

بررسی پرتوزایی محیطی در خاک‌های مرزی منطقه هویزه

رضا پورایمانی^{۱*}

r-pourimani@araku.ac.ir

سید محسن مرتضوی شاهرودی^۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: هسته‌های پرتوزا به صورت طبیعی و مصنوعی در آب، خاک، سنگ و هوا وجود دارند و همه انسان‌ها در معرض تابش‌های هسته‌ای قرار دارند. برخی از فعالیت‌های بشری مانند استفاده از سلاح‌های حاوی اورانیوم ضعیف شده در جنگ‌ها و یا سوانح هسته‌ای باعث افزایش پرتوزایی محیطی می‌شوند. با توجه به نزدیکی هویزه به مناطق جنگی کشور عراق، مطالعه پرتوزایی خاک این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش بررسی: در این پژوهش ۱۰ نمونه خاک از منطقه هویزه در نزدیکی مرز عراق مورد مطالعه قرار گرفتند. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا با روش بیناب‌نمایی گاما و با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) مدل GCD30195 با بازدهی نسبی ۳۰٪ تعیین گردید. مقدار فعالیت معادل رادیوم، شاخص خطرپذیری داخلی و خارجی و کمیت‌های دزسنجی و همچنین ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر رادیوم، توریم و پتاسیم محاسبه شد.

یافته‌ها: مقادیر میانگین فعالیت ویژه هسته‌های ^{238}U ، ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌های خاک مورد مطالعه به ترتیب ۳۴/۰۹، ۳۴/۹۶، ۳۴/۸۴، ۳۸۴/۶۸ و ۵/۶۴ برحسب Bqkg^{-1} بدست آمد. مقادیر H_{ext} و H_{in} در نمونه‌ها به ترتیب از ۰/۳۷ تا ۰/۴۹ و ۰/۲۵ تا ۰/۳۷ تغییر می‌کند. ضریب همبستگی پیرسون بین تغییرات ^{226}Ra و ^{232}Th برابر ۰/۵۹ به دست آمد که همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه گیری: مقدار میانگین Ra_{eq} در نمونه‌های مورد مطالعه $114/39 \text{ Bqkg}^{-1}$ به دست آمد که از مقدار میانگین جهانی ($131/69 \text{ Bqkg}^{-1}$) کم‌تر است. همه کمیت‌های رادیولوژیکی نمونه‌ها در سطح مجاز می‌باشند و نزدیک به میانگین جهانی است. آثاری از اورانیوم ضعیف شده در این منطقه مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: آشکارساز HPGe، اورانیوم ضعیف شده، پرتوزایی محیطی، فعالیت معادل رادیوم.

۱- دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران * (مسوول مکاتبات)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای، گروه فیزیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران

Investigation of environmental radioactivity of soils in Hoveizeh border region

Reza Pourimani^{1*}

r-pourimani@araku.ac.ir

Seyed Mohsen Mortazavi Shahroudi²

Admission Date: April 17, 2017

Date Received: November 24, 2016

Abstract

Background and objective: Natural and artificial radioactive nuclei exist in water, soil, stone and air, and all humans are exposed to nuclear radiation. Some human activities, such as application of the weapons containing depleted uranium in wars or nuclear accidents, cause an increased environmental radioactivity. Due to proximity of Hoveizeh region to the war zones in Iraq, it is important to study the radioactivity of soil in this region.

Method: In this study, 10 soil samples were collected from Hoveizeh region near the Iraqi border. The specific activities of radionuclides were determined using the gamma ray spectrometry method employing a high purity germanium detector (HPGe), GCD30195 model with 30% relative efficiency. The radium equivalent activity, internal and external hazard indices (H_{in} and H_{ext}) and radiological parameters and Pearson correlation coefficient among the values of radium, thorium and potassium were calculated.

Findings: The mean specific activities of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in the soil samples were obtained as 34.09, 34.96, 34.84, 384.68 and 5.64 in Bqkg^{-1} respectively. The values of H_{in} and H_{ext} in the samples varied from 0.37 to 0.49 and from 0.25 to 0.37, respectively. Pearson correlation coefficient between ^{226}Ra and ^{232}Th was obtained as 0.59 showing a moderate correlation.

Discussion and Conclusion: The average radium equivalent of the studied samples was obtained as 114.39 Bqkg^{-1} which is less than the world average value (131.69 Bqkg^{-1}). All the quantities of radiological parameters were within the permissible level and close to the global average. No traces of depleted uranium were observed in the region.

Keywords: HPGe detector, Depleted uranium, Environmental radioactivity, Radium equivalent activity.

1- Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran. *(Corresponding Author)

2- MSc. of Nuclear Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran.

مقدمه

عناصر برای بافت‌های بدن مضر می‌باشد و ممکن است باعث بیماری‌هایی مانند سرطان و یا ناهنجاری‌های ژنتیکی گردند. علاوه بر این، بافت‌های بدن در معرض تابش‌های گامای تولیدشده در محیط زیست قرار دارند و باعث پرتوگیری خارجی بدن می‌گردند (۸). در مناطقی که از اورانیوم ضعیف شده استفاد گردیده است بین ویژه فعالیت رادیوم و اورانیوم اختلال ایجاد می‌شود و بین مقادیر آن‌ها اختلاف زیادی وجود دارد (۹). به دلایل مختلف اعم از نزدیکی منطقه هویزه به کشور عراق و جنگ ایران و عراق و همچنین جنگ خلیج فارس و جنگ عراق و کویت بسیار محتمل است که غبار حاصل از کاربرد اورانیوم ضعیف شده باعث بر هم خوردن تعادل بین عناصر سری واپاشان اورانیوم گردد. طبق گزارش سازمان بین المللی انرژی اتمی در سال ۲۰۱۰، ارتش‌های ایالات متحده آمریکا و انگلیس در جریان جنگ ۲۰۰۳ بر علیه کشور عراق، مقادیر زیادی از سلاح‌های حاوی اورانیوم ضعیف شده را بکار بردند که هنوز مقدار دقیق آن مشخص نیست ولی تخمین زده می‌شود که مقدار آن در محدوده ۱۷۰ تا ۱۷۰۰ تن باشد (۱۰). در این پژوهش مقادیر ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای ^{238}U ، ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر فعالیت ویژه ^{238}U ، ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K و سایر کمیت‌های دزسنجی در نمونه‌های خاک منطقه مرزی هویزه در جنوب غربی ایران اندازه‌گیری گردید.

روش انجام تحقیق

معرفی منطقه تحت بررسی

محل نمونه‌برداری در منطقه مرزی هویزه واقع در استان خوزستان در جنوب غربی ایران در مختصات طول و عرض جغرافیایی $31^{\circ}43'19.4''$ و $48^{\circ}13'8.92''$ قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در شکل (۱) نمایش داده شده است.

تابش‌های یون‌ساز جزء تفکیک ناپذیر طبیعت محسوب می‌گردند. عمده این پرتوها ناشی از پرتوزایی طبیعی و مصنوعی حاصل از فرایندهای بشری هستند. هسته‌های پرتوزای طبیعی موجود در پوسته زمین شامل سری‌های واپاشان ^{235}U ، ^{238}U و ^{232}Th و دختران پرتوزای آن‌ها و ویژه‌هسته‌های پرتوزای منفرد مانند ^{40}K می‌باشند (۱). این ویژه‌هسته‌ها از بدو شکل‌گیری کره زمین وجود داشته و برحسب نوع خاک، سنگ و یا منطقه جغرافیایی، مقدارشان متفاوت است (۲). در حالت طبیعی مقدار میانگین اورانیوم در پوسته زمین 2.7 mgkg^{-1} تخمین زده شده است (۳). در مورد توریم مقدار میانگین برآورد شده 0.6 mgkg^{-1} می‌باشد (۴). مقدار پتاسیم به عنوان هشتمین عنصر از نظر فراوانی در پوست زمین 2.8 درصد برآورد شده است (۵). اورانیوم طبیعی به عنوان یک فلز سنگین به صورت ترکیبات شیمیایی مختلف در سنگ‌ها، خاک‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها و از جمله در آب آشامیدنی، هوا و غذا وجود دارد. بدن انسان به طور متوسط حاوی $90 \mu\text{g}$ اورانیوم می‌باشد که از طریق آب، هوا و غذا دریافت شده است و تقریباً 66% آن در استخوان‌ها، 16% در کبد، 8% در کلیه‌ها و 10% در بقیه بافت‌ها توزیع گردیده است (۶). پرتوزایی مصنوعی و طبیعی در برخی از مناطق تحت تاثیر سوانح هسته‌ای و جنگ‌های متعارف که در آن‌ها از اورانیوم ضعیف‌شده در گلوله‌ها برای نفوذ در ادوات زرهی استفاده می‌گردد، دچار تغییرات اساسی می‌شود. استفاده از اورانیوم ضعیف‌شده باعث بالا رفتن سطح پرتوزایی منطقه می‌گردد (۷). عناصر پرتوزای موجود در خاک به صورت مستقیم از طریق گرد و غبار حاصله و استنشاق گاز رادن و یا این که به صورت غیرمستقیم از طریق مصرف محصولات کشاورزی وارد بدن انسان می‌شوند. این عناصر دارای رفتارهای متفاوتی در بدن انسان می‌باشند. تعدادی از آن‌ها در یک عضو تجمع بی‌ش‌تری پیدا می‌کنند و تعداد دیگری به طور یکنواخت در بدن توزیع می‌گردند. تابش‌های هسته‌ای گسیل شده از این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه واقع در هویزه

Figure1. Geographical map of studied region in Hoveizeh

نمونه برداری و نمونه سازی

در این تحقیق ۱۰ نمونه خاک از قسمت‌های مختلف منطقه هویزه و از سطح تا عمق ۳ سانتی متری سطح زمین به روش نمونه برداری تصادفی، و روش سامان یافته دایره‌ای تهیه گردید. برای تهیه هر نمونه از مرکز دایره‌ای به قطر ۲ متر و محل تلاقی دو قطر متعامد با محیط آن خاک برداری انجام و مخلوط گردیدند. این نمونه‌ها پس از انتقال به کارگاه نمونه سازی دانشگاه اراک با استفاده از دو نوع آسیاب فکی و گلوله‌ای خرد و سپس به منظور تهیه نمونه یکنواخت از مش شماره ۲۰ و سپس از مش شماره ۴۰ عبور داده شدند (۱۱). پودرهای آماده شده در کوره با دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶ ساعت

به منظور از دست دادن رطوبت احتمالی خشک گردیدند. سپس نمونه‌ها در ظروف استاندارد مارینلی بیکر^۱ با وزن خالص ۹۵۰ گرم بسته بندی و به منظور برقراری تعادل بین هسته‌های ^{226}Ra - ^{222}Rn و ^{238}U - ^{234}Th و ممانعت از خروج گاز رادن کاملاً آب بندی شدند. بعد از گذشت مدت ۱۶۸ روز از هر یک از نمونه‌ها به مدت یک شبانه روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف‌گیری به عمل آمد (۱۱). در جدول (۱) مشخصات نمونه‌ها شامل کد نمونه‌ها همراه با مختصات جغرافیایی محل نمونه برداری درج شده است.

1- Marinelli Beaker

جدول ۱- کد و مختصات جغرافیایی نمونه‌های خاک جمع آوری شده از منطقه هویزه

Table 1. Geographical Coordinate and code of collected soil samples of Hoveizeh region

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	کد نمونه
۴۸/۱۳۸۹۲	۳۱/۴۳۱۹۴	Irshv1
۴۸/۱۳۸۸۲	۳۱/۴۳۱۷۵	Irshv2
۴۸/۱۳۸۷۷	۳۱/۴۳۱۵۷	Irshv3
۴۸/۱۳۸۸۳	۳۱/۴۳۱۳۴	Irshv4
۴۸/۱۳۸۵۶	۳۱/۴۳۱۳۵	Irshv5
۴۸/۱۳۸۵۷	۳۱/۴۳۱۱۴	Irshv6
۴۸/۱۳۸۳۷	۳۱/۴۳۱۱۷	Irshv7
۴۸/۱۳۸۶۰	۳۱/۴۳۱۰۷	Irshv8
۴۸/۱۳۸۵۹	۳۱/۴۳۰۹۱	Irshv9
۴۸/۱۳۸۷۷	۳۱/۴۳۰۷۲	Irshv10

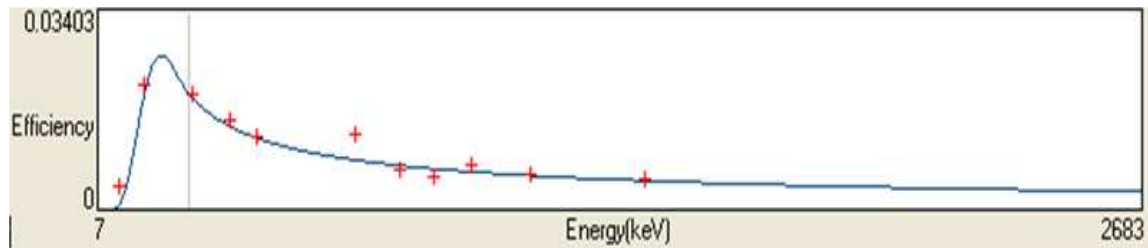
بیناب‌نگاری نمونه‌ها و ارایه نتایج

خالی در تحت شرایط یکسان صورت گرفت. بر مبنای طیف‌های ثبت شده ویژه‌فعالیت هسته‌های ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۱).

$$\varepsilon(\%) = \frac{N_i}{\text{Act} \times P_n(E_i) \times T} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه N_i شمارش خالص زیر قله فوتوپیک متناظر با انرژی E_i ، Act ویژه‌فعالیت هسته‌های پرتوزای موجود در ظرف استاندارد برحسب Bq ، $P_n(E_i)$ احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی بر حسب درصد و T زمان طیف‌گیری از نمونه بر حسب ثانیه است (۱۲). منحنی مقیاس-بندی بازدهی بر حسب انرژی اشعه گاما در شکل (۲) نشان داده شده است. این منحنی توسط نرم‌افزار Gamma vision 32 برای خطوط گاما‌های چشمه‌های استاندارد مذکور با انتخاب بهترین مقدار R^2 (نزدیک به مقدار یک) برای داشتن تصویری از منحنی بازدهی آشکارساز به دست آمد.

طیف نمونه‌ها با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیمی (HPGe) هم‌محور نوع P مدل GCD-30195BSI ساخت شرکت BSI (Baltic Scientific Instrument LTD (005- Latvia)) با قدرت تفکیک انرژی ۱/۹۵ کیلو الکترون‌ولت برای خط گامای ^{137}Cs / ^{60}Co ۱۳۳۲/۵۲۰ کیلو الکترون‌ولت مربوط به ^{60}Co و ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت ثبت شد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی طیف‌سنجی گاما با استفاده از چشمه استاندارد مخلوط حاوی رادیونوکلئیدهای ^{241}Am ، ^{152}Eu ، ^{137}Cs با اکتیویته مشخص انجام شد. طیف‌گیری با استفاده از نرم‌افزار IsrmBSI به عمل آمد. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت شده با استفاده از نرم‌افزار Maestro II EG&G Ortec محصول شرکت Gamma Vision 32 انجام گردید. به منظور کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ میلی‌متر قرار داده شد که پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون‌های کم‌انرژی و الکترون‌ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابند (۱۲). تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف



شکل ۲- منحنی مقیاس‌بندی بازدهی آشکارساز HPGe GCD30195 برای پیکربندی استاندارد مارینلی خاکی

Figure 2. Efficiency curve versus energy of HPGe GCD30195 detector for Marinelli Beaker standard container

نمونه بر حسب کیلوگرم می‌باشد (۱۳). برای تعیین ویژه‌فعالیت ^{238}U از دو خط گامای ^{234}Th ، با انرژی‌های ۹۲/۳۵ keV و ۹۲/۷۸ keV به ترتیب با احتمال واپاشی‌های ۲/۷۲٪ و ۲/۶۹٪ و مجموع ۵/۴۱٪ استفاده شد (۹). برای تعیین ویژه‌فعالیت ^{226}Ra در نمونه‌ها، از پرتو گامای ^{214}Pb با انرژی ۶۰۹/۳۱ keV و پرتو گامای ^{214}Bi با انرژی ۳۵۱/۹۳ keV استفاده شده است. همچنین برای تعیین ویژه‌فعالیت ^{232}Th از دو خط گامای ^{228}Ac ، یکی با انرژی ۹۱۱/۲۱ keV و احتمال واپاشی ۲۶/۶٪ و دیگری با انرژی ۹۶۸/۹۷ keV و احتمال واپاشی ۱۷/۴٪ استفاده شده است. ویژه‌فعالیت‌های ^{40}K و ^{137}Cs با استفاده از خطوط گاما‌های این هسته‌ها به ترتیب با انرژی‌های ۱۴۶۰/۷۰ keV و ۶۶۱/۶۶ keV تعیین گردیدند (۱۱). در شکل (۳) طیف نمونه با کد Irshv1 نشان داده شده است.

اندازه‌گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های

مورد مطالعه

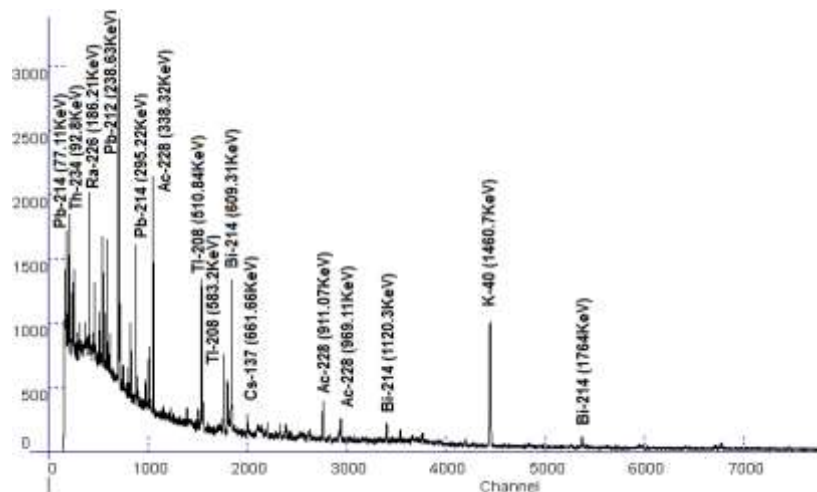
تحلیل بیناب‌های ناشی از هر نمونه به منظور برآورد فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در نمونه‌ها، به کمک نرم‌افزار GammaVision32 Ortec Software با زیربرنامه ENV32 به عنوان موتور آنالیزگر و سطح^۱ MDA با زیربرنامه Reg. Guide 4.16 Method محاسبه گردیده‌اند. در تجزیه و تحلیل تمامی بیناب‌ها، برای تصحیح مربوط به تابش‌های زمینه، بیناب ظرف خالی مارینلی، در شرایط هندسی و زمان یکسان اندازه‌گیری، و از بیناب نمونه‌ها کسر گردیده است. برای محاسبه فعالیت ویژه از معادله^۲ استفاده شد:

$$Act = \frac{\text{Net Area}}{\varepsilon(\%) \times B.R(\%) \times t \times m} \times 100 \quad (2)$$

در این معادله، Act فعالیت نمونه بر حسب Bqkg^{-1} ، Net Area سطح زیر پیک تمام‌انرژی متناظر با انرژی خاص، ε بازدهی آشکارساز در آن انرژی، B.R نسبت انشعابی بر حسب درصد، t زمان بیناب‌نگاری از نمونه بر حسب ثانیه و m جرم

1- Minimum Detectable Activity

2- Branching Ratio



شکل ۳- طیف ثبت شده پرتوهای گاما حاصل از نمونه Irshv1 با مدت زمان طیفگیری ۸۶۴۰۰ ثانیه

Figure 3. Registered spectrum of gamma rays of Irshv1 samples for 86400 s

شاخص گاما (I_γ)

از این شاخص برای برآورد خطر تابش گامای مربوط به رادیونوکلیدهای طبیعی موجود در نمونه خاک‌های مورد مطالعه، استفاده می‌شود. و مقدار آن از رابطه ۶ بدست می‌آید. در مورد این کمیت نیز برای ایمن بودن محیط زیست می‌بایست کوچک‌تر از یک باشد (۱۷).

$$I_\gamma = A_{Ra}/150 + A_{Th}/100 + A_K/1500 \leq 1 \quad (6)$$

آهنگ دز جذبی (D)

آهنگ دز جذبی در هوا ناشی از پرتوهای گامای گسیل شده از ویژه‌هسته‌های پرتوزای موجود در خاک، سنگ و آب در ارتفاع یک متر بالاتر از سطح زمین با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد (۱۵).

$$D(nGy h^{-1}) = 0.427A_{Ra} + 0.662A_{Th} + 0.0432A_K \quad (7)$$

مقدار میانگین جهانی آهنگ دز جذبی ناشی از مواد زمینی $55 nGy h^{-1}$ می‌باشد (۱۴).

دز معادل سالیانه غدد Annual Gonadal AGED (Equivalent Dose)

یک دسته از اعضای بدن شامل غدد تیروئید، ریه، مغز قرمز استخوان، سلول‌های سطح استخوان، بیضه‌ها و پستان توسط کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد تاثیر تابش‌های هسته-

فعالیت معادل رادیوم (Ra_{eq})

۹۸/۵ درصد از اثرات رادیولوژیکی سری اورانیوم مربوط به ^{226}Ra و ویژه‌هسته‌های پرتوزای دختر آن می‌باشد، بنابراین برای تعیین سطح پرتوزایی محیط زیست و امکان مقایسه نمونه‌ها، کمیتی به نام فعالیت ویژه معادل رادیوم (Ra_{eq}) که بیان‌گر اثرات رادیولوژیکی ^{226}Ra و ^{232}Th و دختران آن‌ها و ^{40}K می‌باشد تعریف و طبق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (۱۴).

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (3)$$

مقدار میانگین جهانی آن برای خاک و سنگ برابر $131/69$ بر حسب $Bq kg^{-1}$ می‌باشد (۱۵).

شاخص‌های خطرپذیری خارجی (H_{ex}) و داخلی (H_{in})

برای تعیین میزان پرتوگیری داخلی و خارجی ناشی از پرتوهای گاما و استنشاق گاز رادن از معیاری به نام شاخص خطرپذیری خارجی (H_{ex}) و شاخص خطرپذیری داخلی (H_{in}) استفاده می‌شود. مقدار این شاخص‌ها برای ناچیز بودن مخاطرات و ایمن بودن محیط، باید کم‌تر از یک باشد. این شاخص با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌گردد (۱۶).

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1 \quad (4)$$

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1 \quad (5)$$

میکروسیورت می‌باشد، همچنین آهنگ دز موثر سالیانه در فضای بسته باید کوچک‌تر از یک mSv^{-1} باشد (۱۵). آهنگ دز موثر سالیانه خارجی محیط زندگی در ارتفاع ۱ متری سطح زمین نیز از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (۱۴).

(۱۰)

$$AED \text{ outdoor } (mSv^{-1}) = \text{Dose rate}(nGyh^{-1}) \times 8766(hy^{-1}) \times 0.2 \times 0.7(SvGy^{-1}) \times 10^{-6}$$

که در این رابطه عدد ۰/۲ فاکتور قرارگیری در معرض پرتو در فضای خارج از محیط زندگی می‌باشد.

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا و فعالیت معادل رادیوم در خاک منطقه هویزه در جدول (۲) درج شده است. نتایج محاسبات پارامترهای رادیولوژیکی خاک شامل شاخص-های خطرپذیری داخلی و خارجی، شاخص گاما، دز معادل سالیانه غدد، آهنگ دز جذبی در هوا و دز موثر سالیانه داخلی و خارجی، در جدول (۳) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر متوسط فعالیت ویژه ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{226}Ra ، ^{238}U و ^{137}Cs در نمونه‌های خاک مورد مطالعه به ترتیب ۳۱/۰۹، ۳۴/۹۶، ۳۴/۸۴، ۳۸/۳۸ و ۵/۶۴ برحسب $Bqkg^{-1}$ بدست آمد.

ای (UNSCEAR) مورد مطالعه قرار گرفته است که بر طبق نظر این کمیته مقدار دز معادل سالیانه غدد مذکور از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (۱۴).

(۸)

$$AGED(\mu Sv^{-1}) = 3.09 A_{Ra} + 4.18 A_{Th} + 0.314 A_K$$

در روابط ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب ویژه-فعالیت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K برحسب $Bqkg^{-1}$ هستند. مقدار میانگین جهانی $AGED$ برابر $300 \mu Sv^{-1}$ است (۱۵).

آهنگ دز موثر سالیانه داخلی و خارجی در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین

با محاسبه مقادیر مربوط به آهنگ دز جذبی در هوا، آهنگ دز موثر سالیانه داخلی محیط زندگی ناشی از تابش‌های هسته‌ای طبیعی در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین بر طبق رابطه ۹ محاسبه گردید (۱۴).

(۹)

$$AED \text{ indoor } (mSv^{-1}) = \text{Dose rate}(nGyh^{-1}) \times 8766(hy^{-1}) \times 0.8 \times 0.7(SvGy^{-1}) \times 10^{-6}$$

در این رابطه، عدد ۸۷۶۶ مدت زمان قرارگیری در معرض پرتو در طول یک سال، ۰/۸ فاکتور قرارگیری در معرض پرتو در فضای داخلی محل زندگی و عدد ۰/۷ فاکتور تبدیل دز جذبی به دز موثر می‌باشد. واحد آهنگ دز موثر سالیانه میلی‌سیورت بر سال است. مقدار میانگین جهانی دز موثر جذبی سالیانه داخلی و خارجی به ترتیب برابر ۲۳۴/۹۳ و ۵۸/۷۳ برحسب

جدول ۲- نتایج اندازه گیری ویژه فعالیت هسته های پرتوزا در خاک منطقه هویزه

Table 2. Results of measurement of specific activities of radionuclides in soil in Hoveizeh region

فعالیت ویژه هسته های پرتوزا و فعالیت معادل رادیوم بر حسب $Bqkg^{-1}$					کد نمونه
^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^{238}U	
$0.24 \pm 2/62$	$4.08 \pm 413/45$	$1/11 \pm 35/19$	$0.77 \pm 31/78$	$1.07 \pm 26/72$	Irshv1
$0.27 \pm 9/06$	$4/35 \pm 424/84$	$1/07 \pm 34/89$	$0.78 \pm 34/18$	$1/16 \pm 39/31$	Irshv2
$0.27 \pm 9/34$	$4/36 \pm 466/73$	$1/14 \pm 37/96$	$0.81 \pm 32/78$	$1/24 \pm 34/49$	Irshv3
$0.23 \pm 5/09$	$4/18 \pm 132/43$	$1/05 \pm 22/75$	$0.94 \pm 32/46$	$1/36 \pm 26/42$	Irshv4
$0.26 \pm 7/89$	$4/36 \pm 431/10$	$1/06 \pm 36/59$	$0.79 \pm 34/53$	$1/67 \pm 29/97$	Irshv5
$0.17 \pm 0/90$	$3/88 \pm 160/42$	$1/19 \pm 27/20$	$1/05 \pm 35/02$	$1/54 \pm 64/64$	Irshv6
$0.24 \pm 1/65$	$4/37 \pm 443/56$	$1/01 \pm 34/59$	$0.81 \pm 35/22$	$1/39 \pm 18/11$	Irshv7
$0.45 <$	$4/42 \pm 422/37$	$1/06 \pm 35/71$	$0.76 \pm 35/41$	$1/20 \pm 26/67$	Irshv8
$0.26 \pm 6/23$	$4/58 \pm 485/74$	$1/15 \pm 42/86$	$0.83 \pm 39/09$	$1/93 \pm 45/30$	Irshv9
$0.27 \pm 7/97$	$4/48 \pm 466/18$	$1/15 \pm 40/61$	$0.49 \pm 39/09$	$1/23 \pm 29/24$	Irshv10
$0.74 \pm 5/64$	$13/63 \pm 384/38$	$3/48 \pm 34/84$	$2/57 \pm 34/96$	$4/43 \pm 34/09$	میانگین

جدول ۳- شاخص های خطر پذیری و پارامترهای رادیولوژیکی نمونه های خاک

Table 3. Hazard indices and radiological parameters of soil samples

AEDEout (mSvy ⁻¹)	AEDEin (mSvy ⁻¹)	D (nGyh ⁻¹)	AGED (μSvy ⁻¹)	I _y	H _{ex}	H _{in}	Ra _{eq} (Bqkg ⁻¹)	کد نمونه
0.08	0.33	$67/28 \pm 1/24$	$375/12$	0.84	0.31	0.39	$113/93$	Irshv1
0.07	0.28	$56/05 \pm 1/23$	$384/86$	0.86	0.32	0.41	$116/80$	Irshv2
0.07	0.29	$59/29 \pm 1/29$	$406/52$	0.91	0.33	0.42	$123/00$	Irshv3
0.04	0.17	$34/64 \pm 1/28$	$236/98$	0.53	0.20	0.29	$75/18$	Irshv4
0.07	0.28	$57/59 \pm 0/93$	$395/01$	0.88	0.32	0.42	$120/05$	Irshv5
0.05	0.20	$39/89 \pm 1/40$	$272/28$	0.61	0.23	0.33	$86/27$	Irshv6
0.07	0.28	$57/11 \pm 1/20$	$392/69$	0.88	0.32	0.42	$118/87$	Irshv7
0.07	0.28	$57/01 \pm 1/18$	$391/31$	0.87	0.32	0.42	$119/00$	Irshv8
0.08	0.32	$66/04 \pm 1/31$	$452/47$	$1/01$	0.37	0.48	$137/78$	Irshv9
0.08	0.31	$63/71 \pm 1/17$	$436/92$	$0/98$	$0/36$	$0/47$	$133/06$	Irshv10
0.07	0.27	$55/86 \pm 1/22$	$374/41$	0.84	0.31	0.41	$114/39$	میانگین

به ترتیب در محدوده $22/75$ تا $42/86$ و $132/43$ تا $485/74$ بر حسب بکرل بر کیلوگرم می باشد که تقریباً در حد مقدار میانگین جهانی می باشد. مقدار متوسط جهانی ارایه شده برای ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K در خاک توسط UNSCAER به ترتیب برابر 35 ، 45 و 420 بر حسب $Bqkg^{-1}$ است (۱۴). مقدار کمیت Ra_{eq} برای این نمونه ها از $18/75$ تا $137/78$ با میانگین $114/39$ بکرل بر کیلوگرم بدست آمد که از مقدار میانگین جهانی کم تر می باشد. مقدار ویژه فعالیت ^{137}Cs در نمونه ها از

نتایج اندازه گیری فعالیت ویژه ^{226}Ra و ^{238}U در نمونه های تهیه شده به ترتیب در محدوده $18/11$ تا $64/64$ و $31/78$ تا $39/09$ بر حسب بکرل بر کیلوگرم محاسبه شد که در محدوده مقدار میانگین جهانی می باشد. با توجه به مقادیر ذکر شده تفاوت معنی داری بین مقدار میانگین اورانیوم و رادیوم وجود ندارد. بنابراین اختلافی بین مقادیر دو ویژه هسته مذکور مشاهده نمی شود که دلالت بر عدم استفاده از اورانیوم ضعیف شده در این منطقه دارد. فعالیت ویژه ^{232}Th و ^{40}K برای این نمونه ها

می‌باشند. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در این پژوهش، در جدول (۵) نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه ویژه‌هسته‌های پرتوزا در خاک برخی کشورها درج شده است. که نتایج این پژوهش توافق خوبی با نتایج مطالعات سایر کشورها و میانگین جهانی دارد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که میزان پرتوزایی منطقه مورد مطالعه در سطح طبیعی می‌باشد و از این نظر خطری سلامتی افراد را تهدید نمی‌کند.

$0.45 <$ تا 9.34 بر حسب $Bqkg^{-1}$ تغییر می‌کند که به جز یک مورد در بقیه نمونه‌ها مشاهده گردید لذا نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک این منطقه آلوده به سزیم پرتوزا می‌باشد و آلودگی آن در سطح آلودگی خاک‌های استان مرکزی است (۱۸). مقادیر H_{ext} و H_{in} در نمونه‌ها به ترتیب از 0.37 تا 0.49 و 0.25 تا 0.37 تغییر می‌کند و میزان فعالیت معادل رادیوم و سایر شاخص‌های خطرپذیری داخلی و خارجی برای تمامی نمونه‌های خاک مورد مطالعه در محدوده میانگین جهانی

جدول ۵- مقایسه نتایج ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای طبیعی در این پژوهش و خاک بعضی از کشورها

Table 5. Comparison the results of specific activities of natural radionuclides in this research with soil of some countries

نام کشور	^{238}U (Bqkg ⁻¹)	^{226}Ra (Bqkg ⁻¹)	^{232}Th (Bqkg ⁻¹)	^{40}K (Bqkg ⁻¹)	مراجع
یونان	۱۱۰-۲۹	۸۱-۱۹	۸۸-۱۹	۱۵۹۳-۱۵۲	(۱۹)
مصر	-	۴۸-۴	۵۰-۸	۱۸۷-۱۶	(۲۰)
فرانسه	۶۲-۹	۶۲-۹	۵۵-۱۶	۱۰۲۶-۱۲۰	(۲۱)
آلبانی	۲۷-۸	۲۳-۱۳	۴۰-۱۳	۶۷۵-۲۶۶	(۲۲)
اسپانیا	-	۱۴-۹	۱۶-۱۱	۴۶۰-۲۲۰	(۲۳)
الجزایر	۲۵-۱۱	-	۳۲-۶	۶۰۷-۵۶	(۲۴)
ایتالیا	۷۰-۴۲	-	۳۷-۳۱	۴۷۵-۴۱۰	(۲۵)
ایران-هویزه	۳۸-۳۰	۴۵-۳۱	۶۴-۱۸	۱۶۸-۵۴۹	[این پژوهش]
مقدار میانگین خاک هویزه	۳۴/۰۹	۳۴/۹۶	۳۴/۸۴	۳۸۴/۶۸	[این پژوهش]

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی گردیده است بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت مذکور کمال سپاسگزاری را داشته باشند.

Reference

1. El-Taher A, Uosif M.A., Orabi A.A., 2007. Natural radioactivity levels and radiation hazard indices in granite from Aswan to Wadi El-Allaqi southeastern desert, Egyptian Radiation Protection Dosimetry, 124(2), 148-154
2. El-Arabi, A.M., 2007. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentration in igneous rocks from eastern desert Egypt and its radiological implication. Radiation Measurement, 42, 94-100.
3. Singh P, Rana N, Azam A, Naqvi A, Srivastava D., 1996. Levels of uranium in waters from some Indian cities determined by fission track analysis. Radiation Measurements, 26(5), 683-687
4. Firestone B R, Shirley S V, Bagalin M C, Frank Chu SY, Zipkin J. The Edition of Table of isotopes, CD-ROM, John Wiley & Sons Inc
5. Wedepohl KH., 1995. The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59,1217-1239

12. Aziz A, 1981. International Atomic Energy Agency, Vienna, Methods of Low-Level Counting and Spectrometry Symposium. Berlin. Vol. 221.
13. Gilmore GR, Practical Gamma-ray Spectrometry, 2nd Edition, Nuclear Training Services Ltd Warrington, UK, 2008; ISBN: 978-0-470-86196-7
14. UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposure from natural sources of radiation, United Nations publication sales No. 10.IX.3.
15. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations; 2000
16. Ahmed NK, Abbady A, El-arabi AM, Michel R, El-Kamel AH, E.abbady AG., 2006. Comparative study of the natural Radioactivity of some selected rocks from Egypt and Germany. Indian Journal of Pure & Applied Physics, 44, 209-215.
17. Avwiri G O, Ononugbo C P, Nwokeoji I E., 2014. Radiation hazard indices and excess lifetime cancer risk in soil, sediment and water around mini-okoro/oginigba creek, port harcourt, rivers state, Nigeria. Comprehensive Journal of Environment and Earth Sciences. 3(1), 38-50
18. Pourimani R., Asadpour F., 2016. Determination of Specific Activities of Radionuclides in Soil and Their Transfer Factor from Soil to Bean and Calculation of Cancer Risk for Bean Consumption in Iran. Arak Medical University Journal (AMUJ), 19(107), 9-18 (In Persian).
19. Florou H., Kriditis P., 1992. Gamma radiation measurements and dose rate
6. McClain DE, Benson KA, Dalton TK, Ejniak J, Emond CA, Hodge SJ et al. 2001. Biological Effects of embedded depleted uranium (DU): summary of Armed Forces Radiology Research Institute report. Science of The Total Environment. 274(1-3), 115-118.
7. Harb S., E-Kamel A. H., Zahran A. M., Abbady A., Ahmed F.A. 2014 . Assessment of Natural Radioactivity in Soil and Water Samples from Aden Governorate South Of Yemen Region, International Journal of Recent Research in Physics and Chemical Sciences (IJRRPCS) Vol. 1(1) , 1-7.
8. Stojanović M., Stevanović D., Milojković J., Mihajlović M., Lopičić Z., Šoštarić, 2012. Influence of soil type and physical-chemical properties on uranium sorption and Bioavailability. Water Air Soil Pollution. 223,135-144.
9. Anagnostakis M J , Hinis E P, Karangelos D J, Petropoulos N P, Rouni P K, Simopoulps S E et al., 2001. Determination of depleted uranium in environmental samples by gamma spectroscopic techniques. Archive of Oncology, 9(4), 231-236
10. IAEA, International Atomic Energy Agency. Radiological conditions in selected areas of southern Iraq with residues of depleted uranium. Report by an international group of experts. Printed by the IAEA in Austria, Vienna. 2010, STI/PUB/1434
11. International Atomic Energy Agency. Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides an trace element. IAEA-TECDOC-1360, IAEA; VIENNA; 2003.

- of Albania", *Appl. Radiat. Isot.* 65 (4), 445–453.
23. Ligerio R.A., Ramos-Lerate I., Barrera M., Casas-Ruiz M., 2001. Relationships between sea-bed radionuclide activities and some sedimentological variables. *J. Environ. Radioact.* 57, 7-19.
24. Benamar M.A., Zerrouki A., Idiri Z., Tobbeche S., 1997. Natural and artificial levels in sediments in Algiers Bay. *Appl. Radiat. Isot.* 48 (8), 1161-1164.
25. Doretta L., Ferrar D., Barison G., Gerbasi R., Battiston G., 1992. Natural radionuclides in the muds and waters used in thermal therapy in Abano Terme, Italy. *Radiat. Prot. Dosim.* 45 (1), 175-178.
- in the coastal areas of a volcanic island, Aegan Sea, Greece, *Radiation Protection Dosimetry.* 45 (1), 277–279.
20. Ibrahiem, N.M., Shawky, S.M., Amer, H.A., 1995. "Radioactivity levels in Lake Nasser sediments", *Appl. Radiat. Isot.* 46 (5), 297–299.
21. Lambrechts A., Foulquier L., Garnier-Laplace J., 1992. "Natural radioactivity in the aquatic components of the main French rivers", *Radiat. Prot. Dosim.* 45 (1), 253–256.
22. Tsabaris C., Eleftheriou G., Kapsimalis V., Anagnostou C., Vlastou R., Durmishi C., Kedhi M., Kalfas C.A., 2007. " Radioactivity levels of recent sediments in the Butrint Lagoon and the adjacent coast