

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره چهار، تیر ماه ۹۹

## اندازه گیری پرتوزایی خاک‌های سطحی شرق نیروگاه سوخت فسیلی شازند

رضا پورایمانی<sup>\*۱</sup>

[r-pourimani@araku.ac.ir](mailto:r-pourimani@araku.ac.ir)

طیبه داود مقامی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۴

### چکیده

**زمینه و هدف:** انسان‌ها همواره در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. یکی از منابع این پرتوها، تابش‌های هسته‌ای مربوط به ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در آب، خاک، سنگ و گیاهان است. عناصر پرتوزا باگسیل تابش‌های هسته‌ای باعث بروز بیماری‌هایی نظیر سرطان و ناهنجاری‌های ژنتیکی می‌گردند. بنابراین مطالعه و بررسی پرتوزایی خاک از اهمیت زیادی برخوردار است.

**روش بررسی:** در این پژوهش ۳۴ نمونه خاک از حدفاصل نیروگاه سوخت فسیلی شازند تا شهر اراک مورد مطالعه قرار گرفت. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا از روش بیناب‌نگاری گاما و با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) با بازدهی نسبی ۳۰٪ تعیین گردید. مقادیر فعالیت ویژه عناصر پرتوزا، فعالیت معادل رادیوم و آهنگ دز جذبی در هوا برای کلیه نمونه‌ها محاسبه شد.

**یافته‌ها:** مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌های جمع‌آوری شده به ترتیب در محدوده ۱۸/۹۲±۱/۹۱ تا ۴۳/۱۱±۲/۶۹ و ۲۵/۳۱±۲/۱۶ تا ۵۴/۲۷±۳/۶۵ و ۲۳۰/۱۷±۹/۹۶ و ۷۲۸/۲۵±۱۸/۰۳ تا ۱/۴۹ و ۹/۵۲±۰/۸۸ برحسب بکرل برکیلوگرم تغییر می‌کند. مقدار آهنگ دز جذبی در هوا در ارتفاع یک متری و فعالیت معادل رادیوم به ترتیب از ۴۰/۵۷±۱/۳۸ تا ۷۶/۹۸±۲/۰۷ برحسب (nGy/h) و از ۳/۰۸±۸۴/۱۴ تا ۱۵۷/۷۴±۴/۵۰ برحسب Bq/kg محاسبه گردید.

**بحث و نتیجه‌گیری:** میانگین فعالیت معادل رادیوم برای نمونه‌های خاک Bq/kg  $۱۱۶/۳۸ \pm ۱۸/۳۸$  محاسبه گردید که در سطح مقدار میانگین جهانی (۱۳۱/۶۹ Bq/kg) است. بیش‌ترین مقدار پرتوزایی در فاصله ۳ تا ۷ کیلومتری نیروگاه مشاهده گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پرتوزایی خاک این منطقه خطری برای سلامتی ساکنین ایجاد نمی‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** پرتوزایی، فعالیت معادل رادیوم، خاک، نیروگاه برق شازند

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

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

## **Measurement of Radioactivity of Surface Soil in the East of Shazand Power Plant**

**Reza Pourimani<sup>3</sup>**

[r-pourimani@araku.ac.ir](mailto:r-pourimani@araku.ac.ir)

**Tayebeh Davoodmaghami<sup>2</sup>**

Accepted: 2018.01.31

Received: 2017.09.26

### **Abstract**

**Background and Objective:** Human beings are always exposed to ionizing radiation. One of the sources of this radiation is the nuclear radiation from terrestrial radioactive nuclide in water, soil, rock and plants. Nuclear radiation emission from radionuclides causes diseases like cancer and genetic abnormalities. Therefore, studies of soil radioactivity are of great importance.

**Method:** In this research, 34 soil samples were studied between the Shazand Power Plant and Arak city. The specific activities radionuclides were determined using gamma ray spectrometry method, with employing a high purity germanium detector (HPGe) model GCD30195 with 30% relative efficiency.

**Finding:** The specific activity of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs in these samples varied from 18.92± 1.91 to 43.11± 2.69, 25.31± 2.16 to 54.27±3.65, 230.17±9.96 to 728.25± 18.03 and <1.49 to 9.52±0.88 in Bq/kg respectively. Absorbed dose rate in air one meter height from ground and radium equivalent were calculated as 4.57± 1.38 to 79.68 ±2.07 in nGy/h and 84.14± 3.08 to 157.74± 4.50.

**Conclusion:** The average of radium equivalent for soil samples was calculated as 116.38±18.38 Bq/kg which is the same level of world average (131.69). Maximum radioactivity observed in 3 to 7 km distance from Power Plant. The results of this study indicate that the radiation of the soil does not pose a threat to the health of the inhabitants.

**Keywords:** Radioactivity, Radium Equivalent, Soil, Shazand Power Plant

---

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

2- MSc., of Nuclear Physics, Arak University, Arak, Iran.

## مقدمه

بوده و قسمت عمده بادهای منطقه از سمت غرب به شرق می‌باشد و همراه خود آلودگی‌ها را به ناحیه مورد مطالعه منتقل می‌نماید. مطالعه و بررسی مناطق اطراف نیروگاه‌های سوخت فسیلی با توجه به جهت بادهای غالب منطقه، مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و کارگاه‌های صنعتی به منظور بررسی تغییرات احتمالی سطح پرتوزایی و همچنین تخمین پرتوگیری ساکنان این مناطق و در نتیجه بررسی اثرات آن بر سلامتی افراد از اهمیت خاصی برخوردار است. قرارگیری در معرض تابش‌های یون‌ساز باعث ایجاد سرطان و اختلالات ژنتیکی می‌شود. این تابش‌ها مقدار انرژی لازم را برای یونیزه کردن یک اتم پایدار را دارا می‌باشند و طی فرایندهای خاصی از جمله رادیولیز مولکول‌های آب موجود در سلول‌های بدن، تولید رادیکال‌های آزاد می‌نمایند. این رادیکال‌ها در سلول منجر به تولید آب اکسیژنه و در نتیجه باعث تخریب رشته‌های DNA و تغییر سیستم اطلاعاتی سلول می‌گردند. این تغییرات ممکن است باعث از بین رفتن سلول و یا تبدیل آن به سلول‌های سرطانی شده و یا در سلول‌های جنسی باعث بروز اختلالات ژنتیکی در نسل بعدی گردد (۶).

## روش بررسی

## معرفی منطقه تحت بررسی

نیروگاه سوخت فسیلی شازند در غرب اراک درزمینی به مساحت ۲۴۰ هکتار در کیلومتر ۱۵ جاده اراک - بروجرد، محور فرعی ازنا و در شرق پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند در مجاورت راه آهن سراسری تهران- جنوب واقع گردیده است (۷). این نیروگاه در سال ۱۳۷۸ به بهره برداری رسیده و دارای دو دودکش به ارتفاع ۲۰۰ متر می‌باشد که دودهای حاصل از احتراق را به اتمسفر وارد میکنند. این نیروگاه در سالیان متمادی جهت تولید برق از مازوت و ضایعات برج‌های تقطیر پالایشگاه امام خمینی جهت تولید حرارت استفاده می‌کرده است و در طول

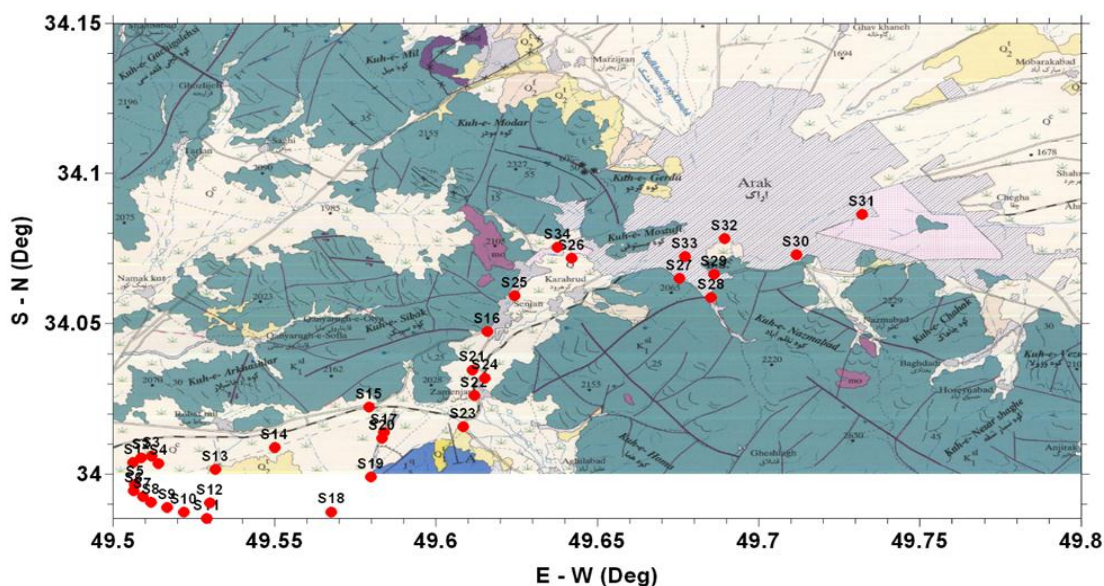
انسان‌ها همواره در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. یکی از منابع این پرتوها، تابش‌های هسته‌ای مربوط به ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در آب، خاک، سنگ و گیاهان است. پرتوهای یون‌ساز برای موجودات زنده مضر هستند و باعث بروز بیماری‌های مختلف و گاهاً ناهنجاری‌های ژنتیکی می‌گردند (۱). قسمت عمده این پرتوها شامل پرتوهای طبیعی مانند پرتوهای کیهانی و پرتوهای حاصل از واپاشی عناصری موجود در سری‌های واپاشان شامل سریهای اورانیم، اکتینیوم و توریم و ویژه هسته‌های منفرد پرتوزا نظیر پتاسیم ( $^{40}\text{K}$ ) موجود در پوسته زمین می‌باشد. مقدار میانگین فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{238}\text{U}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک و سنگ پوسته زمین به ترتیب برابر ۳۰،۳۵،۳۵ و ۴۰۰ برحسب بکرل بر کیلوگرم می‌باشد (۲). در یکصد سال گذشته به دلیل فعالیت‌های بشری مانند ایجاد صنایع هسته‌ای، کاربرد رادیویزوتوپ‌ها در پزشکی و صنعت، آزمایشات سلاح‌های هسته‌ای و سوانح هسته‌ای نظیر حادثه چرنوبیل عناصر پرتوزای مصنوعی نظیر  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{90}\text{Sr}$  نیز در محیط زیست انسان انتشار پیدا کرده اند و باعث بالا رفتن سطح پرتوزایی محیطی گردیده‌اند (۴،۳). خاک به عنوان گهواره زندگی بشر، اصلی‌ترین جزء سازنده مواد ساختمانی (آجر، سیمان و بتون و...) و محل تولید محصولات کشاورزی و بستر آب‌های سطحی است، بنابراین خاک مهم‌ترین بخش محیط زیست و عاملی مؤثر در پرتوگیری انسان بشمار می‌آید. در اطراف نیروگاه‌ها به دلیل خروج دود ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی نظیر مازوت یا زغال‌سنگ و نشست ذرات معلق آن بر روی خاک‌های اطراف احتمال آلودگی زیست محیطی علاوه بر فلزات سنگین به مواد پرتوزا نیز وجود دارد (۵). مواد معدنی از جمله سوخت‌های فسیلی حاوی مقادیری مواد پرتوزا می‌باشند که در موقع سوختن قسمت عمده آن‌ها در خاکستر باقی می‌ماند و بقیه آن به صورت ذرات معلق به همراه دود وارد محیط زیست می‌گردد. شهر اراک یکی از کلان‌شهرهای کشور

همراه با طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری نشان داده شده است. به منظور تهیه نمونه‌های ریزدانه یکنواخت خاک و مشابه نمونه‌های استاندارد در آزمایشگاه این نمونه‌ها با استفاده از آسیاب گلوله‌ای خرد و به ترتیب از مش‌های شماره ۲۰ و ۵۰ عبور داده شدند. به منظور برطرف کردن رطوبت و جلوگیری از تغییر احتمالی وزن نمونه‌ها در طول دوره اندازه‌گیری در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت خشک گردیدند (۹). نمونه‌ها در ظروف استوانه‌ای به حجم ۳۰۰ سانتی‌متر مکعب و جرم ۲۵۵ گرم بسته بندی و به منظور جلوگیری از فرار گاز رادون و برقراری تعادل بین هسته‌های  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{222}\text{Rn}$  طرف‌های نمونه بوسیله چسب سیلیکون آب‌بندی گردیدند و به مدت حداقل ۵۰ روز در آزمایشگاه نگهداری شدند [۹].

شش سال گذشته به دلایل حادث شدن مسایل زیست محیطی و آلودگی شدید هوای اراک از گاز طبیعی استفاده می‌کند. ۸۰ درصد بادهای سالیانه این منطقه دارای جهت غرب به شرق هستند و همراه خود دوده‌های حاصل از احتراق را به سمت شهر اراک منتقل می‌کنند (۸).

### نمونه برداری و نمونه سازی

در این پژوهش ۳۴ نمونه خاک از حد فاصل بین نیروگاه شازند تا شهر اراک جمع آوری شد. نمونه برداری در این پژوهش به صورت تصادفی و تجربی و روش سامان یافته مربعی انجام شد. نمونه‌ها از عمق ۰-۵ سانتی‌متر از سطح خاک به صورت هفت نقطه در هر مربع برداشت و در ظرف‌های پلاستیکی به وزن تقریبی یک کیلوگرم مخلوط گردیدند. در شکل (۱) منطقه نمونه برداری



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشته شده از اطراف نیروگاه شازند

Figure 1- Geographical map of sampling location around Shazand Power Plant

### بیناب نگاری نمونه‌ها و ارایه نتایج

ساخت شرکت Baltic Scientific Instrument LTD (005- Latvia) با بازدهی نسبی ۳۰ درصد و با استفاده از نرم

طیف‌گیری پرتوهای گاما با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) هم‌محور از نوع P مدل GCD30195BSI

که در این رابطه Act ویژه فعالیت هسته پرتوزا در نمونه بر حسب Bq/kg و Net Area، سطح زیر پیک متناظر با انرژی خاص  $E_i$ ، بازدهی آشکارساز در آن انرژی بر حسب درصد و (BR) نسبت انشعایی یا احتمال گسیل اشعه گاما با انرژی  $E_i$  به ازای هر واپاشی و t زمان طیف‌گیری از نمونه بر حسب ثانیه و m جرم نمونه بر حسب کیلوگرم است (۱۱). برای تعیین ویژه فعالیت  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه‌ها از پرتو گاما با انرژی ۳۵۱/۹۳ keV متعلق به  $^{214}\text{Pb}$  و انرژی ۶۰۹/۳۱ keV مربوط به گامای  $^{214}\text{Bi}$  استفاده شده است. فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$  با استفاده از خط گاماها متعلق به  $^{228}\text{Ac}$  با انرژی‌های ۹۱۱/۲۱ keV با نسبت انشعایی ۲۶/۶ درصد و انرژی ۹۶۸/۹۷ keV با درصد انتشار ۱۷/۴ درصد به دست آمده است. برای تعیین فعالیت ویژه  $^{40}\text{K}$  از خط گاما با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ keV و برای تعیین فعالیت ویژه  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌ها از خط گاما با انرژی ۶۶۱/۶۶ keV استفاده گردید (۹).

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

۹۸/۵ درصد اثرات رادیولوژیکی زنجیره اورانیوم مربوط به رادیوم و دختران آن می‌باشد لذا به منظور بررسی اثرات پرتوزایی طبیعی کلی خاک و سنگ و مقایسه آن با حداکثر مقدار مجاز اعلام شده با لحاظ کردن مقادیر رادیوم، توریوم و پتاسیم از کمیتی به نام فعالیت معادل رادیوم استفاده می‌گردد این کمیت طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود (۱۲).

$$\text{Ra}_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1.43 A_{\text{Th}} + 0.077 A_{\text{K}} \quad (3)$$

که در آن  $A_{\text{Ra}}$  و  $A_{\text{Th}}$  و  $A_{\text{K}}$  به ترتیب ویژه فعالیت رادیوم و توریوم و پتاسیم بر حسب بکرل بر کیلوگرم است. ضرایب مورد استفاده در رابطه (۳) بر مبنای تحقیقات جامع و گسترده کمیته علمی حفاظت در برابر اشعه وابسته به سازمان ملل متحد تعیین شده است حداکثر مقدار مجاز فعالیت معادل رادیوم برای خاک و سنگ با کاربری مصالح ساختمانی برابر ۳۷۰ و میانگین جهانی آن ۱۳۱/۶۹ بکرل بر کیلوگرم میباشد (۱۳، ۲).

افزار Lsrmsi انجام شد. قدرت تفکیک انرژی آشکار ساز ۱/۹۵ کیلوالکترون ولت برای گاما مربوط به  $^{60}\text{Co}$  با انرژی ۱۳۳۲/۵۲ کیلوالکترون ولت است و در ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت کار می‌کند. از هر یک از نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت طیف‌گیری شد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از چشمه‌های استاندارد حاوی هسته‌های پرتوزا  $^{241}\text{Am}$  و  $^{152}\text{Eu}$  و  $^{137}\text{Cs}$  صورت گرفت. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت شده با استفاده از نرم افزار EG&G Maestro II Gamma Vision محصول شرکت Ortec انجام گردید. به منظور کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی متر با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ میلی متر قرار داده شد. پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون‌های کم انرژی و الکترون‌ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابند (۱۰). 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  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۹).

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

در این رابطه  $N_i$  شمارش خالص زیر قله فوتوپیک متناظر با انرژی  $E_i$ ، ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای موجود بر حسب Bq و  $P_n(E_i)$  احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی  $E_i$  به ازای هر واپاشی بر حسب درصد و t زمان طیف‌گیری بر حسب ثانیه است.

#### اندازه‌گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های

##### مورد مطالعه

برای محاسبه ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا از رابطه (۲) استفاده گردید.

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

## آهنگ دز جذبی در ارتفاع یک متری سطح زمین (D)

آهنگ دز جذبی در هوا ناشی از پرتوهای گامای گسیل شده از ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در خاک و سنگ در ارتفاع یک متری بالاتر از سطح زمین با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (۱۲).

$$D(\text{nGy/h}) = 0.427A_{\text{Ra}} + 0.662A_{\text{Th}} + 0.432A_{\text{K}} \quad (4)$$

که در آن  $A_{\text{K}}$ ،  $A_{\text{Th}}$ ،  $A_{\text{Ra}}$  بترتیب ویژه فعالیت رادیوم و توریم و پتاسیم بر حسب بکرل بر کیلوگرم است. مقدار میانگین جهانی آهنگ دز جذبی ناشی از مواد زمینی  $55 \text{ nGy/h}$  می‌باشد (۲).

## یافته‌ها

با استفاده از طیف‌های ثبت شده مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{40}\text{K}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و فعالیت معادل رادیوم برای کلیه نمونه‌ها محاسبه گردید که این مقادیر برحسب  $\text{Bq/kg}$  در جدول (۱) درج گردیده است. آهنگ دز جذبی در ارتفاع یک متری هوا برای نمونه‌های مورد مطالعه برحسب  $\text{nGy/h}$  در آخرین ستون سمت راست جدول (۱) مشاهده می‌گردد. در مواردی که مقدار فعالیت ویژه هسته پرتوزا در نمونه مورد نظر کم‌تر از حداقل قابلیت تشخیص دستگاه بوده، در آن صورت از علامت < استفاده گردیده و مقدار حداقل قابلیت تشخیص دستگاه نیز ذکر شده است.

جدول ۱ - ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا، فعالیت معادل رادیوم در نمونه‌های خاک و آهنگ دز جذبی در هوا

Table 1 - specific activities of radionuclides and radium equivalent in soil samples and absorbed dose rate in air

کد نمونه	فعالیت ویژه (Bq/kg)				$Ra_{\text{eq}}$ (Bq/kg)	D(nGy/h)
	Specific activity (Bq/kg)					
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$		
S1	۲۳/۷۶±۲/۳۶	۳۱/۴۳±۱/۴۳	۵۷۱/۶۴±۱۶/۲۰	۵/۷۲±۰/۵۲	۱۱۲/۷۴±۳/۳۶	۵۵/۶۵±۱/۵۵
S2	۳۰/۵۷±۲/۳۶	۴۰/۶۷±۲/۰۷	۲۵۵/۴۳±۱۰/۵۰	۷/۳۳±۰/۵۲	۱۰۸/۴۱±۳/۶۹	۵۰/۰۱±۱/۷۷
S3	۳۲/۶۵±۲/۰۸	۳۸/۵۶±۱/۹۸	۲۸۰/۲۰±۱۰/۷۲	۹/۴۸±۳/۰۸	۱۰۹/۳۶±۳/۶۱	۵۱/۵۷±۱/۶۵
S4	۳۲/۹۱±۲/۲۸	۱۷/۴۸±۴/۰۵	۲۸۲/۶۱±۱۰/۸۵	۹/۵۲±۰/۸۸	۱۲۳/۵۵±۶/۲۸	۵۸/۱۵±۲/۶۹
S5	۲۷/۰۷±۲/۳۶	۳۵/۶۵±۳/۷۰	۵۴۶/۳۵±۱۵/۷۰	۴/۹۴±۰/۹۸	۱۲۰/۱۲±۵/۹۰	۵۶/۷۶±۲/۷۲
S6	۲۱/۵۷±۲/۳۰	۲۶/۷۰±۱/۳۳	۳۱۶/۷۰±۹/۹۸	۴/۶۵±۰/۷۱	۸۴/۱۴±۳/۰۸	۴۰/۵۷±۱/۳۸
S7	۳۰/۳۵±۲/۵۰	۲۵/۳۱±۲/۱۶	۲۹۴/۲۵±۱۰/۵۰	۱/۰۸±۰/۸۱	۸۹/۲۰±۴/۰۱	۴۲/۴۲±۱/۸۲
S8	۳۱/۱۶±۱/۸۲	۳۹/۱۲±۱/۹۱	۶۹۹/۵±۱۷/۷۰	۱/۳۱±۰/۸۶	۱۴۰/۹۶±۴/۱۸	۶۹/۸۶±۱/۹۲
S9	۲۹/۴۵±۲/۱۱	۳۶/۰۳±۱/۹۱	۵۶۵/۵۳±۱۵/۲۳	۲/۲۵±۰/۷۲	۱۲۴/۵۲±۳/۶۵	۶۰/۸۶±۱/۶۹
S10	۲۷/۲۹±۲/۴۱	۳۴/۶۹±۱/۸۰	۵۸۲/۵۲±۱۵/۶۹	۱/۶۰±۱/۱۳	۱۲۱/۷۵±۳/۷۴	۵۹/۷۸±۱/۷۲
S11	۲۵/۶۶±۲/۵۰	۲۷/۲۷±۱/۵۱	۴۲۳/۲۸±۱۲/۶۶	۶/۳۹±۱/۱۵	۹۷/۲۵±۳/۴۵	۴۷/۲۹±۱/۵۶
S12	۳۱/۶۸±۲/۵۰	۴۱/۷۶±۶/۹۴	۲۵۴/۴۳±۱۰/۰۲	۴/۱۰±۰/۸۲	۱۱۰/۲۹±۵/۶۱	۵۱/۷۷±۲/۵۷
S13	۳۲/۰۱±۲/۳۳	۳۷/۴۶±۱/۷۲	۲۴۲/۳۶±۱۰/۵۵	۱/۱۵±۰/۹۶	۱۰۴/۲۴±۳/۴۸	۴۸/۹۳±۱/۵۸
S14	۲۶/۳۶±۲/۶۱	۳۶/۴۸±۳/۳۱	۵۰۷/۸۴±۱۵/۶۵	۱/۳۳±۱/۵۰	۱۱۷/۶۳±۵/۵۳	۵۷/۳۴±۲/۵۵
S15	۲۵/۴۱±۲/۳۰	۳۶/۹۳±۲/۰۸	۵۷۴/۸۳±۱۶/۰۰	۱/۰۹±۱/۰۰	۱۲۲/۴۸±۳/۹۶	۶۰/۱۳±۱/۸۳

S16	۲۱/۰۰±۲/۱۶	۴۰/۵۲±۱/۹۶	۲۸۷/۳۶±۱۰/۵۰	<۱/۵۹	۱۰۱/۰۷±۳/۶۳	۴۸/۲۰±۱/۶۵
S17	۳۰/۵۱±۲/۰۵	۴۱/۳۰±۲/۳۰	۲۳۸/۶۳±۰/۳۳	۱/۴۲±۰/۶۲	۱۰۷/۹۴±۳/۹۵	۵۰/۶۸±۱/۸۱
S18	۴۳/۱۱±۲/۶۹	۴۰/۹۵±۲/۳۲	۷۲۸/۲۵±۱۸/۰۳	۱/۸۹±۱/۷۰	۱۵۷/۷۴±۴/۵۰	۷۶/۹۸±۲/۰۷
S19	۳۵/۶۸±۲/۴۱	۳۶/۴۰±۱/۵۷	۶۹۳/۱۹±۱۷/۳۷	۳/۰۳±۱/۳۰	۱۴۱/۱۱±۳/۵۵	۶۹/۲۸±۱/۶۴
S20	۲۶/۰۰±۲/۲۳	۴۴/۴۷±۳/۵۶	۶۱۹/۱۱±۱/۴۱	۳/۵۷±۱/۰۷	۱۳۷/۲۶±۵/۷۰	۶۷/۲۸±۲/۶۴
S21	۲۲/۰۳±۳/۵۶	۳۳/۹۰±۲/۶۰	۵۶۶/۴۸±۱۵/۳۲	۵/۵۹±۰/۷۲	۱۱۴/۱۲±۵/۲۷	۵۶/۳۲±۲/۳۹
S22	۲۳/۶۲±۱/۶۳	۳۵/۵۷±۱/۶۵	۵۸۶/۶۸±۱۵/۹۲	۵/۰۰±۰/۷۹	۱۱۹/۶۶±۳/۱۱	۵۸/۹۸±۱/۶۴
S23	۳۱/۷۴±۲/۰۹	۴۰/۸۴±۱/۷۷	۶۶۴/۱۵±۱۹/۰۸	۱/۶۲±۰/۹۷	۱۴۱/۲۸±۳/۶۰	۶۹/۲۸±۱/۶۹
S24	۲۱/۹۵±۳/۱۲	۳۱/۱۵±۱/۷۹	۲۶۳/۴۴±۹/۸۴	۳/۰۰±۰/۶۲	۸۶/۷۸±۴/۱۰	۴۱/۳۷±۱/۸۳
S25	۲۳/۲۰±۲/۱۵	۳۶/۴۰±۱/۸۵	۲۳۲/۶۵±۱۰/۱۴	۷/۱۴±۰/۷۳	۹۳/۱۶±۳/۵۰	۴۴/۰۵±۱/۵۹
S26	۲۱/۸۶±۱/۵۰	۳۳/۹۰±۱/۵۲	۲۳۰/۱۷±۹/۹۶	۶/۶۲±۰/۸۸	۸۸/۰۶±۲/۷۴	۴۱/۷۱±۱/۲۶
S27	۲۱/۶۳±۲/۳۸	۴۰/۹۳±۱/۸۸	۶۱۹/۴۰±۱۷/۹۳	۶/۴۳±۰/۵۱	۱۲۷/۸۵±۳/۸۲	۶۳/۰۸±۱/۷۷
S28	۲۰/۷۲±۲/۱۵	۴۱/۱۹±۳/۶۴	۵۳۵/۲۳±۲۱/۵۳	۱/۰۷±۰/۹۶	۱۲۰/۸۳±۵/۸۷	۵۹/۲۳±۲/۷۴
S29	۱۸/۹۲±۱/۹۱	۳۷/۹۴±۲/۹۹	۶۱۷/۹۸±۱۶/۸۳	۳/۶۱±۱/۰۱	۱۲۰/۷۶±۳/۶۵	۵۹/۸۹±۱/۷۰
S30	۲۱/۳۳±۲/۱۵	۴۰/۱۴±۱/۷۹	۵۱۸/۰۸±۱۵/۱۳	۴/۶۶±۰/۹۰	۱۱۸/۶۲±۳/۵۴	۵۸/۰۶±۱/۶۳
S31	۲۲/۸۸±۱/۹۲	۵۴/۶۳±۳/۶۵	۵۴۱/۹۴±۱۵/۰۵	۱/۶۰±۰/۷۶	۱۴۲/۷۳±۵/۹۵	۶۹/۳۴±۲/۷۶
S32	۲۱/۳۰±۲/۲۳	۲۷/۸۷±۱/۷۴	۵۰۵/۸۰±۱۷/۳۱	۱/۳۱±۰/۶۷	۱۰۰/۱۰±۳/۶۰	۴۹/۳۹±۱/۶۸
S33	۲۳/۰۳±۲/۴۷	۳۵/۰۳±۱/۶۹	۵۱۷/۰۰±۱۶/۱۶	<۱/۴۹	۱۱۲/۹۳±۳/۶۷	۵۵/۳۵±۱/۶۹
S34	۲۲/۵۱±۲/۳۶	۵۴/۲۷±۳/۶۵	۵۸۵/۰۰±۱۶/۵۰	۳/۹۲±۰/۴۹	۱۴۵/۱۶±۵/۸۶	۷۰/۸۱±۲/۷۱
میانگین	۲۶/۵۰±۵/۳۸	۳۷/۹۳±۶/۷۵	۴۷۰/۳۴±۸۲/۶۷	۳/۶۳±۲/۵۰	۱۱۶/۵۸±۱۸/۳۸	۵۶/۵۴±۱۲/۲۳

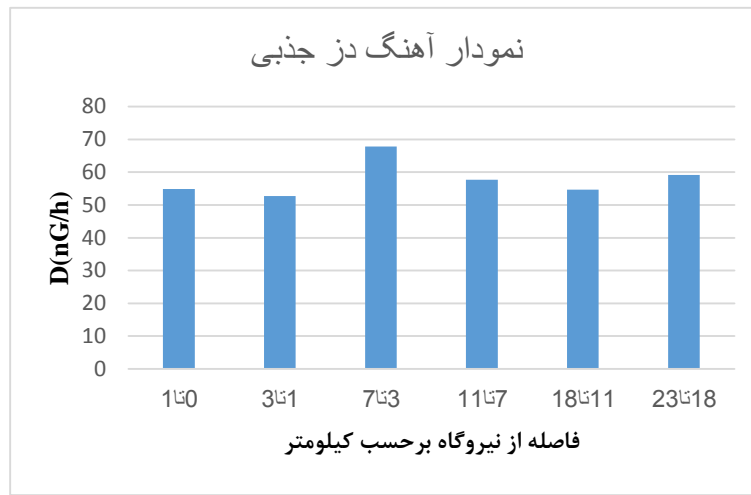
### بحث و نتیجه گیری

تا ۷ کیلومتری وجود دارد. در ۳۲ عدد از نمونه‌ها، عنصر پرتوزای مصنوعی  $^{137}\text{Cs}$  وجود دارد که نشان‌دهنده آلودگی خاک این مناطق به مواد پرتوزای مصنوعی با منشأ خارجی می‌باشد. مقدار آلودگی آن با نتایج اندازه‌گیری در بعضی از نقاط دیگر استان مرکزی در یک سطح می‌باشد (۱۴۰۱۵). مقدار دز جذبی در هوا در ارتفاع یک متری از  $۴۰/۵۷±۱/۳۸$  تا  $۷۶/۹۸±۲/۰۷$  با میانگین  $۵۶/۵۴$  برحسب  $\text{nGy/h}$  محاسبه گردید که در سطح مقدار میانگین جهانی است ( $۵۵ \text{ nGy/h}$ ). فعالیت معادل رادیوم از  $۸۴/۱۴±۳/۰۸$  تا  $۱۵۷/۷۴±۴/۵$  محاسبه گردید که در سطح میانگین جهانی بوده و در همه نمونه‌ها کم‌تر از حداکثر مقدار مجاز می‌باشد. بنابراین استفاده از این خاک‌ها به عنوان مصالح

در این پژوهش خاک منطقه بین اراک و نیروگاه شازند مورد بررسی قرار گرفت. پرتوزایی این خاک‌ها با استفاده روش بیناب نگاری گاما که یکی از روش‌های آنالیز با دقت بالا می‌باشد تعیین گردید. مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه‌های جمع‌آوری شده به ترتیب در محدوده  $۱۸/۹۲±۱/۹۱$  تا  $۴۳/۱۱±۲/۶۹$  و  $۲۵/۳۱±۲/۱۱$  تا  $۵۴/۲۷±۳/۶۵$  و  $۲۳۰/۱۷±۹/۹۶$  و  $۷۲۸/۲۵±۱۸/۰۳$  و  $<۱/۴۹$  تا  $۹/۵۲±۰/۸۸$  برحسب بکرل برکیلوگرم تغییر می‌کند. نمودار تغییرات فعالیت عناصر پرتوزای طبیعی بر حسب فاصله از دودکش‌های نیروگاه در شکل‌های (۲) و (۳) رسم شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که بیش‌ترین مقدار پرتوزایی در فاصله ۳

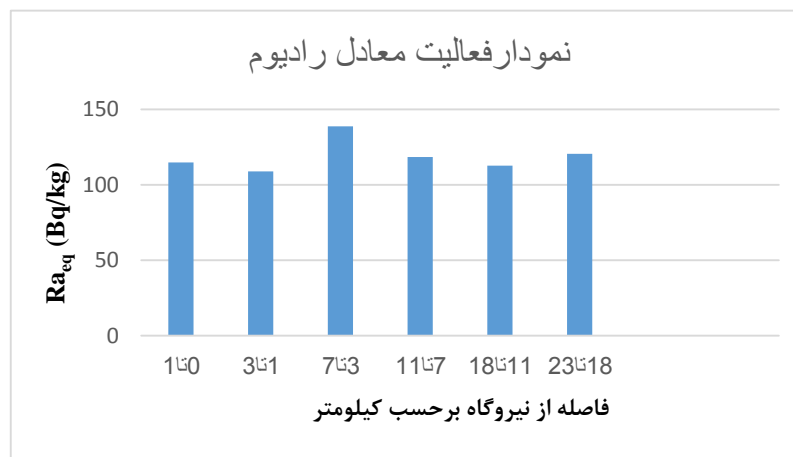
(۱۷،۱۶). در مقایسه با نیروگاه‌های زغال‌سنگی کشورهای مالزی، یونان، ویتنام، برزیل، چین و مجارستان نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک‌های این منطقه دارای فعالیت پرتوزایی کم‌تری می‌باشند (۲۱،۱۸). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد مازوت در مقایسه با زغال‌سنگ اثرات زیان‌بار زیست محیطی کم‌تری دارد.

ساختمانی مجاز می‌باشد و خطری ساکنان این منطقه را تهدید نمی‌کند. در جدول (۲) نتایج این تحقیق با مقادیر گزارش شده تعدادی از کشورها مقایسه گردیده است. همانطوریکه این جدول نشان می‌دهد پرتوزایی خاک‌های اطراف نیروگاه شازند در سطح خاک‌های اطراف نیروگاه‌های کشور بنگلادش و هندوستان است



شکل ۲ - نمودار آهنگ دز جذبی در ارتفاع ۱ متری در هوا بر حسب فاصله از نیروگاه

Figure 2 - Graphic of absorbed dose rate in air



شکل ۳ - نمودار فعالیت معادل رادیوم در نمونه های خاک بر حسب فاصله از نیروگاه

Figure 3- Graphic of Radium equivalent activity of soil samples versus distance from Power Plant



جدول ۲- مقایسه میانگین نتایج این اندازه‌گیری با نتایج گزارش شده از خاک‌های اطراف نیروگاه‌های زغال‌سنگی تعدادی از کشورها

**Table 2 - Comparison results of this research with reported results of soil around of coal fired Power Plant of some countries**

کشور (Country)	Activity Concentration (Bq/kg)			(Reference) منبع
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
ایران (Iran)	۲۶/۵۰	۳۷/۹۳	۴۷۰/۳۴	This work این پژوهش
بنگلادش (Bangladesh)	۲۷/۸۹	۴۱/۵۲	۶۳۲	(۱۶)
هند (India)	۳۷	۲۶/۹۰	۳۹۶	(۱۷)
مالزی (Malaysia)	۸۷	۷۴	۲۹۷	(۱۸)
یونان (Greece)	۳۳۶	۵۰	۲۹۷	(۱۹)
ویتنام (Vietnam)	۷۶	۲۳۵	۸۵۰	(۲۰)
برزیل (Brasilia) فاصله ۱ کیلومتر از نیروگاه	۵۰	۳۱	۱۹۰	(۲۱)
برزیل (Brasilia) فاصله ۳ کیلومتر از نیروگاه	۳۹	۳۰	۱۶۱	(۲۱)
برزیل (Brasilia) فاصله کمتر از ۱ کیلومتر از نیروگاه	۱۳۳	۳۹	۲۳۳	(۲۱)
چین (China) فاصله کمتر از ۱ کیلومتر از نیروگاه	۲۲۵	۲۵۷	۱۵۷۱	(۲۲)
چین (China) فاصله ۳ تا ۱ کیلومتر از نیروگاه	۲۴۱	۲۱۵	۱۲۶۵	(۲۲)
چین (China) فاصله ۳ تا ۴ کیلومتر از نیروگاه	۱۳۰	۳۲۱	۸۱۱	(۲۲)
مجارستان (Hungary)	۱۲۹	۲۶/۹۰	۳۳۷	(۲۳)

#### تشکر و قدردانی

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

#### منابع

- Australas Phys. Eng. Sci. Med., 20(3):125-38.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations; 2000
- Beretaka J., Mathew P.J., 1985. "Natural Radioactivity of Australian Building
- Jaworowski Z., 1997. "Beneficial effects of radiation and regulatory policy",

- Atomic Radiation. Exposure from natural sources of radiation, United Nations publication sales No. 10.IX.3.
13. ECR112, 1999. "European commission report on radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials", Radiat. Prot. 112.
  14. Pourimani R., Asadpour F., 2016. "Determination of Specific Activities of Radionuclides in Soil and Their Transfer Factor from Soil to Bean and Calculation of Cancer Risk for Bean Consumption in Iran", Arak Medical University Journal (AMUJ), 19(107): 9-18.
  15. Pourimani R., Mazloom Shahraki M., 2013. "Influence of different soil's parameters on the penetration of  $^{137}\text{Cs}$ . Iranian Journal of Physics Research, 13(3):213-218.
  16. Hasan M. M., Ali I., Paul D., Haydar M.A., Islam S.M.A., 2014. "Natural Radioactivity and Assessment of Associated Radiation Hazards in Soil and Water Samples Collected from in and around of the Barapukuria 2× 125 MW Coal Fired Thermal Power Plant, Dinajpur, Bangladesh", Journal of Nuclear and Particle Physics, 4(1): 17-24. doi:10.5923/j.jnpp.20140401.03
  17. Mishra, U.C., 2004. "Environmental impact of coal industry and thermal power plant in india", J. Environ. Radioact. 72:35-40.
  18. Amin Y. M., Khandaker M.U., Shyen A.K.S., Mahat R.H., Nor R.M., Bradley D.A., 2013. "Radionuclide emissions from a coal-fired power Materials, Industrial Wastes and By-Products", *Health Physics* 48(1): 87- 95.
  4. El-Taher A., Uosif M.A., Orabi A.A., 2007. "Natural radioactivity levels and radiation hazard indices in granite from Aswan to Wadi El-Allaqi southeastern desert", *Egyptian Radiation Protection Dosimetry*, 124(2):148-154.
  5. Al-Saleh F.S., Al-Harshan G.A., 2008. "Measurements of radiation level in petroleum products and wastes in Riyadh City Refinery", *Journal of Environmental Radioactivity* 99(7):1026-31. DOI10.1016/j.jenvrad.2007.12.002
  6. Wrenn M.E., Durbin P.W., Howard B., Lipsztein J., Rundo J., Still E.T., Willis D.I., 1985, "Metabolism of ingested U and Ra", *Health Phys.*, 48: 601-633.
  7. <http://shazandtpp.ir/>
  8. Shah Mansouri S. Combustion management at Shazand Arak thermal power plant - - Second Iranian combustion conference (in Persian)
  9. International Atomic Energy Agency. Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides an trace element. IAEA-TECDOC-1360, IAEA; VIENNA; 2003.
  10. Aziz A., 1981. International Atomic Energy Agency, Vienna, "Methods of Low-Level Counting and Spectrometry", Symposium Berlin. Vol. 221.
  11. Gilmore GR, Practical Gamma-ray Spectrometry, 2nd Edition, Nuclear Training Services Ltd Warrington, UK, 2008; ISBN: 978-0-470-86196-7
  12. UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of

- Flues, M., Moraes, V., Mazzilli, B. P., 2002. "The influence of a coal-fired power plant operation on radionuclide concentrations in soil" *Journal of Environmental Radioactivity*, 63:285–294.
21. Liu G., Luo Q., Ding M., Feng J., 2015. "Natural radionuclides in soil near a coal-fired power plant in the high background radiation area, South China", *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(6):356. Doi: 10.1007/s10661-015-4501-y.
22. Papp Z., Deso Z., Daroczy S., 2002. "Significant radioactive contamination of soil around a coal fired thermal power plant", *J. Environ. Radioact.* 59:191–205. Doi: 10.1016/S0265-931X(01)00071-6
- plant", *Applied Radiation and Isotopes* 80:109–116.
19. Papastefanou C., 2010. "Escaping radioactivity from coal-fired power plants (CPPs) due to coal burning and the associated hazards: a review", *Journal of Environmental Radioactivity*, 101(3): 191-200. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.11.006
20. Duong, P.V., Thanh, V.T., Dien P.Q., Binh N.T., 1995. "Application of nuclear activation analysis (NAA) and low – level gamma counting to determine the radionuclide and trace element-pollutant releases from coal-fired power plant in Vietnam", *Sci. Total Environ.* 173-174:339-334. Doi: 10.1016/0048-9697(95)04757-3