

## ارزیابی سطوح تابش هسته‌های پرتوزای طبیعی در معدن سرب روی کوشک، ایران

رضا پورایمانی<sup>۱\*</sup>، منصوره تاتاری<sup>۲</sup>، سحر ماندگاری میمندی<sup>۲</sup> و منیره محبیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

\* گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران، کد پستی ۳۸۱۵۶۸۸۷۹.

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

### چکیده

در این پژوهش سطح پرتوزایی طبیعی کانسنگ معدن روی-سرب کوشک یزد تعیین گردید و خطرات رادیولوژیکی مرتبط با آن محاسبه شد. فعالیت‌های ویژه هسته‌های  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در سنگ معدن Zn-Pb با استفاده از سیستم آشکارساز ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) و شاخص‌های خطرات رادیولوژیکی فعالیت معادل رادیوم ( $\text{Ra}_{\text{eq}}$ )، شاخص‌های خطرپذیری خارجی و داخلی ( $\text{H}_{\text{in}}$ ،  $\text{H}_{\text{ex}}$ )، اندازه‌گیری شد. شاخص پرتوزایی گاما ( $I_{\gamma}$ )، نرخ دز جذبی در هوا (D)، دز موثر سالانه (AED)، دز معادل سالانه غدد جنسی (AGDE) و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) محاسبه گردید. میانگین  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در کانسنگ Zn-Pb به ترتیب  $37.12 \pm 0.32$ ،  $14.66 \pm 0.43$  و  $293.06 \pm 21.18$  Bq/kg به دست آمد. هم‌چنین میانگین پارامترهای خطر رادیولوژیکی مانند  $\text{Ra}_{\text{eq}}$ ،  $\text{H}_{\text{in}}$ ،  $\text{H}_{\text{ex}}$ ، D، AED، AGDE،  $I_{\gamma}$  در محدوده ایمن به دست آمد. میانگین ELCR برای سنگ روی-سرب، ضایعات معدن و خاک اطراف به ترتیب  $0.15 \times 10^{-3}$ ،  $0.15 \times 10^{-3}$  و  $0.23 \times 10^{-3}$  بود که کم‌تر از میانگین جهانی  $1.0 \times 10^{-3}$  بود. این مطالعه نشان داد که سطح رادیواکتیویته در ناحیه سنگ معدن Zn-Pb از مقدار بحرانی فراتر نرفته و با نتایج جهانی مطابقت دارد. علی‌رغم این‌که سری‌های واپاشان طبیعی به سرب منتهی می‌شوند تغییر معناداری در میانگین فعالیت عناصر پرتوزای طبیعی مشاهده نگردید. علاوه بر این، شاخص‌های محاسبه‌شده خطر تشعشع نشان داد که سنگ معدن روی سرب برای کارگران معدن بی‌خطر بوده و خطر رادیولوژیکی قابل توجهی برای آن‌ها ایجاد نمی‌کند.

واژگان کلیدی: سنگ معدن Zn-Pb، پرتوزایی طبیعی، شاخص خطرپذیری، HPGe.

### ۱. مقدمه

زنجیره‌های اورانیوم ( $^{238}\text{U}$ )، اکتینیم ( $^{235}\text{U}$ ) و توریم ( $^{232}\text{Th}$ ) و هسته‌های پرتوزا منفرد مانند پتاسیم ( $^{40}\text{K}$ ) در اجزای تشکیل دهنده زیست‌کره یافت می‌شوند. این هسته‌های پرتوزا از زمان

تابش‌های هسته‌ای ناشی از واپاشی هسته‌های پرتوزای طبیعی به‌طور مداوم از سان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این تابش‌ها برای موجودات زنده مضر است [۱]. هسته‌های پرتوزا مانند

ارزیابی خطرات رادیولوژیکی مربوطه در مناطق مختلف معدن روی-سرب در کوشک یزد انجام شد.

## ۲. مواد و روش کار

### ۱.۲. نمونه برداری و مکان یابی

هیجده نمونه سنگ سرب - روی از بخش فعال معدن کوشک در استان یزد جمع آوری شد. از زباله معدن و خاک اطراف به ترتیب چهار و سه نمونه جمع آوری شده است [۱۱].

معدن کوشک در ۱۶۷ کیلومتری شرق شهر یزد قرار دارد و نزدیکترین معدن به شهر بافق است. این معدن در ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد و منابع آن تقریباً ۱/۵ میلیون تن برآورد شده است [۱۲]. از کانی‌های مهم این معدن می‌توان به اسفالریت پیریت، گالن، کلسیت، دولومیت، گچ، اسمیتسونیت و سروسیت اشاره کرد [۱۳]. نمای کلی سنگ معدن سرب و روی و محل نمونه برداری در شکل (۱) نشان داده شده است.

### ۲.۲. آماده سازی نمونه ها

نمونه‌ها پس از پودر شدن، از الک ۰/۵۲۴ میلی متری عبور داده شدند و سپس در کوره با دمای ثابت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده در ظروف استوانه‌ای پلی اتیلن با ظرفیت ۳۰۰ سانتی متر مکعب بسته‌بندی و آب‌بندی شدند [۱۴]. حداقل ۴ هفته پس از آماده سازی نمونه‌ها، طیف اشعه گامای آن‌ها ثبت شد. این زمان برای رسیدن به تعاد پایدار بین رادیوم و رادن و دختران آن‌ها مورد نیاز است. تابش‌های پس‌زمینه تحت همان شرایط

شکل‌گیری کره زمین در محیط وجود داشته‌اند و به علت نیم عمر بالا تا امروز دوام آورده‌اند. میانگین مقدار  $^{238}\text{U}$  در پوسته زمین ۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم تخمین زده شده است که در سنگ‌های فوسفاته تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده می‌شود، در حالی که میانگین  $^{232}\text{Th}$ ، ۹/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شده است [۲،۳]. پتاسیم هشتمین عنصر فراوانی پوسته زمین است که ۲/۸ درصد از ترکیب آن تخمین زده می‌شود، در حالی که مقدار آن در یک سنگ معدنی می‌تواند به ۱۲ درصد برسد [۴]. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در مورد پرتوزایی طبیعی خاک، سنگ و آب مربوط به محل زندگی یا کار افراد انجام شده است. در این تحقیق معادن به دلیل تغییر محیط زیست بسیار حائز اهمیت هستند و محصولات آن‌ها به سایر عرصه‌های زندگی انسان می‌رسد. در معادن علاوه بر آنته شار گرد و غبار معدنی، امکان تغییر سطح پرتوزایی نیز وجود دارد [۵-۸]. در مجموع، ایران دارای حدود ۶۰۰ معدن فعال روی - سرب است که برخی از آن‌ها در زمره بزرگ‌ترین معادن جهان قرار دارند و به این ترتیب ذخایر سرب و روی در انگوران به ترتیب اولین و سومین ذخایر جهان هستند [۹]. معادن مهدی آباد، کوشک و ایران کوه نیز از معادن بزرگی هستند. براساس برآوردهای اولیه، ایران ۹ درصد از ذخایر سرب و روی جهان را در اختیار دارد [۱۰]. امروزه معادن نقش مهمی در توسعه کشورها دارند و افراد زیادی در آن مشغول به کار هستند. بنابراین، اندازه‌گیری پرتوزایی محیطی برای سلامت کارکنان بسیار مهم است. کارگران و معدنچیان دائماً در معرض تشعشعات هسته‌ای ناشی از هسته‌های پرتوزا در سنگ معدن و خاک‌های اطراف آن‌ها هستند. این مطالعه با هدف اندازه‌گیری فعالیت‌های هسته‌های پرتوزا طبیعی و

برای ظرف حاوی آب دو بار تقطیر مثبت شد و از طیف کد شناسه و مختصات جغرافیایی محل نمونه برداری در نمونه‌ها کاسته شد [۱۵]. مشخصات نوع نمونه‌های معدنی و جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات نوع کانی، نماد شناسه و مختصات جغرافیایی نمونه برداری.

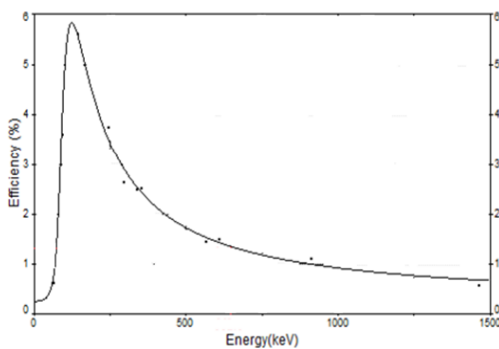
شناسه نمونه	نوع کانی	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)
OY <sub>1</sub>	شیل با زغال سنگ (شیل سیاه)	۳۱° ۴۵' ۲۷/۵۷"	۵۵° ۴۵' ۴۷/۶۹"
OY <sub>2</sub>	شیل با زغال سنگ (شیل سیاه)	۳۱° ۴۵' ۲۵/۸۹"	۵۵° ۴۵' ۴۸/۵۵"
OY <sub>3</sub>	شیل با زغال سنگ (شیل سیاه)	۳۱° ۴۵' ۲۵/۵۳"	۵۵° ۴۵' ۴۸/۷۱"
OY <sub>4</sub>	دولومیت شیل	۳۱° ۴۵' ۳۳/۰"	۵۵° ۴۵' ۳۴/۲"
OY <sub>5</sub>	شیل با زغال سنگ (شیل سیاه)	۳۱° ۴۵' ۳۴/۱"	۵۵° ۴۵' ۳۶/۷۱"
OY <sub>6</sub>	شیل هوا زده	۳۱° ۴۵' ۳۴/۲"	۵۵° ۴۵' ۳۹/۹"
OY <sub>7</sub>	شیل با اکسید آهن - دولومیت	۳۱° ۴۵' ۳۲/۵"	۵۵° ۴۵' ۳۶/۲"
OY <sub>8</sub>	شیل - پیریت	۳۱° ۴۵' ۲۹/۳"	۵۵° ۴۵' ۴۰/۶"
OY <sub>9</sub>	اسفالریت - گالن - پیریت	۳۱° ۴۵' ۲۹/۲"	۵۵° ۴۵' ۴۰/۷"
OY <sub>10</sub>	شیل	۳۱° ۴۵' ۲۹/۱"	۵۵° ۴۵' ۳۸/۷"
OY <sub>11</sub>	اسفالریت - پیریت	۳۱° ۴۵' ۲۹/۷"	۵۵° ۴۵' ۴۳/۵"
OY <sub>12</sub>	سنگ معدن فلز	۳۱° ۴۵' ۲۹/۶"	۵۵° ۴۵' ۴۳/۳"
OY <sub>13</sub>	دولومیت	۳۱° ۴۵' ۲۸/۶"	۵۵° ۴۵' ۴۳/۴"
OY <sub>14</sub>	دولومیت - سیلیس	۳۱° ۴۵' ۱۷/۳"	۵۵° ۴۵' ۴۱/۰"
OY <sub>15</sub>	دولومیت - آلوریت (هماتیت)	۳۱° ۴۵' ۱۷/۵"	۵۵° ۴۵' ۴۰/۰"
OY <sub>16</sub>	شیل	۳۱° ۴۵' ۱۹/۸"	۵۵° ۴۵' ۵۶/۰"
OY <sub>17</sub>	شیل	۳۱° ۴۵' ۲۱/۶"	۵۵° ۴۵' ۵۳/۰"
OY <sub>18</sub>	شیل - جالینوس - پیریت - اسفالریت	۳۱° ۴۵' ۰۶/۰"	۵۵° ۴۵' ۵۱/۶"
WY <sub>1</sub>	زباله های معدن	۳۱° ۴۵' ۴۴/۹"	۵۵° ۴۵' ۲۹/۱"
WY <sub>2</sub>	زباله های معدن	۳۱° ۴۵' ۴۳/۲"	۵۵° ۴۵' ۲۸/۴"
WY <sub>3</sub>	زباله های معدن	۳۱° ۴۵' ۴۳/۵"	۵۵° ۴۵' ۲۸/۱"
WY <sub>4</sub>	زباله های معدن	۳۱° ۴۵' ۴۳/۳"	۵۵° ۴۵' ۲۷/۱"
SY <sub>1</sub>	خاک	۳۱° ۴۵' ۰۰/۱"	۵۵° ۴۵' ۲۵/۶"
SY <sub>2</sub>	خاک	۳۱° ۴۵' ۰۰/۴"	۵۵° ۴۵' ۲۵/۴"
SY <sub>3</sub>	خاک	۳۱° ۴۵' ۰۱/۸"	۵۵° ۴۵' ۲۴/۷"

## ۳.۲. طیف سنجی پرتو گاما و محاسبه فعالیت

که در آن  $eff$  و  $E$  به ترتیب بازده مطلق و انرژی تابش گاما (keV) هستند [۱۷]. تجزیه و تحلیل طیفی با استفاده از نرم افزار EG&G Ortec Maestro II Gamma Vision32 انجام شد. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۳) تعیین گردید [۱۷].

$$A = \frac{NA}{eff \times I(\%) \times t \times m} \times 100 \quad (3)$$

که در آن  $A$ ،  $NA$ ،  $eff$ ،  $I(\%)$ ،  $t$  و  $m$  به ترتیب فعالیت ویژه هسته پرتوزا (Bq/kg)، تعداد شمارش خالص سطح زیرپیک قله گاما با انرژی شناخته شده، بازده مطلق پیکربندی آشکار ساز-نمونه، شدت گاما بر حسب درصد، زمان ثبت طیف بر حسب ثانیه و جرم نمونه بر حسب کیلوگرم است.



شکل ۲. بازدهی آشکار ساز بر حسب انرژی اشعه گاما.

طیف نمونه‌ها با استفاده از آشکار ساز ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) نوع P مدل GCD30195 BSI ساخت شرکت بالتیک ساینترفیک اینسترومنتز (Latvia-005) با بازده نسبی ۳۰ درصد ثبت شد. وضوح انرژی آشکار ساز برای خط گامای  $^{60}\text{Co}$  با انرژی ۱۳۳۲٫۵۲ keV، ۱٫۹۵ keV بود. برای حذف پرتوهای گاما و الکترون های کم انرژی از تابش پس زمینه، نمونه و آشکار ساز در یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی متر با دو لایه داخلی مس و کادمیوم به ترتیب ۲ و ۱٫۵ میلی متر ضخامت قرار گرفتند. زمان ضبط هر طیف ۲۴ ساعت بود. مواد مرجع RGK-1، RGTH -1، RGU-1 با فعالیت های شناخته شده برای کالیبره کردن انرژی و کارایی پیکربندی آشکار ساز-نمونه استفاده شد [۱۶]. از رابطه (۱) برای محاسبه بازده مطلق آشکار ساز ۱ استفاده گردید [۱۶]:

$$eff = \frac{NA}{A \times I(\%) \times T} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله،  $eff$ ،  $NA$ ،  $A$ ،  $I(\%)$  و  $T$  به ترتیب بازده مطلق، تعداد شمارش خالص برای یک خط گاما با انرژی خاص، فعالیت منبع، شدت گاما بر حسب درصد و زمان شمارش بر حسب ثانیه هستند. در شکل (۲)، منحنی بازده آشکار ساز بر حسب انرژی گاما رسم شده است. معادله (۲) معادله ریاضی متناسب با نقاط تجربی را بیان می کند.

$$eff(\%) = 1.66e^{-\left(\frac{E_{\gamma}-292}{1.07}\right)^2} + 1.41e^{-\left(\frac{E_{\gamma}-695}{935}\right)^2} \quad (2)$$

## ۶.۲. دز موثر سالیانه

دز موثر سالانه در فضای باز (AED) برای هر نقطه نمونه برداری با استفاده از ضریب تبدیل Sv/Gy ۰/۷ مطابق با رابطه (۶) محاسبه شد [۲۰]. از آنجایی که سنگ روی-سرب به‌عنوان مصالح ساختمانی استفاده نمی‌شود، دز موثر سالانه در داخل ساختمان محاسبه نشده است.

$$AED_{\text{outdoor}}(\text{mSv/y}) = D(\text{nGy/h}) \times 0.7 \times 10^{-6} \\ (\text{Sv/Gy}) \times 8760(\text{h/y}) \times 0.28$$

که در آن D دز جذب شده در هوا در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین است و ۰/۲۸ ضریب اشتغال برای کارکنانی است که بطور میانگین در سال ۲۷۰ روز در معدن و روزانه ۹ ساعت سپری می‌کنند.

## ۷.۲. شاخص های خطر تشعشع خارجی و داخلی

$$(H_{\text{in}} \text{ و } H_{\text{ex}})$$

شاخص خطر خارجی میزان تشعشعات گاما در محیط و وجود هسته های رادیواکتیو در خاک‌ها و سنگ‌ها نشان می‌دهد که می‌تواند تهدیدی برای انسان باشد. این پارامتر با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۲۰].

$$H_{\text{ex}} = \frac{A_{\text{Ra}}}{370} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad (7)$$

شاخص خطر داخلی ناشی از استنشاق گاز رادون یا بلع رادیونوکلیدها با استفاده از معادله (۸) محاسبه می‌گردد:

$$H_{\text{in}} = \frac{A_{\text{Ra}}}{185} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad (8)$$

برای یک محیط امن، حداکثر مقادیر این شاخص‌ها باید کمتر از ۱ باشد [۲۱].

برای فعالیت ویژه رادیوم با استفاده از تعداد شمارش خالص زیر پیک‌های گامای ۲۵۹/۲۰ keV و ۳۵۱/۹۳ keV متعلق به Pb-۲۱۴ و خطوط گاما ۶۰۹/۳۱ keV و ۱۷۶۴/۵۰ keV متعلق به Bi-۲۱۴ محاسبه شد. خطوط گاما ۹۱۱/۰ keV و ۳۳۸/۳۱ keV متعلق به Ac-۲۲۸ برای محاسبه فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$  استفاده شد. برای محاسبه فعالیت  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب از خطوط گاما ۱۴۶۰/۷۰ keV و ۶۶۱/۶۶ keV استفاده گردید.

## ۴.۲. فعالیت معادل رادیوم

فعالیت معادل رادیوم یک کمیت واحد است که برای تعیین سطح تابش هسته‌های پرتوزای طبیعی نسبت به پرتوزایی رادیوم استفاده می‌شود و یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها برای مقایسه سطح پرتوزایی نقاط مختلف دنیا است [۱۸]. این پارامتر رایج پرتوشناختی راهنمای مفیدی در تنظیم استانداردهای ایمنی پرتو برای جمعیت انسانی است. این شاخص بر اساس این ارزیابی است که ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم  $^{226}\text{Ra}$  و ۲۵۹ بکرل بر کیلوگرم  $^{232}\text{Th}$ ، و ۴۱۸۰ بکرل بر کیلوگرم  $^{40}\text{K}$  نرخ دز گامای یکسان را می‌دهند تنظیم شده است و می‌توان آن را با استفاده از معادله (۴) محاسبه کرد [۱۹].

$$Ra_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1/43 A_{\text{Th}} + 0.077 A_{\text{K}} \quad (4)$$

## ۵.۲. میزان دز جذب شده در هوا

دز گامای جذب شده (D) در هوا در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (ارتفاع متوسط غدد جنسی افراد) برای هسته‌های پرتوزای توزیع شده به صورت یکنواخت در خاک و سنگ از رابطه ۵ به‌دست می‌آید [۲۰].

$$D(\text{nGy/h}) = 0.427 A_{\text{Ra}} + 0.662 A_{\text{Th}} + 0.0432 A_{\text{K}} \quad (5)$$

## ۸.۲. دز معادل سالانه غدد جنسی (AGDE)

کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد اثرات تشعشعات اتمی (UNSCEAR) علاقه‌مند به دز جذب شده توسط برخی از اندام‌های مهم بدن مانند غده تیروئید، ریه‌ها، مغز استخوان قرمز، سینه‌ها و غدد جنسی با استفاده از معادله (۹) است [۲۰]:

$$AGDE (\mu Sv/y) = 3.09 A_{Ra} + 4.18 A_{Th} \quad (9)$$

$$+0.314 A_K$$

## ۹.۲. شاخص گاما ( $I_\gamma$ )

این شاخص برای تخمین سطح قرار گرفتن در معرض تابش گاما مرتبط با هسته‌های پرتوزای طبیعی در خاک و سنگ استفاده می‌شود. OECD معادله (۱۰) را برای محاسبه این پارامتر پیشنهاد کرد [۲۱].

$$I_\gamma = \frac{A_{Ra}}{150} + \frac{A_{Th}}{100} + \frac{A_K}{1500} \quad (10)$$

در معادلات (۴) تا (۱۰)،  $A_{Ra}$ ،  $A_{Th}$  و  $A_K$  به ترتیب فعالیت‌های ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  بر حسب بکرل بر کیلوگرم هستند. میانگین جهانی دز سالانه غدد جنسی  $305.52 \mu Sv/y$  گزارش شده است. مقدار  $I_\gamma \leq 2$  مربوط به معیار نرخ دز  $0.32 \text{ mSv/y}$  است، در حالی که  $I_\gamma \leq 6$  مربوط به معیار  $1 \text{ mSv/y}$  است [۲۰، ۲۱].

## ۱۰.۲. خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR)

خطر مازاد سرطان در طول عمر ناشی از تشعشعات گامای محیطی با استفاده از معادله (۱۱) محاسبه می‌شود [۲۰].

$$ELCR = AED \times DL \times RF \quad (11)$$

که در آن AED، DL و RF به ترتیب دز موثر سالانه، امید به زندگی و ضریب تبدیل دز به خطر هستند. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت برای ایرانیان، امید به زندگی  $73/15$  سال برآورد شده است و کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع ضریب تبدیل خطر را  $0.705 \text{ Sv}^{-1}$  تعیین کرده است [۲۲]. میانگین جهانی ELCR  $10^{-3} \times 0.29$  و حداکثر قابل قبول آن  $10^{-3}$  تعیین شده است [۲۰].

## ۳. نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری فعالیت‌های خاص هسته‌های پرتوزای طبیعی در سنگ معدن روی-سرب (۱۸ نمونه)، ضایعات معدنی (۴ نمونه) و ۳ نمونه خاک در جدول ۲ آمده است. نرخ دز جذبی در هوا (D)، شاخص‌های خطر داخلی و خارجی ( $H_{ex}$ ،  $H_{in}$ )، دز موثر سالانه (AED)، دز موثر سالانه غدد جنسی (AGDE)، شاخص گاما ( $I_\gamma$ ) و خطر ابتلا به سرطان در طول عمر (ELCR) محاسبه و در جداول (۲) و (۳) آمده است.

## ۴. تحلیل آماری

فرکانس پراکندگی فعالیت ویژه پرتوزا و ضریب همبستگی پیرسون برای  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  محاسبه شد و نتایج در جدول (۴) و شکل (۲) ارائه شده است. در شکل (۲)، مشاهده می‌شود که برای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  پراکندگی متقارن وجود ندارد و فعالیت ویژه اکثر نمونه‌ها در ابتدای منحنی است، اما برای  $^{226}\text{Ra}$  پراکندگی به تقارن نزدیک‌تر است. ممکن است به دلیل وابستگی به نوع ترکیب سنگ معدن باشد. با استفاده از نرم-افزار SPSS - ۱۶، ضرایب همبستگی پیرسون برای تمام غلظت‌های فعالیت در سطح معنی‌داری  $0.01$  محاسبه شد.

ضرایب همبستگی محاسبه شده در جدول (۴) آورده شده است که هیچ همبستگی بین  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  را نشان نمی‌دهد. اما بین  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  یک همبستگی قوی منفی نشان داد [۲۳]

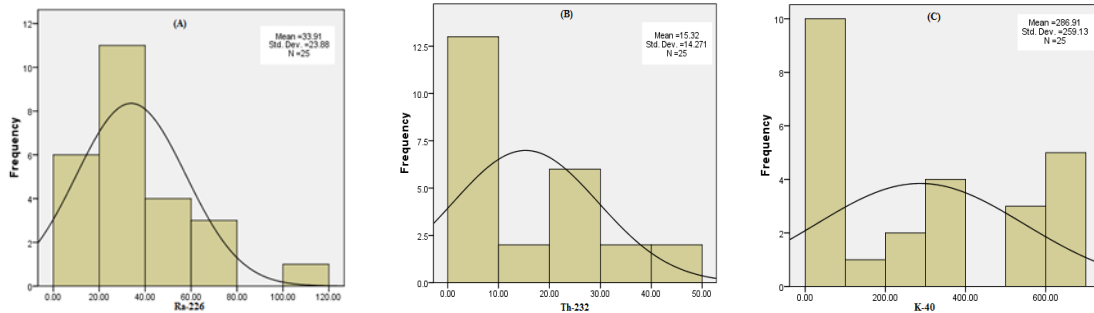
جدول (۲): فعالیت‌های ویژه رادیونوکلیدهای  $^{226}\text{Ra}$ - $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های مورد مطالعه، معادل رادیوم و نرخ دز جذب شده در هوا.

آهنگ دز جذب شده در هوا (nGy/h)	فعالیت معادل رادیوم (Bq/kg)	فعالیت های خاص رادیونوکلید (Bq/kg)			کد نمونه
		$^{40}\text{K}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	
۵۲٫۰۸	۱۰۷٫۴۱±۳٫۰۳	۶۱۱٫۵۲±۶٫۹۵	۲۱٫۷۹±۱٫۴۵	۲۹٫۱۶±۱٫۵۶	OY1
۶۳٫۳۵	۱۳۱٫۷۸±۳٫۲۹	۶۶۴٫۰۴±۷٫۶۰	۲۸٫۱۳±۱٫۶۲	۴۰٫۴۳±۱٫۶۳	OY2
۵۷٫۴۴	۹۴٫۳۸±۲٫۵۲	۳۸۱٫۴۶±۴٫۲۲	۲۴٫۲۲±۱٫۴۷	۳۰٫۳۸±۱٫۳۵	OY3
۱۵٫۰۷	۳۲٫۶۷±۱٫۵۵	۱۶٫۱۹±۲٫۷۳	۲٫۰۷±۰٫۲۴	۲۸٫۴۷±۱٫۳۲	OY4
۵۸٫۵۰	۱۲۲٫۳۹±۳٫۰۱	۵۱۸٫۴۴±۶٫۱۰	۲۱٫۵۸±۱٫۵۵	۵۱٫۶۲±۱٫۶۷	OY5
۱۴٫۸۹	۳۲٫۳۰±۱٫۹۸	۴۷٫۰۷±۳٫۲۱	۵٫۶۸±۱٫۰۶	۲۰٫۵۶±۱٫۲۲	OY6
۵٫۸۹	۱۲٫۹۵±۱٫۱۸	۱۰٫۴۰±۲٫۴۰	۲٫۷۶±۰٫۲۲	۸٫۲۱±۰٫۹۴	OY7
۳۱٫۰۶	۶۷٫۳۴±۲٫۱۱	۱۵٫۰۸±۲٫۶۰	۲٫۴۸±۰٫۲۷	۶۲٫۴۳±۱٫۹۶	OY8
۱۳٫۵۵	۲۹٫۵۱±۱٫۴۵	<۱٫۰۱۶	۲٫۶۱±۰٫۴۲	۲۵٫۰۰±۱٫۳۷	OY9
۵۴٫۳۶	۱۱۱٫۴۴±۳٫۰۵	۵۹۲٫۳۹±۶٫۲۰	۱۳٫۳۶±۱٫۴۰	۴۶٫۷۳±۱٫۸۸	OY10
۹٫۳۸	۲۰٫۲۲±۱٫۴۱	۲۳٫۵۷±۳٫۰۸	۱٫۹۱±۰٫۲۱	۱۵٫۶۷±۱٫۰۹	OY11
۴٫۷۶	۱۰٫۳۵±۰٫۹۰	۱۸٫۷۱±۲٫۶۳	۲٫۳۵±۰٫۲۱	۵٫۵۵±۰٫۴۸	OY12
۷٫۲۴	۱۵٫۶۴±۱٫۱۷	۳۷٫۶۸±۳٫۰۱	۳٫۸۱±۰٫۲۴	۷٫۳۰±۰٫۷۷	OY13
۱۳٫۲۵	۲۸٫۷۴±۱٫۴۵	۲۲٫۶۵±۲٫۶۲	۲٫۹۴±۰٫۲۵	۲۲٫۸۰±۱٫۲۲	OY14
۶۲٫۱۴	۱۳۳٫۳۶±۳٫۵۲	۱۶۸٫۶۸±۵٫۵۶	۸٫۹۳±۱٫۳۵	۱۰۷٫۶۱±۲٫۷۲	OY15
۸۵٫۶۰	۱۸۲٫۷۰±۴٫۸۰	۶۳۹٫۸۰±۷٫۷۲	۴۸٫۱۳±۲٫۶۱	۶۴٫۶۱±۲٫۹۵	OY16
۷۰٫۸۵	۱۵۵٫۲۲±۴٫۰۰	۲۷۵٫۷۵±۶٫۷۵	۴۴٫۹۳±۲٫۰۵	۶۹٫۷۴±۲٫۵۵	OY17
۵۵٫۳۶	۱۱۵٫۵۵±۳٫۳۲	۵۷۶٫۵۸±۶٫۹۸	۲۶٫۲۷±۱٫۹۲	۳۱٫۹۶±۱٫۴۱	OY18
۴٫۷۶	۱۰٫۳۵±۰٫۹۰	<۱٫۰۱۶	۱٫۹۱±۰٫۲۱	۵٫۵۵±۰٫۴۸	Min
۸۵٫۶۰	۱۸۲٫۷۰±۴٫۸۰	۶۶۴٫۰۴±۷٫۶۰	۴۸٫۱۳±۲٫۶۱	۱۰۷٫۶۱±۲٫۷۲	Max
۳۷٫۴۹	۷۸٫۰۰±۱۱٫۳۰	۲۹۳٫۵۶±۲۱٫۱۸	۱۴٫۶۶±۵٫۴۳	۳۷٫۱۲±۵٫۳۲	Average
۳۳٫۶۴	۶۷٫۳۴±۲٫۳۳	۳۲۸٫۴۴±۴٫۴۰	۸٫۴۰±۱٫۱۴	۳۰٫۰۴±۱٫۴۵	WY1
-----	-----	<۱٫۴۸	<۰٫۳۱	<۰٫۲۱	WY2
۳۱٫۸۴	۶۲٫۶۳±۲٫۳۲	۳۲۰٫۷۳±۴٫۱۹	۷٫۸۷±۱٫۲۴	۲۶٫۶۸±۱٫۳۵	WY3
۳۸٫۳۸	۸۳٫۱۷±۲٫۵۹	۲۴۰٫۵۹±۳٫۷۱	۱۱٫۶۵±۱٫۴۹	۴۷٫۹۹±۱٫۵۷	WY4
۳۴٫۶۲	۵۳٫۲۹±۴٫۰۱	۲۹۶٫۵۸±۵٫۵۹	۹٫۲۷±۲٫۲۵	۳۴٫۹۰±۲٫۵۳	Average
۶۱٫۱۲	۱۲۸٫۲۱±۳٫۱۰	۶۱۷٫۲۷±۱۳٫۳۶	۳۳٫۹۴±۲٫۳۳	۳۲٫۱۴±۱٫۳۰	SY1
۴۵٫۰۴	۹۶٫۵۳±۱٫۶۵	۳۷۹٫۵۵±۴٫۶۶	۳۰٫۷۵±۰٫۷۳	۱۹٫۸۶±۰٫۵۶	SY2
۵۵٫۰۸	۱۱۳٫۷۹±۲٫۱۲	۶۶۶٫۰۲±۱۴٫۶۶	۲۶٫۴۲±۱٫۴۴	۲۲٫۸۰±۱٫۱۷	SY3
۵۳٫۷۵	۱۱۲٫۸۴±۴٫۱۰	۵۵۴٫۳۱±۵٫۰۶	۳۰٫۳۷±۲٫۸۳	۲۴٫۹۳±۱٫۸۳	Average

جدول (۳): شاخص های خطر رادیولوژیک نمونه های مورد مطالعه

شناسه نمونه	H <sub>ex</sub>	H <sub>in</sub>	AED (mSv/y)	AGDE (μSv/y)	I <sub>γ</sub>	ELCR (×۱۰ <sup>-۵</sup> )
OY۱	۰٫۲۸	۰٫۳۶	۰٫۰۶	۳۷۳٫۲۰	۰٫۸۲	۰٫۲۲
OY۲	۰٫۳۴	۰٫۴۵	۰٫۷۷	۴۵۱٫۰۲	۰٫۹۹	۰٫۲۷
OY۳	۰٫۲۵	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۳۱۴٫۸۹	۰٫۷۰	۰٫۱۹
OY۴	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۱۰۱٫۷۰	۰٫۲۲	۰٫۰۶
OY۵	۰٫۳۲	۰٫۴۶	۰٫۰۷	۴۱۲٫۵۰	۰٫۹۰	۰٫۲۵
OY۶	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۰۲	۱۰۲٫۰۵	۰٫۲۲	۰٫۰۶
OY۷	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۴۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۰۳
OY۸	۰٫۱۸	۰٫۳۵	۰٫۰۰	۲۰۸٫۶۵	۰٫۴۵	۰٫۱۳
OY۹	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۰۱	۹۱٫۳۵	۰٫۲۰	۰٫۰۶
OY۱۰	۰٫۲۹	۰٫۴۲	۰٫۰۶	۳۸۶٫۲۵	۰٫۸۴	۰٫۲۳
OY۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۶۳٫۸۴	۰٫۱۴	۰٫۰۴
OY۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۳۲٫۸۴	۰٫۰۷	۰٫۰۲
OY۱۳	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۵۰٫۳۱	۰٫۱۱	۰٫۰۳
OY۱۴	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۸۹٫۸۵	۰٫۲۰	۰٫۰۶
OY۱۵	۰٫۳۵	۰٫۶۴	۰٫۰۷	۴۲۲٫۸۰	۰٫۹۲	۰٫۲۷
OY۱۶	۰٫۴۸	۰٫۶۵	۰٫۱۰	۶۰۱٫۷۳	۱٫۳۳	۰٫۳۷
OY۱۷	۰٫۴۱	۰٫۶۰	۰٫۰۸	۴۸۹٫۸۸	۱٫۰۱	۰٫۳۰
OY۱۸	۰٫۳۰	۰٫۳۹	۰٫۰۶	۳۹۴٫۳۷	۰٫۸۷	۰٫۲۴
Min	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۳۲٫۸۴	۰٫۰۷	۰٫۰۲
Max	۰٫۴۸	۰٫۶۵	۰٫۷۷	۶۰۱٫۷۳	۱٫۳۳	۰٫۳۷
میانگین	۰٫۲۰	۰٫۲۸	۰٫۰۸	۲۵۷٫۰۸	۰٫۵۶	۰٫۱۵
WY۱	۰٫۱۸	۰٫۲۶	۰٫۰۴	۲۳۷٫۹۶	۰٫۵۲	۰٫۱۴
WY۲	----	----	----	----	----	----
WY۳	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۰۴	۲۲۵٫۶۶	۰٫۴۹	۰٫۱۴
WY۴	۰٫۲۲	۰٫۳۴	۰٫۰۴	۲۷۰٫۷۳	۰٫۵۹	۰٫۱۷
میانگین	۰٫۱۹	۰٫۲۸	۰٫۰۴	۲۴۴٫۷۸	۰٫۵۳	۰٫۱۵
SY۱	۰٫۳۳	۰٫۴۲	۰٫۰۷	۴۳۵٫۲۴	۰٫۹۶	۰٫۲۶
SY۲	۰٫۲۵	۰٫۳۵	۰٫۰۵	۳۱۹٫۲۳	۰٫۷۲	۰٫۱۹
SY۳	۰٫۳۰	۰٫۳۶	۰٫۰۶	۳۹۵٫۶۶	۰٫۸۷	۰٫۲۴
میانگین	۰٫۲۹	۰٫۳۸	۰٫۰۶	۳۸۳٫۳۸	۰٫۸۵	۰٫۲۳





شکل (۳): پراکنندگی فرکانس  $^{226}\text{Ra}$ - $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های سنگ معدن روی-سرب.

جدول (۴): ضرایب همبستگی برای هر دو رادیونوکلئید طبیعی.

		$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
$^{226}\text{Ra}$	Pearson Correlation	۱	۰٫۳۸۹	۰٫۲۷۵
	Sig. (۲-tailed)		۰٫۰۵۴	۰٫۱۸۳
	N	۲۵	۲۵	۲۵
$^{232}\text{Th}$	Pearson Correlation	۰٫۳۸۹	۱	۰٫۷۸۱**
	Sig. (۲-tailed)	۰٫۰۵۴		۰٫۰۰۰
	N	۲۵	۲۵	۲۵
$^{40}\text{K}$	Pearson Correlation	۰٫۰۲۷۵	۰٫۷۸۱**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰٫۱۸۳	۰٫۰۰۰	
	N	۲۵	۲۵	۲۵

\*\* . Correlation is significant at the ۰٫۰۱ level (۲-tailed).

(۰/۱۷ تا ۰/۲۲ و ۰/۲۴ تا ۰/۳۴) و (۰/۲۵ تا ۰/۳۳ و ۰/۳۵ تا ۰/۴۲). به ترتیب بود. میانگین شاخص های خطر خارجی و داخلی برای سه نوع نمونه به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۲۸ و ۰/۱۹ و ۰/۲۸ و ۰/۲۹ و ۰/۳۸ محاسبه شد که برای همه نمونه ها کمتر از واحد بود.

میانگین AED و AGDE برای سنگ سرب-روی به ترتیب  $0.04 \text{ mSv/y}$  و  $236.97 \mu\text{Sv/y}$  محاسبه شد که کمتر از میانگین جهانی ( $0.7 \text{ mSv/y}$  و  $401 \mu\text{Sv/y}$ ) بود [۲۰]، در حالی که برای ضایعات و خاک اطراف به ترتیب  $0.04 \text{ mSv/y}$  و  $244.78 \mu\text{Sv/y}$  و  $0.6 \text{ mSv/y}$  و  $383.38 \mu\text{Sv/y}$  به دست آمد که برای خاکها نزدیک و برای ضایعات کمتر از میانگین جهانی بود. میانگین I<sub>v</sub> برای سنگ معدن روی-سرب، ضایعات و خاک به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۵۳ و ۰/۸۵ به دست آمد که کمتر از ۲ است و نشان می دهد دز جذب شده کمتر از ۰/۳۲  $\text{mSv/y}$  بود [۲۴، ۲۵].

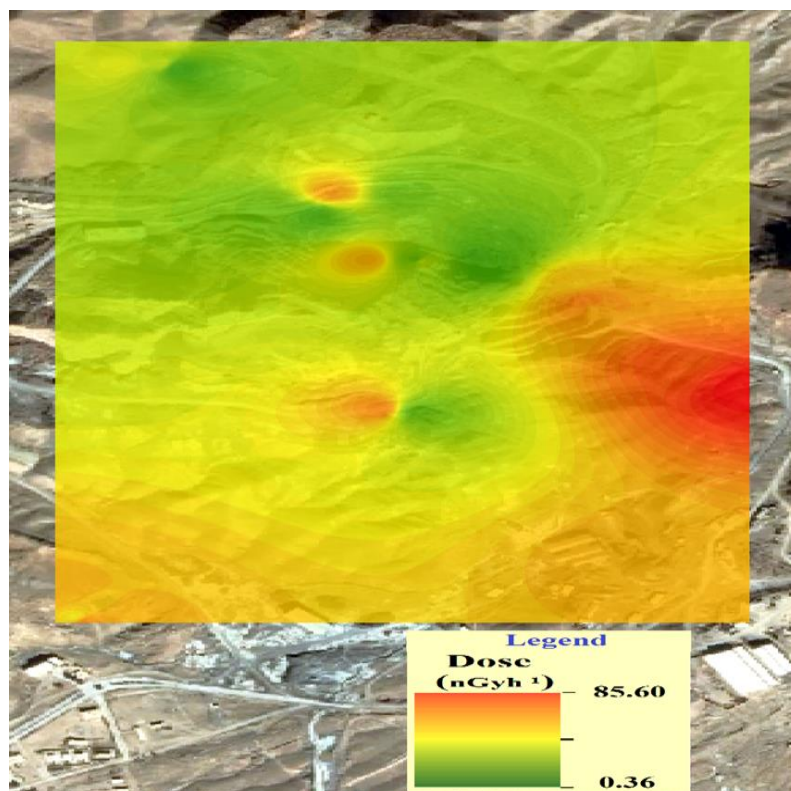
خطر ابتلا به سرطان سنگ معدن روی-سرب از  $10^{-3} \times 0.2$  تا  $10^{-3} \times 0.37$  با میانگین  $10^{-3} \times 0.15$  متغیر بود، در حالی که برای نمونه های باطله و خاک  $10^{-3} \times 0.15$  و  $10^{-3} \times 0.23$  بود. که کمتر از میانگین جهانی ( $10^{-3} \times 0.29$ ) و حداکثر مقدار مجاز بود [۲۰]. میانگین تمام پارامترهای رادیولوژیک کم تر از میانگین جهانی بود، بنابراین افراد را در فرآیند استخراج تهدید نمی کند. برای همه نمونه ها، مقدار فعالیت ویژه هسته پرتوزای مصنوعی  $^{137}\text{Cs}$  کم تر از حد قابل تشخیص ( $0.89 \text{ Bq/kg}$ ) بود که آلودگی کم تری را نسبت به سایر نقاط ایران نشان داد [۱۹، ۲۶]. این به دلیل بارندگی کم و جهت باد است که از اقیانوس هند به این منطقه می آید. در غرب و شمال ایران بادهای ابرها عمدتاً از غرب و شمال غرب ایران می آیند که اکثر کشورهای هسته ای در آن قرار دارند.

میانگین فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه های سنگ روی-سرب به ترتیب  $37.12 \pm 5.32$ ،  $14.66 \pm 5.43$  و  $21.18 \pm 293.56 \text{ Bq/kg}$  به دست آمد که به ترتیب برای  $^{226}\text{Ra}$  در سطح میانگین جهانی و برای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  کمتر از میانگین جهانی بود. میانگین غلظت جهانی این رادیو هسته ها به ترتیب ۳۵، ۴۰ و ۴۰۰ ( $\text{Bq/kg}$ ) گزارش شده است [۲۰]. میزان دز جذبی در هوا در ارتفاع یک متری از سطح زمین (جدول ۲) و توزیع آن در شکل (۲) نشان داده شده است که با استفاده از برنامه GIS انجام شده است. این شکل نشان می دهد که در سمت راست معدن نزدیک نقطه ۱۸Oxy، سطح رادیواکتیویته کمی افزایش یافته است.

با توجه به اینکه زنجیره های واپاشی اورانیوم و توریم به ایزوتوپ های پایدار سرب منتهی می شوند، غلظت رادیوم و توریم به ترتیب کمتر از میانگین جهانی به دست آمد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این معدن حاصل واپاشی این زنجیره ها نیست و منشاء جداگانه ای دارد. در جدول (۵) برخی از نتایج گزارش شده از ک شوره های دیگر با نتایج این مطالعه مقایسه شده است که گسترده ای از غلظت هسته های پرتوزای طبیعی را برای مواد مختلف نشان می دهد که به ترکیب معدنی خاک و سنگ بستگی دارد.

میانگین فعالیت ویژه  $^{226}\text{Ra}$  در سنگ معدن سرب-روی با مقادیر گزارش شده برای نمونه های خاک نیجریه، چین، عراق و ایران (گرگان) مطابقت داشت اما بیش تر از نمونه سنگ های هند، نمونه های ر سوب بنگلادش و در سطح میانگین جهانی بود. غلظت فعالیت  $^{232}\text{Th}$  در نمونه های سرب-روی کم تر از سایر ک شورها بود و در مورد  $^{40}\text{K}$  مانند عراق بود، اما هر دو آن ها کم تر از میانگین جهانی به دست آمد. شاخص های خطر خارجی و داخلی برای سنگ معدن روی-سرب، ضایعات معدنی و خاک اطراف از (۰/۰۳ تا ۰/۴۸ و ۰/۰۲ تا ۰/۶۵)،

شکل (۴): توزیع میزان دز جذب شده در هوا در ارتفاع یک متری از سطح زمین.



جدول (۵): مقایسه نتایج این مطالعه با ارزش داده شده توسط سایر محققین.

منابع	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	نوع نمونه	نام کشور
[۲۶]	۱۳۹/۳۲	۲۷/۱۳	۲۸/۲۱	قیری-خاک	نیجریه
[۲۷]	۶۳۹/۲۴	۴۵/۱۷	۱۲/۱۵	سنگ	هند
[۲۸]	۳۹۶/۳	۶۳/۵±۲۵/۴	۴۹/۴	خاک	چین
[۷]	۲۵/۳۴-۸۰۰/۰۳	<۱/۶۸-۶۰/۹۸	۹/۳۹-۲۷۱/۷۰	سنگ آهن	ایران
[۸]	۶۲/۹-۱۶۰۲/۶	MDA-۲۶۸/۴	۸/۴۶-۱۱۹/۳	سنگ‌های آذرین	ایران
[۲۵]	۸۹۹/۰۰-۱۰۳۴/۶۷	۵۴/۱۴ - ۸۴/۳۳	۲۹/۷۷-۶۳/۴۵	خاک	ایران (گرگان)
[۲۹]	۴۷۵/۵۱±۲۱/۱۵	۳۸/۳۵±۰/۷۶	۱۵/۳۹	رسوب	بنگلادش
[۶]	۲۹۱/۱۵-۵۴۹/۷۸	۲۳/۲۴-۴۵/۷۰	۲۹/۳۷-۳۸/۸۶	خاک	عراق (کربلا)
در این مطالعه	<۱۰/۱۶-۶۶۴/۰۴ (۲۹۳/۵۶± ۲۱/۱۸)	۱/۹۱-۴۸/۱۳ (۱۴/۶۶±۵/۴۳)	۵/۵۵-۱۰۷/۶۱ (۳۷/۱۲±۵/۳۲)	سنگ معدن سرب- روی	ایران
[۱۹]	۴۰۰	۴۰	۳۵	خاک و سنگ‌ها	میانگین جهانی

#### ۴. نتیجه گیری

بود. ارزیابی خطر رادیولوژیکی نشان داد که شاخص های خطر عمدتاً کم تر از میانگین جهانی هستند، بنابراین خطر عمده ای سلامت افراد شاغل در معدن را تهدید نمی کند.

فعالیت های ویژه ه سته های پرتوزای طبیعی در سنگ معدن روی - سرب به طور گسترده ای متفاوت بود، در حالی که میانگین کل غلظت برای  $^{226}\text{Ra}$  در سطح میانگین جهانی به دست آمد، اما غلظت  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  کم تر از میانگین جهانی

#### ۵. تشکر و قدردانی

کارکنان و مدیریت معدن روی - سرب یزد که در انجام این طرح کمال مساعدت و همکاری را داشتند تشکر می کنند.

این اثر توسط شورای پژوهشی دانشگاه های یزد و اراک تامین مالی شده است، لذا نویسندگان این مقاله کمال سپاسگزاری و امتنان را از شورا های مذکور را دارند. نویسندگان همچنین از

#### ۶. مراجع

1. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Sources and effects of ionizing radiation report to general assembly with scientific Annexes. New York, United Nation Publication, 1993.
2. P. Singh, N. Rana, A. Naqavi, D. Rivastava. Levels of uranium in water from some Indian cities determined by Fission Track Analysis. Radiation Measurements. 26 (5) (1996) 683-7.
3. R. B. Firestone, V. S. Shirley, C. M. Baglin. Table of isotopes CD-ROM. 8th edn, Version, 1996.
4. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes. 1 (2010) 1-219.
5. K. Iwaoka, K. Tagami, H. Yonehara. Measurement of natural radioactive nuclide concentrations in various metal ores used as industrial raw materials in Japan and estimation of dose received by workers handling them. Environ. Radio. 100 (11) (2009) 993-7.
6. R. Pourimani, M. Mortazavi Shahroodi. Radiological Assessment of the Artificial and Natural Radionuclide Concentrations of Wheat and Barley Samples in Karbala, Iraq. Med. Phys. 15 (2018) 126-131.
7. R. Pourimani, H. Azimi. Gamma spectrometric analysis of iron ore samples of Arak, Iran. Med. Phys. 13 (3) (2016) 174-182.
8. R. Pourimani, R. Ghahri, M. R. Zare. Natural radioactivity concentrations in Alvand granitic rocks in Hamadan, Iran. Radiat. Prot. Environ. 2014.
9. S. S. Behbahani, P. Moarefvand, K. Ahangari. Unloading scheme of Angooran mine slope by discrete element modeling. Rock. Mech. Min. Sci. (2013) 220-227.
10. Lead and Zinc Statistics, Monthly bulletin of the international lead and zinc study group, 41 (8) (2000).
11. M. Tatari, R. Pourimani, S. M. Meimandi, M. R. S. Yazdi, H. Lookzadeh. Risk assessment of natural radionuclide contamination in Lead-Zinc sulfide

- ores mining. *Sci. Technol. Trans. Sci.* 45 (2020) 383–389.
12. A. Yaghubpur, B. Mehrabi. A typical black-shale-hosted deposit in Yazd state. *Sci Islam. Repub. Iran.* 8 (1997) 117-125.
13. A. H. Dahooei, P. Afzal. M. Lotfi, A. Jafarirad. Identification of mineralized zones in the Zardu area, Kushk SEDEX deposit (Central Iran), based on geological and multifractal modeling. *Open Geosciences.* 8(1) (2016) 143-153.
14. IAEA-TECDOC-1360, Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. International Atomic Energy Agency, 2016.
15. R. Pourimani, M. Mohebian. Study of background correction of gamma-ray spectrometry using reference materials. *Sci. Technol. Trans. Sci.* 45 (2021) 733–736.
16. Preparation and certification of IAEA gamma-ray spectrometry, reference materials RGU-1, RGTh-1 and RGK-1, IAEA/RL/148(1987).
17. M. Gilmore. *Practical Gamma Ray Spectrometry*, 2nd ed, Warrington, UK: John Wiley and Sons, Ltd. 2008.
18. Live Chart of Nuclides nuclear structure and decay data ms (1978) available from: <https://nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>
19. R. Pourimani, T. Davoodmaghani. Radiological hazard resulting from natural radioactivity of soil in east of Shazand power plant. *Med. Phys.* 15 (2018) 192-199.
20. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Sources and effects of ionizing radiation report to general assembly with scientific Annexes. New York, United, 2008.
21. ICRP Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure ICRP Publication 82, 1989.
22. OECD Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials. Report by a Group of Experts of the OECD. Nuclear Energy Agency, Paris, France, 1979.
23. M. M. Mukaka. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Med.* 24 (3) (2012) 69-71.
24. European Commission (EC) Radiological protection on principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radia on Protec on 112*, Official Public on SOF the European Communi es, Directorate- General Environment. Nuclear safety and civil Protection, 1999.
25. J. Beretka, P. J. Matthew. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health phys.* 48 (1) (1985) 87-95.
26. R. Pourimani, F. A. Anosseh. study on transfer factors of environmental radionuclides radionuclide transfer from soil to different varieties of rice in Gorgan, Iran. *Med. Phys.* 12 (3) (2015) 189-99.