده از اتاقک نفوذی گاز رادن به روش غیرفعال به مدت سه ماه غلظت گاز رادن در منازل مسکونی رامسر را حدود  $578 \text{ Bq/m}^3$  اندازه‌گیری کرده‌اند. باباپور در سال ۱۳۷۸ با استفاده از اتاقک نفوذی گاز رادن به

روش غیرفعال به مدت شش ماه در فصل پاییز و زمستان غلظت گاز رادن در منازل مسکونی رامسر را حدود  $\text{Bq/m}^3$  ۴۱۲ برای فصل زمستان و  $546 \text{ Bq/m}^3$  برای فصل پاییز اندازه‌گیری کرده است. مطالعات عفاف و همکاران در سال ۲۰۱۴، با استفاده از اتاقک نفوذی گاز رادن و آشکار ساز پلی‌کربنات (به روش غیرفعال) در منازل مسکونی رامسر، میانگین غلظت گاز رادن در فصل سرد را  $449-496 \text{ Bq/m}^3$  و برای فصل گرم  $325-399 \text{ Bq/m}^3$  گزارش کرده است. مهدی‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۴ رادن منازل مسکونی رامسر را با استفاده از دستگاه فعال پراسی ( ۲۴ ساعت در اتاق بدون تهویه)  $1615 \text{ Bq/m}^3$  گزارش کرده‌اند. الله‌وردی و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری SARAD به روش فعال، غلظت گاز رادن در منازل مسکونی رامسر را حدود  $465 \text{ Bq/m}^3$  اندازه‌گیری کرده‌اند

جدول (۲): مقایسه اندازه گیری های انجام شده در رامسر و داده های بدست آمده در این تحقیق.

ردیف	عنوان	مجرى/نگارنده	سال انجام	محل اندازه گیری	روش اندازه گیری	مدت زمان اندازه گیری	میانگین غلظت (Bq/m <sup>3</sup> )
۱	Indoor radon level measurements in some regions of Iran.	M. Sohrabi and Solaymanian (۱۸)	1988	منازل مسکونی رامسر	The AEOI passive radon diffusion dosimeter / polycarbonate		The mean radon levels in Ramsar, 578 Bq.m-3,
۲	پایان نامه = تعیین دز موثر مردم رامسر از استنشاق گاز رادن	باباپوران - سهرابی (۱۹)	۱۳۷۸	منازل مسکونی رامسر	The AEOI passive radon diffusion dosimeter / polycarbonate	۶ ماه	میانگین فصل پاییز: ۵۴۶Bq.m-3 میانگین فصل زمستان: ۴۱۲Bq.m-3
۳	Measurement of Radon-222 in Soil Samples and Dwellings of Ramsar City Iran	M.J. Efaaf, et.al (۲۰)	2014	منازل مسکونی رامسر	The AEOI passive radon diffusion dosimeter / polycarbonate	۶ ماه	میانگین فصل سرد: 496/ 449 Bq.m-3 میانگین فصل گرم: 325/399 Bq.m-3
۴	Natural ventilation considerations for radon prone areas of Ramsar	L.A. Mehdipour et.al (۲۱)	2014	"	Active PRASSI	۲۴ ساعت در اتاق بدون تهویه	1615 ±516 Bq/m <sup>3</sup>
۵	Assessment of Effective Dose Equivalent from Internal Exposure to 222Rn in Ramsar City	T.Allahverdi Pourfallah et .al (۲۲)	2015	"	Active SARAD Radon/Thoron Monitor		This study showed that indoor 222Rn concentration reached to 465 Bq/m3 in one of the selected regions (TaleshMahalleh) in early morning (5-8 a.m.).
۶	اندازه گیری گاز رادن رادن معاصر و گذشته نگر در منازل مسکونی رامسر (به روش غیر فعال)	آزادبر و همکاران	۱۳۹۶	"	The AEOI passive radon diffusion dosimeter / polycarbonate		متوسط غلظت میانگین اندازه گیری شده معاصر با روش غیر فعال حدود ۴۱۶ Bq/m <sup>3</sup> و به روش گذشته نگر حدود ۱۲۹۹ Bq/m <sup>3</sup> می باشد.

### ۳. نتیجه‌گیری

منابع پرتوزای طبیعی عامل اصلی پرتوگیری بشر محسوب می‌شود و رادن به عنوان مهم‌ترین منبع پرتوزای طبیعی محسوب می‌گردد. با توجه به این‌که سازمان بهداشت جهانی به افزایش ریسک ابتلا به سرطان ریه ناشی از استنشاق گاز رادن اذعان کرده است، اندازه‌گیری و پایش این گاز و تهیه نقشه جامع پرتوزایی رادن در کشور ضروری به نظر می‌رسد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده این است که غلظت گاز رادن در ۴۵٪ منازل منطقه سادات محله شهر رامسر بیشتر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان حفاظت زیست آمریکا می‌باشد. لذا روش‌هایی جهت کاهش گاز رادن در منازل مسکونی این منطقه مانند تهویه مناسب و مصالح مقاوم در پی ریزی ساختمان‌ها، استفاده از دال‌های بتنی یک‌پارچه و کف‌سازی یک‌پارچه ضروری به نظر می‌رسد. هم‌چنین نتیجه دیگر این تحقیق نشان داد که غلظت گاز رادن گذشته‌نگر حدود ۳ مرتبه

بیش‌تر از غلظت گاز رادن معاصر است که این اختلاف می‌تواند به دلیل عدم اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط باشد. برای ارزیابی دقیق‌تر می‌توان عواملی مانند نسبت سطح به حجم اتاق با در نظر گرفتن وسایل موجود و اندازه‌گیری نرخ تهویه و اندازه‌گیری غلظت آیروسل‌ها نیز در نظر گرفته شود. هم‌چنین به پارامترهای سرعت نشست ذرات متصل شده و متصل نشده پلونیوم ۲۱۸ و پلونیوم ۲۱۴ توجه گردد و روش‌هایی برای اندازه‌گیری این پارامترها ارائه شود.

### ۴. قدردانی

از همکاری صمیمانه بخش حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران که تامین‌کننده وسایل مربوط به اندازه‌گیری ردپاهای ثبت شده روی فیلم پلی‌کربنات بود تشکر و قدردانی می‌گردد.



## ۵. مراجع

- [1] Kh. Amgarou, PhD Thesis, "Long Term Measurements of Indoor Radon and its Progeny in the Presence of Thoron Using Nuclear Track Detectors" A Novel Approach, April, 2002.
- [2] NCRP, Environmental radiation Measurements. National Council on Radiation Protection and Measurement. NCRP No.50, Washington, 1976.
- [3] NCRP, Evaluation of occupational and Environmental Exposures to Radon and Radon Daughters in the United States. NCRP report No.78, 1984 b.
- [4] Health Risks of RADON and other Internally Deposited Alpha Emitter – BEIR IV. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation Effects Research –Commission on Life Sciences – National Research Council ,1988.
- [5] K. Verij-kazemi, N. Mansouri, F. Moattar, S.M. Khezri. Assessment of concentration and the annual effective dose of radon gas in imam hospital indoor air. J Health Res Comm. 2(2)(2016)1-8.
- [6] B.P. Jelle. Development of a model for radon concentration in indoor air. Sci Total Environ J 416(2012)343-350.
- [7] M. Tirmarche, J. Harrison, D. Laurier, E. Blanchardon, F. Paquet, J. Marsh. Risk of lung cancer from radon exposure: contribution of recently published studies of uranium miners. Annals of the ICRP. 41(2012)368-77.
- [8] WHO, Handbook on Indoor Radon, A public Health Perspective, 2009.
- [9] E. Gawetek, B. Drozdowska, A. Fuch. Radon as a risk factor of lung cancer. PRZEGL Epidemiol. 71(2017) 90-98.
- [۱۰] محمدجعفری، فرهاد. مولوی، علی اصغر. بینش، علیرضا. اندازه گیری گاز رادن و تورون در مجاور گسیلهای فعال شمال شرق ایران، مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۲، شماره ۴، (۱۳۹۳) ۳۳-۳۸.
- [11] M.E. Kito, J.G. Green. Mapping the indoor radon potential in New York at the township level. Atmos. Environ. 42(34)(2007)8007-8014.
- [12] A. Cucoş, C. Cosma, T. Dicu, et al. Trough investigations on indoor radon in Băița radon-prone area(Romania). Sci Total Environ J. 431(2012)78-83.
- [13] K. Hadad, R. Doulatdar, S. Mehdizadeh, Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. J Environ Radioactiv. 95(1)(2007)39-52.
- [14] T. Dicu, S.E. Armencea, B. Burgehele, C. Cosma, Retrospective Dosimetry of Radon Gas Based on The Activity of  $^{210}\text{Po}$  in Glass Objects, Rom J Phys. 59(9-10)(2014),1067-1073.
- [15] S.M. Hossini-Pooya, M. Taheri, F. Torabi-Nabil, M. Shamsaie-Zafarghandi. The response of radon diffusion chamber using a new calibration method and its results in an international intercomparison . J of Nuclear Sci and Tech. 65(2013)17-22.
- [16] D. Nikezic, K.N. Yu, Modelling radon progeny behavior on surfaces and note on radon retrospective dosimetry. Radiat Prot Dosim, 82(2)(1999)141-146.
- [17] R.S. Lively, E.P.Ney, surface radioactivity resulting from the deposition of Rn222 daughter products . Health phys. 52(1987) 411-415.
- [18] M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, Indoor radon level measurements in some regions of Iran, Int J Rad Appl Instrum,15(1988) 613-6.
- [۱۹] مزگان باباپوران- پایان نامه کارشناسی ارشد- تعیین دز موثر مردم رامسر از استنشاق گاز رادن-دانشگاه امیر کبیر ۱۳۷۸ .
- [20] M.J. Efaaf, A. Samani, M.R. Kradan1,N. Rastkhah, M. Ghanadi, et al. Measurement of Radon-222 in Soil Samples and Dwellings of Ramsar City Iran, 8th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Prague, Czech Republic , September 1 - 5, 2014.
- [21] L.A. Mehdipour, S.M.J. Mortazavi, E.B. Saion, H. Mozdarani, et al. Natural ventilation considerations for radon prone areas of Ramsar, Int J Radiat Res, 12(2014)- 69-74.
- [22] T. Allahverdi Pourfallah1, S. M. Mousavi, M. Shahidi, Assessment of Effective Dose Equivalent from Internal Exposure to  $^{222}\text{Rn}$  in Ramsar City, Iran J Med Physic, 12(2015) 36-42.

