

سنجش پرتوزایی ویژه هسته‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی و محاسبه خطرات پرتوشناختی مربوط به آن‌ها در آب آشامیدنی منطقه اصفهان

رضا پورایمانی*، سمیه کریمی خوزانی و منیره محبیان

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، مرکزی، ایران.

*مرکزی، اراک، دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کدپستی: ۳۸۱۵۶۸۳۴۹

پست الکترونیکی: r-pourimani@araku.ac.ir

چکیده

آب سالم یکی از نیازهای اساسی انسان است که باید عاری از آلودگی باشد. یکی از آلاینده‌های آب هسته‌های پرتوزا است که به‌طور طبیعی و مصنوعی در محیط وجود دارد. بنابراین، اندازه‌گیری دقیق پرتوزایی آب بسیار مهم است. پرتوزایی ویژه ^{40}K و ^{137}Cs در ۲۶ نمونه آب آشامیدنی منطقه اصفهان با طیف‌سنجی گاما با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) اندازه‌گیری شد. پرتوزایی ویژه ^{226}Ra برای همه نمونه‌ها زیر حد قابلیت تشخیص بود. میانگین پرتوزایی ویژه ^{232}Th و ^{40}K برحسب بکرل بر لیتر (Bq/l) به ترتیب ۱/۴۰ و ۸۲/۲۳ اندازه‌گیری گردید. دزهای مؤثر سالانه در نتیجه مصرف آب حاوی هسته‌های پرتوزا برای افراد بالغ برحسب میکروسیورت بر سال برای ^{232}Th از ۰/۳۱۷ تا ۱/۱۵۳ با متوسط ۰/۷۸۴، ^{40}K از ۰/۰۵۹ تا ۰/۱۵۰ با میانگین ۰/۱۱۴ و ^{137}Cs از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱۶ با میانگین ۰/۰۰۳ به دست آمد. ضریب ریسک ابتلا به سرطان برای سه گروه سنی تعیین گردید که برای افراد بزرگسال عدد $1/59 \times 10^{-6}$ به دست آمد. نتایج نشان داد که دز مؤثر معادل سالانه در نتیجه مصرف آب آشامیدنی کمتر از معیار دز فردی ناشی از مصرف آب آشامیدنی تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) و $100 \mu\text{Sv/y}$ است. بنابراین برای ساکنان این منطقه تهدیدی ندارد و از کیفیت مناسبی برخوردار است.

کلیدواژگان: آب آشامیدنی، هسته‌های پرتوزا، دز، احتمال ریسک سرطان، طیف‌سنجی گاما.

۱. مقدمه

پوسته آن وجود داشته‌اند [۱]. امروزه در نتیجه توسعه صنایع فلزی و شیمیایی، استخراج معادن، احتراق سوخت‌های فسیلی و حوادث هسته‌ای مقدار آن‌ها در محیط زیست افزایش یافته است. بسته به شرایط زمین‌شناسی منطقه، مقدار و نوع مواد پرتوزا در آب متفاوت است. به‌عنوان مثال، اگر بستر از نوع سنگ‌های دگرگونی یا فسفات باشد، میزان اورانیوم موجود در آب افزایش می‌یابد [۱-۳]. در سال‌های اخیر، برخی از

آب سالم یک مسئله مهم در مطالعه محیط زیست است. زیرا تأثیر مستقیمی بر سلامت انسان دارد. یکی از انواع آلودگی، وجود مواد پرتوزا در آب از جمله هسته‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی است. منبع اصلی هسته‌های پرتوزای طبیعی، هسته‌های موجود در زنجیره‌های ^{238}U ، ^{235}U و ^{232}Th و هسته پرتوزای منفرد پتاسیم (^{40}K) می‌باشند. این مواد از ابتدای تشکیل کره زمین به دلیل نیمه‌عمرهای طولانی تا به امروز در

رادایواکتیو در آب آشامیدنی کمتر از 10 Bq/l تعیین شده است [۱۱].

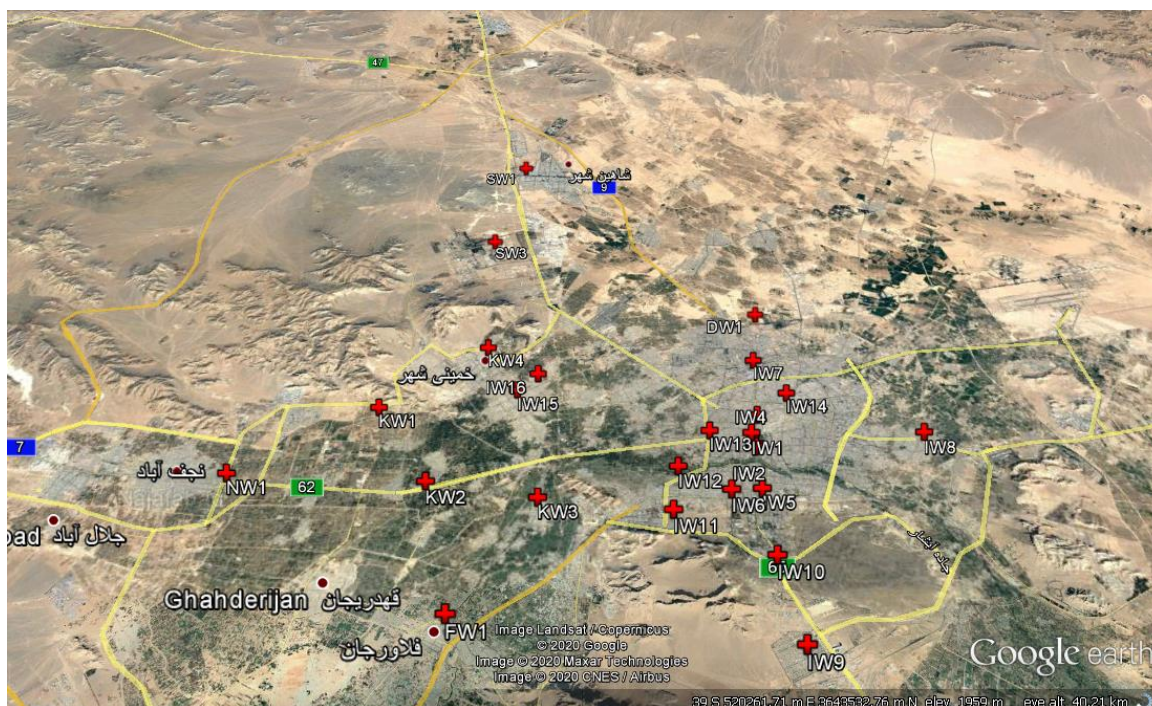
محققان بسیاری در کشورهای جهان از جمله ایران، تحقیقات گسترده‌ای در مورد آلودگی هسته‌های پرتوزای موجود در مواد غذایی و از جمله آب انجام داده‌اند و تأثیر آن را بر سلامت انسان ارزیابی کرده‌اند [۱۲-۱۵]. بیش‌تر این مطالعات مربوط به اندازه‌گیری رادن یا رادیوم در آب است. در این تحقیق مقادیر تمام عناصر پرتوزای گسیل‌کننده گاما در آب شرب منطقه اصفهان برای اولین بار اندازه‌گیری شده است. این منطقه به دلیل دارا بودن تراکم جمعیتی زیاد، وجود انبوه گردشگران که هر ساله از آن بازدید می‌کنند و همچنین وجود صنایع پرشمار در مجاورت آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این پژوهش با هدف اندازه‌گیری پرتوزایی هسته‌های پرتوزای موجود در آب آشامیدنی انجام شده است. علاوه بر این، دز مؤثر سالانه جذب‌شده توسط افراد و ضریب ریسک احتمال ابتلا به سرطان در طول عمر محاسبه گردیده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه ۲۶ نمونه آب آشامیدنی از منطقه اصفهان (۱۴ نمونه) و شهرهای اطراف آن مانند خمینی‌شهر (۶ نمونه)، شاهین‌شهر (۳ نمونه) و سه نمونه از نجف‌آباد، فولادشهر و دولت‌آباد به‌طور تصادفی بعد از پهنه‌بندی منطقه، جمع‌آوری گردید. نقشه مکان نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. حرف اول نشان‌دهنده حرف اول محل نمونه‌برداری، حرف دوم نوع نمونه (آب) و اعداد نشان‌دهنده شماره نمونه‌ها هستند.

هسته‌های پرتوزای مصنوعی به دلیل حوادث هسته‌ای و آزمایش سلاح‌های هسته‌ای در محیط زیست پراکنده شده‌اند. برخی از این عناصر مانند ^{137}Cs و ^{90}Sr به دلیل نیمه‌عمر طولانی باعث آلودگی خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند [۴]. این رادیونوکلیدها می‌توانند از طریق خوردن و استنشاق و همچنین جذب شدن توسط پوست وارد بدن شوند [۵]. تعامل بین پرتوهای یونساز و سیستم بیولوژیکی انسان می‌تواند باعث ایجاد تغییر در سلول‌ها، بافت‌ها و بیماری‌هایی مانند لنفوم، سرطان استخوان، لوسمی و بیماری‌های ژنتیکی شود [۶]. بنابراین، استفاده طولانی‌مدت از این مواد در دزهای پایین می‌تواند پتانسیل آسیب‌های بیولوژیکی را افزایش دهد. در نتیجه، اندازه‌گیری دقیق و تعیین کیفیت رادیولوژیکی آب و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی بسیار مهم است [۷]. سازمان حفاظت از محیط زیست (EPA) تخمین می‌زند که حداکثر سطح آلودگی (MCL) هسته‌های پرتوزا برای آب شرب، ۳۰ میکروگرم بر لیتر است [۸]. در این حالت، اگر ۱۰ هزار نفر به مدت ۷۰ سال روزانه ۲ لیتر آب مصرف کنند، انتظار داریم فقط ۱ مورد سرطان کشنده باشد. طبق کمیته علمی سازمان ملل در مورد تأثیر تشعشعات اتمی (UNSCEAR)، میانگین دز دریافتی سالانه جهانی ناشی از جذب هسته‌های پرتوزای طبیعی از طریق غذا و آب آشامیدنی ۰/۲۹ میلی‌سیورت است که در حدود ۰/۰۱ میلی‌سیورت آن (حدود ۳/۵٪) از آب آشامیدنی حاصل می‌شود [۹]. WHO برای کیفیت آب معیار دز فردی سطح زیر ۰/۱ میلی‌سیورت بر سال را توصیه می‌کند و حداکثر معیار دز فردی ناشی از مصرف آب آشامیدنی توسط UNSCEAR در ۱ میلی‌سیورت بر سال تعیین شده است [۹-۱۰]. سطح راهنمایی WHO برای سزیم



شکل (۱): موقعیت مکانی نمونه‌برداری در شهر اصفهان و اطراف آن.

۲.۲. نمونه‌برداری

پس‌زمینه، از جمله ورود پرتوهای کیهانی (فوتون‌های کم‌انرژی و الکترون‌ها) و پرتوهای گاما از محیط اطراف، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با دو لایه داخلی مس و کادمیوم به ترتیب با ضخامت‌های ۲ میلی‌متر و ۱/۵ میلی‌متر قرار گرفته است. کالیبراسیون انرژی و بازدهی آشکارساز توسط چشمه استاندارد شامل ^{241}Am ، ^{152}Eu و ^{137}Cs با پرتوزایی مشخص تعیین شد. رابطه انرژی و کانال در معادله ۱ (معادله کالیبراسیون انرژی خطی) ارائه شده است.

$$\text{Energy(keV)} = 7.52 + (0.33 \times \text{Channel}) \quad (1)$$

با توجه به طیف اشعه گاما ثبت شده از چشمه استاندارد، بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$\epsilon (\%) = \frac{\text{NetArea}}{A \times BR \times T} \times 100 \quad (2)$$

که در آن NetArea تعداد شمارش خالص زیر پیک تمام انرژی متناظر با انرژی گاما، A پرتوزایی ویژه چشمه استاندارد، BR احتمال انتشار فوتون گامای مورد استفاده برای تعیین بازدهی و T زمان شمارش را مشخص می‌کند. طیف اشعه گاما

نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلن ۱/۵ لیتری تهیه گردیدند و بلافاصله PH نمونه‌ها با استفاده از اسیدنیتریک (HNO_3) کاهش داده شد ($\text{PH} < 2$) تا از چسبندگی هسته‌های پرتوزا به دیواره‌های ظروف جلوگیری شود. سپس به ظروف استاندارد مارینلی (MARTINELLI) با حجم ۸۰۰ سی‌سی در آزمایشگاه منتقل شدند. همه نمونه‌ها برچسب خورده و با چسب سیلیکونی آب‌بندی شدند تا از فرار رادن جلوگیری گردد. به‌منظور نیل به تعادل بین ^{226}Ra و ^{222}Rn حداقل ۵۰ روز قبل از طیف‌نگاری در آزمایشگاه نگهداری شدند [۱۶].

۳.۲. طیف‌سنجی گاما

به‌منظور طیف‌سنجی گاما از یک آشکارساز ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) نوع p مدل (BSI GCD30195) تولید شده توسط شرکت Baltic Scientific Instruments با بازده نسبی ۳۰٪ و وضوح انرژی ۱/۹۵ کیلوولت برای ۱۳۳۲/۵ کیلوولت متعلق به ^{60}Co استفاده شد. برای کاهش تابش

اندازه‌گیری (MDA) با استفاده از طیف تابش پس‌زمینه و معادله ۵ تعیین شد.

$$MDA(Bq/l) = \frac{2.76 + (4.6 \times \sqrt{B})}{T \times \rho \times \epsilon \times V} \quad (5)$$

که در آن، B شمارش پس‌زمینه، T زمان شمارش، ϵ بازدهی مطلق آشکارساز برای انرژی گامای ویژه و V حجم نمونه به لیتر می‌باشند [۱۷]. پرتوهای گاما ^{137}Cs و ^{226}Ra ۲۹۵/۲۱ keV و ۳۵۱/۹۳ keV متعلق به ^{214}Pb و دو خط گاما ^{214}Pb و ^{226}Ra ۶۰۹/۳۱ keV و ۱۱۲۰/۳۹ keV متعلق به ^{214}Bi برای ارزیابی پرتوزایی ویژه ^{232}Th در نمونه‌ها استفاده شد. پرتوزایی ویژه ^{232}Th با استفاده از خطوط ۹۱۱ keV و ۹۶۹ keV متعلق به ^{228}Ac محاسبه شد. خطوط گاما با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ keV و ۶۶۱/۶۶ keV، به‌منظور ارزیابی پرتوزایی، ^{40}K و ^{137}Cs مورد استفاده قرار گرفتند [۱۸]. میانگین پرتوزایی ویژه و مقدار خطای آن در کلیه نمونه‌های خاک توسط معادلات ۶ و ۷ محاسبه شده است [۱۹].

$$A(\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\sigma_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i}} \quad (6)$$

$$\sigma(\text{average}) = \frac{1}{\sqrt{2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}} \quad (7)$$

به‌طوری که A_i ، σ_i و n به‌ترتیب پرتوزایی ویژه، خطای اندازه‌گیری آن و تعداد نمونه‌ها هستند. سطح راهنمای هسته‌های پرتوزا با استفاده از معادله ۸ محاسبه گردید [۱۱].

$$GL = \frac{IDC}{(q \times h_{ing})} \quad (8)$$

که در آن GL سطح راهنمای هسته پرتوزا در آب آشامیدنی برحسب بکرل بر لیتر است (جدول ۱)، IDC معیار دز فردی 0.1 mSv/y ، q میزان مصرف سالانه آب توسط بزرگسالان براساس گزارش (WHO) ۷۳۰ لیتر بر سال است. h_{ing} ضریب تبدیل دز برحسب mSv/Bq است. به‌عنوان نمونه سطح راهنما برای ^{137}Cs در زیر محاسبه شده است.

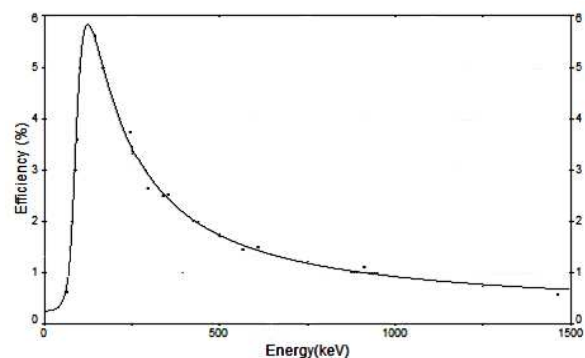
از هر نمونه برای ۸۶۴۰۰ ثانیه ثبت شد. طیف‌ها با استفاده از نرم‌افزار Lsrmsbsi ضبط و تجزیه و تحلیل طیف‌ها با استفاده از نرم‌افزار 32 MasterII Gammavision EG&G Ortec، تنسی ایالات متحده).

۴.۲. اندازه‌گیری پرتوزایی ویژه هسته‌های پرتوزا، سطح راهنما و دز مؤثر سالانه

پرتوزایی ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌ها با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد:

$$A = \frac{NetArea}{\epsilon \% \times BR \% \times T \times V} \times 100 \quad (3)$$

در جایی که A پرتوزایی ویژه هسته پرتوزا در نمونه برحسب Bq/l ، NetArea شمارش پیک مربوط به انرژی خاص، ϵ بازده آشکارساز، BR (%) نسبت انشعاب در درصد، T زمان شمارش در ثانیه و V حجم نمونه برحسب لیتر است. معادله ریاضی (معادله ۴) متناسب با داده‌های تجربی بازدهی مطلق آشکارساز که با استفاده از معادله ۲ به‌دست آمده، نهایتاً با استفاده از نرم‌افزار MATLAB تعیین گردید.



شکل (۲): منحنی بازدهی آشکارساز (HPGe) برحسب انرژی فوتون گاما.

$$Eff = 1.66e^{-\left(\frac{Eng-292}{107}\right)^2} + 1.407e^{-\left(\frac{Eng-695}{985}\right)^2} \quad (4)$$

در رابطه فوق Eff و Eng به‌ترتیب بازده مطلق (%) و انرژی فوتون گاما (کیلو الکترون ولت) هستند. حداقل پرتوزایی قابل

گرفته شده است [۱۱]. برای ارزیابی خطر سرطان در طول زندگی از رابطه ۱۲ استفاده شد.

$$CR = D_W \times F_{AR} \times R_F \quad (12)$$

که CR خطر ابتلا به سرطان در طول عمر، D_W دز مؤثر سالانه برای گستره سنی مورد نظر برحسب سیورت بر سال، F_{AR} فاکتور گستره سنی برحسب سال و R_F ضریب خطر برحسب یک برسیورت می‌باشد. R_F برابر $10^{-2} \times 7/3$ است [۲۰].

۳. نتایج

نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌های آب آشامیدنی همراه با مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در جدول ۲ آمده است. پرتوزایی ویژه همه نمونه‌ها برای ^{226}Ra کم‌تر از حد قابلیت تشخیص دستگاه بود که در جدول با علامت < نشان داده شده است. حداکثر پرتوزایی ویژه ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs به ترتیب در نمونه (IW8) به مقدار ۲/۲۹، (IW5) به مقدار ۳۲/۱۷ و (IW14) به مقدار ۰/۷۱ برحسب Bq/l مشاهده شد. پرتوزایی ویژه ^{226}Ra برای همه نمونه‌ها کم‌تر از حداقل پرتوزایی قابل تشخیص بود. این نشان می‌دهد مناطق آبریز شهر از نظر اورانیوم ضعیف هستند. در ضمن نتایج مطالعات روی چشمه‌های آب گرم و آب‌های ورودی به تالاب‌ها نشان می‌دهد که نمک‌های رادیوم در ابتدای ورود به حوضچه یا دهانه چشمه ته‌نشین می‌شوند [۲۱]. نقشه‌های هم‌ترازی برای توزیع هسته‌های پرتوزای ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در شکل ۳ نشان می‌دهند که تورنیوم نیز فقط در ناحیه محدودی افزایش پیدا کرده است که احتمالاً مربوط به مخلوط کردن آب‌های زیرزمینی با آب سد می‌باشد. بنابراین نمک‌های رادیوم و تورنیوم به هنگام انتقال آب به مناطق مسکونی به‌طور قابل توجهی در طول مسیر رسوب کرده‌اند.

$$GL = \frac{0.1}{((730 \times (1.3 \times 10^{-5})))} \approx 10 \quad (9)$$

برای ایمنی آب آشامیدنی از معادله ۱۰ استفاده شد [۱۱].

$$SFW = \sum \frac{C_i}{GL_i} \leq 1 \quad (10)$$

که در آن C_i غلظت اندازه‌گیری شده برای هسته پرتوزای i در آب آشامیدنی و GL_i سطح راهنمای هسته‌ی پرتوزا i است. برای ایمنی آب آشامیدنی، میزان آن‌ها باید کم‌تر یا مساوی ۱ باشد.

جدول (۱): سطح راهنما برای هسته‌های پرتوزا در آب آشامیدنی برای بزرگسالان [۱۱].

ویژه‌هسته‌های پرتوزا	h_{ing} (mSv/Bq)	سطح راهنما (Bq/l)
^{226}Ra	$2/1 \times 10^{-4}$	۰/۵
^{40}K	$6/2 \times 10^{-6}$	۲۲/۱
^{137}Cs	$1/3 \times 10^{-6}$	۱۰/۰
$^{232}\text{Th}^*$	$2/3 \times 10^{-4}$	۱/۰

*ویژه هسته پرتوزای طبیعی

دز سالانه مؤثر برای هر فرد ناشی از دریافت هسته‌های پرتوزای طبیعی و ^{137}Cs با استفاده از معادله ۱۱ محاسبه گردید [۱۱].

$$D_w = \sum A_i \times DCF_i \times Cr \quad (11)$$

که در آن D_w دز دریافتی سالانه برحسب میلی‌سیورت، A_i پرتوزایی ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs برحسب بکرل بر لیتر است و DCF_i فاکتور تبدیل دز برحسب میلی‌سیورت بر بکرل است.

جدول (۲): مقادیر فاکتور تبدیل پرتوزایی ویژه به دز.

DCF _i (mSv/Bq)			
^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
$2/8 \times 10^{-7}$	$6/9 \times 10^{-7}$	$6/2 \times 10^{-9}$	$1/3 \times 10^{-8}$

Cr مصرف سالانه آب آشامیدنی است که به ترتیب ۲۵۰، ۳۵۰ و ۷۳۰ لیتر در سال برای نوزادان، کودکان و بزرگسالان در نظر

علمی سازمان ملل متحد در مورد اثرات تابش (UNSCEAR) ۱ میلی‌سیورت بر سال، پایین‌تر است [۹-۱۰]. بنابراین، براساس این دو معیار، نمونه‌های مورد مطالعه از کیفیت مطلوبی برخوردار بودند. طبق نتایج محاسبات، احتمال ریسک سرطان برای هر سه گروه سنی محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ درج شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین سهم ریسک مربوط به توریوم و برای افراد بزرگسال می‌باشد. در مجموع ریسک ابتلا به سرطان در سطح کمی می‌باشد. میانگین کل ریسک ابتلا به سرطان برای سه گروه سنی نوزاد، کودک و بزرگسال به‌ترتیب برابر $3/96 \times 10^{-8}$ ، $5/46 \times 10^{-7}$ و $1/159 \times 10^{-7}$ به‌دست آمد. به‌عنوان مثال برای فردی که ۷۰ سال از این آب شرب استفاده می‌کند، احتمال ابتلا به سرطان برابر $1/159 \times 10^{-7}$ می‌باشد. به‌عبارت دیگر از هر ۸۶۲۸۱۲ نفر یک نفر در اثر هسته‌های پرتوزای موجود در آب به سرطان مبتلا می‌گردد. در شکل ۴ پرتوزایی ویژه هسته‌های مورد مطالعه در شهرهای مختلف منطقه اصفهان با مقدار توصیه شده برای آب سالم توسط WHO مقایسه گردیده‌اند. شکل ۵ سهم هر عنصر پرتوزا را در دز مؤثر کل سالانه برای سه گروه سنی ذکر شده در بالا نشان می‌دهد که دلالت بر سهم بیش‌تر ^{232}Th در آن‌ها است. مقایسه نتایج این تحقیق با داده‌های گزارش شده از برخی کشورها در جدول ۶ آمده است. در جدول ۶ میانگین پرتوزایی‌های ویژه ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌ها بالاتر از عراق، عربستان سعودی، ترکیه و ایران (کرمانشاه) و پایین‌تر از بنگلادش و نیجریه است.

پرتوزایی ویژه ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌ها به‌ترتیب در محدوده از $1/31 <$ تا $2/29$ با میانگین $1/40$ ، از $0/42 <$ تا $32/17$ با میانگین $23/82$ و $0/15 <$ تا $0/71$ با میانگین $0/40$ برحسب Bq/l به‌دست آمد. متوسط پرتوزایی ویژه مربوط به این سه ایزوتوپ در نمونه‌های جمع‌آوری شده از شهر اصفهان به‌ترتیب $1/25$ ، $22/1$ و $0/52$ برحسب Bq/l اندازه‌گیری شد که با شهرهای اطراف آن تفاوت چندانی ندارد. زیرا بیش‌تر آب مصرفی این شهرها از سد زاینده‌رود حاصل می‌شود. شکل ۴ مقایسه نتایج برای شهرهای مورد مطالعه با حداکثر میزان توصیه شده توسط WHO را نشان می‌دهد. بیش‌تر نمونه‌ها آلوده به هسته پرتوزای مصنوعی ^{137}Cs بودند که نشان‌دهنده انتقال آلودگی به‌صورت غبار هسته‌های پرتوزا از سایر کشورها به این منطقه است. میانگین دز مؤثر سالانه هسته‌های پرتوزای ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در شیرخواران، کودکان و بزرگسالان برای همه نمونه‌ها به‌ترتیب $(0/268)$ ، $(0/374)$ ، $(0/784)$ ، $(0/038)$ ، $(0/054)$ و $(0/114)$ و $(0/001)$ ، $(0/002)$ و $(0/003)$ برحسب $\mu\text{Sv/y}$ محاسبه شد. براساس نمونه‌های مورد بررسی در سطح شهر اصفهان، دز مؤثر سالانه برای این سه گروه سنی ذکر شده به‌ترتیب $(0/260)$ ، $(0/362)$ ، $(0/796)$ ، $(0/038)$ ، $(0/052)$ ، $(0/109)$ و $(0/001)$ ، $(0/002)$ ، $(0/004)$ برحسب $\mu\text{Sv/y}$ است. که این نتایج نزدیک به نتایج برای شهرهای خمینی‌شهر و شاهین‌شهر است. کل دز مؤثر سالانه بزرگسالان در اصفهان، خمینی‌شهر و شاهین‌شهر به‌ترتیب $0/871$ ، $0/946$ و $0/897$ در $\mu\text{Sv/y}$ محاسبه شد که کم‌تر از حداکثر مقدار توصیه شده توسط WHO برای کیفیت آب خوب برابر $100 \mu\text{Sv/y}$ بود. همچنین از حداکثر مقدار مجاز مشخص شده توسط کمیته

جدول (۳): مقادیر پرتوزایی ویژه هسته‌های پرتوزا همراه با مختصات جغرافیایی محل نمونه برداری.

کد نمونه	پرتوزایی ویژه بر حسب Bq/l خطا ±				طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs		
IW1	۰/۷۱±۰/۱۶	۲۵/۳۴±۱/۲۰	۱/۶۵±۰/۲۶	<۰/۱۷	۳۲,۶۵۴۷۵	۵۱,۶۶۶۶۵
IW2	۰/۳۴±۰/۱۱	۲۷/۰۰±۱/۱۵	۱/۹۵±۰/۱۶	<۰/۱۹	۳۲,۶۴۶۶۳	۵۱,۶۶۷۶۶
IW3	۰/۲۲±۰/۱۱	۲۸/۴۷±۱/۴۰	۱/۰۶±۰/۱۷	<۰/۲۱	۳۲,۶۴۸۴۴	۵۱,۶۶۸۰۱
IW4	۰/۲۵±۰/۱۱	<۵/۱۰	<۰/۷۲	<۰/۲۱	۳۲,۶۶۵۴۴	۵۱,۶۷۱۲۴
IW5	۰/۱۴±۰/۱۰	۳۲/۱۱۷±۱/۳۵	۱/۷۲±۰/۲۰	<۰/۲۳	۳۲,۶۶۳۳۲	۵۱,۶۶۷۶۸
IW6	<۰/۲۳	۱۸/۸۵±۱/۳۵	۲/۱۰±۰/۲۸	<۰/۲۴	۳۲,۶۲۲۷۷	۵۱,۶۵۲۱۱
IW7	<۰/۱۵	۲۳/۰۶±۱/۳۱	۱/۲۴±۰/۱۷	<۰/۲۲	۳۲,۷۰۰۶۲	۵۱,۶۷۴۱۳
IW8	۰/۳۰±۰/۱۴	۲۰/۷۴±۱/۳۳	۲/۲۹±۰/۲۶	<۰/۲۱	۳۲,۶۵۵۲۷	۵۱,۷۵۹۰۲
IW9	۰/۳۷±۰/۱۴	۱۸/۷۹±۱/۴۰	۱/۰۹±۰/۲۰	<۰/۲۱	۳۲,۵۴۹۷۶	۵۱,۶۷۶۷۲
IW10	۰/۳۱±۰/۱۴	۲۲/۹۶±۱/۳۳	۰/۶۳±۰/۱۴	<۰/۲۳	۳۲,۵۸۸۹۵	۵۱,۶۶۹۶۵
IW11	<۰/۳۱	۲۷/۰۹±۱/۴۲	<۰/۳۹	<۰/۲۱	۳۲,۶۱۱۷۸	۵۱,۶۲۱۸۱
IW12	۰/۱۳±۰/۱۰	۱۷/۷۵±۱/۰۳	<۰/۵۷	<۰/۱۸	۳۲,۶۳۵۴۶	۵۱,۶۲۶۰۵
IW13	۰/۳۴±۰/۱۴	۱۸/۸۵±۱/۲۵	۱/۸۸±۰/۲۵	<۰/۲۹	۳۲,۶۵۵۹۷	۵۱,۶۴۴۴۵
IW14	۱/۶۶±۰/۱۹	<۰/۴۲	۱/۱۶±۰/۲۱	<۰/۲۲	۳۲,۶۷۹۱۴	۵۱,۶۸۹۴۱
میانگین	۰/۵۲±۰/۲۵	۲۲/۰۱±۲/۳۲	۱/۲۵±۰/۳۵	----	----	----
KW1	<۰/۳۶	۲۴/۹۱±۲/۷۰	۱/۴۵±۰/۲۶	<۰/۱۸	۳۲,۶۸۰۸۸	۵۱,۵۴۰۴۷
KW2	۰/۲۷±۰/۱۵	۲۹/۵۳±۲/۸۵	۱/۹۸±۰/۲۲	<۰/۲۱	۳۲,۶۹۱۴۵	۵۱,۵۵۱۵۷
KW3	۰/۲۱±۰/۱۰	۱۲/۷۹±۱/۳۴	۱/۵۸±۰/۱۶	<۰/۲۵	۳۲,۶۶۸۹۸	۵۱,۴۶۵۸۵
KW4	۰/۰۹±۰/۰۸	۲۷/۲۹±۲/۶۷	<۰/۵۶	<۰/۲۱	۳۲,۶۲۷۰۳	۵۱,۴۹۶۵۴
KW5	۰/۰۶±۰/۰۵	<۵/۰۹	۱/۴۶±۰/۲۰	<۰/۱۸	۳۲,۶۱۸۴۳	۵۱,۵۵۴۰۴
KW6	<۰/۲۸	<۳/۳۰	۱/۸۰±۰/۱۳	<۰/۲۰	۳۲,۷۰۸۴۸	۵۱,۵۲۲۲۳
میانگین	۰/۱۶±۰/۰۸	۲۳/۱۳±۲/۱۳	۱/۶۵±۰/۴۱	----	----	----
SW1	<۰/۱۶	۳۱/۳۷±۱/۴۴	۱/۸۲±۰/۲۹	<۰/۲۴	۳۲,۸۶۱۷۷	۵۱,۵۳۶۸۳
SW2	۰/۲۳±۰/۱۴	۲۵/۳۶±۱/۲۶	۱/۲۸±۰/۲۱	<۰/۱۷	۳۲,۰۸۰۵۱	۵۱,۴۸۱۰۳
SW3	<۰/۲۳	۲۷/۹۴±۱/۲۵	۱/۶۶±۰/۲۸	<۰/۲۲	۳۲,۷۹۰۷۸	۵۱,۵۲۰۱۸
میانگین	۰/۲۳±۰/۱۴	۲۸/۲۲±۲/۲۸	۱/۵۹±۰/۴۵	----	----	----
NW1	<۰/۱۵	۲۷/۸۶±۲/۷۵	<۰/۳۱	<۰/۱۹	۳۲,۶۳۱۱۸	۵۱,۳۹۳۸۸
FW1	۰/۳۴±۰/۱۵	۲۷/۷۰±۲/۷۴	۱/۲۷±۰/۳۷	<۱/۲۱	۳۲,۵۶۲۶۶	۵۱,۵۱۳۹۱
DW1	۰/۲۷±۰/۱۴	۲۵/۱۶±۲/۶۰	۱/۳۸±۰/۴۰	<۱/۲۱	۳۲,۷۳۳۴	۵۱,۶۸۰۰۱
میانگین کل	۰/۴۰±۰/۳۶	۲۳/۸۲±۴/۱۸	۱/۴۰±۰/۰۹	-	--	—

جدول (۴): دز مؤثر سالانه دریافتی برحسب $\mu\text{Sv/y}$ به دلیل مصرف آب برای سه گروه سنی مختلف.

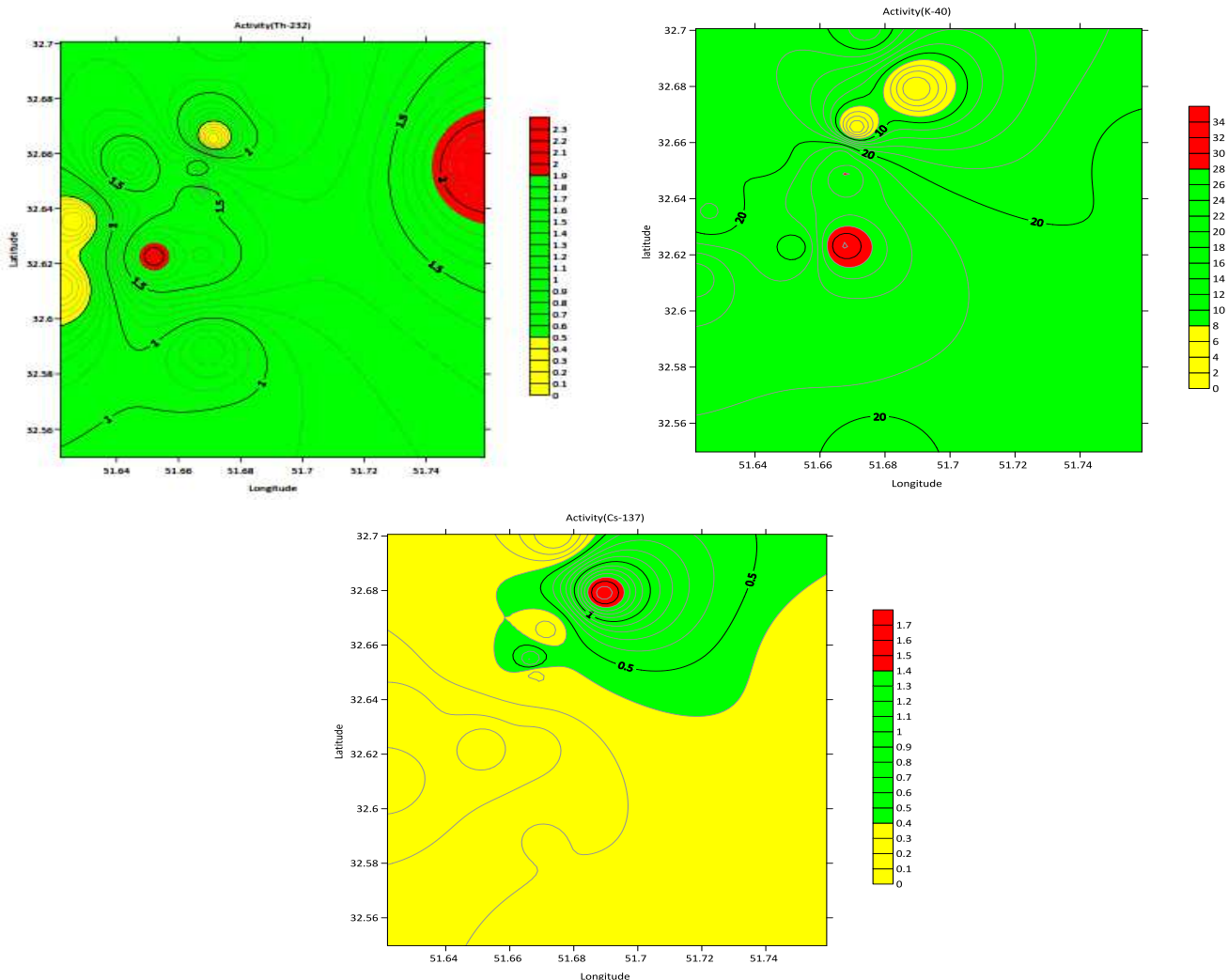
کد نمونه	^{137}Cs			^{40}K			^{232}Th		
	بزرگسال	کودک	نوزاد	بزرگسال	کودک	نوزاد	بزرگسال	کودک	نوزاد
IW1	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۱۸	۰/۰۵۵	۰/۰۳۹	۰/۸۳۱	۰/۳۹۸	۰/۲۸۵
IW2	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۲۷	۰/۰۵۹	۰/۰۴۲	۰/۹۸۲	۰/۴۷۱	۰/۳۳۶
IW3	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۳۲	۰/۰۵۴	۰/۰۳۹	۰/۷۳۰	۰/۳۵۰	۰/۲۵۰
IW4	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	---	---	---	۰/۵۳۴	۰/۲۵۶	۰/۱۸۳
IW5	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۵۰	۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	---	---	---
IW6	---	---	---	۰/۰۸۸	۰/۰۴۱	۰/۰۲۹	۰/۸۶۶	۰/۴۱۵	۰/۲۹۷
IW7	---	---	---	۰/۱۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۳۶	۱/۰۵۸	۰/۵۰۷	۰/۳۶۲
IW8	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۹۶	۰/۰۵۰	۰/۰۳۲	۰/۶۹۵	۰/۳۳۳	۰/۲۳۸
IW9	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۸۷	۰/۰۴۵	۰/۰۳۶	۰/۶۲۵	۰/۲۹۹	۰/۲۱۴
IW10	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۰۷	۰/۰۴۱	۰/۰۲۹	۱/۱۵۳	۰/۵۵۳	۰/۳۹۵
IW11	---	---	---	۰/۱۲۶	۰/۰۵۰	۰/۰۴۲	۰/۵۴۹	۰/۲۶۳	۰/۱۸۸
IW12	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۸۳	۰/۰۵۹	۰/۰۲۸	۰/۳۱۷	۰/۱۵۲	۰/۱۰۹
IW13	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۸۸	۰/۰۳۹	۰/۰۲۹	---	---	---
IW14	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	---	---	---	---	---	---
میانگین	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۰۹	۰/۰۵۲	۰/۰۳۶	۰/۷۵۸	۰/۳۶۲	۰/۲۶۰
KW1	---	---	---	۰/۱۱۶	۰/۰۵۴	۰/۰۲۷	۰/۹۴۷	۰/۴۵۴	۰/۳۲۴
KW2	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۳۷	۰/۰۶۴	۰/۰۴۶	۰/۵۸۴	۰/۲۸۰	۰/۲۰۰
KW3	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۰	۰/۹۹۷	۰/۴۷۸	۰/۳۴۲
KW4	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۰۶۰	۰/۰۴۲	۰/۷۹۶	۰/۳۸۲	۰/۲۷۳
KW5	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	---	---	---	۰/۷۵۵	۰/۳۵۲	۰/۲۵۲
KW6	---	---	---	---	---	---	۰/۹۳۱	۰/۴۳۴	۰/۳۱۱
میانگین	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۰۹	۰/۰۵۲	۰/۰۳۴	۰/۸۳۵	۰/۳۹۷	۰/۲۸۴
SW1	---	---	---	۰/۱۴۶	۰/۰۶۸	۰/۰۴۹	۰/۶۴۰	۰/۳۰۷	۰/۲۱۹
SW2	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۱۸	۰/۰۵۵	۰/۰۳۹	۰/۷۳۵	۰/۳۵۳	۰/۲۵۲
SW3	---	---	---	۰/۱۳۰	۰/۰۶۱	۰/۰۴۳	۰/۹۱۷	۰/۴۴۰	۰/۳۱۴
میانگین	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۳۱	۰/۰۶۱	۰/۰۴۴	۰/۷۶۴	۰/۳۶۷	۰/۲۶۲
NW1	---	---	---	۰/۱۳۰	۰/۰۶۰	۰/۰۴۳	۰/۶۴۵	۰/۳۰۹	۰/۲۲۱
FW1	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۳۰	۰/۰۶۰	۰/۰۴۳	۰/۸۳۶	۰/۴۰۱	۰/۲۸۶
DW1	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۱۷	۰/۰۵۵	۰/۰۳۹	۰/۹۰۷	۰/۴۳۵	۰/۳۱۱
بیشینه کل	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۱۵۰	۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	۱/۱۵۳	۰/۵۵۳	۰/۳۹۵
میانگین کل	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۱۴	۰/۰۵۴	۰/۰۳۸	۰/۷۴۸	۰/۳۷۴	۰/۲۶۸

جدول (۵): نتایج محاسبات ریسک ابتلا به سرطان برای سه گروه سنی مختلف.

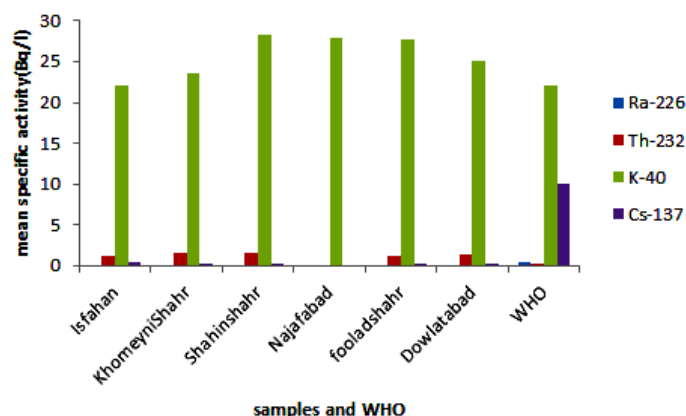
^{137}Cs		^{40}K			^{232}Th			خطر سرطان	
بزرگسال	کودک	نوزاد	بزرگسال	کودک	نوزاد	بزرگسال	کودک	نوزاد	کد نمونه
$\times 10^{-13}$	$\times 10^{-13}$	$\times 10^{-10}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-9}$	$\times 10^{-9}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-8}$	مرتبه
۱/۸۶	۱/۷۲	۸/۰۳	۱/۷۲	۸/۰	۵/۶۹	۱/۲۱	۵/۸۰	۴/۲۰	IW1
۲/۰۰	۱/۸۵	۸/۶۱	۱/۸۵	۸/۶	۶/۱۳	۱/۴۳	۶/۹۰	۴/۹۰	IW2
۲/۰۶	۱/۹۳	۷/۸۸	۱/۹۳	۷/۹	۵/۶۹	۱/۰۶	۵/۱۰	۳/۷۰	IW3
.	.	.	.	.	.	۰/۷۸	۳/۷۰	۲/۷۰	IW4
۲/۳۷	۲/۱۹	۱/۰۲	۲/۱۹	۱۰/۰۰	۷/۳۰	.	.	.	IW5
۱/۳۹	۱/۲۸	۵/۹۹	۱/۲۸	۶/۰۰	۴/۲۳	۱/۲۶	۶/۱۰	۴/۳۰	IW6
۱/۷۰	۱/۵۶	۸/۰۳	۱/۵۶	۸/۰۰	۵/۲۶	۱/۵۴	۷/۴۰	۵/۳۰	IW7
۱/۵۲	۱/۴۰	۷/۳۰	۱/۴۰	۷/۳۰	۴/۶۷	۱/۰۱	۴/۹۰	۳/۶۰	IW8
۱/۳۹	۱/۲۷	۶/۵۷	۱/۲۷	۶/۶۰	۵/۲۶	۰/۹۱	۴/۴۰	۳/۱۰	IW9
۱/۶۶	۱/۵۶	۵/۹۹	۱/۵۶	۶/۰۰	۴/۲۳	۱/۶۸	۸/۱۰	۵/۸۰	IW10
۱/۹۷	۱/۸۴	۷/۳۰	۱/۸۴	۷/۳۰	۶/۱۳	۰/۸۰	۳/۸۰	۲/۷۰	IW11
۱/۳۴	۱/۲۱	۸/۶۱	۱/۲۱	۸/۶۰	۴/۰۹	۰/۴۶	۲/۲۰	۱/۶۰	IW12
۱/۳۸	۱/۲۸	۵/۶۹	۱/۲۸	۵/۷۰	۴/۲۳	.	.	.	IW13
.	.	.	.	.	.	.	.	.	IW14
۱/۴۷	۱/۳۷	۶/۴۴	۱/۳۷	۶/۴	۴/۴۹	۰/۸۷	۴/۲۰	۳/۰	میانگین
۱/۸۱	۱/۶۹	۷/۸۸	۰/۱۷	۷/۹۰	۳/۹۴	۱/۳۸	۶/۶۰	۴/۷۰	KW1
۲/۱۶	۲/۰۰	۹/۳۴	۲/۰۰	۹/۳۰	۶/۷۲	۰/۸۵	۴/۱۰	۲/۹۰	KW2
۰/۹۳	۸/۶۱	۴/۰۹	۰/۸۶	۴/۱۰	۲/۹۲	۱/۴۵	۷/۰۰	۵/۰۰	KW3
۲۰/۰۰	۱/۸۵	۸/۷۶	۱/۸۵	۸/۸۰	۶/۱۳	۱/۱۶	۵/۶۰	۴/۰۰	KW4
.	.	.	.	.	.	۱/۱۰	۵/۱۰	۳/۷۰	KW5
.	.	.	.	.	.	۱/۳۶	۶/۳۰	۴/۵۰	KW6
۱/۱۵	۱/۰۷	۵/۰۱	۱/۰۷	۵/۰۰	۳/۲۹	۱/۲۲	۵/۸۰	۴/۱۰	میانگین
۲/۳۰	۲/۱۳	۹/۹۳	۲/۱۳	۹/۹۰	۷/۱۵	۰/۹۳	۴/۵۰	۳/۲۰	SW1
۱/۸۶	۱/۷۲	۸/۰۳	۱/۷۲	۸/۰۰	۵/۶۹	۱/۰۷	۵/۲۰	۳/۷۰	SW2
۲/۰۵	۱/۹۰	۸/۹۱	۱/۹۰	۸/۹۰	۶/۲۸	۱/۳۴	۶/۴۰	۴/۶۰	SW3
۲/۰۷	۱/۹۲	۸/۹۵	۱/۹۲	۹/۰۰	۶/۳۸	۱/۱۱	۵/۴۰	۳/۸	میانگین
۲/۰۵	۱/۹۰	۸/۷۶	۱/۹۰	۸/۸۰	۶/۲۸	۰/۹۴	۴/۵۰	۳/۲	NW1
۲/۰۵	۱/۹۰	۸/۷۶	۱/۹۰	۸/۸۰	۶/۲۸	۱/۲۲	۵/۵۰	۴/۲	FW1
۱/۸۵	۱/۷۱	۸/۰۳	۱/۷۱	۸/۰۰	۵/۶۹	۱/۳۲	۶/۴۰	۴/۵	DW1
۲/۳۷	۲/۱۹	۱۰/۲۰	۲/۱۹	۱۰/۰۰	۷/۳۰	۱/۶۸	۸/۱۰	۵/۸	بیشینه کل
۱/۵۳	۱/۴۱	۶/۶۴	۱/۴۱	۶/۶۰	۴/۶۲	۱/۰۱	۴/۸۰	۳/۵	میانگین کل

جدول (۶): مقایسه پرتوژایی ویژه هسته‌های پرتوژای طبیعی با سایر کشورها.

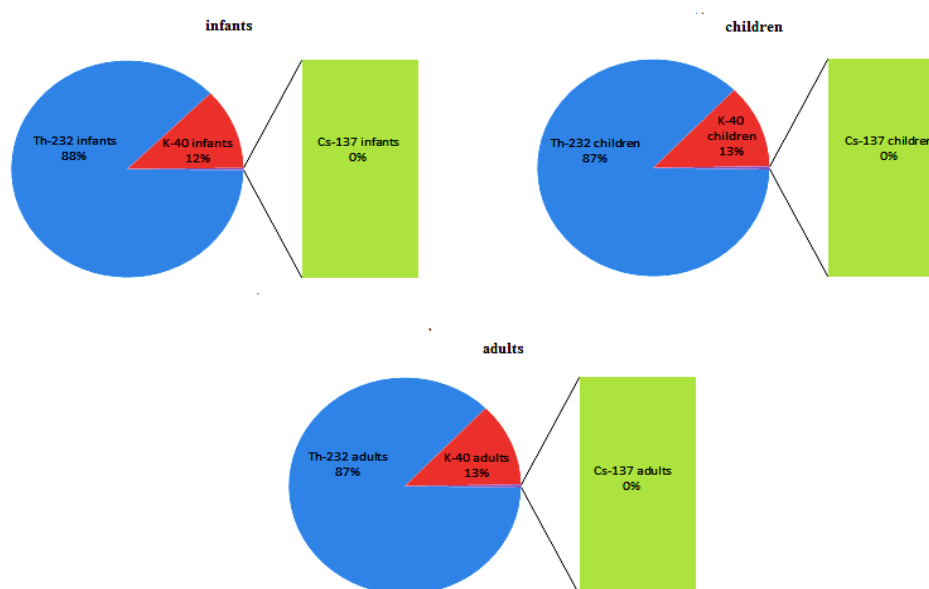
مرجع	نوع آب	پرتوژایی ویژه (Bq/l)				نام کشور
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	
[۲۲]	رودخانه الحسینا	۱/۹	۱/۲۳	۱۰/۱	-	عراق-کربلا
[۲۳]	آب آشامیدنی	۸/۹	۸/۱	۳۹/۸	-	نیجریه
[۲۴]	آب زیرزمینی	۰/۰۵-۱/۶۳ (۰/۵۶)	۰/۵۲-۰/۶۹ (۰/۲۰)	۱/۴۷-۸/۹ (۴/۵۴)	-	عربستان سعودی (مکه)
[۲۵]	آب آشامیدنی	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۸۱	<MDA	ترکیه
[۲۶]	آب آشامیدنی	۷/۷۵	۲/۰۳	۱۶/۰۹	-	نیجریه
[۵]	آب زیرزمینی	<MDA-۱۱/۰۸	<MDA-۷/۴۵	<MDA-۴/۲۳	-	ایران-استان مرکزی
[۶]	آب سطحی	۰/۰۵۲-۱۰/۳۶	۰/۰۲-۵/۱۸	۸/۲۱-۸۴/۸	-	بنگلادش
[۷]	آب آشامیدنی	۰/۶۱±۰/۲۰	۰/۷۶±۰/۳۶	۵/۶۷±۳/۷	-	ایران-کرمانشاه
[۱۲]	آب معدنی	۰/۰۰۹-۰/۰۲۰	۰/۰۰۲-۰/۰۳۰	----	-	تونس
[۱۳]	آب آشامیدنی	۱/۸۴	۱/۳۱	۹/۰۷	-	عراق-الحورا
[۱۴]	آب آشامیدنی	۰/۰۰۲-۰/۰۳۸	----	----	-	ایران-گیلان
این مطالعه	آب آشامیدنی	<۰/۲۹	۱/۴۷ (<۰/۷۹ - ۲/۲۹)	۲۵/۷۹ (<۵/۱ - ۳۲/۱۷)	۰/۲۴ (<MDA-۰/۷۱)	مناطق اصفهان
[۱۰]	آب آشامیدنی	۰/۵۰	۰/۲۰	۲۲/۱۰	۱۰	WHO



شکل (۳): نقشه‌های خطوط هم‌ترازی توزیع هسته‌های پرتوژای ⁴⁰K، ¹³⁷Cs و ^{۲۳۲}Th.



شکل (۴): مقایسه میانگین پرتوزایی ویژه هسته‌های پرتوزای مورد مطالعه در آب آشامیدنی با مقادیر WHO.



شکل (۵): سهم هسته‌های پرتوزا در دز مؤثر سالانه ناشی از مصرف آب در شهر اصفهان.

۴. نتیجه گیری

سنی، کم‌تر از معیار دز فردی تعیین شده توسط WHO ۰/۱ میلی‌سیورت بر سال بود. بنابراین تهدیدی برای ساکنان این منطقه ایجاد نمی‌کند و آب مصرفی از کیفیت مطلوبی برخوردار است.

۵. تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط مدیریت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی گردیده است، بنابراین نویسندگان از بخش پژوهشی دانشگاه اراک کمال سپاس‌گزاری را دارند.

پرتوزایی ویژه هسته‌های رادیوم ۲۲۶، توریم ۲۳۲، پتاسیم ۴۰ و سزیم ۱۳۷ در نمونه‌های آب آشامیدنی منطقه اصفهان اندازه‌گیری شد. پرتوزایی ویژه رادیوم ۲۲۶ در تمام نمونه‌ها زیر حداقل پرتوزایی قابل تشخیص بود. در مورد توریم ۲۳۲، پرتوزایی ویژه بیش از مقدار توصیه شده توسط WHO بود در حالی که برای پتاسیم ۴۰ و سزیم ۱۳۷ به ترتیب برابر و پایین‌تر به دست آمد. نتایج نشان داد که دز مؤثر سالانه مصرف هسته‌های پرتوزا در نتیجه مصرف آب آشامیدنی برای سه گروه

۶. مراجع

- [1] National Research Council (US) Safe Drinking Water Committee. Drinking Water and Health: Volume 1. Washington (DC): National Academies Press (US); 1977. VII, Radioactivity In Drinking Water.
- [2] A. Faanu, O.K. Adukpo, L. Tettey-Larbi, H. Lawluvi, D.O. Kpeglo, E.O. Darko, G. Emi-Reynolds, R.A. Awudu, C. Kansaana, P.A. Amoah, A.O. Efa, A.D. Ibrahim, B. Agyeman, R. Kpodzro and L. Agyeman. Natural radioactivity levels in soils, rocks and water at a mining concession of Perseus gold mine and surrounding towns in central Region of Ghana, Springer Plus 5, 98(2016) 1-16.
- [3] B. Azarvand and S. Anvarian. Determination and Measurement of Radioactivity in Environmental Samples of Sungun Mine of Iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 13(1) (2011) 49-57.
- [4] Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment radiological assessment reports series International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2006.
- [5] R. Pourimani and Z. Nemati. Measurement of Radionuclide Concentration in Some Water Recourse in Markazi province, Iran. Iranian Journal of Medical Physics, 13(1) (2016) 49-57.
- [6] M.A. Hossain, K. Asaduzzaman, A. Kowser, S.A.M. Shariar Islam, M.R. Islam, S.A. Kakoly, M. Begum and M. Khondker. Natural Radioactivity Levels and Radiological Risk Assessment of Surface Water of Wetland Tangur Haor, Sunamganj District, Bangladesh, Journal Of Radiation and Nuclear Applications, 4(2) (2019) 117-125.
- [7] P. Marzban, K. Karim K, M.R. Zare and A. Ebrahimi. Natural Radioactivity Level of, and Radionuclides in Drinking water of Residential Areas in Kermanshah Province, Iran. Iranian Journal of Medical Physics, 16(1) (2019) 98-102.
- [8] <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>.
- [9] UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000) in sources and effects of ionizing radiation report to general assembly with scientific Annexes. NewYork, United Nation Publication.
- [10] UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2008) in sources and effects of ionizing radiation report to general assembly with scientific Annexes. NewYork, United Nation Publication.
- [11] WHO Guidelines for drinking-water quality. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, ISBN 978 92 4 154815 1.
- [12] N.M. Yussuf, I. Hossain and H. Wagiran. Natural radioactivity in drinking and mineral water in johor Bahru (Malaysia). Scientific Research Essays 7(9) (2012) 1070-1075.
- [13] S. Labidi and S. Gharbi. Dose assessment to members of the public in Tunisia from intakes of some naturally occurring radionuclides in bottled mineral water. Journal of Radiation Research, 16(3) (2018) 371-381.
- [14] A.S. Alaboodi, N.A. Kadhim and N.A. Abojassim. Radiological hazards due to natural radioactivity and radon concentrations in water samples at Al-Hurrah. International Journal of Radiation Research, 18(1) (2020) 1-11.
- [15] A. Abbasi and V. Bashiry. Measurement of radium-226 concentration and dose calculation of drinking water samples in Guilan province of Iran. International Journal of Radiation Research, 14(4) (2016) 361-366.
- [16] IAEA TECDOC-1360 International Atomic Energy Agency. Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radio nuclides and trace elements, IAEA, Vienna. 2003.
- [17] L.A. Currie. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry, 40(3) (1968) 586-593.
- [18] R.B. Firestone, V.S. Shirley and C.M. Baglin. Table of isotopes CD-ROM, Eight Edition Version.1996.
- [19] M. Šostarić, B. Petrincec and D. Babić. ¹³⁷Cs in soil and fallout around Zagreb (CROATIA) at the time of the Fukushima Accident. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 64(4) (2013) 561-565
- [20] A. Salih, M. Karabıdık, A. Kaya and S. Kaya. Cancer risk analysis of some drinking water resources in Güntüşhane, Turkey Sustainable Water Resources Management 5(2019) 1939-1949.
- [21] R. Pourimani, R. Fardad and M. Mirzaei. Assessment of Environmental Radioactivity in Sediments, Water and Reed Samples at the Inlet of Wastewater Treatment plant of Arak to international Meyghan Wetland. (2019) (Persian)
- [22] I.T. AL-Alawy, R.S. Mohammed, H.R. Fadil and A.A. Hasan. Determination of Radioactivity Levels, Hazard, Cancer Sediment Samples in Al- husseiniya River (Karbala, Iraq). Journal of Physics Conference Series 1032(1): 012012 (2018).
- [23] E.O. Agbalagba, G.O. Akwiri and C.P. Ononugbo. Activity concentration and radiological impact assessment of ²²⁶Ra, ²²⁸Ra and ⁴⁰K in drinking waters from (OML) 30, 58 and 61 oil fields and host communities in Niger Delta region of Nigeria, Journa. Journal of Environmental Radioactivity, 116(2013) 197-200
- [24] F.A. Alseroury, T. Almeelbi, K. Aslam, M.A. Barakatab, J.H. Al-Zahrana and W. Alalid. Estimation of natural radioactive and heavy metals concentration in underground water. Journal of Radiation Research Applied Science, 11(4) (2018) 373-378.
- [25] A. Aydan, T. Şeref and G. Hasan. The natural and artificial radionuclides in drinking water samples and co samples and consequent population doses. Journal of Radiation Research Applied Science, 84(2015) 578-82.
- [26] O.S. Ajayi and G. Adesida. Radioactivity in some sachet drinking water samples produced in Nigeria. Iranian Journal of Radiation Research. 7(3) (2009) 151-158.