

بررسی پرتوزایی محیطی در کلوخه‌های سنگ آهن شمس آباد اراک، ایران

رضا پورایمانی^{۱*}

r-pourimani@araku.ac.ir

حمیدرضا عظیمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: هسته‌های پرتوزا در محیط اطراف ما به صورت طبیعی و مصنوعی وجود داشته و همه انسان‌ها خواسته یا ناخواسته در معرض تابش‌های هسته‌ای قرار دارند. مقدار هسته‌های پرتوزا در محیط بستگی به نوع خاک، سنگ و شرایط جغرافیایی دارد. یکی از راه‌های انتقال مواد پرتوزا به محیط‌های مسکونی استفاده از مواد معدنی برای تولید محصولات مورد نیاز بشر می‌باشد. بنابراین مطالعه پرتوزایی معادن از اهمیت خاصی برخوردار است.

روش بررسی: در این پژوهش ۱۲ نمونه سنگ آهن از معدن شمس‌آباد اراک مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری از محیط، به روش تصادفی و بر مبنای رنگ در آزمایشگاه کانی‌شناسی مورد شناسایی قرار گرفته و نوع کانی و ترکیب آن‌ها مشخص گردید. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای طبیعی با استفاده از 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 آهنگ دوز جذبی برای کلیه نمونه‌ها محاسبه شد.

یافته‌ها: فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K بر حسب Bqkg^{-1} در این نمونه‌ها به ترتیب از $۹/۳۹ \pm ۰/۵۳$ تا $۲۷۱/۷ \pm ۱/۸۴$ ، $۱/۶۸ <$ تا $۶۰/۹۸ \pm ۱/۲۲$ و $۲۵/۳۴ \pm ۲/۱۴$ تا $۸۰۰/۰۳ \pm ۶/۴۷$ تغییر می‌کند. میزان آهنگ دوز جذبی در نمونه‌ها بر حسب nGyh^{-1} از $۶/۵۶$ تا $۱۳۶/۸۱$ متغیر می‌باشد. هم‌چنین میزان شاخص خطرپذیری داخلی و خارجی در نمونه‌های به ترتیب از $۰/۰۶$ تا $۱/۵۳$ و $۰/۰۳$ تا $۰/۸۰$ به دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری: بیشینه فعالیت معادل رادیوم Ra_{eq} در نمونه لیمونیت به میزان $۲۹۶/۸۰ \text{Bqkg}^{-1}$ به دست آمد که پایین‌تر از حداکثر میزان مجاز اعلام شده (۳۷۰Bqkg^{-1}) می‌باشد. شاخص خطرپذیری داخلی و خارجی برای کلیه نمونه‌ها به استثنای سنگ آهن لیمونیت با کد L2 کمتر از حداکثر میزان مجاز می‌باشد. استفاده از مواد معدنی این معدن خطری برای کارکنان و مصرف‌کنندگان بعدی ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K ، سنگ آهن، آشکارساز HPGe.

*- (مسوول مکاتبات): استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

Investigation of environmental radioactivity in Iron ore of Shams Abad in Arak, Iran

Reza Pourimani ^{1*}

r-pourimani@araku.ac.ir

Hamid Reza Azimi ²

Abstract

Background and Objective: There are natural and artificial radionuclides in the environment, and the humans, wanted or unwanted, are exposed to nuclear radiation. Amount of radionuclides in the environment depends on soil type, rock and geographical situation. One of the ways for radionuclides transfer to humans is application of inorganic material for production of necessary products. Therefore study of radioactivity of mines is very important.

Method: In this research, 12 samples of Iron Ore of Shams Abad Iron mine have been studied. The samples were collected randomly according to color and identified type of composition in a mineralogy laboratory. The specific activities of natural radionuclides were determined using gamma ray spectrometry method, employing a high purity germanium detector (HPGe) model GCD30195 with 30% relative efficiency. Radium equivalent (Ra_{eq}), internal and external hazard indices (H_{in} and H_{ex}), internal and external annual absorbed dose and absorbed dose rate for all samples were calculated.

Conclusion: The activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in these samples varied from 9.39 ± 0.53 to 271.70 ± 1.84 , < 1.68 to 60.98 ± 1.22 and 25.34 ± 2.14 to 800.03 ± 6.47 in Bqkg^{-1} respectively. Ra_{eq} , H_{in} , H_{ex} and absorbed dose rate were calculated for all samples. The maximum Ra_{eq} was obtained to be 296.80 Bqkg^{-1} in limonite samples, which is lower than permissible values (370 Bqkg^{-1}). The absorbed dose rate in samples was calculated and varied from 6.56 to 136.81 nGyh^{-1} . H_{in} and H_{ex} of samples were obtained to be in the range of 0.06 to 1.53 and 0.03 to 0.80 respectively. In all samples, except for limonite specimen, H_{in} and H_{ex} are lower than 1 which shows no consequences for people health.

Keywords: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , Iron Ore, HPGe detector.

1- Assistant professor, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran.* (Corresponding Author)
2- MSc of Nuclear Physics, Arak University, Arak, Iran.

مقدمه

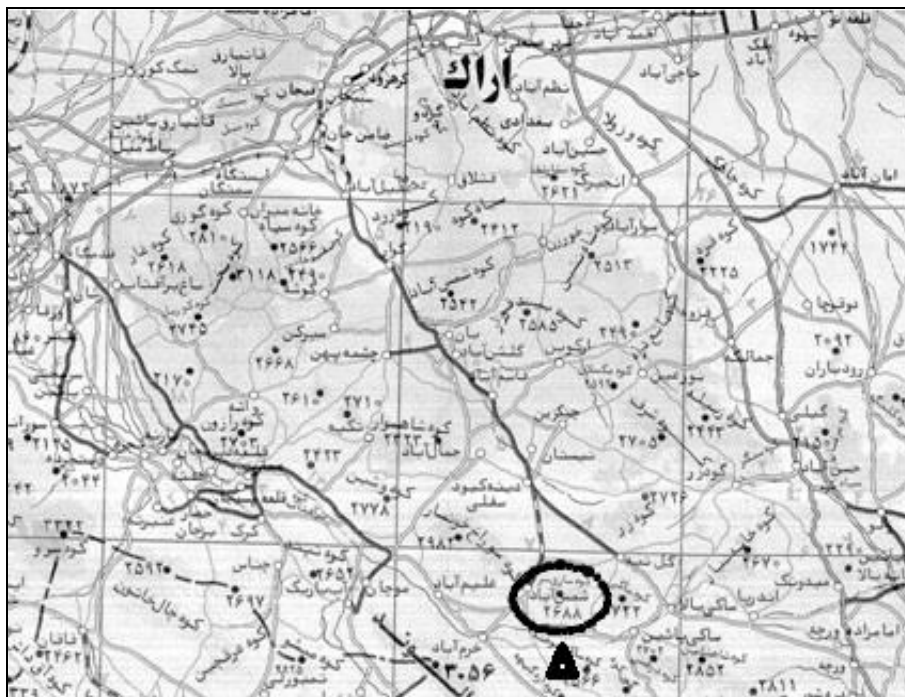
عنایت به نظریه زمین شناسی تغلیظ رادیوایزوتوپ‌ها در آن‌ها مشخص گردد. از طرفی ضروری است که فرآیند انتقال مواد پرتوزا از معدن به محصولات نهایی نیز مورد مطالعه قرار گیرد. معدن سنگ آهن شمس‌آباد اراک در ۵۶ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان اراک در استان مرکزی با ذخیره ۵۰ میلیون تن سنگ آهن به صورت روباز در حال بهره‌برداری می‌باشد. مواد استخراجی این معدن، با دانه‌بندی ۰ تا ۸ میلی‌متر در صنایع ذوب آهن اصفهان و به صورت کلوخه در کارخانجات سیمان کشور و نیز صادرات به کشورهای جهان دارای جایگاه ویژه‌ای بوده و بنابراین تعیین میزان فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در آن از نقطه نظر محیط زیست و سلامت افراد جامعه و کارگران شاغل دارای اهمیت زیادی است. مهم‌ترین کانی‌های سنگ آهن این معدن هماتیت، گوتیت، لیمونیت و سیدریت بوده و مقدار اورانیوم، توریم و پتاسیم در سنگ آهن اساساً به نوع کانی‌های موجود در آن، موقعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه، نوع خاک و سنگ آن بستگی دارد (۵). این مطالعات به منظور تعیین فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا و نوع آن‌ها و تأثیر آن بر محیط زیست، افراد ساکن در منطقه و کاربران محصول نهایی انجام شد. این تحقیق شامل شناسایی منطقه، تعیین نقاط نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، بیناب‌نگاری و در پایان تجزیه و تحلیل بیناب‌های به‌دست آمده می‌باشد.

روش بررسی

معرفی منطقه تحت بررسی

محدوده مورد مطالعه در عرض جغرافیایی $33^{\circ} 47'$ شمالی و طول جغرافیایی $45^{\circ} 42'$ شرقی شامل یک رشته کوه با ارتفاع نسبی ۱۶۰-۱۵۰ متر از سطح محلی و ۲۵۱۵-۲۳۰۰ متر از سطح دریا با مساحت تقریبی ۶ کیلومترمربع قرار دارد. موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن شمس‌آباد اراک در شکل (۱) نمایش داده شده است.

هسته‌های پرتوزا در محیط اطراف ما به صورت طبیعی و مصنوعی وجود داشته و همه انسان‌ها خواسته یا ناخواسته در معرض این پرتوها قرار می‌گیرند. تابش‌های هسته‌ای بالقوه برای موجودات زنده و از جمله انسان‌ها مضر هستند (۱). یکی از مهم‌ترین منابع پرتوگیری خارجی، پرتوهای گامای حاصل از واپاشی سری‌های اورانیوم، توریم و ویژه هسته‌های منفرد نظیر پتاسیم ^{40}K می‌باشد. این ویژه هسته‌های پرتوزا و دختران آن‌ها در خاک، سنگ، آب، مواد ساختمانی و غیره یافت می‌شوند. این ویژه هسته‌ها از بدو شکل‌گیری کره زمین وجود داشته و برحسب نوع خاک، سنگ و یا منطقه جغرافیایی، مقدارشان متفاوت است (۲). مقدار میانگین ^{238}U در پوسته زمین به میزان $2/6$ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شده است که ممکن است مقدار آن در سنگ‌های فسفاته به بالاتر از ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هم برسد. در حالی که مقدار میانگین ^{232}Th در حدود $9/6$ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد گردیده است (۳). برای کاهش اثرات نامطلوب این پرتوها بر بدن، ابتدا باید انواع پرتوهای هسته‌ای و راه‌های ورودشان به بدن را شناخته و سپس روش‌های حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی و خارجی را پیدا کرد. امروزه آهن و آلیاژهای آن، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین عناصر در زندگی انسان‌ها بوده و بررسی میزان مواد پرتوزا در معدن و محصولات تولید شده از آن در سایر صنایع وابسته و نیز از نقطه نظر سلامتی افراد شاغل در فرآیند استخراج از معدن تا تولید آهن و مصرف کنندگان آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. از لحاظ نظریه‌های زمین شناسی فرآیند تغلیظ مواد پرتوزا از هماتیت به لیمونیت نیز حایز اهمیت می‌باشد. در حال حاضر میزان ذخایر سنگ آهن موجود در کل معادن جهان بالغ بر ۸۰۰ میلیارد تن تخمین زده شده است که از این مقدار سنگ آهن، ۲۳۰ میلیارد تن آهن خالص استحصال می‌گردد (۴). امروزه در جهان معادن زیادی در حال استخراج بوده و انبوهی از کارگران و مهندسين در آن‌ها مشغول به کار می‌باشند. لذا ضروری است که معادن با توجه به نوع کانی‌های موجود در آنها مورد مطالعه جدی قرار گیرند و با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن شمس آباد اراک

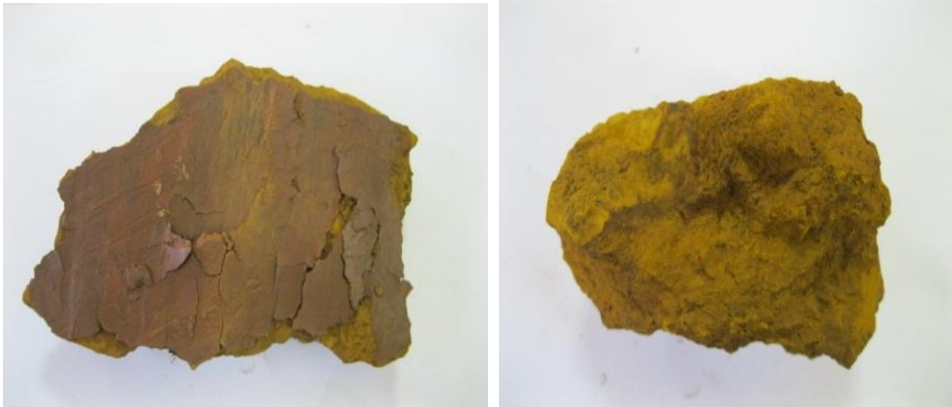
Figure 1- Geographical location of Iron ore of Shams Abad of Arak

مش شماره ۵۰ عبور داده شدند (۶). پودرهای آماده شده در کوره با دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خشک گردیدند. سپس نمونه‌ها در ظروف استاندارد مارینلی بیکر^۱ با حجم ۸۰۰CC، قطر خارجی ۱۴ سانتیمتر، ارتفاع خارجی ۱۱ سانتی‌متر، قطر داخلی ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع داخلی ۷/۵ سانتی‌متر با وزن خالص ۹۵۰ گرم بسته‌بندی و به منظور جلوگیری از خروج گاز رادون، حاصل از واپاشی زنجیره اورانیوم و توریم و برقراری تعادل پرتوزا میان رادیوم و توریم با دختران‌شان، آب‌بندی گردیدند. بخشی از نمونه‌ها به آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه صنعتی اراک منتقل و در آنجا شناسایی نوع کانی و شناسه‌گذاری آن‌ها انجام شد. اشکال (۲ تا ۵) تصاویر تعدادی از این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. به‌علاوه، در جدول (۱) نتایج کانی‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه آمده است

در این منطقه سولفورهای آهن کمتر است و اکسیدهای آهن منگنز بخش اعظم این کانسار را تشکیل می‌دهد. بخش‌های عمده آهن‌دار این معدن حاوی ترکیبات لیمونیت، هماتیت و گوتیت هستند و در پاره‌ای از بخش‌ها بلورهای پیریت به صورت بافت افشان نیز دیده می‌شوند که با حفظ شکل بلورین خود به لیمونیت تبدیل شده‌اند. عیار آهن در محدوده این کانسار بین ۴۰/۸۶٪ تا ۵۴/۹٪ متغیر است (۵).

نمونه‌برداری و نمونه‌سازی

در این تحقیق تعداد ۱۲ نمونه سنگ به وزن تقریبی هر یک ۳ کیلوگرم به طور تصادفی بر مبنای رنگ ظاهری از نقاط مختلف معدن جمع‌آوری گردید. مقدار معینی از نمونه‌ها پس از انتقال به کارگاه نمونه‌سازی دانشگاه اراک با استفاده از دو نوع آسیاب فکی و گلوله‌ای خرد و سپس به منظور تهیه نمونه یکنواخت از



شکل ۲- نمونه سنگ آهن با ترکیب اصلی لیمونیت

Figure 2- Sample of Iron Ore with limonite as main component



شکل ۳- نمونه سنگ آهن با ترکیب اصلی هماتیت

Figure 3- sample of Iron Ore with hematite as main component



شکل ۴- نمونه سنگ آهن با ترکیب اصلی گوتیت و کانی‌های فرعی هماتیت و لیمونیت

Figure 4- sample of Iron Ore with goethite as main component and hematite and limonite as subcomponent



شکل ۵- نمونه سنگ آهن با ترکیب اصلی هماتیت و کانی‌های فرعی گوتیت و مالاکیت (کربنات مس)

Figure 5- sample of Iron Ore with hematite as main component and goethite and malagite as subcomponent

جدول ۱- نتایج کانی‌شناسی نمونه‌های تهیه شده از معدن سنگ آهن شمس‌آباد اراک

Table 1 – Results of mineralogy of samples from Shams Abad Fe ore of Arak

نام نمونه	شناسه نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
نمونه شماره ۱	H	هماتیت	-----
نمونه شماره ۲	H.G.L1	هماتیت	گوتیت و لیمونیت
نمونه شماره ۳	L1	لیمونیت	-----
نمونه شماره ۴	L2	لیمونیت	-----
نمونه شماره ۵	H.G.M	هماتیت	گوتیت و مالاکیت (کربنات مس)
نمونه شماره ۶	H.G.L2	هماتیت	گوتیت و لیمونیت
نمونه شماره ۷	G.H.L	گوتیت	هماتیت و لیمونیت
نمونه شماره ۸	B.G	باریت	گوتیت
نمونه شماره ۹	H.G.L.Si1	هماتیت	گوتیت، لیمونیت و سیلیس
نمونه شماره ۱۰	H.G.S	هماتیت	گوتیت و سیدریت
نمونه شماره ۱۱	H.G.Ga	هماتیت	گوتیت و گالن (سرب)
نمونه شماره ۱۲	H.G.L.Si2	هماتیت	گوتیت، لیمونیت و سیلیس

کاهش تابش‌های زمینه، آشکارساز و ظرف‌های نمونه در دو لایه حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و یک لایه مسی به ضخامت ۳ میلی‌متر قرار گرفتند. اجزاء پرتوهای نرم کیهانی شامل الکترون‌ها و فوتون‌های کم انرژی به وسیله حفاظ سربی به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر به سطح بسیار پایینی کاهش یافتند. وجود لایه مسی باعث توقف اشعه X ساطع شده از سرب با انرژی $73/9 \text{ keV}$ در اثر فعل و انفعالات و تأثیرات متقابل آن با تابش خارجی می‌شود (۷). به منظور کاهش اثر پراکندگی

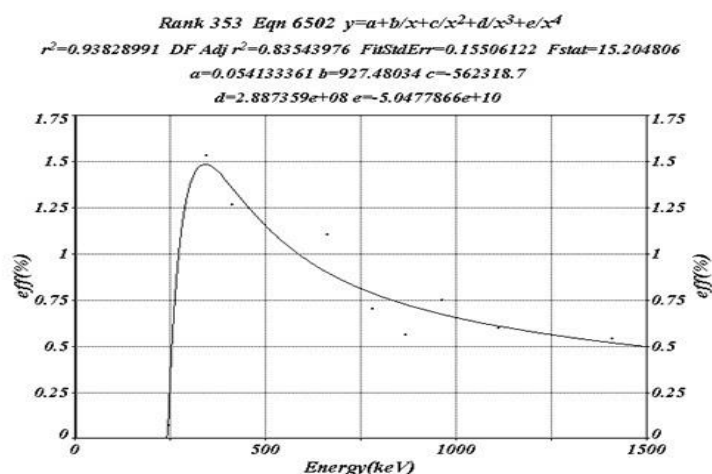
قبل از بیناب‌نگاری نمونه‌ها، به منظور برقراری تعادل بین هسته مادر ^{226}Ra و هسته دختر ^{222}Rn نمونه‌ها به مدت ۵۰ روز نگهداری شدند.

بیناب‌نگاری نمونه‌ها و ارایه نتایج

بیناب‌نگاری نمونه‌ها و ارایه نتایج با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) هم محور از نوع P، با مدل GCD30195 شرکت BSI و بازدهی نسبی ۳۰٪ و با استفاده از نرم‌افزار Lsrmbsi تولید این شرکت انجام شد [۷]. برای

$$\varepsilon(\%) = \frac{N_i}{Atc \times P_n(E_i) \times t} \times 10 \quad (1)$$

در این معادله، ε بازدهی آشکارساز در آن انرژی، N_i شمارش خالص زیر قله فتوپیک متناظر با انرژی E_i ، Act فعالیت نمونه بر حسب Bq، $P_n(E_i)$ نشان‌دهنده احتمال انتشار فوتون با انرژی E_i و t زمان بیناب‌نگاری از نمونه بر حسب ثانیه است. منحنی مقیاس‌بندی بازدهی بر حسب انرژی اشعه گاما در شکل (۶) نشان داده شده است. این منحنی با انتقال داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار Gama vision برای خطوط گاما‌های چشمه‌های استاندارد مذکور به Excel و سپس به نرم‌افزار Table curve با انتخاب بهترین مقدار R^2 (نزدیک به مقدار یک) برای داشتن تصویری از منحنی بازدهی آشکارساز به دست آمد.



شکل ۶- منحنی مقیاس‌بندی بازدهی آشکارساز HPGe GCD30195 برای پیکربندی استاندارد مارینلی خاکی
 Figure 6- Efficiency curve of HPGe GCD30195 for Marineli beaker standard soil container

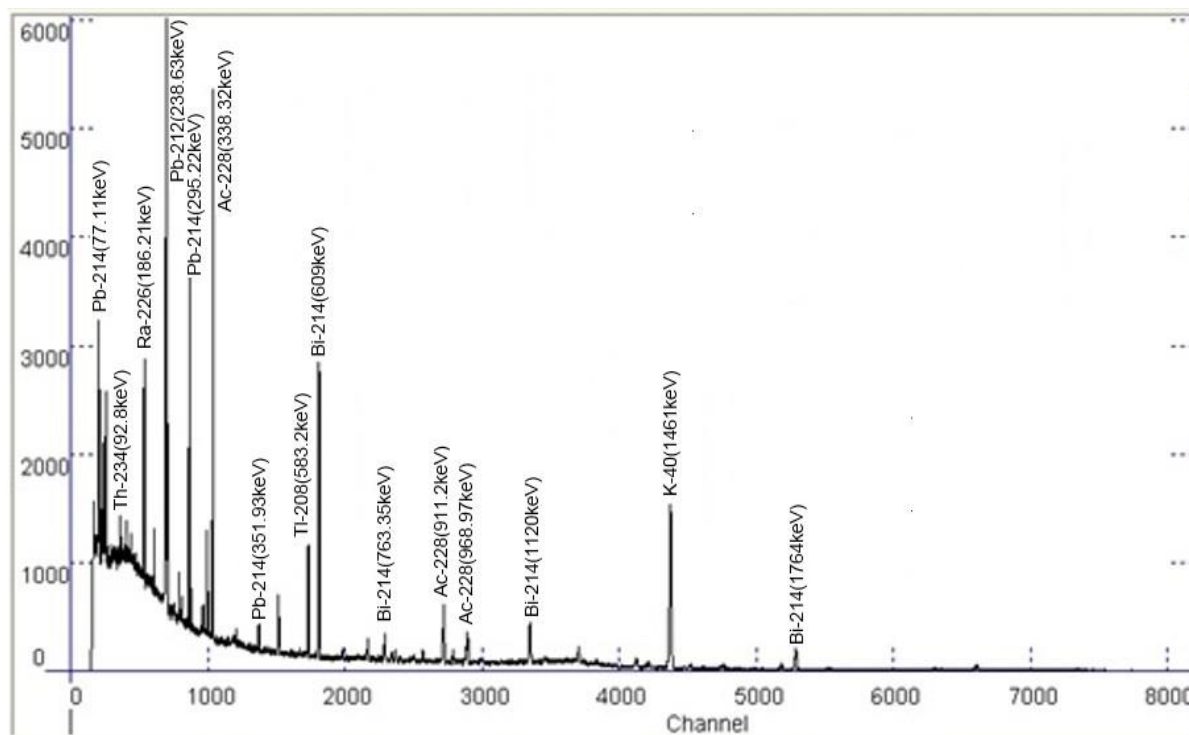
۹۱۱/۲۱ keV و احتمال واپاشی ۲۶/۶٪ و دیگری با انرژی ۹۶۸/۹۷ keV و احتمال واپاشی ۱۷/۴٪ استفاده گردید. فعالیت ویژه ^{40}K از خط گاما با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ keV تعیین شد. در نهایت برای تعیین فعالیت ویژه ^{137}Cs در نمونه‌ها از خط گاما با انرژی ۶۶۱/۶۶ keV استفاده گردید که در همه نمونه‌ها پایین‌تر از سطح MDA^۱ بود. در شکل (۷) طیف نمونه لیمونیتی با کد L1 نشان داده شده است.

تابع جفت شده بر نقاط تجربی با استفاده از نرم‌افزار Table Curve تعیین و با معادله چندجمله‌ای زیر بیان می‌شود:

$$y = a + b/x + c/x^2 + d/x^3 + e/x^4 \quad (2)$$

در این معادله، y بازدهی، x انرژی اشعه گاما بر حسب keV، a ، b ، c ، d و e مقادیر ثابتی هستند که در شکل (۵) توصیف شده‌اند. از کلیه نمونه‌ها به مدت ۸۶۴۰۰ ثانیه بیناب‌نگاری به عمل آمد. برای تعیین فعالیت ویژه ^{226}Ra در نمونه‌ها، از پرتو گاما با انرژی ۳۵۱/۹۳ keV مربوط به ^{214}Pb و پرتو گاما با انرژی ۶۰۹/۳۱ keV مربوط به ^{214}Bi استفاده شد. برای تعیین فعالیت ویژه ^{232}Th ، از دو خط گامای ^{228}Ac یکی با انرژی

1- Minimum Detectable Activity



شکل ۷- طیف حاصل از نمونه L1 با مدت زمان طیف‌گیری ۸۶۴۰۰ ثانیه

Figure 7 – gamma ray spectrum of L1 sample for 86400 s

در این معادله، Act فعالیت نمونه بر حسب Net Bqkg^{-1} ، Area سطح زیر پیک تمام انرژی 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 نمونه بر حسب کیلوگرم می‌باشد. نتایج محاسبات فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) درج شده است.

تحلیل بیناب‌های ناشی از هر نمونه به منظور برآورد فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در نمونه‌ها، به کمک نرم‌افزار Gamma Vision Ortec Software با زیربرنامه ENV32 به عنوان موتور آنالیز و سطح MDA با زیربرنامه Reg. Guide 4.16 Method محاسبه گردیده‌اند. در تجزیه و تحلیل تمامی بیناب‌ها، تصحیح مربوط به اشعه گامای زمینه، بر اساس بیناب ثبت شده ظرف خالی مارینلی، در شرایط هندسی و زمان یکسان اندازه‌گیری، اعمال گردیده است. برای محاسبه فعالیت ویژه از معادله ۳ استفاده می‌گردد:

$$\text{Act} = \frac{\text{Net Area}}{\epsilon(\%) \times \text{B.R.}(\%) \times t \times m} \times 100 \quad (3)$$

جدول ۲- فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه معدن سنگ آهن شمس آباد اراک

Table 2- Specific activities of radionuclides of samples from Shams Abad Fe ore in Arak

شناسه نمونه	Activity Concentration(Bqkg ⁻¹)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
H	۰/۵±۲۴/۳۴	۰/۵۲±۶/۱۶	۱/۷۶±۶۷/۸۵
H.G.L1	۰/۶۱±۳۶/۹۲	۱/۰۳±۱۳/۲۱	۲/۷۳±۱۳۴/۳۷
L1	۰/۹۷±۹۶/۹۲	۱/۲۲±۶۰/۹۸	۶/۴۷±۸۰۰/۰۳
L2	۱/۸۴±۲۷۱/۷	۱/۶۸±۱۱/۵۸	۶/۳۸±۱۰۲/۹۶
H.G.M	۰/۷۷±۵۷/۲۳	۰/۷۵±۸/۶۴	۳/۹۲±۱۸۶/۹۳
H.G.L2	۰/۵۴±۲۵/۵۴	۰/۸۵±۱۳/۲۸	۳/۳۰±۱۹۹/۶۳
G.H.L	۱/۱۳±۹۱/۶۵	۱/۴۴±۲۷/۸۶	۴/۷۸±۳۸۳/۸۲
B.G	۰/۵۳±۹/۳۹	<۱/۶۸	۱/۸۴±۲۹/۰۲
H.G.L.Si1	۰/۷۴±۴۲/۳	۰/۷۳±۴/۶۸	۳/۰۳±۸۷/۲۶
H.G.S	۰/۸۵±۷۶/۳۹	۱/۳۹±۲۲/۱۶	۵/۵۵±۵۰۹/۱۳
H.G.Ga	۰/۴۴±۱۶/۲۷	۰/۸۸±۷/۴۸	۲/۱۴±۲۵/۳۴
H.G.L.Si2	۰/۴۷±۱۹/۸۷	۰/۷۱±۵/۴۸	۲/۷۰±۸۷/۵۲

برای محاسبه میزان شاخص خطرپذیری پرتوگیری داخلی (H_{in}) و شاخص خطرپذیری پرتوگیری خارجی (H_{ex})، به ترتیب از معادلات ۶ و ۷ استفاده گردیده است [۹]:

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (۶)$$

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (۷)$$

مقادیر H_{ex}، H_{in}، Ra_{eq} و آهنگ دوز جذب (D) برای نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر مجاز برای H_{ex} و H_{in} طبق استاندارد کمیته بین المللی حفاظت در برابر اشعه می‌بایست کوچک‌تر از یک باشد (۹).

برای محاسبه فعالیت ویژه معادل رادیوم (Ra_{eq}) که بیانگر اثرات رادیولوژیکی مواد پرتوزا شامل ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K است از معادله ۴ استفاده شده است (۹):

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (۴)$$

در این معادله، A_{Ra}، A_{Th} و A_K به ترتیب فعالیت پرتوزایی ویژه ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K بر حسب Bqkg⁻¹ هستند.

برای محاسبه آهنگ دوز جذب شده از ویژه هسته‌های پرتوزایی طبیعی شامل ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K در ارتفاع یک متری از سطح خاک و سنگ، از معادله ۵ استفاده شده است (۱۰):

(۵)

$$D(nGyh^{-1}) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K$$

جدول ۳- مقادیر Ra_{eq} , H_{in} , H_{ex} به همراه آهنگ دوز جذبی (D) در نمونه سنگ‌های مورد مطالعه

Table 3 – Quantities of Ra_{eq} , H_{in} , H_{ex} and absorbed dose rate (D) of rocks sample

شناسه نمونه	$Ra_{eq}(Bqkg^{-1})$	H_{in}	H_{ex}	$D(nGyh^{-1})$
H	$0.90 \pm 38/37$	$0.00 \pm 0/16$	$0.00 \pm 0/10$	$0.39 \pm 17/79$
H.G.L1	$1/60 \pm 66/15$	$0.00 \pm 0/27$	$0.00 \pm 0/17$	$0.69 \pm 30/63$
L1	$2/05 \pm 245/72$	$0.00 \pm 0/92$	$0.00 \pm 0/66$	$0.90 \pm 114/97$
L2	$3/06 \pm 296/80$	$0.01 \pm 1/53$	$0.00 \pm 0/80$	$1/35 \pm 136/81$
H.G.M	$1/35 \pm 83/97$	$0.00 \pm 0/38$	$0.00 \pm 0/22$	$0.59 \pm 39/45$
H.G.L2	$1/35 \pm 59/90$	$0.00 \pm 0/23$	$0.00 \pm 0/16$	$0.58 \pm 28/14$
G.H.L	$2/37 \pm 161/04$	$0.00 \pm 0/68$	$0.00 \pm 0/43$	$1/03 \pm 75/17$
B.G	$0.54 \pm 14/02$	$0.00 \pm 0/06$	$0.00 \pm 0/03$	$0.25 \pm 6/56$
H.G.L.Si1	$1/30 \pm 55/71$	$0.00 \pm 0/26$	$0.00 \pm 0/15$	$0.57 \pm 26/00$
H.G.S	$2/20 \pm 147/28$	$0.00 \pm 0/60$	$0.00 \pm 0/39$	$0.95 \pm 69/90$
H.G.Ga	$1/34 \pm 28/91$	$0.00 \pm 0/12$	$0.00 \pm 0/07$	$0.57 \pm 13/09$
H.G.L.Si2	$1/13 \pm 34/44$	$0.00 \pm 0/14$	$0.00 \pm 0/09$	$0.49 \pm 16/13$

تمامی نمونه‌ها کمتر از MDA دستگاه بوده و توسط دستگاه قابل شناسایی نبود، زیرا نمونه‌ها از عمق معدن و قسمت‌های در حال بهره‌برداری تهیه شده است، بنابراین انتظار نمی‌رود که سزیمی در آن وجود داشته باشد. زیرا سزیم از ایزوتوپ‌های مصنوعی بوده و در اثر تست سلاح‌های هسته‌ای و یا حوادث هسته‌ای وارد جو می‌شود و از طریق جریان‌های جوی مانند باد و باران به نقاط مختلف کره زمین منتقل می‌شود و ریزش آن‌ها در سطح زمین است (۱۷). این سزیم با گذشت زمان و بر اثر بارندگی به لایه‌های عمقی‌تر خاک نفوذ می‌کند که با توجه به کم بودن بارندگی در نقاط مختلف استان مرکزی و مطالعات انجام شده در مورد نفوذ سزیم، بیشتر از عمق ۶۰ سانتی‌متری نفوذ نمی‌کند در حالی که این نمونه‌ها از اعماق بیشتر از ۱۰ متر جمع‌آوری شده‌اند (۱۸).

مقایسه نتایج این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده در بعضی از کشورهای جهان برای نمونه‌های خاک و سنگ در جدول (۴) آورده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد، کمترین مقدار فعالیت ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K برحسب $Bqkg^{-1}$ به ترتیب با مقادیر 9.39 ± 0.53 ، $1.68 <$ و 29.02 ± 1.84 در نمونه سنگ حاوی ترکیب اصلی باریت-گوتیت با کد B.G مشاهده می‌گردد در حالی که بیشترین فعالیت ویژه این هسته‌های پرتوزا بر حسب $Bqkg^{-1}$ به ترتیب با مقادیر 96.92 ± 0.97 ، 60.98 ± 1.22 و 80.03 ± 6.47 در نمونه سنگ حاوی ترکیب اصلی لیمونیت با کد L1 دیده می‌شود. فعالیت ویژه ^{137}Cs در

جدول ۴- مقایسه نتایج این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده در بعضی از کشورهای جهان برای نمونه‌های خاک و سنگ
 Table 4 – Comparison of results of this research with measurements in some countries for soil and rock samples.

نام کشور	Activity Concentration(Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Chittagong [۱۱] بنگلادش(خاک)	۳۴/۶	۶۰	۴۳۸
Rechna [۱۲] پاکستان(خاک)	۵۰/۶	۶۲/۳	۶۶۲/۲
Louisiana [۱۳] آمریکا(خاک)	۴۳ - ۹۵	۵۰ - ۱۹۰	۴۳ - ۷۲۹
Zacatecas [۱۴] مکزیک(خاک)	۲۳	۱۹	۵۳۰
Punjab [۱۵] هند(خاک)	۳۵	۸۰	۳۱۷
Sandur [۱۶] هند(سنگ آهن)	----	۱۶/۵۴	۲۵/۲۹
ایران (تحقیق موجود)	۹/۳۹ - ۲۷۱/۷۰	<۱/۶۸ - ۶۰/۹۸	۲۵/۳۴ - ۸۰۰/۰۳
مقدار میانگین (تحقیق موجود)	۶۴/۰۴	۱۵/۲۶	۲۱۷/۸۲

کارگران موارد حفاظتی در برابر پرتوهای یون‌ساز به‌خصوص استفاده از ماسک را رعایت نمایند. در ضمن می‌باید مطالعاتی در زمینه انتقال مواد پرتوزا به محصول آماده قابل مصرف در صنایع فلزی آهنی و ساختمان‌سازی صورت گیرد تا سالم‌ترین نوع محصول از نظر سلامت و محیط زیست مشخص گردد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی گردیده است. بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت مذکور و هم‌چنین از کارشناسان معدن سنگ آهن شمس آباد اراک و کارکنان آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه صنعتی اراک کمال سپاس‌گزاری را داشته باشند.

منابع

- 1- Harb, S., 2004. "On The Human Radiation Exposure as Derived from the Analysis of Natural and Man mad Radionuclides in Soil", Ph.D. Thesis, Hannover University.

مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق مشابه در سایر کشورهای مندرج در جدول (۴) نشان داده شده است که مقدار میانگین فعالیت ویژه ²³²Th و ⁴⁰K در سنگ‌های مورد مطالعه این کار به جز سنگ آهن منطقه سندور هند تقریباً در گستره پایین‌تری قرار داشته ولی میانگین فعالیت ویژه ²²⁶Ra در نمونه‌های این پژوهش در گستره بالاتری قرار دارد. مقدار متوسط جهانی اریه شده توسط UNSCEAR در خاک برای ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K بر حسب $Bqkg^{-1}$ به ترتیب برابر با ۳۵، ۳۰ و ۴۰۰ می‌باشد(۱۹).

در این تحقیق مقدار میانگین ²³²Th و ⁴⁰K کمتر و مقدار ²²⁶Ra بیشتر از مقدار متوسط جهانی به دست آمده است. هر چند میزان Ra_{eq} در نمونه‌های لیمونیتی بیشتر از سایر نمونه‌ها و کمتر از حداکثر مقدار مجاز ($370 Bqkg^{-1}$) می‌باشد، معذالک می‌تواند تأثیر زیادی بر محیط زیست داشته و سلامت افراد ساکن و شاغل در معدن را به مخاطره بیندازد، لذا توصیه می‌شود در هنگام استخراج سنگ آهن از معادن، قسمت‌هایی که حاوی ترکیبات کمتری از لیمونیت هستند مورد بهره‌برداری قرار گیرند و یا این‌که در قسمت‌های حاوی ذخایر لیمونیت

- and by-products", Health Phys, 48, 87-95.
- 10- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2008. "Exposure from natural sources of radiation", United Nations, New York.
- 11- Kabir, K. A., Islam, S. M. A., Rahman, M. M., 2009. "Distribution of Radionuclides In Surface Soil And Bottom Sediment In The District of JESSORE, BANGLADESH and Evaluation of Radiation Hazard", Journal of Bangladesh Academy of Sciences, Vol 33, No.1, 117-130.
- 12- Jabbar, A., Arshed, W., Bhatti, A. S., Ahmad, S. S., Akhter, P., 2010. "Measurement of soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in southern Rechna interfluvial region, Pakistan", Environmental Monitoring and Assessment, Volume 169, Issue 1-4, pp 429-438.
- 13- Delaune, R. D., Jones, G. L. & Smith, C. J., 1986. "Radionuclide concentration in Louisiana Soils and Sediments", Health Physics, 51, 239-244.
- 14- Noordin, I., 1999. "Natural activities of 238U, 232Th, and 40K in building materials", Journal of Environmental Radioactivity, 43, 255-258.
- 15- Mehra, R., Singh, S., Singh, K., Sonkawade, R., 2007. " 226Ra, 232Th and 40K Analysis in soil samples from some areas of Malwa region, Punjab, India using gamma ray spectrometry", Environmental Monitoring and Assessment, Volume 134, Issue 1-3, pp 333-342.
- 16- Kerur, B. R., Rajeshwari, T., Anilkumar, S., Narayani, K., Rekha, A. K., 2011. "Gamma spectrometric
- 2- El-Arabi, A.M., 2007. "226Ra, 232Th and 40K concentration in igneous rocks from eastern desert Egypt and its radiological implication", Radiat. Meas. 42, 94-100.
- 3- Azarvand, B., 2011. "Natural radioactivity in water and its environmental impact", Fourth conference on Environmental Engineering.
- ۴- توحیدی، ناصر، ۱۳۸۸، فلزات استراتژیک، مواد اولیه و شیوه‌های تولید، کارایی و کاربرد، عرضه و تقاضا، درجه بحرانی و آسیب پذیری، دانشگاه تهران.
- ۵- فرهادی، ر. ۱۳۷۴، مطالعه زمین‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار آهن منگن‌دار شمس‌آباد اراک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- 6- IAEA- TECDOC- 360, 2003. "Collection and Preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides an trace element". International Atomic Energy Agency, VIENNA.
- 7- ANSN42.14, 1999. "American National Standard for Calibration and use of Germanium Spectrometers for the Measurement of Gamma Ray Emission Rates of Radionuclides", USA.
- 8- [8] Kertz, R., 1983. "Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in Soil and Beach Sand Samples of Kalpakam(India) using hyper pure germanium(HPGe) gamma ray spectrometry Symbol for rock-forming minerals" , Appl, Radiat, Isot, 57, 109-119, Am. Miner, 65 277-279.
- 9- Beretka, J., Mathew, P. J., 1985. "Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes

- China, 21-25 October 1996, Amsterdam; Elsevier; 1997b:129-132.
- 18- Pourimani, R., Mazloom Shahraki, M., 2013. "Influence of different soil's parameters on the penetration of ^{137}Cs ", Iranian Journal of Physics Research, Vol. 13, No. 3.
- 19- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. "Effects and Risks of Ionizing Radiation & Exposure from natural sources of radiation", United Nations, New York.
- Analysis of ore samples from Sandur of Bellary, Karnataka, India", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, DOI 10.1007/s10967-011-1599-4.
- 17- Kannan, V., Rajan, M. P., Iyengar, M. A. R., Ramesh, R., 2002. "Natural Radioactivity of Soil Samples in some high level Natural Radiation areas of Iran, In Radiation Doses and Health Effects", Proceeding of 4th International Conference on High Level of Natural Radiation; Beijing;