مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۶، اسفند ۱۳۹۶، ۱۱۳۷-۱۱۲۷

اندازه‌گیری غلظت گاز رادون محلول در آب‌های زیرزمینی شهرستان زرند و برآورد دوز سالیانه گاز رادون جذب شده در سال ۱۳۹۵

مجتبی رحیمی[۱]، احمد اسدی محمد آبادی[۲]، لیلا جباری کوپایی[۳]

دریافت مقاله: ۹۶/۸/۹ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۶/۱۰/۱۰ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۶/۱۲/۵ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۲/۶

چکیده

زمینه و هدف: ورود غلظت‌های بالای گاز رادون از دو طریق آشامیدن و استنشاق گاز رادون متصاعد شده از آب، می‌تواند باعث سرطان ریه گردد. هدف از این مطالعه، اندازه‌گیری غلظت گاز رادون محلول در آب‌های زیرزمینی و تعیین دوز مؤثر جذب شده سالانه گاز رادون در شهرستان زرند می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه توصیفی بوده و اندازه‌گیری در سال ۱۳۹۵ بر روی ۴۸ نمونه چاه کشاورزی منطقه زرند که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، انجام گردید. غلظت گاز رادون محلول در آب با استفاده از آشکارساز الکترونیکی قابل حمل RAD7 اندازه‌گیری و دوز جذبی سالیانه رادون برای بزرگسالان و کودکان محاسبه شد. داده‌ها توسط آزمون آماری t تک نمونه‌ای مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

یافته‌ها: حداقل و حداکثر مقادیر غلظت گاز رادون نمونه‌ها به ترتیب ۴/۶۶۷±۲/۰۷۷ و ۳۱/۵۵۰±۴/۹۱۲ بکرل بر لیتر بود. بنابراین، حداقل و حداکثر مقادیر دوز جذبی سالیانه رادون بزرگسالان، ناشی از مصرف آب نمونه‌های مذکور، به ترتیب ۴۵/۷۳۶±۲۰/۳۵۴ و ۳۰۹/۱۹۰±۴۸/۱۳۷ میکروسیورت بر سال، و برای کودکان ۶۲/۷۷۰±۲۷/۹۳۵ و ۴۲۴/۳۴۷±۶۶/۰۶۶ میکروسیورت بر سال می‌باشند. بررسی دقیق‌تر داده‌ها توسط آزمون t تک نمونه‌ای نشان می‌دهد که مقادیر دوز جذبی سالیانه به طور معنی‌داری ($p=۰/۰۱۷$) برای بزرگسالان و $p<۰/۰۰۱$ برای کودکان) از حد استاندارد بالاتر هستند.

نتیجه‌گیری: غلظت گاز رادون محلول در آب منطقه زرند بالا بود که می‌توان با عدم استفاده از آب در محل چاه و هوادهی آن در مخزن و همچنین آگاهی بخشی کشاورزان از مقدار زمینه غلظت گاز رادون محلول درآب چاه‌های کشاورزی، پرتوگیری طبیعی آنان را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: گاز رادون، دوز جذب شده، آب‌های زیرزمینی، زرند، آشکارساز RAD7

۱- (نویسنده مسئول) استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی‌عصر(عج) ، رفسنجان، ایران
تلفن ۳۱۳۱۲۴۲۴-۰۳۴، دورنگار: ۳۱۳۱۲۱۸۵-۰۳۴، پست الکترونیکی: m_rahimi@vru.ac.ir
۲- مربی گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران
۳- مربی گروه آمار دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

مقدمه

پرتوگیری بشر و موجودات زنده با اشعه‌های یون‌ساز از منابع طبیعی، یک ویژگی مداوم و اجتناب‌ناپذیر زندگی بر روی کره زمین است. بنابر اطلاعات منتشر شده توسط کمیته علمی اثرات تابش اتمی ایالات متحده (United Nations Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiations)، استنشاق گاز رادون و دختران آن مهم‌ترین فاکتور در پرتوگیری انسان از منابع رادیواکتیو طبیعی می‌باشند [۵-۱]. گاز رادون تقریباً ۵۵ درصد از تابش طبیعی را که افراد در معرض آن قرار می‌گیرند به خود اختصاص می‌دهد [۷-۶، ۱]. رادون یک گاز خنثی و قابل حل در آب است که محصول واپاشی رادیوم (^{226}Ra) در زنجیره واپاشی اورانیوم (^{238}U) می‌باشد.

رادون و هسته‌های دختر آن که پولونیوم ۲۱۸ (^{218}Po) و پولونیوم ۲۱۴ (^{214}Po) می‌باشند، ذرات آلفا با برد کوتاهی در حد چند نانومتر از خود گسیل می‌نمایند. با توجه به اینکه پرتوگیری طبیعی بدن انسان عمدتاً دارای دو منشأ داخلی و خارجی می‌باشد این ذرات به دلیل برد کوتاهشان، اگر در خارج از بدن ساطع شوند باعث هیچ آسیبی نمی‌گردند؛ اما در داخل بدن به علت انرژی زیادشان (حدود ۵/۵ مگاالکترون ولت) سبب تخریب DNA در بافت‌های حساس داخلی از جمله ریه می‌شوند [۹-۸].

منبع اصلی گاز رادون، اورانیوم موجود در خاک و سنگ می‌باشد. در اثر واپاشی رادیوم (^{226}Ra)، اتم‌های رادون (^{222}Rn) از دانه‌های خاک بیرون می‌آیند و به آب‌های زیرزمینی یا فضاهای خالی در اطراف دانه‌های خاک منتقل می‌شوند و در نهایت به داخل هوا راه می‌یابند [۱۲-۱۰].

آب تهیه شده برای مصارف خانگی عمدتاً از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شوند. بنابراین میزان حلالیت گاز رادون در آب‌های زیرزمینی به عنوان یک پارامتر قابل توجه به حساب می‌آید و مطالعات زیادی در این زمینه به عمل آمده است. گاز رادون محلول در آب از دو طریق آشامیدن آب و استنشاق گاز رادون متصاعد شده از آن در هوا (خصوصاً در فضاهای بسته) وارد بدن می‌گردد. این گاز از طریق تنفس وارد ریه می‌گردد و استنشاق آن در محیط‌های بسته مانند حمام، آشپزخانه و دستشویی به دلیل انباشته شدن بیش از حد گاز رادون و بالا رفتن غلظت آن می‌تواند خطراتی را برای سلامتی افراد داشته باشد [۱۳-۱۲]. به دلیل نیمه عمر نسبتاً طولانی گاز رادون، قسمتی از رادون وارد شده به ریه بدون واپاشی خارج می‌گردد. اما کسری از رادون که در ریه باقی می‌ماند، با گسیل ذرات آلفای پرانرژی به دختران خود واپاشی می‌کند. چون نیمه عمر دختران رادون بسیار کوتاه می‌باشد، تقریباً تمام آنها با گسیل ذرات آلفا و چسبیدن این ذرات به سلول‌های ریه و شش‌ها، باعث تخریب آنها می‌شوند [۹، ۷]. بنابر گزارش سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization)، گاز رادون دومین عامل سرطان ریه پس از سیگار است که از عمده مشکلات سلامتی در کشورهای توسعه یافته است [۱۵-۱۴]. مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در زنان دو برابر مرگ و میر ناشی از سرطان پستان است [۱۶]. عوارض دیگر ناشی از پرتوگیری بیش از حد از گاز رادون شامل سرفه مداوم،

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

تنفس سخت، درد قفسه سینه، سرفه خونی، خشونت صدا و عفونت‌های تنفسی حادی مزمن از جمله ذات‌الریه یا برونشیت می‌باشند [۱۹-۱۷، ۹]. همچنین بلع رادون از طریق آشامیدن آب، باعث تجمع گاز رادون در ناحیه معده می‌شود و در نتیجه ساطع شدن ذرات آلفا در معده، بافت‌های مختلف در این ناحیه آسیب می‌بینند [۲۰].

مقادیر اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی غلظت گاز رادون آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف جهان از ۱ تا ۱۰۰ بکرل بر لیتر متغیر است. حد مجاز تعیین شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست (Environmental Protection Agency)، ۱۱ بکرل بر لیتر می‌باشد [۴-۲، ۱]. همچنین بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز پیشنهادی سطح دوز مؤثر ناشی از مصرف آب آشامیدنی در حدود ۱۰۰ میکروسیورت برسال می‌باشد که شامل دوز ناشی از ^{3}H، ^{4}K، ^{222}Rn و دختران آن می‌باشد [۱۵]. از سوی دیگر، بنابر اعلام کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع (International Commission on Radiological Protection)، حد مجاز دوز مؤثر ناشی از گاز رادون چه به صورت محلول در آب و چه به صورت گاز موجود در هوا ناشی از منابع مختلف از قبیل مصالح ساختمانی، گاز رادون خارج شده از سطح زمین و دیگر منابع، ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میکروسیورت بر سال می‌باشد [۲۲-۲۱، ۴].

در مطالعات انجام گرفته در کشور هند توسط Rani و همکاران، منابع آب ۶۵ روستا توسط دستگاه RAD7 اندازه‌گیری شد و حداقل و حداکثر مقادیر ۸/۸۲ و ۴۹/۹۸ میکروسیورت بر سال برای دوز جذبی سالیانه بزرگسالان به دست آمد [۲۳]. همچنین Kandari و همکاران غلظت گاز رادون ۱۵ نمونه آب را در منطقه Dehradun که در نزدیکی گسل فعال قرار داشت اندازه‌گیری نمودند و مقادیر ۱/۷ تا ۵۷/۷ بکرل بر لیتر را برای غلظت این گاز به دست آوردند [۱]. در اسپانیا، Fonollosa و همکاران غلظت گاز رادون ۱۵ چشمه آب را در جنوب Catalonia اندازه‌گیری نمودند و مقادیر غلظت گاز رادون را در محدوده ۱/۴ تا ۱۰۵ بکرل بر لیتر به دست آوردند [۱۲]. در ایران Asadi و همکاران غلظت گاز رادون ۳۶ نمونه از آب‌های کشاورزی و منابع آب شرب را در منطقه رفسنجان و انار اندازه‌گیری نمودند و حداقل و حداکثر مقادیر غلظت گاز رادون را برای منابع آب شرب به ترتیب ۰/۱۲±۰/۳۲ و ۲/۴۵±۱۳/۹۰ بکرل بر لیتر و برای آب چاه‌های کشاورزی حداقل و حداکثر مقادیر غلظت گاز رادون را به ترتیب ۱/۲۵±۳/۶۸ و ۳/۸۷±۲۴/۵۱ بکرل بر لیتر به دست آوردند [۱۹]. همچنین در ایران Malakootian و همکاران، در ۲ مطالعه جداگانه غلظت گاز رادون را در منابع آب شرب در دو منطقه اطراف گسل لاله‌زار و گسل رفسنجان اندازه‌گیری نموده‌اند که حداقل و حداکثر مقادیر غلظت گاز رادون محلول در آب را در اطراف گسل لاله‌زار، به ترتیب ۰/۷۴ و ۲۶/۸۸ بکرل بر لیتر و در روستاهای اطراف گسل رفسنجان این مقادیر را به ترتیب ۰ و ۱۸/۴۸ بکرل بر لیتر به دست آورده‌اند [۲۵-۲۴].

با توجه به مطالعات انجام گرفته در مناطق مجاور شهرستان زرند از جمله شهرستان رفسنجان و پیش‌بینی یالا بودن غلظت گاز رادون محلول در آب دیگر مناطق استان، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری غلظت گاز رادون

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

محلول در آب‌های زیرزمینی شهرستان زرند و برآورد دوز سالیانه گاز رادون جذب شده و همچنین ارائه پیشنهادات و راه‌کارهای لازم جهت کاهش پرتوگیری ناشی از گاز رادون می‌باشد.

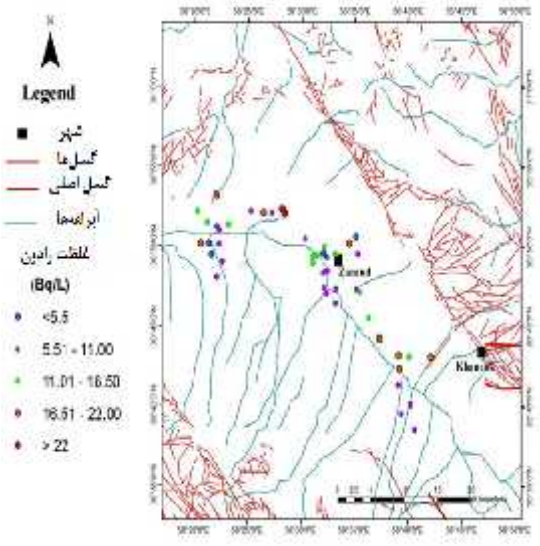
مواد و روش‌ها

این مطالعه نتیجه یک کار توصیفی بوده که در نیمه شهریور سال ۱۳۹۵ انجام گرفته است. بر اساس آمار ارائه شده توسط مرکز آمار کشور، جمعیت کل شهرستان زرند در سرشماری سال اخیر (۱۳۹۵)، ۱۳۸۱۳۳ نفر می‌باشد که از این تعداد ۶۹۶۸۲ نفر مرد و ۶۸۴۵۱ نفر زن می‌باشند [۲۶]. در منطقه زرند دو گسل فعال مهم کوهبنان و داوران وجود دارد [۲۷]. نمونه‌های مورد نظر برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادون، بر اساس تعداد و نحوه توزیع چاه‌های آب منطقه و همچنین وجود گسل‌های فعال و ساختار زمین‌شناسی منطقه انتخاب شدند. در این تحقیق، جامعه آماری، کلیه چاه‌های آب واقع در شهرستان زرند و نواحی اطراف آن می‌باشد. تعداد کل چاه‌های منطقه حدود ۷۰۰ حلقه (حجم جامعه) می‌باشند [۲۸]. برای تعیین حجم نمونه از معادله (۱) استفاده گردیده است.

معادله (۱)

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

که در آن $n_0 = \left(\frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}.S}{d} \right)^2$ و N حجم جامعه می‌باشد [۲۹]. همچنین در یک بررسی مقدماتی، انحراف معیار S =۵/۴۸ به دست آمد و با در نظر گرفتن حداکثر خطای برآورد (d=۱/۵) حجم نمونه ۴۸ به دست می‌آید. سپس ۴۸ نمونه به روش تصادفی طبقه‌ای از چاه‌های منطقه انتخاب گردید.



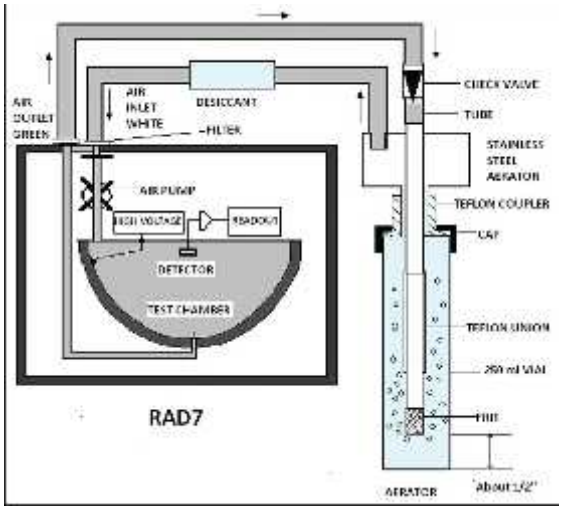
شکل ۱- مکان نمونه‌های انتخابی به همراه محدوده غلظت‌های رادون نمونه‌ها.

برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادون محلول در آب از دستگاه الکترونیکی قابل حمل RAD7 ساخت شرکت DURRIGE و بر اساس پروتکل استاندارد همراه دستگاه استفاده شد. این دستگاه از نوع آشکارسازهای فعال می‌باشد و بر اساس میزان انرژی ذرات آلفای گسیل شده از رادون و تورون عمل می‌کند. به همراه این دستگاه بطری شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری برای برداشت نمونه آب وجود دارد. پس از برداشت نمونه آب توسط این بطری، دستگاه با استفاده از یک سیکل بسته در مدت زمان ۵ دقیقه حباب‌سازی می‌نماید که در این مدت تقریباً ۹۴ درصد رادون از آب جدا می‌شود. بعد از ۵ دقیقه پمپ خاموش می‌گردد و دستگاه برای رسیدن به حالت تعادل ۵ دقیقه منتظر می‌ماند. بعد از رسیدن به حالت تعادل میان آب، هوا و دختران رادون چسبیده به آشکارساز سیستم،

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در ۴ مرحله ۵ دقیقه‌ای شروع می‌شود[۳۰].



الف



ب

شکل۲- الف) شماتیک سیکل اندازه‌گیری گاز رادون محلول در آب [۲۷] و ب) چیدمان تجربی اندازه‌گیری توسط RAD7

در مدت زمان اندازه‌گیری، گاز ^{222}Rn درون اتاقک واپاشی کرده و ذرات آلفا تولید می‌شوند. آشکارساز هر ذره آلفا را با توجه به انرژی آن ثبت می‌کند و از روی تعداد ذرات ثبت شده غلظت رادون را مشخص می‌نماید[۳۱].

مقدار دوز مؤثر سالیانه جذب شده ناشی از آشامیدن را می‌توان با استفاده از معادله (۲) محاسبه نمود [۲۲-۲۱].

معادله (۲) $E = K.C.KM.t$

در این رابطه، E، مقدار دوز موثر سالیانه ناشی از آشامیدن آب بر حسب سیورت بر سال، K فاکتور تبدیل دوز آشامیدنی ^{222}Rn که برای بزرگسالان (افراد با سن بیشتر از ۱۰)، $۱۰^{-۸}$ و برای کودکان (افراد زیر ۱۰ سال)، ۲×۱۰^{-۸} سیورت بر سال می‌باشد. همچنین، C، غلظت گاز رادون بر حسب بکرل بر لیتر، KM میزان مصرف آب (متوسط ۲ لیتر بر روز برای بزرگسالان و ۱/۵ لیتر برای کودکان) و t مدت زمان مصرف در کل سال یعنی ۳۶۵ روز می‌باشد. دوز موثر سالانه ناشی از استنشاق گاز رادون آزاد شده از آب را می‌توان با در نظر گرفتن: الف- زمان حضور هر فرد در خانه: حدود ۷۰۰۰ ساعت در سال ب- نسبت گاز رادون در هوا به گاز رادون محلول در آب خانگی : در حدود ۴ به ۱۰ ج- فاکتور تعادل بین گاز رادون و دختران آن : ۰/۴ د- فاکتور تبدیل در معرض قرار گرفتن رادون: ۹ نانو سیورت بر بکرل متر مکعب در ساعت ($nSv/Bqhm^3$) به دست آورد که این مقدار به ازای غلظت ۱ بکرل بر لیتر حدود ۲/۵ میکروسیورت بر سال ($\mu Sv/year$) می‌باشد.

در تجزیه و تحلیل داده‌ها از نسخه ۱۹ نرم افزار آماری SPSS استفاده گردیده است و داده‌ها با استفاده از آزمون t تک نمونه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

نتایج

نتایج غلظت گاز رادون نمونه‌های اندازه‌گیری شده بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/lit) و همچنین مقادیر دوز جذب شده سالیانه گاز رادون کودکان و بزرگسالان ناشی از استفاده مداوم از آب چاه کشاورزی بر حسب میکروسیورت بر سال در جدول ۱ آورده شده‌اند.

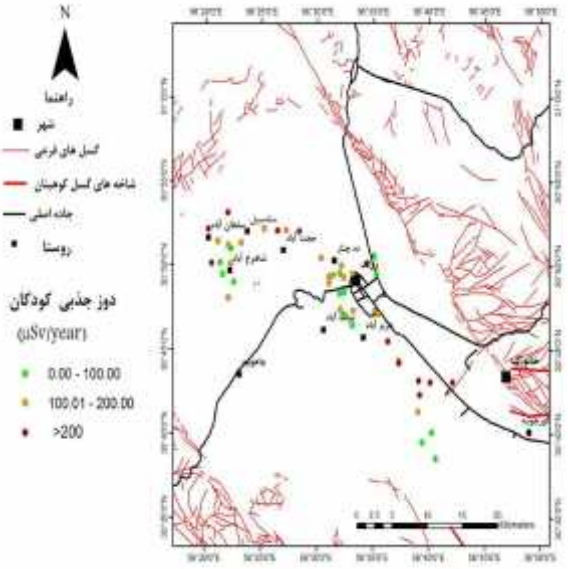
جدول ۱- مقدار غلظت گاز رادون محلول در آب نمونه‌ها و مقدار متوسط دوز جذبی سالیانه ناشی از آشامیدن و استنشاق گاز رادون در کودکان و بزرگسالان

شماره نمونه	غلظت (Bq/lit)	مقدار متوسط سالانه دوز جذبی ناشی از استنشاق و آشامیدن µSv/year		شماره نمونه	غلظت (Bq/lit)	مقدار متوسط سالانه دوز جذبی ناشی از استنشاق و آشامیدن µSv/year	
		کودکان	بزرگسالان			کودکان	بزرگسالان
۱	۹/۸۳±۲/۹۷	۱۳۲/۲۴±۵۷/۱۵	۹۶/۳۵±۱۵۴/۲۹	۲۵	۱۷/۰۵±۳/۶۸	۲۲۹/۳۲±۴۹/۵۲	۱۶۷/۰۹±۳۶/۰۸
۲	۵/۳۴±۲/۲۴	۷۱/۸۲±۳۰/۲۲	۵۲/۳۳±۲۲/۰۲	۲۶	۴/۶۶±۲/۰۷	۶۲/۷۷±۲۷/۹۳	۴۵/۷۳±۲۰/۳۵
۳	۴/۹۲±۲/۱۴	۶۶/۲۴±۲۸/۸۰	۴۸/۲۶±۲۰/۹۹	۲۷	۵/۸۵±۲/۲۷	۷۸/۷۰±۳۰/۵۹	۵۷/۳۴±۲۲/۲۹
۴	۱۸/۴۵±۳/۸۳	۲۴۸/۱۶±۵۱/۵۸	۱۸۰/۸۱±۳۷/۵۸	۲۸	۱۱/۵۷±۳/۰۷	۱۵۵/۶۸±۴۱/۳۱	۱۱۳/۴۳±۳۰/۱۰
۵	۱۴/۳۰±۳/۴۰	۱۹۲/۳۸±۴۵/۷۵	۱۴۰/۱۷±۳۳/۳۳	۲۹	۷/۲۳±۲/۵۲	۹۷/۲۸±۳۳/۹۰	۶۹/۳۰±۲۴/۱۵
۶	۷/۰۴±۲/۴۸	۹۴/۷۱±۳۳/۳۵	۶۹/۰۱±۲۴/۳۰	۳۰	۷/۲۴±۲/۵۲	۹۷/۴۷±۳۳/۹۰	۶۹/۴۰±۲۴/۱۵
۷	۱۰/۵۹±۲/۹۶	۱۴۲/۵۲±۳۹/۹۰	۱۰۳/۸۵±۲۹/۰۷	۳۱	۸/۱۵±۲/۶۴	۱۰۹/۶۳±۳۵/۵۲	۷۸/۹۸±۲۵/۵۹
۸	۱۳/۹۷±۳/۳۵	۱۸۷/۹۶±۴۵/۰۸	۱۳۶/۹۵±۳۲/۸۴	۳۲	۷/۶۵±۲/۵۴	۱۰۲/۸۹±۳۴/۱۶	۷۴/۹۷±۲۴/۸۹
۹	۷/۱۶±۲/۴۶	۹۶/۳۰±۳۳/۱۱	۷۰/۱۶±۲۴/۱۲	۳۳	۵/۸۱±۲/۲۷	۷۸/۲۳±۳۰/۵۵	۵۷/۰۶±۲۲/۲۶
۱۰	۸/۸۴±۲/۷۱	۱۱۸/۸۹±۳۶/۴۷	۸۶/۶۳±۲۶/۵۷	۳۴	۷/۰۶±۲/۴۵	۹۴/۹۵±۳۳/۰۱	۶۹/۱۸±۲۴/۰۵
۱۱	۱۵/۱۷±۳/۴۶	۲۰۴/۱۰±۴۶/۵۶	۱۴۸/۷۱±۳۳/۹۲	۳۵	۱۰/۹۸±۲/۹۹	۱۴۷/۷۴±۴۰/۲۴	۱۰۷/۶۵±۲۹/۳۲
۱۲	۱۸/۶۷±۳/۸۰	۲۵۱/۱۷±۵۱/۱۷	۱۸۳/۰۱±۳۷/۲۸	۳۶	۱۰/۷۵±۲/۹۷	۱۴۴/۶۱±۳۹/۹۷	۱۰۵/۳۶±۲۹/۱۲
۱۳	۹/۹۷±۲/۸۸	۱۳۴/۰۹±۳۸/۷۶	۹۷/۷۰±۲۸/۲۴	۳۷	۱۳/۴۰±۳/۲۹	۱۸۰/۲۳±۴۴/۲۵	۱۳۱/۳۲±۳۲/۲۴
۱۴	۹/۷۶±۲/۸۵	۱۳۱/۲۷±۳۸/۳۹	۹۵/۶۴±۲۷/۹۷	۳۸	۱۵/۹۷±۳/۵۷	۲۱۴/۸۶±۴۸/۰۸	۱۵۶/۵۵±۳۵/۰۳
۱۵	۱۶/۸۷±۳/۶۶	۲۲۶/۹۶±۴۹/۲۲	۱۶۵/۳۷±۳۵/۸۶	۳۹	۱۳/۰۰±۳/۲۳	۱۷۴/۸۵±۴۳/۵۱	۱۲۷/۴۰±۳۱/۷۰
۱۶	۲۱/۱۰±۴/۰۶	۲۸۳/۷۹±۵۴/۶۷	۲۰۶/۷۸±۳۹/۸۳	۴۰	۱۷/۴۰±۳/۶۹	۲۳۴/۰۳±۴۹/۷۲	۱۷۰/۵۲±۳۶/۲۳
۱۷	۳۱/۵۵±۴/۹۱	۴۲۴/۳۴±۶۶/۰۶	۳۰۹/۱۹±۴۸/۱۳	۴۱	۲۰/۴۰±۳/۹۸	۲۷۴/۳۸±۵۳/۵۹	۱۹۹/۹۲±۳۹/۰۵
۱۸	۵/۱۶±۲/۱۶	۶۹/۲۴±۲۹/۱۱	۵۰/۵۸±۲۱/۲۱	۴۲	۱۷/۴۲±۳/۷۳	۲۳۴/۳۶±۵۰/۲۶	۱۷۰/۷۶±۳۶/۶۲
۱۹	۱۲/۹۲±۳/۲۰	۱۷۳/۸۴±۴۳/۱۳	۱۲۶/۶۶±۳۱/۴۲	۴۳	۱۰/۲۹±۲/۹۴	۱۳۸/۴۶±۳۹/۵۴	۱۰۰/۸۹±۲۸/۸۱
۲۰	۱۲/۴۰±۳/۱۷	۱۶۶/۷۸±۴۲/۷۳	۱۲۲/۸۳±۳۱/۱۳	۴۴	۷/۳۳±۲/۴۸	۹۸/۵۸±۳۳/۴۲	۷۱/۸۳±۲۴/۳۵
۲۱	۱۴/۴۵±۳/۴۳	۱۹۴/۳۷±۴۶/۱۴	۱۳۷/۹۳±۳۲/۷۵	۴۵	۵/۵۷±۲/۲۱	۷۴/۹۱±۲۹/۸۱	۵۴/۵۸±۲۱/۷۲
۲۲	۱۱/۴۵±۳/۰۴	۱۵۴/۰۰±۴۰/۹۱	۱۱۲/۲۱±۲۹/۸۱	۴۶	۶/۸۶±۲/۴۳	۹۲/۳۳±۳۲/۷۷	۶۷/۲۷±۲۳/۸۸
۲۳	۷/۷۳±۲/۶۰	۱۰۳/۹۸±۳۴/۹۹	۷۳/۷۹±۲۴/۸۴	۴۷	۱۵/۴۵±۳/۴۸	۲۰۷/۸۰±۴۶/۹۰	۱۵۱/۴۱±۳۴/۱۷
۲۴	۲۲/۹۲±۴/۲۶	۳۰۸/۳۱±۵۷/۳۷	۲۱۸/۷۸±۴۰/۷۱	۴۸	۱۶/۸۰±۳/۶۴	۲۲۵/۹۶±۴۹/۰۲	۱۶۴/۶۴±۳۵/۷۲

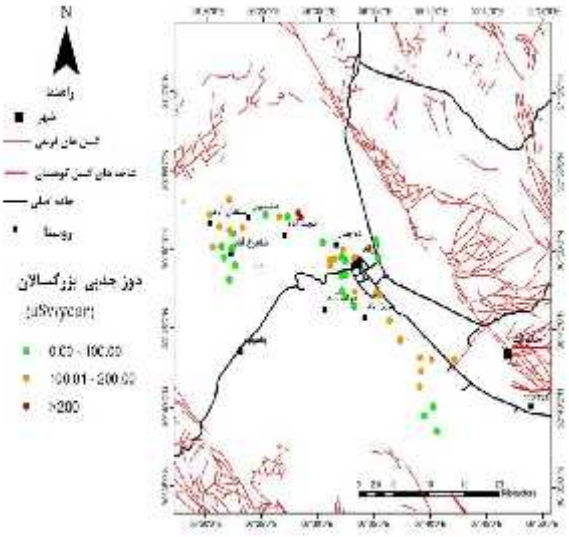
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهند که در حدود ۴۷/۹۲ درصد از نمونه‌ها، غلظت گاز رادون محلول در آب بیشتر از حد مجاز (۱۱ بکرل بر لیتر) می‌باشد. در شکل ۳ مکان نمونه‌های اندازه‌گیری شده به همراه محدوده دوز جذب شده توسط کودکان و بزرگسالان نشان داده شده است.



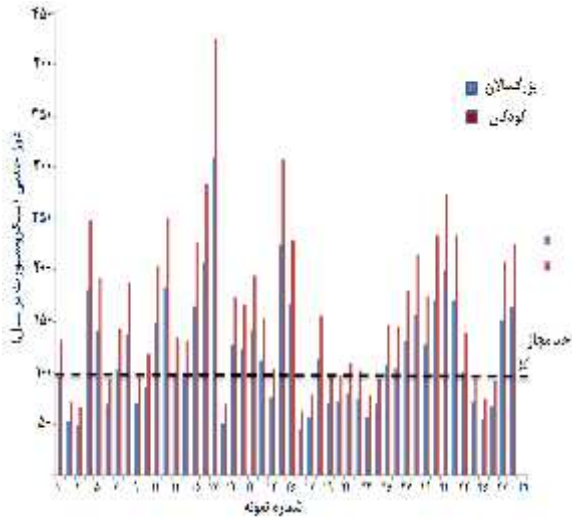
الف



ب

شکل ۳- مکان نمونه‌های اندازه‌گیری شده به همراه محدوده دوز جذب شده توسط الف: کودکان و ب: بزرگسالان

در نمودار ۱ مقادیر دوز جذب شده سالیانه گاز رادون کودکان و بزرگسالان در صورت استفاده مداوم از آب چاه‌های کشاورزی نشان داده شده است. در این نمودار مشخص است که در ۳۴ نمونه، پرتوگیری کودکان و در ۲۷ نمونه، پرتوگیری بزرگسالان بیشتر از حد مجاز (۱۰۰ میکروسیورت بر سال) می‌باشد.

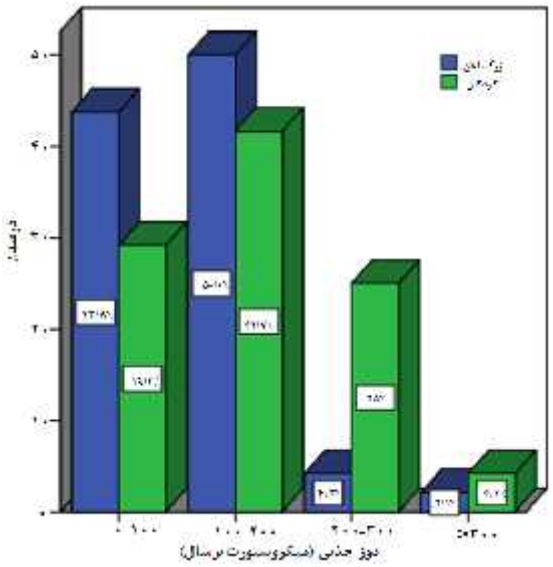


نمودار ۱- مقادیر دوز جذب شده سالیانه گاز رادون کودکان و بزرگسالان در صورت استفاده مداوم از آب چاه‌های کشاورزی

در نمودار ۲ منحنی درصد فراوانی نمونه‌های اندازه‌گیری شده بر حسب مقادیر دوز جذب شده سالیانه برای بزرگسالان و کودکان ناشی از استفاده مداوم از آب چاه‌های کشاورزی آورده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که در حدود ۷۰/۸ درصد از نمونه‌ها، کودکان و در حدود ۵۶/۲ درصد نمونه‌ها، بزرگسالان در معرض پرتوگیری طبیعی بیش از حد مجاز قرار دارند.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]



نمودار ۲- منحنی درصد فراوانی نمونه‌های اندازه‌گیری شده بر حسب مقادیر دوز جذب شده سالیانه برای کودکان و بزرگسالان

با توجه به نتایج مشاهده شده در جدول ۱ غلظت گاز رادون محلول در آب ۲۳ نمونه بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (Environmental Protection Agency) می‌باشد [۳۲]. با توجه به این که مقادیر حداقل و حداکثر غلظت گاز رادون نمونه‌ها به ترتیب ۲/۰۷۷±۴/۶۶۷ و ۴/۹۱۲±۳۱/۵۵۰ بکرل بر لیتر می‌باشند، حداقل و حداکثر مقادیر دوز جذبی سالیانه گاز رادون بزرگسالان ناشی از مصرف مستقیم و مداوم آب چاه‌های کشاورزی به ترتیب ۲۰/۳۵۴±۴۵/۷۳۶ و ۴۸/۱۳۷±۳۰۹/۱۹۰ میکروسیورت بر سال می‌باشند. همچنین حداقل و حداکثر مقادیر دوز جذبی سالیانه گاز رادون کودکان ناشی از مصرف آب نمونه‌های مذکور به ترتیب ۲۷/۹۳۵±۶۲/۷۷۰ و ۶۶/۰۶۶±۴۲۴/۳۴۷ می‌باشند. نمودار ۵ نشان می‌دهد که بیش از ۵۶ درصد از بزرگسالان و نزدیک ۷۰ درصد از کودکان که مستقیماً از منابع آب شرب به طور دائم استفاده می‌کنند در معرض خطر جدی قرار دارند. البته باید گفته شود که استعمال آب چاه‌های کشاورزی توسط کودکان ناچیز است؛ چراکه افراد شاغل در مزارع و زمین‌های کشاورزی اغلب بزرگسال هستند.

برای بررسی دقیق‌تر داده‌ها، آزمون t تک نمونه‌ای به طور جداگانه برای بزرگسالان و کودکان انجام گرفت که مقادیر آن در جدول ۲ آمده است. مشاهده می‌شود که مقدار p مربوط به دوز جذبی سالیانه کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۰/۰۱۸ و p<۰/۰۰۱ می‌باشند.

جدول۲- نتایج آماری آزمون t

افراد	آماره آزمون (t)	درجه آزادی (df)	مقدار (p)
بزرگسالان	۲/۱۷۶	۴۷	۰/۰۱۸
کودکان	۵/۵۷۸	۴۷	p<۰/۰۰۱

بحث

این پژوهش که با هدف تخمین میزان دوز میانگین سالیانه جذب شده گاز رادون ساکنین منطقه زرند بر روی منابع آب زیرزمینی انجام شده است، نشان می‌دهد که در منطقه زرند به علت وجود شکستگی‌ها و گسل‌های فعال، غلظت گاز رادون محلول در آب‌های زیرزمینی بالا می‌باشد. غلظت بالای رادون در آب‌های زیرزمینی، باعث می‌شود که میزان پرتوگیری افراد به واسطه آشامیدن آب و استنشاق گاز رادون متصاعد شده از آب افزایش یابد. واضح است، افرادی که مستقیماً از این منابع با غلظت رادون بیشتر از حد مجاز استفاده می‌کنند، در معرض پرتوگیری بیش از اندازه قرار می‌گیرند و دوز سالیانه گاز رادون بیشتر از حد مجاز ۱۰۰ میکروسیورت بر سال که مورد تایید سازمان بهداشت جهانی است جذب می‌نمایند.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

مسلماً پرتوگیری بیش از حد، احتمال ابتلا به سرطان ریه و معده را به شدت افزایش می‌دهد.

مقایسه نتایج به دست آمده با سایر نتایج در ایران و سایر نقاط دنیا نشان می‌دهد که مقادیر دوز جذبی سالیانه گاز رادون محلول در آب از چند میلی سیورت بر سال تا بیش از ۱۰۰۰ میلی سیورت بر سال متغیر است که این امر به عوامل متعددی از جمله؛ ساختار زمین شناسی منطقه، وضعیت آبراهه‌ها و فاصله منابع آب از گسل‌ها و شکستگی‌ها بستگی دارد. مسلماً این نتایج در زمان‌های دیگر سال و همچنین تحت شرایط محیطی دیگر می‌تواند تا حدودی تغییر کند [۳۳، ۱۹، ۱۲].

لازم به ذکر است که آشامیدن آب از چاه‌های کشاورزی بلافاصله بعد از پمپاژ آب، دور از انتظار نیست، چراکه در برخی از مناطق مورد مطالعه، نمونه‌های مورد نظر دارای کیفیت نسبتاً خوبی بودند و آب آنها برای آشامیدن قابل استفاده بود و آب شرب برخی از روستاها و بخش‌های کوچک، از همین چاه‌های کشاورزی تامین شده است. اما در برخی از مناطق دیگر کیفیت آب برای آشامیدن مطلوب نبوده و شخص در صورت اجبار، از آن آب استفاده می‌نماید. به هر حال استعمال آب چاه کشاورزی در خانه‌های روستایی چه برای آشامیدن و چه برای مصارف دیگر دارای خطرات و تبعات سنگینی می‌باشد. ورود غلظت بالای گاز رادون از طریق آشامیدن و از طریق استنشاق گاز رادون آزاد شده از آب در محیط‌های سربسته، سلامتی افراد را تا حد زیادی به خطر می‌اندازد.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم دسترسی آسان به چاه‌های کشاورزی جهت نمونه‌برداری، عدم تکرار نمونه‌برداری در فصول دیگر و یا چند نمونه‌برداری در یک فصل، نبود اطلاعات پزشکی مفید مرتبط با موضوع گاز رادون جهت تحلیل‌های آماری دقیق‌تر و عدم همکاری برخی از ساکنان مناطق برای انجام آزمایش اشاره نمود که امید است این محدودیت‌ها در مطالعات بعدی برطرف گردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه نشان می‌دهد در مناطقی که میزان غلظت گاز رادون محلول در آب و به تبع آن میزان پرتوگیری افراد زیاد می‌باشد، باید تمهیدات جدی توسط ساکنین منطقه و سازمان‌های مسئول صورت پذیرد. تهیه بانک اطلاعاتی از مقدار زمینه غلظت گاز رادون درون آب های زیرزمینی منطقه و همچنین اطلاع‌رسانی گسترده و آگاه‌بخشی مردم نسبت به خطرات گاز رادون می‌تواند کمک زیادی به حل این مسئله کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان از طرح پژوهشی شماره ۵۰۵۵/پ/۹۵ در سال ۱۳۹۵صورت گرفته است. محققین مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه ولی‌عصر (عج) و ساکنین و کشاورزان منطقه مورد تحقیق که در انجام این پژوهش نهایت همکاری را داشته‌اند اعلام می‌نمایند.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

References

[1] Kandari T, Aswal S, Prasad M, Bourai A. A, Ramola R. C. Estimation of annual effective dose from radon concentration along Main Boundary Thrust (MBT) in Garhwal Himalaya. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2016; *9*(3): 228-33.

[2] Meisenberg O, Mishra R, Joshi M, Gierl S, Rout R, Guo L, Tschiersch J. Radon and thoron inhalation doses in dwellings with earthen architecture: comparison of measurement methods. *Science of The Total Environment* 2017; 579: 1855-62.

[3] Health Effects of Exposure to Radon (NRC). National Research Council, Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR). VI Report. 1999.

[4] International Commission on Radiological Protection ICRP. publication 103. Ann ICRP, 2007;37.

[5] Mahur A. K, Kumar R, Sonkawade R. G, Sengupta D, Prasad R. Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rate from rock samples of Jaduguda uranium mines and its radiological implications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2008; *266*(8): 1591-97.

[6] Mortazavi SMJ, Karam PA, Ikushima T, Niroomandrad A, Cameron J. Cancer Incidence in Areas with Elevated Levels of Natural Radiation. Int J Low Radiation 2006; 2(1/2): 20-7.

[7] Mittal S, Rani A, Mehra R. Radon levels in drinking water and soil samples of Jodhpur and Nagaur districts of Rajasthan, India. *Applied Radiation and Isotopes* 2016; 113: 53-9.

[8] Rahimi M, Asadi A. Significance of Information and measurement of radon concentration in the environment and investigate ways of reducing the absorbed dose caused in Iran. *16th* National Conference on Environmental Health Iran. Tabriz University of Medical Sciences. 2013. [Farsi]

[9] Mittal S, Rani A, Mehra R. Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 2016; 9(2): 125-30.

[10] Moreno V, Bach J, Baixeras C, Font L. Radon levels in groundwaters and natural radioactivity in soils of the volcanic region of La Garrotxa. Spain. J.Environ. Radioact. 2014; 128(1): 1-8.

[11] Tanner AB. Radon migration in the ground: a supplementary review. Natural radiation environment III. 1980 Dec 1(1):5-6.

[12] Fonollosa E, Penalver A, Borrull F, Aguilar C. Radon in spring waters in the south of Catalonia. Journal of environmental radioact-ivity 2016; 151: 275-81

[13] Ouabi H. Modeling of radon and its short-lived decay products emanating from tap water used inside a house: Dose to adult members of the public. Applied Radiation and Isotopes. 2009; 67(1): 115-21.

[14] Chauhan V, Howland M, Mendenhall A, O'Hara S, Stocki TJ, McNamee JP, et al. Effects of alpha particle radiation on gene expression in human pulmonary epithelial cells. *Int J Hyg Environ Health* 2012; 215(5): 522-35.

[15] WHO (World Health Organization) Guidelines for drinking water quality, vol 1,2nd edn.1993 Who, Geneva

[16] Ruano-Ravina A, Pereyra MF, Castro M. T, Pérez-Ríos M, Abal-Arca J Barros-Dios JM. Genetic

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

susceptibility, residential radon, and lung cancer in a radon prone area. Journal of Thoracic Oncology 2014; 9(8): 1073-80.

[17] Stidley CA, Samet JM. A review of ecologic studies of lung cancer and indoor radon. *Health Physics* 1993; 65(3): 234-51.

[18] Pisa FE, Barbone F, Betta A, Bonomi M, Alessandrini B, Bovenzi M. Residential radon and risk of lung cancer in an Italian alpine area. Archives of Environmental Health: *An International Journal* 2001; 56(3): 208-15.

[19] Asadi A, Rahimi M, Jabbari L. An Estimation of Annual Effective Absorbed Dose of Radon Gas for Adults and Children in Anar and Rafsanjan Cities through Measuring Dissolved Radon Gas in Water by the RAD7 Detector. *The Persian Golf Biomedical Research Institute* 2015; 18(5): 960-69. [Farsi]

[20] Messier KP, Serre ML. Lung and stomach cancer associations with groundwater radon in North Carolina, USA. *International Journal of epidemiology* 2016 Sep 16; 46(2): 676-85.

[21] Auvinen A, Salonen L, Pekkanen J, Pukkala E, Ilus T, Kurttio P. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: A case- cohort study in Finland. international Journal of Cancer. 2005; 114(1): 109-13.

[22] Subber A.R.H, Ali M.A, Asadi M.Al. The Determination of Radon Exhalation Rate From Water Using Active and Passive Techniques. *Advances in Applied Science Research* 2011; 2(6): 336-46.

[23] Rani A, Mehra R, Duggal V. Radon monitoring in groundwater samples from some areas of northern Rajasthan, India, using a RAD7 detector. *Radiation protection dosimetry* 2012; 153(4): 496-501.

[24] Malakootian M, Fard ZD, Rahimi M. Determination of radon concentration in drinking water resources of villages nearby Lalehzar fault and evaluation the annual effective dose. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2015; 304(2): 805-15.

[25] Malakootian M, Khashi Z, Iranmanesh F, Rahimi M. Radon concentration in drinking water in villages nearby Rafsanjan fault and evaluation the annual effective dose. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2014; 302(3): 1167-76.

[26] www.amar.org.ir/ Population census.

[27] Hasanzadeh R, Abbasnejad A, Alavi A, Sharifi E. Seismic hazard analysis of Kerman city with emphasis on GIS application in grade 2 microspinning. *Journal of Earth Sciences* 2011; 23(1): 30-81. [Farsi]

[28] www.abfakerman.ir/

[29] Amidi A, Sampling theory and its applications. 5, Tehran, University Publication Center, 2009; 223. [Farsi]

[30] Rabadi DR, Abumurad KM. Radon surveys in Ajloun city using CR-39 detectors. *Radiation Measurements* 2008 31; 43: S449-51.

[31] Paulo SR, Neman R, Neto JH, Iunes PJ, Guedes S, Balan AM, Tello CA. Radon surveys in Brazil using CR-39. *Radiation Measurements* 2005; 39(6): 657-60.

[32] Tabar E, Yakut H. Radon Measurements in Water Samples From the Thermal Spring of Yalova Basin, Turkey. *Journal of Radiation Nuclear Chemistry* 2014; 299(1): 311-19.

[33] Jobbagy V, Kavasi N, Somlai J, Mate B, Kovacs T. Radiochemical characterization of spring waters in Balaton Upland, Hungary, estimation of radiation dose to members of public. *Microchemical Journal* 2010; 94(2): 159-65.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]

The Measurement of Radon Gas Dissolved in Groundwater and Determination of Annual Effective Absorbed Dose of Radon Gas in Zarand City in 2016

M. Rahimi[1], A. Asadi Mohammadabadi[2], L. Jabari Koupaie[3]

Received: 31/10/2017 Sent for Revision: 31/12/2017 Received Revised Manuscript: 24/02/2018 Accepted: 25/02/2018

Background and Objectives: Entrance of high concentration of Radon gas through drinking water or inhaling Radon gas released into the air from water can cause lung cancer. This study aimed to measure Radon gas dissolved in groundwater and to determine the annual effective absorbed dose of Radon gas in Zarand city.

Materials and Methods: This descriptive study was done on 48 randomly selected resources of agricultural water in Zarand in 2016. The annual absorbed dose of Radon gas by adults and children was estimated through the measurement of the concentration of dissolved Radon gas using portable RAD7electronic detector. Data was analyzed by one sample t-test.

Results: The minimum and maximum amounts of Radon gas in the samples were 4.667±2.077 and 31.550±4.912 BqL^{-1}, respectively. Therefore, the annual absorbed doses of Radon gas by adults and children drinking agricultural water were between 45.736±20.354 and 309.190±48.137 µSv/year and 62.770±27.935 and 424.347±66.066 µSv/year, respectively. Accurate investigation of data by one sample t- test showed that the annual absorbed doses by adults and children were significantly higher than the standard amount (p=.017 for adults and p<.001 for children).

Conclusion: Radon gas concentration dissolved in the water of Zarand region was high. The natural radiation can be reduced by not using water at the well, aeration of water in the reservoir, and informing the residents about the amount of background Radon gas concentration dissolved in agricultural wells.

Key words: Radon gas, Absorbed dose, Groundwater, Zarand, RAD7 detector

Funding: This research was funded by Vali-e-Asr University of Rafsanjan.

Conflict of interest: None declared.

Ethical approval: No Subject.

How to cite this article: Rahimi M, Asadi Mohammadabadi A, Jabari Koupaie L. The Measurement of Radon Gas Dissolved in Groundwater and Determination of Annual Effective Absorbed Dose of Radon Gas in Zarand City in 2016. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2018; 16(12): 1127-38 [Farsi]

1- Assistant Prof. Dept. of Physics, Faculty of Basic Sciences, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran
(Corresponding Author) Tel:(034) 31312424, Fax: (034) 31312185, E-mail: m_rahimi@vru.ac.ir
2- Instructor, Dept. of Physics, Faculty of Sciences, Payam-e-Nour University, Postal Code: 19395-3697, Tehran, Iran
3- Instructor, Dept. of Statistics, Faculty of Mathematical Sciences, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.12.5.9]