



## بررسی پرتوزایی طبیعی خاک‌های کشاورزی و بکر در شهرهای اراک و سرپند در استان مرکزی

رضا پورایمانی<sup>۱\*</sup> - فائزه یوسفی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

### چکیده

هر ساله مقدار زیادی از انواع کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی و جبران مواد مغذی و ضروری به خاک اضافه می‌شود. این کودها حاوی فلزات سنگین و عناصر پرتوزا هستند و با افزودن آن‌ها به خاک، آلاینده‌های پرتوزایی محیطی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند. در این پژوهش ۲۲ نمونه از خاک‌های کشاورزی و بکر از مناطق مختلف شهرهای اراک و سرپند در استان مرکزی جمع‌آوری گردید. مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  با استفاده از روش طیف‌سنجی پرتوهای گاما و با به‌کارگیری آشکارساز HPGe با بازدهی ۳۰ درصد تعیین گردید. مقادیر میانگین فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  برای خاک‌های کشاورزی به ترتیب برابر ۴۵/۵۴، ۶۹/۰۹ و ۹۲۶/۷۱ برای خاک‌های بکر به ترتیب برابر ۴۳/۳۷، ۱۷/۲۶ و ۶۰۴/۰۴ برحسب Bq/kg بدست آمد. میانگین آهنگ دز جذبی در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب ۱۰۵/۲۲ و ۷۰/۵۹ برحسب nGy/y محاسبه گردید. میانگین مقادیر دز معادل سالانه غدد و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب برابر (۰/۷۲ و ۰/۴۸) و (۰/۴۵×۱۰<sup>-۳</sup> و ۰/۲۹×۱۰<sup>-۳</sup>) بدست آمد. مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای طبیعی، آهنگ دز جذبی، آهنگ دز مؤثر سالانه داخلی و خارجی و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در تمام نمونه‌های خاک‌های کشاورزی بیشتر از مقدار میانگین جهانی بدست آمد و در مورد خاک‌های بکر با میانگین جهانی توافقی خوبی را نشان می‌دهد. آنالیز آماری انجام شده نشان می‌دهد که در سطح معنی‌دار ۰/۰۱ استفاده از کودهای شیمیایی باعث افزایش پرتوزایی خاک گردیده است.

واژه‌های کلیدی: پرتوزایی، خاک بکر، خاک کشاورزی، کود شیمیایی

### مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی اصلی عناصر پرتوزا می‌باشد که از آن به‌عنوان یک ماده اولیه در ساخت جاده‌ها ساختمان‌ها، محل‌های دفن زباله، زمین‌های بازی و زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (۱۴). پرتوهای موجود در طبیعت به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم وارد بدن موجودات زنده می‌شوند. عناصر پرتوزای موجود در خاک به‌صورت مستقیم از طریق گردوغبار حاصله و استنشاق گاز رادن و یا اینکه به‌صورت غیرمستقیم از طریق مصرف محصولات کشاورزی و دامی 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 به‌طور یکنواخت در بدن توزیع می‌گردند. تابش‌های هسته‌ای گسیل شده از این عناصر برای بافت‌های بدن مضر می‌باشد و ممکن است باعث بیماری‌هایی مانند سرطان و یا ناهنجاری‌های ژنتیکی گردند. کود یک ترکیب شیمیایی است که مهم‌ترین ماده مغذی گیاهان به‌حساب می‌آید و کودها به دلیل افزایش تولید محصول و جبران کمبود مواد مغذی زمین‌های کشاورزی یک ماده ضروری در سراسر جهان محسوب می‌شوند. کودها در انواع مختلفی نظیر فسفات، NPK و غیره تولید می‌شوند. سنگ‌های فسفات ماده اولیه تولید بیشتر این کودها به‌حساب می‌آید.

انسان‌ها همواره در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. عمده این پرتوها در اثر واپاشی هسته‌های پرتوزای موجود در محیط‌زیست تولید می‌شوند. پوسته زمین یکی از منابع طبیعی اصلی عناصر پرتوزا است. بخش عمده پرتوهای یونساز طبیعی ناشی از واپاشی سری‌های واپاشان  $^{238}\text{U}$ ،  $^{235}\text{U}$  و  $^{232}\text{Th}$  و ویژه هسته پرتوزای  $^{40}\text{K}$  موجود در خاک، سنگ و آب می‌باشد (۱). مقدار میانگین اورانیوم در پوسته زمین ۲/۷mg/kg تخمین زده شده است که این مقدار در سنگ‌های فسفات به ۱۲۰ mg/kg افزایش پیدا می‌کند سنگ‌های فسفات یکی از منابع اصلی تولید کودهای شیمیایی به‌حساب می‌آید (۱۵). در مورد توریم مقدار میانگین آن در پوسته زمین ۹/۶ mg/kg برآورد شده است (۹). پتاسیم یکی از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده پوسته زمین می‌باشد که ۲/۸ درصد از ترکیبات خاک را شامل می‌گردد (۲۸). خاک

۱ و ۲ - دانشیار و فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک

(Email: r-pourimani@araku.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.61000

ضریب جذب در نمونه‌ها نیست. به منظور حذف رطوبت اضافی و جلوگیری از تغییر وزن در طول اندازه‌گیری، نمونه‌ها به مدت یک شبانه روز در کوره‌ای با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس ۹۵۰ گرم از هر نمونه در ظرف نگهداری مارلینی بیکر قرار داده شد و جهت جلوگیری از خروج گاز رادن موجود در نمونه‌ها، ظروف کاملاً آب‌بندی شدند. به منظور ایجاد تعادل بین هسته مادر  $^{226}\text{Ra}$  و هسته دختر  $^{222}\text{Rn}$  نمونه‌ها به مدت ۵۰ روز در آزمایشگاه نگهداری شدند (۱۱).

طیف‌گیری پرتوهای گاما با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) هم‌محور از نوع P مدل GCD30195BSI ساخت شرکت Scientific Instrument LTD (LV-005 Latvia) با بازدهی نسبی ۳۰ درصد و با استفاده از نرم‌افزار Lsrmbasi Baltic انجام شد. قدرت تفکیک انرژی آشکارساز ۱/۹۵ کیلو الکترون‌ولت برای خط گاما مربوط به  $^{60}\text{Co}$  با انرژی ۱۳۳۲/۵۲ کیلو الکترون‌ولت است و در ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت کار می‌کند. از هر یک از نمونه‌ها به مدت دقیقاً یک شبانه روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف‌گیری به عمل آمد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از چشمه‌های استاندارد حاوی هسته‌های پرتوزا  $^{133}\text{Ba}$ ،  $^{57}\text{Co}$ ،  $^{60}\text{Co}$  و  $^{241}\text{Am}$  صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار Maestro II Gamma Vision32 محصول شرکت EG&G Ortec 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 کم انرژی و الکترون‌ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابند (۲۰). تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی در تحت شرایط یکسان صورت گرفت. بر مبنای طیف‌های ثبت شده ویژه فعالیت هسته‌های  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۴).

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

در این رابطه  $N_i$  شمارش خالص زیر قله فوتونیک متناظر با انرژی  $E_i$ ،  $Act$  ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای موجود در ظرف استاندارد برحسب Bq،  $P_n(E_i)$  احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی  $E_i$  به ازای هر واپاشی برحسب درصد و  $T$  زمان طیف‌گیری از نمونه برحسب ثانیه است (۴).

اندازه‌گیری فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از طیف‌های ثبت‌شده، فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا از رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۰).

کودهای فسفات می‌توانند دارای غلظت بالایی از اورانیوم باشند (۲۲). کودها معمولاً حاوی فلزات سنگین و عناصر پرتوزا با غلظت بالا هستند و یکی از منابع اصلی انتشار اورانیوم در محیط هستند (۱۸). به دلیل افزایش مصرف کودها در زمین‌های کشاورزی میزان دز تابشی نیز افزایش پیدا می‌کند که این امر سبب بروز بیماری‌های متعددی در انسان‌ها می‌گردد. نمک‌های رادیم به همراه سایر نمک‌ها در آب حل می‌شوند و به لایه‌های زیرین خاک نفوذ می‌کنند و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردند (۱۶). نتایج مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های مزارع برنج در چهار روستای شهر گرگان نشان می‌دهد که سطح پرتوزایی خاک‌های کشاورزی نسبت به میانگین جهانی افزایش قابل ملاحظه‌ای دارند در حالی که نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی خاک‌های بکر در شهر تهران برای رادیوم و توریم در سطح میانگین جهانی ولی برای پتاسیم ۳۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد (۴ و ۱۷). بنابراین اندازه‌گیری پرتوزایی طبیعی خاک در نظارت بر تعیین میزان آلودگی محیط به مواد پرتوزا و کنترل آن‌ها امری ضروری است که در حفظ سلامتی افراد مؤثر می‌باشد. در این پژوهش نمونه‌های خاک‌های کشاورزی و بکر از مناطق مختلف شهرهای اراک و سربند واقع در استان مرکزی تهیه و با استفاده از روش طیف‌سنجی گاما مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در آن‌ها تعیین و مقایسه گردیده است. برای کلیه نمونه‌ها آنالیز آماری به کمک نرم‌افزار SPSSII، آزمون t-test (Independent sample test) در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شده است. پارامترهای رادیولوژیکی مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۲ نمونه خاک از زمین‌های کشاورزی و بکر در مناطق شهرهای اراک و سربند در استان مرکزی جمع‌آوری گردید. در شهر اراک ۱۲ نمونه از محل مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان مرکزی و ۲ نمونه از روستای گاوخانه و همچنین ۸ نمونه از روستای باغ برآفتاب در منطقه سربند تهیه گردید. نمونه‌برداری در این مناطق کاملاً به صورت تصادفی و تجربی از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام و از هر نمونه به میزان ۲ کیلوگرم تهیه شد. برای تهیه هر نمونه، دایره‌ای به قطر ۲ متر رسم گردید و سپس برداشت خاک از ۵ نقطه آن شامل مرکز دایره و ۴ نقطه از محل تلاقی دو قطر عمود برهم با محیط دایره انجام و به نسبت مساوی مخلوط گردیدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای اتاق، به منظور ریزدانه شدن با استفاده از آسیاب گلوله‌ای آسیاب شدند. جهت به دست آوردن نمونه‌های یکنواخت، پودرهای تهیه شده از ۵۰ گذرانده شدند. با این عمل نمونه‌های پودری از نظر پیکربندی مشابه نمونه استاندارد کالیبراسیون بازدهی می‌شوند و دیگر نیازی به اعمال تصحیحات

### آهنگ دز جذبی (D)

آهنگ دز جذبی در هوا ناشی از پرتوهای گاما گسیل شده از ویژه هسته های پرتوزای موجود در خاک، سنگ و آب در ارتفاع یک متری بالاتر از سطح زمین با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می گردد (۲۳). مقدار میانگین جهانی آهنگ دز جذبی ناشی از مواد زمینی nGy/h ۵۵ می باشد (۲۶).

$$D(\text{nGy/h}) = 0.427A_{\text{Ra}} + 0.662A_{\text{Th}} + 0.0432A_{\text{K}} \quad (۶)$$

در روابط ۳ تا ۶،  $A_{\text{Ra}}$ ،  $A_{\text{Th}}$  و  $A_{\text{K}}$  به ترتیب فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  برحسب Bq/kg می باشند.

### آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی (AED annual effective dose)

انسان ها به طور معمول ۲۰ درصد در معرض پرتودهی در فضای خارج از محیط زندگی و ۸۰ درصد در معرض پرتودهی در فضای داخلی محل زندگی می باشند. با محاسبه مقادیر مربوط به آهنگ دز جذبی در هوا، آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی دریافتی توسط افراد در محیط زندگی ناشی از تابش های هسته ای طبیعی بر طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\text{AED indoor } (\mu\text{Sv/y}) = \text{Dose rate}(\text{nGy/h}) \times 8766(\text{h/y}) \times 0.8 \times 0.7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (۷)$$

$$\text{AED outdoor } (\mu\text{Sv/y}) = \text{Dose rate}(\text{nGy/h}) \times 8766(\text{h/y}) \times 0.2 \times 0.7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (۸)$$

که در رابطه ۷ کمیت AED indoor دز مؤثر سالیانه داخلی، ۸۷۶۶ ساعت، مدت زمان قرارگیری انسان ها در معرض پرتو در طول یک سال و ۰/۸ ضریب قرارگیری در فضای داخلی محل زندگی و ۰/۷ ضریب تبدیل دز جذبی در هوا به دز مؤثر می باشد. در رابطه ۸ کمیت AED outdoor دز مؤثر سالیانه خارجی، ۰/۲ ضریب قرارگیری در فضای خارج از محیط زندگی می باشد. مقدار میانگین جهانی دز مؤثر جذبی سالیانه داخلی و خارجی به ترتیب برابر ۲۳۴/۹۳ و ۵۸/۷۳ برحسب  $\mu\text{Sv/y}$  می باشد (۱۹).

### دز معادل سالیانه غدد (Annual Gonadal Dose AGDE Equivalent)

مقدار دز دریافتی توسط برخی از غدد بدن مانند پستان ها، غدد تیروئید، ریه، مغز قرمز استخوان، سلول های سطح استخوان و غدد جنسی به دلیل اهمیت آن ها از نقطه نظر بیماری های ژنتیکی و سرطان مورد توجه کمیته علمی سازمان ملل متحد در مور تأثیرات تابش های هسته ای قرار گرفته است. بر طبق نظر این کمیته مقدار دز معادل سالیانه غدد مذکور از رابطه زیر محاسبه می گردد (۲۶).

$$\text{AGDE}(\text{mSv}^{-1}) = (3.09 A_{\text{Ra}} + 4.18 A_{\text{Th}} + 0.314 A_{\text{K}}) \times 10^{-3} \quad (۹)$$

$$\text{Act} = \frac{\text{Net Area}}{\epsilon \times \text{BR} \times T \times m} \quad (۲)$$

که در این رابطه Act فعالیت ویژه نمونه پرتوزا برحسب بکرل بر کیلوگرم، Net Area سطح زیر پیک متناظر با انرژی خاص، بازدهی آشکارساز در آن انرژی، (BR) نسبت انشعابی یا احتمال گسیل اشعه گاما با انرژی Ei به ازای هر واپاشی، T زمان طیف گیری از نمونه بر حسب ثانیه و m جرم نمونه برحسب کیلوگرم است. برای تعیین فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه ها، از پرتوگامای  $^{214}\text{Pb}$  با انرژی keV ۲۰۳/۹۳ و پرتوگامای  $^{214}\text{Bi}$  با انرژی ۶۰۹/۳۱ کیلو الکترون ولت استفاده شده است. برای تعیین فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$  از دو خط گامای  $^{228}\text{Ac}$  یکی با انرژی ۹۱۱/۲۱ کیلو الکترون ولت و احتمال واپاشی ۲۶/۶ درصد و دیگری با انرژی ۹۶۸/۹۷ کیلو الکترون ولت و احتمال واپاشی ۱۷/۴ درصد استفاده شده است. فعالیت ویژه  $^{40}\text{K}$  از خط گامای این هسته با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ کیلو الکترون ولت تعیین گردید (۹). مقدار میانگین جهانی ویژه فعالیت  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک و سنگ به ترتیب برابر ۳۵، ۴۰ و ۴۰۰ بکرل بر کیلوگرم می باشد (۲۵).

### فعالیت معادل رادیوم ( $\text{Ra}_{\text{eq}}$ )

با توجه به اینکه ۹۸/۵ درصد تابش ها هسته ای سری اورانیوم مربوط به رادیوم و دختران آن می باشد و به منظور تعیین پرتوزایی کلی خاک و تعیین ایمن بودن محیط تابش و مقایسه آن با حداکثر مقدار مجاز از کمیته به نام فعالیت معادل رادیوم استفاده می گردد. با توجه به اینکه ۱۰ بکرل بر کیلوگرم از  $^{226}\text{Ra}$  و ۷ بکرل بر کیلوگرم از  $^{232}\text{Th}$  و ۱۳۰ بکرل بر کیلوگرم از  $^{40}\text{K}$  دارای آهنگ دز گامای یکسانی هستند بنابراین می توان آن ها را برحسب رادیوم معادل سازی کرد که به کمیت فعالیت معادل رادیوم معروف است و طبق رابطه ۳ محاسبه می شود (۲۵).

$$\text{Ra}_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad (۳)$$

برای ایمن بودن محیط حداکثر مقدار  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  باید کمتر از ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم باشد.

### شاخص های خطر پذیری خارجی ( $\text{H}_{\text{ex}}$ ) و داخلی ( $\text{H}_{\text{in}}$ )

با توجه به اینکه پرتوگیری به دو صورت داخلی (مانند استنشاق گاز رادن) و خارجی مانند پرتوهای گامای موجود در محیط صورت می گیرد از شاخصی به نام شاخص خطر پذیری خارجی و داخلی استفاده می شود که با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه می گردد. برای ایمن بودن محیط مقادیر این کمیت ها باید کمتر از یک باشد (۶).

$$\text{H}_{\text{ex}} = A_{\text{Ra}}/370 + A_{\text{Th}}/259 + A_{\text{K}}/4810 < 1 \quad (۴)$$

$$\text{H}_{\text{in}} = A_{\text{Ra}}/185 + A_{\text{Th}}/259 + A_{\text{K}}/4810 < 1 \quad (۵)$$

اثر کوددهی با استفاده از نرم افزار SPSSII، آزمون t-test فاکتورهای مستقل در سطح احتمال ۰/۰۵ در جداول ۳ و ۴ درج گردیده است. در جدول ۴ هر عدد داخل جدول میانگین ۱۱ تکرار  $\pm SE$  است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است و حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار بین میانگین ها بر اساس t-test (سطح احتمال ۰/۰۵) به دست آمده است.

مقادیر فعالیت ویژه هسته های پرتوزای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک های کشاورزی و بکر به ترتیب در محدوده (۳۹/۶۰ - ۵۱/۹۴)، (۷۳/۸۴ - ۵۰/۹۰)، (۶۷۶/۰۹ - ۱۰۹۴/۵۰) و (۶۱/۶۰ - ۱۲/۹۸)، (۶۰/۹۸ - ۱۸/۱۵) بر حسب Bq/kg تغییر می کند. میانگین فعالیت ویژه هسته های مذکور در خاک های کشاورزی و بکر به ترتیب ۴۵/۵۴، ۶۹/۰۹ و ۹۲۶/۷۱ و ۳۷/۲۷، ۴۳/۱۸، ۶۰۴/۰۵ بر حسب Bq/kg بدست آمد. در مورد فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$  کوددهی اثر معنی داری نداشته است و این می تواند به دلیل حلال بودن نمک های رادیوم در آب و جابجایی آنها به لایه های عمقی تر باشد ولی در مورد فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و کمیت  $Ra_{eq}$  طبق جدول آنالیز واریانس اختلاف بسیار معنی داری (۰/۰۱) بین خاک های بکر و کشاورزی وجود دارد. بیشترین افزایش مقدار میانگین فعالیت ویژه مربوط به  $^{232}\text{Th}$  است که نسبت به میانگین آن در خاک های بکر ۱/۶ برابر شده است. به عبارتی دیگر کوددهی سبب افزایش ۶۰ درصدی فعالیت ویژه توربوم در خاک های کشاورزی نسبت به خاک های بکر شده است (جدول ۴).

### خطر ابتلا به سرطان در طول عمر Excess Lifetime (Cancer Risk) ELCR

برای محاسبه خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی در اثر تابش های گامای محیطی از رابطه ۱۰ استفاده می گردد.

$$ELCR = AED \times DL \times RF \quad (10)$$

که در این رابطه AED، دز مؤثر سالانه خارجی بر حسب سیورت، DL طول عمر متوسط برابر ۷۰ سال و RF ضریب خطر می باشد. برای آثار احتمالی پرتوها بر افراد جامعه، کمیته بین المللی حفاظت در برابر اشعه ضریب  $SV^{-1}$  ۰/۰۵ را تعیین کرده است (۱۲). مقدار میانگین جهانی ELCR برابر  $10^{-3} \times 0.29$  و حداکثر مقدار مجاز آن  $10^{-3}$  است (۲۷).

### نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری فعالیت ویژه هسته های پرتوزای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در جدول ۱ درج شده است. حاصل محاسبات فعالیت معادل رادیم ( $Ra_{eq}$ )، شاخص های خطرپذیری داخلی و خارجی ( $H_{in}$ ،  $H_{ex}$ )، دز جذبی در هوا (D)، دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی (AED) indoor، AED outdoor و دز معادل سالیانه غدد (AGDE) برای کلیه نمونه ها در جدول ۲ مشاهده می گردد. ارزیابی خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) برای کلیه نمونه ها انجام شد که به صورت نمودار به همراه مقدار میانگین جهانی در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری شامل آنالیز واریانس و مقایسه میانگین

جدول ۱- ویژه فعالیت هسته های پرتوزا در نمونه های خاک کشاورزی و بکر بر حسب Bq/kg  
Table 1- Specific activity of radionuclides in agriculture and virgin soils in Bq/kg

| خاک های کشاورزی         |                 |                 |                | خاک های بکر             |                 |                 |                |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Agriculture soils       |                 |                 |                | Virgin soils            |                 |                 |                |
| کد نمونه<br>Sample code | A <sub>Ra</sub> | A <sub>Th</sub> | A <sub>K</sub> | کد نمونه<br>Sample code | A <sub>Ra</sub> | A <sub>Th</sub> | A <sub>K</sub> |
| S1                      | 87.45           | 85.71           | 12.982         | SA                      | 98.12           | 15.18           | 48.257         |
| S2                      | 20.48           | 76.70           | 55.937         | SB                      | 03.38           | 63.27           | 98.359         |
| S3                      | 94.51           | 64.68           | 93.973         | SC                      | 27.28           | 18.42           | 42.613         |
| S4                      | 52.47           | 65.69           | 905.00         | SD                      | 17.28           | 13.43           | 56.620         |
| S5                      | 87.47           | 41.73           | 8.1018         | SE                      | 39.28           | 45.42           | 49.622         |
| S6                      | 88.45           | 07.71           | 19.996         | SF                      | 51.20           | 46.39           | 58.589         |
| S7                      | 45.44           | 19.70           | 23.944         | SG                      | 46.21           | 70.43           | 39.587         |
| S8                      | 49.40           | 27.70           | 57.686         | SH                      | 60.61           | 98.60           | 58.866         |
| S9                      | 60.39           | 90.50           | 09.676         | SI                      | 91.58           | 31.56           | 40.761         |
| S10                     | 86.42           | 46.69           | 87.978         | SJ                      | 07.58           | 01.51           | 73.785         |
| S11                     | 28.46           | 84.73           | 50.1094        | SK                      | 58.53           | 97.49           | 90.579         |

جدول ۲- پارامترهای پرتوشناختی نمونه های خاک های کشاورزی و بکر  
Table 2- Radiological parameters of agricultural and virgin soils

| کد نمونه<br>Sample code | R <sub>aeq</sub><br>(Bq/kg) | H <sub>ex</sub> | H <sub>in</sub> | D (nGy/h) | AEDindoor<br>(μSv/y) | AEDoutdoor<br>(μSv/y) | AGDE<br>(mSvy <sup>-1</sup> ) | ELCR× 10 <sup>-3</sup> |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|
| S1                      | 224.24                      | 0.61            | 0.73            | 109.58    | 537.92               | 134.48                | 0.75                          | 0.47                   |
| S2                      | 221.58                      | 0.60            | 0.73            | 107.93    | 529.81               | 132.45                | 0.74                          | 0.46                   |
| S3                      | 225.09                      | 0.61            | 0.75            | 109.69    | 538.47               | 134.62                | 0.75                          | 0.47                   |
| S4                      | 216.8                       | 0.59            | 0.71            | 105.5     | 517.87               | 129.47                | 0.72                          | 0.45                   |
| S5                      | 231.29                      | 0.62            | 0.75            | 113.05    | 554.96               | 138.74                | 0.77                          | 0.49                   |
| S6                      | 224.22                      | 0.61            | 0.73            | 109.67    | 538.39               | 134.60                | 0.75                          | 0.47                   |
| S7                      | 217.53                      | 0.59            | 0.71            | 106.24    | 521.51               | 130.38                | 0.73                          | 0.46                   |
| S8                      | 193.84                      | 0.52            | 0.63            | 93.47     | 458.83               | 114.71                | 0.63                          | 0.4                    |
| S9                      | 164.45                      | 0.44            | 0.55            | 79.81     | 391.79               | 97.95                 | 0.55                          | 0.34                   |
| S10                     | 217.55                      | 0.59            | 0.70            | 106.57    | 523.13               | 130.78                | 0.73                          | 0.46                   |
| S11                     | 236.14                      | 0.64            | 0.76            | 115.92    | 569.07               | 142.27                | 0.80                          | 0.50                   |
| SA                      | 58.76                       | 0.16            | 0.19            | 28.68     | 140.79               | 35.20                 | 0.20                          | 0.12                   |
| SB                      | 105.26                      | 0.28            | 0.39            | 50.08     | 245.85               | 61.46                 | 0.35                          | 0.22                   |
| SC                      | 135.81                      | 0.37            | 0.44            | 66.49     | 326.40               | 81.60                 | 0.46                          | 0.29                   |
| SD                      | 137.62                      | 0.37            | 0.45            | 67.38     | 330.78               | 82.70                 | 0.46                          | 0.29                   |
| SE                      | 137.01                      | 0.37            | 0.45            | 67.11     | 329.44               | 82.36                 | 0.46                          | 0.29                   |
| SF                      | 122.34                      | 0.33            | 0.39            | 60.35     | 296.26               | 74.07                 | 0.41                          | 0.26                   |
| SG                      | 129.17                      | 0.35            | 0.41            | 63.46     | 311.55               | 77.89                 | 0.43                          | 0.27                   |
| SH                      | 215.53                      | 0.58            | 0.75            | 104.11    | 511.06               | 127.77                | 0.72                          | 0.45                   |
| SI                      | 198.06                      | 0.53            | 0.69            | 95.32     | 467.94               | 116.99                | 0.66                          | 0.41                   |
| SJ                      | 191.52                      | 0.52            | 0.67            | 92.51     | 454.12               | 113.53                | 0.64                          | 0.4                    |
| SK                      | 169.69                      | 0.46            | 0.60            | 81.01     | 397.68               | 99.42                 | 0.56                          | 0.35                   |

جدول ۳- نتایج آنالیز تغییر: اثر کوددهی بر مقدار فعالیت های ویژه <sup>226</sup>Ra، <sup>232</sup>Th، <sup>40</sup>K و R<sub>aeq</sub> خاک های بکر و کشاورزی  
Table 3- Results of variance analyze: The effect of fertilization on the amount of specific activities of <sup>226</sup>Ra، <sup>232</sup>Th، <sup>40</sup>K and R<sub>aeq</sub> of virgin and agriculture soils

| منابع تغییر<br>Variance source          | فعالیت ویژه هسته های پرتوزا<br>Specific activity of radionuclides |                    |                    | فعالیت ویژه معادل<br>رادیوم<br>Radium equivalent |
|---|---|--------------------|--------------------|--|
|   | <sup>226</sup> Ra   | <sup>232</sup> Th  | <sup>40</sup> K    |  |
| بکر و کشاورزی<br>Virgin and agriculture | 28.21 <sup>ns</sup>   | 2.81 <sup>**</sup> | 0.28 <sup>**</sup> | 5.69 <sup>**</sup>                               |

ns، \* و \*\* به ترتیب نمایانگر: معنی دار نیست، معنی دار در سطح ۰/۰۵ و در سطح ۰/۰۱.

و بکر به ترتیب در محدوده ۱۶۴/۴۵ تا ۳۳۶/۱۴ و ۵۸/۷۶ تا ۲۱۵/۵۳ برحسب Bq/kg بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک کشاورزی و بکر به ترتیب ۷۰/۲۱۵ و ۱۴۵/۵۲ Bq/kg محاسبه گردید که از حداکثر مقدار مجاز (۳۷۰ Bq/kg) کمتر می باشد.

طبق جدول ۴ افزایش پرتوزایی کلی (R<sub>aeq</sub>) خاک های کشاورزی نسبت به خاک های بکر در سطح معنی داری مشاهده گردید به عبارتی دیگر کوددهی با احتمال ۹۹٪ باعث افزایش پرتوزایی کلی خاک های کشاورزی گردیده است. فعالیت معادل رادیوم در خاک های کشاورزی

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کوددهی بر مقدار فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و فعالیت ویژه معادل رادیوم برحسب Bq/kg  
 Table 4- Comparison of the average effect of fertilization on the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  and the specific activity of radium equivalent in Bq / kg

| نوع شاخص<br>Indicator kind | خاک بکر<br>Virgin soil      | خاک کشاورزی<br>Agriculture soil |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| $^{226}\text{Ra}$          | 37.27 <sup>a</sup> ± 5.33   | 45.54 <sup>a</sup> ± 1.07       |
| $^{232}\text{Th}$          | 43.18 <sup>b</sup> ± 3.67   | 69.09 <sup>a</sup> ± 1.88       |
| $^{40}\text{K}$            | 604.05 <sup>b</sup> ± 52.93 | 926.71 <sup>a</sup> ± 39.41     |
| Radium equivalent          | 145.52 <sup>b</sup> ± 13.67 | 215.70 <sup>a</sup> ± 6.06      |

در جدول ۴ هر عدد داخل جدول میانگین ۱۱ تکرار ± SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس t- test (سطح احتمال ۰/۰۵)

شاخص‌های خطرپذیری خارجی و داخلی در خاک‌های کشاورزی به ترتیب در محدوده ۰/۴۴ تا ۰/۶۴ و ۰/۵۵ تا ۰/۷۶ و در خاک‌های بکر در محدوده ۰/۱۶ تا ۰/۵۸ و ۰/۱۹ تا ۰/۷۵ تغییر می‌کند. میانگین شاخص‌های خطرپذیری خارجی و داخلی در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب (۰/۵۸ و ۰/۷۱) و (۰/۳۹ و ۰/۴۹) محاسبه شد که در خاک‌های کشاورزی به ترتیب ۴۸/۲۲٪ و ۴۲/۹۱٪ بیشتر از خاک‌های بکر است.

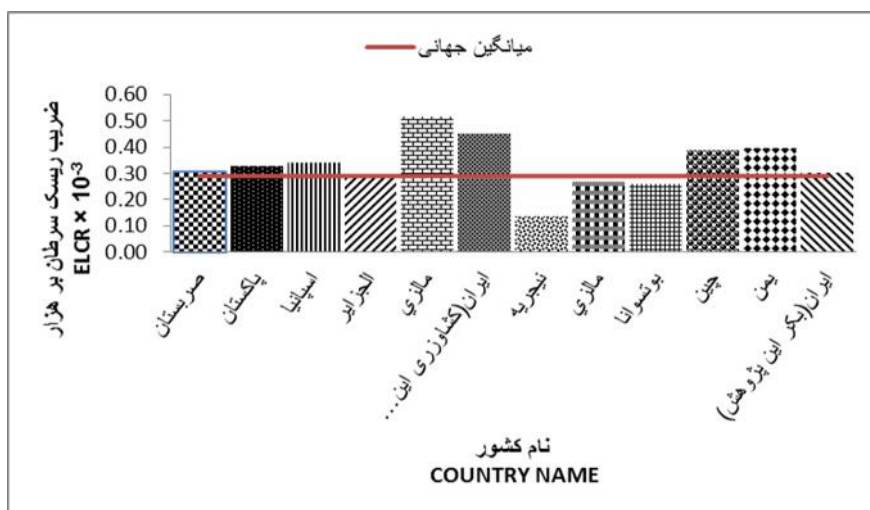
جدول ۵- مقایسه ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در خاک‌های کشاورزی و بکر تعدادی از کشورها با نتایج این پژوهش برحسب Bq/kg  
 Table 5- Comparison of specific activities of radionuclides in agriculture and virgin soils between some countries and this study in Bq/kg

| نام کشور<br>Country name    | خاک‌های کشاورزی<br>Agriculture soils |                 |                | مراجع     |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|
|                             | A <sub>Ra</sub>                      | A <sub>Th</sub> | A <sub>K</sub> |           |
| صربستان<br>Serbia           | 39.30                                | 53.00           | 454.00         | ۷         |
| پاکستان<br>Pakistan         | 30.00                                | 56.00           | 602.00         | ۲۴        |
| اسپانیا<br>Spain            | 46.00                                | 49.00           | 650.00         | ۵         |
| الجزایر<br>Algeria          | 53.20                                | 50.03           | 311.00         | ۸         |
| مالزی<br>Malaysia           | 80.63                                | 116.87          | 200.66         | ۱۴        |
| ایران<br>Iran               | 45.54                                | 69.09           | 926.71         | This work |
| خاک‌های بکر<br>Virgin soils |                                      |                 |                |           |
| یمن<br>Yemen                | 44.00                                | 58.00           | 822.00         | ۲         |
| بوتسوانا<br>Botswana        | 34.80                                | 41.80           | 432.70         | ۱۳        |
| نیجریه<br>Nigeria           | 18.00                                | 22.00           | 210.00         | ۳         |
| چین<br>China                | 38.00                                | 57.60           | 838.00         | ۲۹        |
| مالزی<br>Malaysia           | 37.00                                | 53.00           | 293.00         | ۲۱        |
| ایران<br>Iran               | 37.27                                | 43.18           | 604.05         | This work |

جدول ۶- مقایسه پارامترهای پرتوشناختی خاک های کشاورزی و بکر در بعضی از کشورها و این پژوهش

Table 6- Comparison of radiological parameters in agriculture and virgin soils between some countries and this study

| خاک های کشاورزی<br>Soils Agriculture |                          |                 |                 |           |                   |                    |                           |                           |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| نام کشور<br>Country name             | Ra <sub>eq</sub> (Bq/kg) | H <sub>ex</sub> | H <sub>in</sub> | D (nGy/h) | AEDindoor (μSv/y) | AEDoutdoor (μSv/y) | AGDE (mSv <sup>-1</sup> ) | ELCR (×10 <sup>-3</sup> ) |
| صربستان<br>Serbia                    | 150.05                   | 0.41            | 0.51            | 71.48     | 350.89            | 87.72              | 0.49                      | 0.31                      |
| پاکستان<br>Pakistan                  | 156.43                   | 0.42            | 0.50            | 75.89     | 372.53            | 93.13              | 0.52                      | 0.33                      |
| اسپانیا<br>Spain                     | 166.12                   | 0.45            | 0.57            | 80.16     | 393.50            | 98.38              | 0.55                      | 0.34                      |
| الجزایر<br>Algeria                   | 148.69                   | 0.40            | 0.55            | 69.27     | 340.05            | 85.01              | 0.47                      | 0.30                      |
| مالزی<br>Malaysia                    | 263.20                   | 0.71            | 0.93            | 120.47    | 591.36            | 147.84             | 0.80                      | 0.52                      |
| ایران این پژوهش<br>Iran this work    | 215.70                   | 0.58            | 0.71            | 105.22    | 516.52            | 129.13             | 0.72                      | 0.45                      |
| خاک های بکر<br>Soils Virgin          |                          |                 |                 |           |                   |                    |                           |                           |
| یمن<br>Yemen                         | 190.23                   | 0.51            | 0.63            | 92.69     | 455.03            | 113.76             | 0.64                      | 0.40                      |
| بوتسوانا<br>Botswana                 | 127.89                   | 0.35            | 0.44            | 61.22     | 300.55            | 75.14              | 0.42                      | 0.26                      |
| نیجریه<br>Nigeria                    | 65.63                    | 0.18            | 0.23            | 31.32     | 153.76            | 38.44              | 0.21                      | 0.13                      |
| چین<br>China                         | 184.89                   | 0.50            | 0.60            | 90.56     | 444.55            | 111.14             | 0.62                      | 0.39                      |
| مالزی<br>Malaysia                    | 135.35                   | 0.37            | 0.47            | 63.54     | 311.93            | 77.98              | 0.43                      | 0.27                      |
| ایران این پژوهش<br>Iran (this work)  | 148.91                   | 0.39            | 0.49            | 70.59     | 346.53            | 86.63              | 0.49                      | 0.30                      |



شکل ۱- مقایسه نتایج میانگین ضریب خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) در این پژوهش و تعدادی از کشورها  
Figure 1- Comparison the results of means of excess lifetime cancer risk factor (ELCR) in this study and some countries

پتاس و همچنین غنی بودن خاک‌های این منطقه از پتاسیم بیشتر باشد. میانگین خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی نسبت به کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا و الجزایر به ترتیب  $۰.۴۳/۷۶\%$ ،  $۰.۳۷/۸۹\%$ ،  $۰.۲۹/۸۵\%$  و  $۰.۴۵/۰۷\%$  بیشتر و نسبت به کشور مالزی  $۰.۲۲/۰۲\%$  کمتر بدست آمد. این مقایسه در شکل یک نشان داده شده است. میانگین پارامترهای رادیولوژیکی در خاک‌های بکر نسبت به کشورهای یمن، بوتسوانا و نیجریه بیشتر و نسبت به کشور چین و مالزی کمتر می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور متوسط پرتوزایی طبیعی خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه نسبت به خاک‌های بکر و خاک‌های کشاورزی تعدادی از کشورها بیشتر است. پارامترهای رادیولوژیکی خاک‌های کشاورزی در اکثر موارد بیشتر از میانگین جهانی و کمتر از حداکثر مقدار مجاز می‌باشد. در مورد خاک‌های بکر نتایج این پژوهش برابر با میانگین جهانی است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور متوسط پرتوزایی کلی طبیعی ( $R_{eq}$ ) خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه نسبت به خاک‌های بکر در سطح معنی دار  $۰/۰۱$  افزایش دارد و همچنین از پرتوزایی خاک‌های کشاورزی تعدادی از کشورهای دیگر بیشتر است. پارامترهای رادیولوژیکی خاک‌های کشاورزی در اکثر موارد بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد. در مورد خاک‌های بکر نتایج این پژوهش با میانگین جهانی توافق خوبی را نشان می‌دهد. با استفاده از نتایج و مقایسه آن‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از کودهای شیمیایی در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش نسبت به کشورهای دیگر بیشتر بوده همین امر موجب افزایش پرتوزایی خاک شده است.

### سیاسگزاری

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

در تمام نمونه‌ها این شاخص‌ها کمتر از یک هستند. آهنگ جذب در خاک‌های کشاورزی از  $۷۹/۸۱$  تا  $۱۱۵/۹۲$  و در خاک‌های بکر از  $۲۸/۶۸$  تا  $۱۰۴/۱۱$  که به ترتیب دارای میانگین  $۱۰۵/۲۲$  و  $۷۰/۵۹$  برحسب nGy/h بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک‌های کشاورزی  $۰.۴۹/۰۵\%$  از خاک‌های بکر و  $۰.۹۱/۳۱\%$  از مقدار میانگین جهانی بیشتر است.

آهنگ دز مؤثر سالیانه داخلی و خارجی در خاک‌های کشاورزی به ترتیب از  $۳۹۱/۷۹$  تا  $۵۶۹/۰۷$  و  $۹۷/۹۵$  تا  $۱۴۲/۲۷$  و در خاک‌های بکر از  $۱۴۰/۷۹$  تا  $۵۱۱/۰۶$  و  $۳۵/۲۰$  تا  $۱۲۷/۷۷$  برحسب  $\mu\text{Sv/y}$  محاسبه شد. میانگین این کمیت‌ها در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب  $۵۱۶/۵۲$ ،  $۱۲۹/۱۳$  و  $۳۴۶/۵۳$ ،  $۸۶/۶۳$  برحسب  $\mu\text{Sv/y}$  می‌باشد که در خاک‌های کشاورزی نسبت به بکر  $۰.۴۹/۰۵\%$  و نسبت به میانگین جهانی  $۱۱۹/۸۷\%$  افزایش را نشان می‌دهد. دز معادل سالیانه غدد در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب در محدوده  $۰/۵۵$  تا  $۰/۸۰$  و  $۰/۲۰$  تا  $۰/۷۲$  برحسب mSv/y با میانگین‌های  $۰/۷۲$  و  $۰/۴۸$  محاسبه گردیدند. میانگین دز معادل سالیانه غدد در خاک‌های کشاورزی  $۰.۴۸/۴۷\%$  بیشتر از خاک‌های بکر است. خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در خاک‌های کشاورزی از  $۱۰^{-۳}$  تا  $۰/۳۴ \times ۱۰^{-۳}$  و در خاک‌های بکر از  $۰/۱۲ \times ۱۰^{-۳}$  تا  $۰/۴۵ \times ۱۰^{-۳}$  بدست آمد. میانگین این کمیت در خاک‌های کشاورزی و بکر به ترتیب  $۰/۴۵ \times ۱۰^{-۳}$  و  $۰/۲۹ \times ۱۰^{-۳}$  محاسبه شد که در خاک‌های کشاورزی به ترتیب  $۰.۴۹/۰۵\%$  و  $۰.۵۵/۸۵\%$  بیشتر از خاک‌های بکر و مقدار میانگین جهانی است. این میانگین در خاک‌های بکر برابر میانگین جهانی و مقدار این کمیت در تمامی نمونه‌ها از حداکثر مجاز کمتر می‌باشد. به‌منظور مقایسه، نتایج این پژوهش با مقادیر گزارش شده در مورد خاک‌های کشاورزی کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا، الجزایر، مالزی و در خاک‌های بکر کشورهای یمن، بوتسوانا، نیجریه، چین و مالزی در جدول ۵ درج شده است. بر مبنای این جدول مقادیر پارامترهای رادیولوژیکی مربوط به خاک کشورهای مذکور محاسبه گردید و نتایج آن در جدول ۶ درج گردیده است. مقادیر موجود در جدول مذکور نشان می‌دهد که تمامی میانگین‌های پارامترهای رادیولوژیکی در خاک‌های کشاورزی بیشتر از کشورهای صربستان، پاکستان، اسپانیا، الجزایر و کمتر از کشور مالزی است و این می‌تواند به دلیل استفاده بیشتر کشاورزان این منطقه از کودهای فسفات و

### منابع

- 1- Abbady A. 2005. Assessment of the natural radioactivity and its radiological hazards in some Egyptian rock phosphates. Indian Journal Pure Applied Physics. 43: 489-493.
- 2- Abd El-mageed A., El-Kamel A., Abbady A., Harb S., Youssef A., and Saleh I. 2011. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. Radiation Physics Chemistry. 80:710-715.



- 3- Agbalagba E., and Onoja R. 2011. Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes. *Nigerian Journal of Environmental Radioactivity*. 102: 667-671.
- 4- Asgharizadeh F., Ghannadi M., Samani A.B., Meftahi M., Shalibayk M., Sahafipour S.A., and Gooya E.S. 2013. Natural radioactivity in surface soil samples from dwelling areas in Tehran city, Iranian Radiation Protection Dosimetry. 156 (3): 376-382. DOI: 10.1093/rpd/nct067.
- 5- Beaza A., del Rio M., Mir C., and Paniagua J. M. 1992. Natural radioactivity in soils of the Province of Caceres (Spain). *Radiation Protection Dosimetry*.45: 261–263.
- 6- Beretka J., and Mathew P. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*. 48: 87-95.
- 7- Bikit I., Slivka J., onki L., Krmar M., Veskovi M., Žiki -Todorovi N., Varga E., ur i S., and Mrdja D. 2004. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). *Journal of Environmental Radioactivity*. 78: 11-19.
- 8- Boukhenfouf W., and Boucenna A. 2011. The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique *Journal of Environmental Radioactivity*. 102: 336-339.
- 9- Firestone B. R., Shirley S.V., Baglin M. C., Frank Chu S.Y., and Zipkin J. 1996. The 8<sup>th</sup> Edition of Table of isotopes. CD-ROM, John Wiley & Sons Inc.
- 10- Gilmore G., and Hemingway J. 2008. *Practical gamma-ray spectrometry*. John Willey & Sons.Inc, Chichester, West Sussex, UK.
- 11- International Atomic Energy Agency. 2003. Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides an trace element. IAEA- TECDOC-1360, IAEA, VIENNA.
- 12- ICRP. 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP.21(1–3).
- 13- Murty V., and Karunakara N. 2008. Natural radioactivity in the soil samples of Botswana. *Radiation Measurement*. 43:1541-1545.
- 14- Nisar A., Suhaimi Jaafar M., and Alsaffar M.S. 2015. Natural radioactivity in virgin and agricultural soil and its environmental implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Pollution*. 1(3): 305-313.
- 15- Padam S., Rana N., Naqavi A., and Srivastava D. 1996. Levels of uranium in water from some Indian cities determined by Fission Track Analysis. *Radiation Measurements*. 26: 683-687.
- 16- Pourimani R., and Nematı Z. 2016. Measurement of Radionuclide Concentration in Some Water Resources in Markazi Province, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 13(1):49-57.
- 17- Pourimani R., and Anoosseh F. 2015. A Study on Transfer Factors of Environmental Radionuclides: Radionuclide Transfer from Soil to Different Varieties of Rice in Gorgan, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 12(3): 189-199.
- 18- Righi S., Luciali P., and Bruzzi L. 2005. Health and environmental impacts of a fertilizer plant–Part I: Assessment of radioactive pollution. *Journal of Environmental Radioactivity*. 82:167–182.
- 19- Ravisankar R., Sivakumar S., Chandrasekaran A., Prince Prakash Jebakumar J., Vijayalakshmi I., Vijayagopal P., et al. 2014. Spatial distribution of gamma radioactivity levels and radiological hazard indices in the east coast sediment of Tamilnadu, India with statistical approach. *Radiation Physics Chemistry*.103: 89-98.
- 20- Saeed M., Wahab N., Hossain I., Ahmed R., Abdullah H., Ramli A., et al. 2011. Measuring radioactivity level in various types of rice using hyper pure germanium (HPGe) detector. *International Journal of Physical Sciences*, 6(32):7335-7340.
- 21- Saleh M. A., Ramli A. T., Alajerami Y., and Aliyu A. S. 2013. Assessment of natural radiation levels and associated dose rates from surface soils in Pontian District, Johor, Malaysia. *Journal of Ovonic Research*, 9(1):17-26.
- 22- Stojanovi M., Stevanovi D., Milojkovi J., Mihajlovi M., Lopi i Z., and Šoštari . 2012. Influence of soil type and physical–chemical properties on uranium sorption and bioavailability. *Water Air Soil Pollution*. 223:135-144.
- 23- Suresh G., Ramasamy V., Meenakshisundaram V., Venkatachalapathy R., and Ponnusamy V. 2011. A relationship between the natural radioactivity and mineralogical composition of the Ponnaiyar river sediments, India. *Journal of Environmental Radioactivity*. 102, 370-377.
- 24- Tufail M., Akhtar N., and Waqas M. 2006. Measurement of terrestrial radiation for assessment of gamma dose from cultivated and barren saline soils of Faisalabad in Pakistan. *Radiation Measurements*. 41: 443-451.
- 25- United Nations Scientific Committee on effects of Atomic Radiation.2000. Exposures from natural radiation sources. UNSCEAR Report. United Nations.
- 26- United Nations Scientific Committee on effects of Atomic Radiation.1988. Exposures from natural radiation sources. UNSCEAR Report. United Nations.
- 27- UNSCEAR. 2008. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the general Assembly. New York, USA: United Nations.
- 28- Wedepohl K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59:217-239.

- 29- Ziqiang P., Yin Y., and Mingqiang G. 1988. Natural radiation and radioactivity in China. *Radiation Protection Dosimetry*. 24: 29-38.



## Investigation of Natural Radioactivity of Agricultural and Virgin Soils in Arak and Saraband Cities in Markazi Province, Iran

R. Pourimani<sup>1\*</sup>- F. Yousefi<sup>2</sup>

Received: 24-01-2017

Accepted: 13-08-2017

**Introduction:** Humans are constantly exposed to ionizing radiation. Most of the radiations originate from radioactive decay of natural radionuclides in the environment. Most of the ionizing radiations resulting from the decay of natural radioactive series of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  radionuclides in soil, rock and water. The average amount of uranium in the earth's crust is estimated 2.7 mg/kg that its amount increases up to 120 mg/kg in phosphate rocks. Phosphate rocks are main raw material of chemical fertilizers production. Chemical fertilizers are chemical compounds that are used in order to increasing crops and improving properties of land. Yearly, many different types of fertilizers are produced such NPK, phosphate, etc.. Even though fertilizers can improve nutrient-deficient symptoms in farms but they contain heavy metals and radionuclides. Radionuclides in fertilizer enter to the soils and directly or indirectly can be absorbed by human body by inhalation of the radon gaseous or consumption of foodstuff. Radium salts with other salts are also dissolved in water and penetrate to deep layers of soil and can cause groundwater pollution. The consumption of chemical fertilizers containing radionuclides increases the radiological parameters of soils. Nuclear radiations is emitted from these elements are harmful to the body's tissues and may cause diseases such as cancer or genetic abnormalities. Therefore, the investigation of natural radioactivity contents in soils and radiological parameters are very important. In this research, the specific activities of natural radionuclides in agricultural and virgin soil samples determined using gamma ray spectrometry method in Arak and Saraband cities in Markazi province, Iran. For all samples, radiological parameters were calculated and compared with world average and some countries.

**Materials and Methods:** In this study, twenty two samples of agricultural and virgin soils were collected in different areas of Arak and Saraband cities of Markazi province in Iran, from surface up to 30 cm depth. The weight of each sample was about 2 kg. After drying the samples at room temperature, they were powdered by electric mill in the laboratory of Arak university. Soil samples were pulverized and passed through a 0.297mm sieve. They were kept in oven for 24 h at 100°C in order to remove the moisture content. After that, 950 g of each sample was packed in a Marinelli beaker container and sealed. Gamma ray spectra were registered after 50 days. The collected samples required particular care since radon is a short-lived gaseous nuclide and tends to escape from the samples. In this work, standard containers were sealed. After the minimum 50 days of preparing samples, gamma ray spectra were registered. This time is necessary for taking radioactive decay chain equilibrium, in which the decay rate of the daughters became equal to that of the parents. Specific activity measurements were performed by gamma ray spectrometry method employing high purity germanium (HPGe) P-type coaxial detector (GCD30195BSI) manufactured by Baltic Scientific Instrument LTD (005-Latvia) with 30% relative efficiency, which was connected to a multi-channel analyzer of 8192 channels. The energy resolution (full width at half maximum) of this detector is 1.95 keV for gamma energy line at 1332.520 keV due to  $^{60}\text{Co}$  and a Peak-to-Compton ratio of 60, and operating voltage was 3000 V. The detector and preamplifier are shielded in a chamber of three layers composed of 10 cm thick lead, 1.5 mm thick cadmium, and 3 mm thick copper. This shield serves to reduce background radiation.

**Results and Discussion:** Based on the results, the specific activities of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  radionuclides in soil samples varied in the range (39.60-51.94), (50.90 – 73.84) and (676.09 – 1094.50) in agricultural soils and (12.98 – 61.60), (18.15 – 60.98) and (257.48 – 866.58) in virgin soils, in Bq/kg. The mean specific activities of corresponding radionuclides were obtained 45.54, 69.09 and 926.71 Bq/kg for agricultural soils and 37.26, 43.17 and 604.04 Bq/kg for virgin soils. For all results calculated and have been tested variety of variance which show increasing in agriculture soil amount of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  compared with virgin soil. For  $^{226}\text{Ra}$ , the significant variation in probability level of 0.05 was not observed because of more mobility of radium salt than other salts and penetration into deeper layers. The increases the amounts of studied radionuclides in agricultural soils compared with average of worldwide virgin soils are 74.12, 72.30 and 131.68 percent, respectively. The average absorbed dose in air calculated for agricultural and virgin soils that obtained 105.22 and 70.59 in nGy/h,

1 and 2- Associated Professor of Physics and M.Sc of Nuclear Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak

(\* - Corresponding Author Email: r-pourimani@araku.ac.ir)

respectively. The average of Annual Gonadal Dose Equivalent (AGDE) and Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR) for agricultural and virgin soils were obtained as (0.72 and 0.48) and ( $0.45 \times 10^{-3}$  and  $0.29 \times 10^{-3}$ ), respectively. For virgin soil samples, radiological parameters were in good agreement with mean world value but in agricultural soil samples, increase was observed compared to virgin soil and agricultural soils of some countries.

**Conclusions:** The obtained data showed that the amount of mean specific radioactivity of natural radionuclides in agricultural soils were higher than some countries. The radiological parameters of agricultural soils in most samples were more than the world average of virgin soil values. The results of this research on virgin soil were in good agreement with the world average. This study showed that consumption of fertilizers in these cities was more than other countries. But all of radiological parameters of soil samples were less than maximum acceptable criteria and thus have no damaging effect for people health. However, the long term unsuitable usage of chemical fertilizers can have the effect of increasing of radioactivity in soils that can be harmful for the health of farmers and consumers of the crops.

**Keywords:** Agricultural soil, Chemical fertilizer, Radioactivity, Virgin soil