

## تعیین نقشه رادیولوژیکی توزیع هسته‌های پرتوزا در خاک‌های اطراف نیروگاه سوخت فسیلی شازند

رضا پورایمانی\*، طیبه داوودمقامی و منیره محبیان

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، مرکزی، ایران.

\*اراک، دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کدپستی: ۳۸۱۵۶۸۸۷۹

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

### چکیده

در این پژوهش از شرق نیروگاه شازند تا اراک ۳۴ نمونه خاک در فاصله ۲۵ کیلومتر جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  با استفاده از آشکارساز HPGe با بازدهی نسبی ۳۰٪ و به روش اسپکترومتری گاما تعیین گردیدند. گستره پرتوزایی مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای مذکور در نمونه‌های جمع‌آوری شده از  $118/92 \pm 3/82$  تا  $43/11 \pm 5/38$  از  $25/31 \pm 4/23$  تا  $54/27 \pm 7/30$ ، از  $19/93 \pm 230/17$  تا  $36/06 \pm 728/25$  و کمتر از  $1/49$  تا  $1/76$  بکرل برکیلوگرم اندازه‌گیری گردید. مقدار شاخص‌های گاما و آلفا برای نمونه‌ها محاسبه شد. شاخص گاما با مقدار میانگین  $0/86$  در بازه با مقدار  $0/61$  تا مقدار  $1/16$  تغییر می‌کند. شاخص آلفا به ترتیب با مقادیر  $0/09$  تا  $0/22$  در نمونه‌ها با مقدار میانگین  $0/13$  به دست آمد. نقشه رادیولوژیکی توزیع هسته‌های پرتوزا با استفاده از نرم افزار SURFUR15 رسم گردید.

واژگان کلیدی: هسته‌های پرتوزا، نیروگاه سوخت فسیلی، نقشه رادیولوژیکی، شاخص گاما، شاخص آلفا

### ۱. مقدمه

صنعتی، لایه‌های چسبیده به سطوح، گل حفاری و... وجود دارند [۲]. هنگامیکه زغال سنگ و یا سایر سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها به عنوان سوخت استفاده می‌گردد، مواد پرتوزا به صورت غبار همراه با گازهای گرم از داخل دودکشها خارج می‌شوند و بعد از سرد شدن در سطح خاک‌های اطراف نیروگاه‌ها نشست می‌کنند. ممکن است

عناصر پرتوزای طبیعی مانند سری‌های واپاشان اورانیوم و توریوم در غلظت‌های مختلفی بستگی به نوع خاک، سنگ و شرایط جغرافیایی در پوسته زمین وجود دارند [۱]. فعالیت‌های صنعتی مانند صنایع هسته‌ای، استخراج اورانیوم و توریوم، استخراج نفت و گاز و زغال سنگ باعث افزایش سطح پرتوزایی محیط می‌گردد. این مواد در رسوبات

آلودگی کارکنان و مردم اطراف نیروگاه‌ها می‌شود و استفاده از این خاک نیز به عنوان مصالح ساختمانی باعث به خطر افتادن سلامتی افراد می‌گردد. بنابراین تحقیق و بررسی در مورد هسته‌های پرتوزا موجود در خاک اطراف نیروگاهها و تهیه نقشه رادیولوژیکی توزیع هسته‌های پرتوزا امری ضروری به نظر می‌رسد.

این مواد جذب گیاهان گردد و از طریق مصرف گیاهان و یا تنفس غبار و یا مصرف فراورده‌های دامی وارد بدن انسان شود. خاک‌های آلوده به مواد پرتوزا بر روی عملکرد طبیعی گیاهان اثر می‌گذارد و امکان دارد که بعضی از ناهنجاریها در گیاهان پس از قرارگیری در چنین شرایطی مشاهده گردد [۳]. مصرف گیاهان آلوده به مواد پرتوزا برای سلامتی انسان مضر است. پرتوزایی خاک باعث

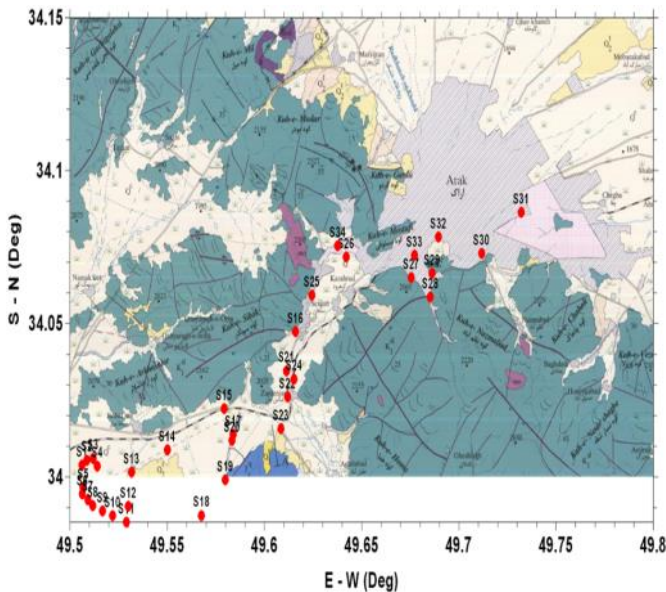
## ۲. مواد و روش کار

های  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{222}\text{Rn}$  برقرار گردد و نمونه‌ها به مدت حداقل ۵۰ روز در آزمایشگاه نگهداری شدند [۵].

طیف‌گیری پرتوهای گاما با استفاده از نرم افزار Lsrmbsi و با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HGPe) هم محوراز نوع P مدل GCD30195BSI ساخت شرکت Baltic Scientific Instrument LTD (005- Latvia) با بازدهی نسبی ۳۰ درصد انجام شد. قدرت تفکیک انرژی آشکار ساز ۱/۹۵ کیلو الکترون ولت برای گاما مربوط به  $^{60}\text{Co}$  با انرژی ۱۳۳۲/۵۲ کیلو الکترون ولت است و در ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت کار میکند.

برای گوسی شدن شکل پیکها و بالارفتن دقت محاسبات از هریک از نمونه‌ها بمدت ۲۴ ساعت طیف‌گیری بعمل آمد. از مجموعه ماده مرجع استاندارد سازمان بین الملل انرژی اتمی با کدهای  $\text{RGTh}$ ،  $\text{RGK}$  و  $\text{RGU}$  به منظور کالیبراسیون بازدهی و انرژی آشکارساز استفاده شد. همچنین برای بررسی صحت و کنترل کالیبراسیون، مقدار فعالیت این مواد مجددا در همان شرایط اندازه‌گیری و آنالیز گردیدند. با استفاده از نرم افزار Maestro II Gamma Vision32 محصول شرکت EG&G Ortec تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت شده انجام گردید. برای اطلاع از چگونگی توزیع ویژه

نیروگاه سوخت فسیلی شازند در غرب اراک با وسعت ۲۴۰ هکتار در شرق پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند در مجاورت راه آهن سراسری تهران- جنوب و در کیلومتر ۱۵ جاده اراک - بروجرد، محور فرعی ازنا قرار دارد [۴]. نمونه برداری در این پژوهش به صورت تصادفی و تجربی و روش سامان یافته مربعی انجام شد و ۳۴ نمونه خاک از فاصله بین نیروگاه تا شهر اراک از عمق ۰-۵ سانتیمتر از سطح خاک به صورت هفت نقطه در هر مربع برداشت شد، در ظروف پلاستیکی به وزن تقریبی یک کیلوگرم مخلوط گردیدند. برای تمام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GPS مختصات جغرافیایی محل نمونه برداری ثبت شد. در شکل (۱) منطقه نمونه برداری نشان داده شده است. نمونه‌ها بوسیله آسیاب گلوله‌ای خرد و بترتیب از مش ۲۰ و ۵۰ عبور داده شد تا بصورت ریزدانه یکنواخت و مشابه نمونه‌های استاندارد در آزمایشگاه گردد. نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت خشک گردیدند تا هرگونه رطوبت از بین برود و در نتیجه وزن نمونه‌ها در طول دوره اندازه‌گیری تغییر احتمالی نداشته باشد [۵]. نمونه‌ها در ظروف نئین به حجم ۳۰۰ سانتیمتر مکعب و جرم ۲۵۵ گرم بسته بندی و با چسب سیلیکون آب بندی شدند تا از فرار گاز رادون جلوگیری گردد و تعادل بین هسته



شکل ۱: مکان نمونه‌های جمع‌آوری شده بین نیروگاه و شهر اراک.

کاربرد تعیین دقیق مقدار کیفی و کمی فعالیت ویژه هسته های های  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  برای محاسبه محاسبه پارامترهای پرتوشناختی نظیر شاخص گاما و آلفا تعیین نقشه رادیولوژیکی منطقه می‌باشد.

#### شاخص گاما

شاخص گاما ( $I_\gamma$ )، برای ارزیابی میزان پرتوهای گاما ناشی از هسته‌های پرتوزای موجود در خاک، سنگ، آب و گیاه در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌گردد که با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌گردد [۷].

$$I_\gamma = \frac{A_{\text{Ra}}}{150} + \frac{A_{\text{Th}}}{100} + \frac{A_{\text{K}}}{1500} \quad (2)$$

$A_{\text{Ra}}$ ،  $A_{\text{Th}}$  و  $A_{\text{K}}$  به ترتیب ویژه فعالیت هسته های پرتوزا Ra،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  برحسب بکرل برکیلوگرم می باشد. شاخص گاما با توجه به این فرض که فعالیت ۱۵۰ بکرل برکیلوگرم مربوط به  $^{226}\text{Ra}$ ، فعالیت ۱۰۰ بکرل برکیلوگرم مربوط به  $^{232}\text{Th}$  و فعالیت ۱۵۰۰ بکرل برکیلوگرم برای  $^{40}\text{K}$  آهنگ دز یکسان تولید می کنند، تعریف شده است [۷].

#### شاخص آلفا

هسته های  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در نمونه های خاک، فعالیت ویژه مربوط به آنها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۶].

$$Act = \frac{\text{Net Area} - \text{background}}{\epsilon \times BR \times t \times m} \quad (1)$$

که سطح خالص زیرپیک (Net Area)، شمارش خالص مربوط به به پیک تمام انرژی است. تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی در تحت شرایط یکسان از طیف اصلی کسر گردید.  $\epsilon$  بازدهی آشکارساز در انرژی گامای مربوط به نمونه موردآنالیز، BR (Branching Ratio) مربوط به احتمال گسیل پرتوگاما،  $t$  زمان طیف‌گیری از نمونه (۲۴ ساعت) و  $m$  جرم نمونه (۲۵۵g) می‌باشد.

برای تعیین ویژه فعالیت  $^{226}\text{Ra}$  در نمونه‌ها و از پرتو گاما با انرژی ۳۵۱/۹۳ keV برای خط گامای  $^{214}\text{Pb}$  و انرژی ۶۰۹/۳۱ keV برای خط گامای  $^{214}\text{Bi}$  استفاده شده است. فعالیت ویژه  $^{232}\text{Th}$  از خط گامای  $^{228}\text{Ac}$  با انرژی ۹۱۱/۲۱ keV و شدت ۲۶/۶ درصد و انرژی ۹۶۸/۹۷ keV با درصد انتشار ۱۷/۴ درصد به دست آمده است و برای تعیین فعالیت ویژه  $^{40}\text{K}$  از خط گاما با انرژی ۱۴۶۰/۷۰ keV و برای تعیین فعالیت ویژه  $^{137}\text{Cs}$  نمونه‌ها از خط گاما با انرژی ۶۶۱/۶۶ keV استفاده گردید.

فعالیت های  $^{232}\text{Th}$  ( $54/63\text{Bq/kg}$ ) و  $^{137}\text{Cs}$  ( $35/77\text{Bq/kg}$ ) دارا هستند. کمترین مقدار پرتوزایی  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب در نمونه های ( $18/92\text{Bq/kg}$ )،  $S29$ ، ( $1/31\text{Bq/kg}$ )  $S32$  و ( $230/17\text{Bq/kg}$ )  $S26$  و ( $25/31$ )  $S7$  مشاهده شد. شاخص گاما با مقدار میانگین  $0/86$  در بازه با مقدار  $0/61$  در نمونه  $S6$  تا مقدار  $1/16$  در نمونه  $S18$  تغییر می‌کند. همچنین گستره مقدار شاخص آلفا به ترتیب با مقادیر  $0/09$  تا  $0/22$  در نمونه های  $S26$  و  $S18$  با مقدار میانگین  $0/13$  می‌باشد. ویژه فعالیت هسته های پرتوزای  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  و شاخص های گاما و آلفا با دیگر کشورها و از جمله ایران مقایسه و در جدول (۲) درج شده است. اطلاعات مربوط به شاخص های  $I_\alpha$  و  $I_\gamma$ ، نتیجه محاسبه مستقیم رابطه (۲) با توجه داده های مربوط به پرتوزایی طبیعی مندرج در همان جدول و با هدف مقایسه نتایج بدست آمده است. با استفاده از طول و عرض جغرافیایی موقعیت نمونه ها، تغییرات فعالیت ویژه هسته های  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در فاصله نیروگاه تا شهر اراک مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل های ۲، ۳ و ۴ و ۵ نشان داده شده است.

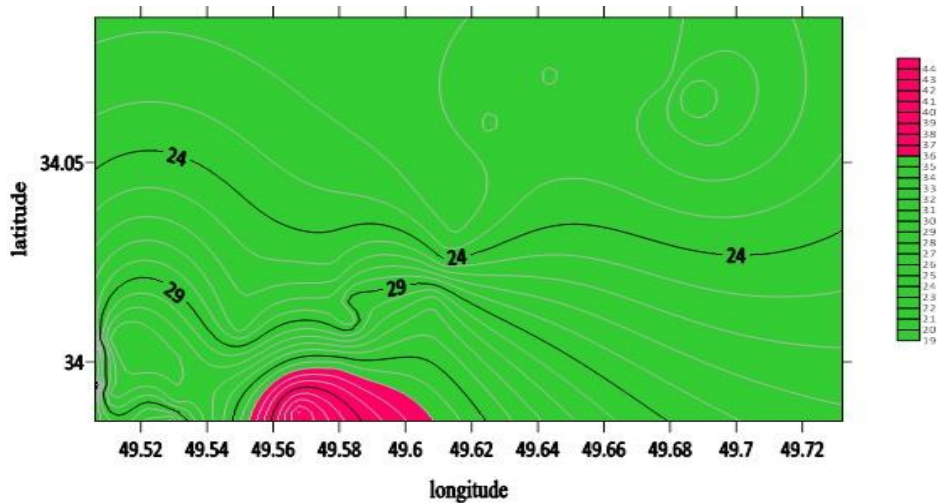
شاخص آلفا (شاخص درونی)  $I_\alpha$ ، از جمله شاخص هایی که برای تخمین دز دریافتی ناشی از تابش آلفا، که در اثر استنشاق گاز رادن موجود در محیط را استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد [۷].

$$I_\alpha = \frac{A_{\text{Ra}}}{200} \quad (3)$$

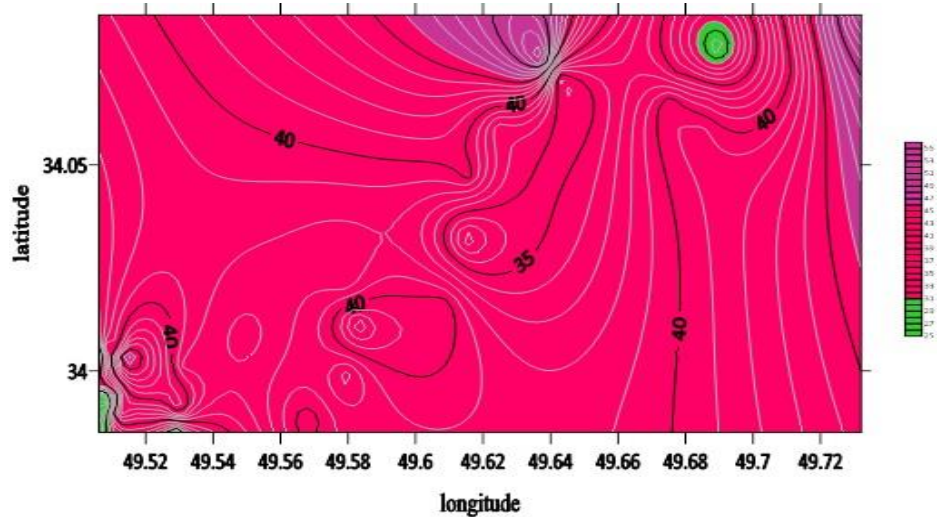
که  $A_{\text{Ra}}$  ویژه فعالیت هسته  $^{226}\text{Ra}$  بر حسب بکرل بر کیلوگرم می‌باشد [۷].

### ۳. نتایج و بحث

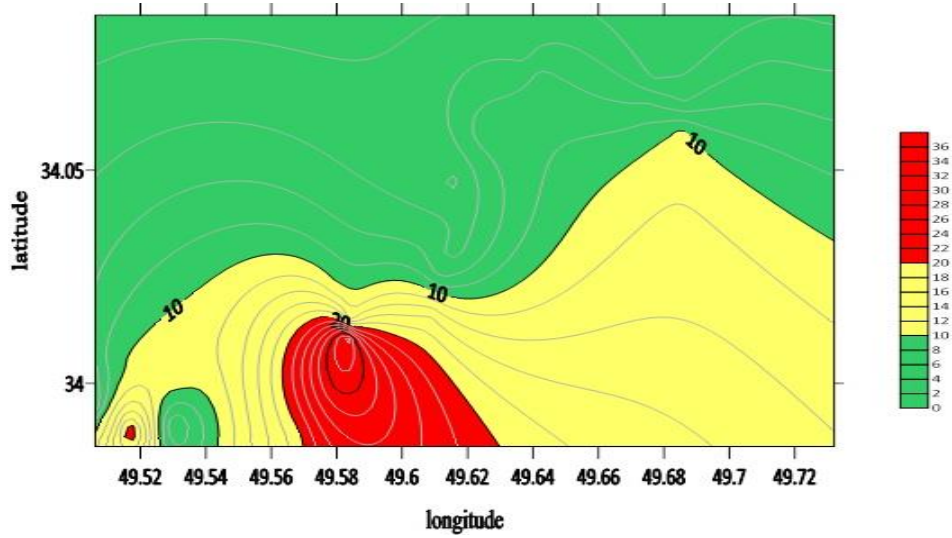
در این کار برای ارزیابی و سنجش خطرات ناشی از تابش های گاما، آلفا و آگاهی از توزیع ویژه هسته های پرتوزای پرتوزا  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{137}\text{Cs}$  نتایج اندازه گیری مقدار فعالیت ویژه مربوط به هسته های مذکور به همراه پارامترهای پرتوشناختی  $I_\alpha$  و  $I_\gamma$  در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به داده های جدول، بیشترین مقدار  $^{226}\text{Ra}$  ( $43/11\text{Bq/kg}$ ) و  $^{40}\text{K}$  ( $728/35\text{Bq/kg}$ ) مربوط به نمونه  $S18$  می‌باشد. نمونه های  $S31$  و  $S20$  به ترتیب بالاترین مقدار ویژه



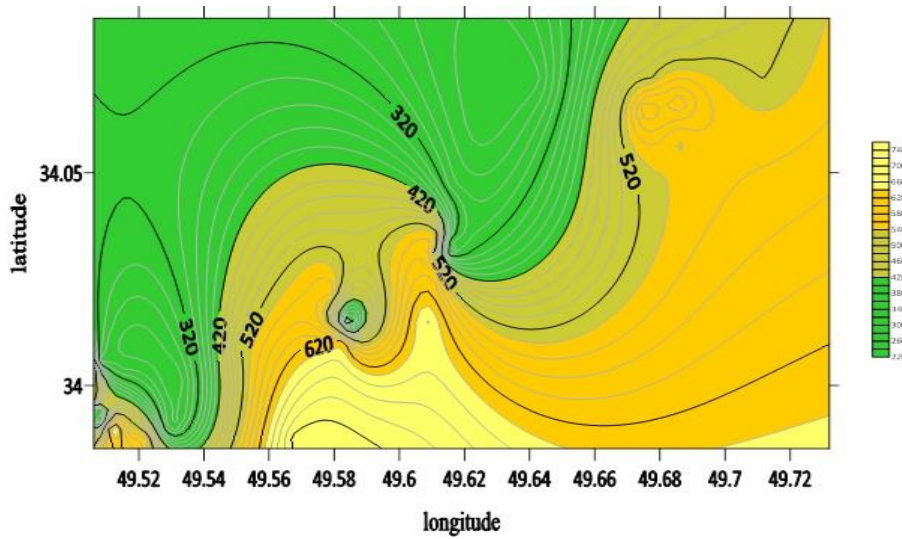
شکل (۲): تغییرات فعالیت ویژه رادیوم در حد فاصل نیروگاه برق شازند تا شهر اراک.



شکل (۳): تغییرات فعالیت ویژه توریم در حد فاصل نیروگاه برق شازند تا شهر اراک.



شکل (۴): تغییرات فعالیت ویژه سزیوم در حد فاصل نیروگاه برق شازند تا شهر اراک.



شکل (۵): تغییرات فعالیت ویژه پتاسیم در حد فاصل نیروگاه برق شازند تا شهر اراک.

جدول (۱): نتایج مقدار فعالیت ویژه مربوط به هسته های پرتوزا و پارامترهای پرتوشناختی  $I_{\alpha}$  و  $I_{\gamma}$  در نمونه‌های خاک.

کد نمونه	موقعیت جغرافیایی		ویژه فعالیت هسته های پرتوزا (Bq/kg)				شاخص های آلفا و گاما	
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$I_{\alpha}$	$I_{\gamma}$
S1	۴۹/۵۰.۶۱۶	۳۴/۰.۳۸۶	۲۳/۷۸	۳۱/۴۳	۵۷۱/۶۴	۵/۷۲	۰/۸۲	۰/۱۲
S2	۴۹/۵۰.۸۵۹	۳۴/۰.۵۴۴	۳۰/۵۷	۴۰/۶۷۹	۲۵۵/۴۳	۷/۳۳	۰/۷۵	۰/۱۵
S3	۴۹/۵۱۱۸	۳۴/۰.۵۹۹	۳۲/۶۵	۳۸/۵۶	۲۸۰/۲	۹/۴۸	۰/۷۶	۰/۱۶
S4	۴۹/۵۱۴۰.۴	۳۴/۰.۳۵۱	۳۲/۹۱	۴۸/۱۷	۲۸۲/۶۱	۹/۵۲	۰/۸۶	۰/۱۷
S5	۴۹/۵۰.۶۷۱	۳۳/۹۹۶۴۸	۲۷/۰.۷	۳۵/۶۵	۵۴۶/۳۵	۴/۹۴	۰/۸۶	۰/۱۴
S6	۴۹/۵۰.۶۳۷	۳۳/۹۹۴۳۵	۲۱/۵۷	۲۶/۷	۳۱۶/۷	۴/۶۵	۰/۶۰	۰/۱۱
S7	۴۹/۵۰.۹۰۸	۳۳/۹۹۲۴۲	۳۰/۳۵	۲۵/۳۱	۲۹۴/۲۵	۱۰/۸	۰/۶۲	۰/۱۵
S8	۴۹/۵۱۱۶	۳۳/۹۹۰۴۹	۳۱/۱۶	۳۹/۱۲	۶۹۹/۵۱	۱۳/۲۲	۱/۰۲	۰/۱۶
S9	۴۹/۵۱۶۶۳	۳۳/۹۸۸۸	۲۹/۴۵	۳۶/۰.۳	۵۶۵/۵۳	۲۲/۵	۰/۸۹	۰/۱۵
S10	۴۹/۵۲۱۷۷	۳۳/۹۸۷۲	۲۷/۲۹	۳۴/۶۹	۵۸۲/۵۲	۱۶/۰.۶	۰/۸۸	۰/۱۴
S11	۴۹/۵۲۸۹۸	۳۳/۹۸۵۱۲	۲۵/۶۶	۲۷/۲۷	۴۲۳/۲۸	۶/۳۹	۰/۶۹	۰/۱۳
S12	۴۹/۵۲۹۹	۳۳/۹۹۰۳۸	۳۱/۶۸	۴۱/۷۶	۲۴۵/۴۳	۴/۱	۰/۷۷	۰/۱۶
S13	۴۹/۵۳۱۵۹	۳۴/۰.۱۵۳	۳۲/۰.۱	۳۷/۴۶	۲۴۲/۳۶	۱۱/۵۵	۰/۷۲	۰/۱۶
S14	۴۹/۵۴۹۹۷	۳۴/۰.۸۷۲	۲۶/۳۶	۳۶/۴۸	۵۰۷/۸۴	۱۳/۳۲	۰/۸۴	۰/۱۳
S15	۴۹/۵۷۹۲۴	۳۴/۰.۲۲۲۳	۲۵/۴۱	۳۶/۹۳	۵۷۴/۸۳	۱۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۱۳
S16	۴۹/۶۱۵۸۷	۳۴/۰.۴۷۴۴	۲۱	۴۰/۵۲	۲۸۷/۳۶	۱/۵۹	۰/۷۱	۰/۱۱
S17	۴۹/۵۸۳۹۴	۳۴/۰.۱۳۷۱	۳۰/۵۱	۴۱/۳	۲۳۸/۶۳	۱۴/۲۳	۰/۷۵	۰/۱۵
S18	۴۹/۵۶۷۶۲	۳۳/۹۸۷۳۷	۴۳/۱۱	۴۰/۹۵	۷۲۸/۲۵	۱۸/۹۶	۱/۱۳	۰/۲۱۶
S19	۴۹/۵۷۹۸۳	۳۳/۹۹۸۹۵	۳۵/۶۸	۳۶/۴	۶۹۳/۱۹	۳۰/۲۷	۱/۰۲	۰/۱۷۸
S20	۴۹/۵۸۳۲۵	۳۴/۰.۱۱۸۸	۲۶	۴۴/۴۷	۶۱۹/۱۱	۳۵/۷۷	۰/۹۹	۰/۱۳
S21	۴۹/۶۱۱۲۵	۳۴/۰.۳۴۶	۲۲/۰.۳	۳۳/۹	۵۶۶/۴۸	۵/۵۹	۰/۸۳	۰/۱۱
S22	۴۹/۶۱۱۸	۳۴/۰.۲۶۰۶	۲۳/۶۲	۳۵/۵۷	۵۸۶/۶۸	۵	۰/۸۷	۰/۱۲
S23	۴۹/۶۰۸۴۱	۳۴/۰.۱۵۶۷	۳۱/۷۴	۴۰/۸۴	۶۶۴/۱۵	۱۶/۲۲	۱/۰۲	۰/۱۶
S24	۴۹/۶۱۵۱۹	۳۴/۰.۳۱۹۴	۲۱/۹۵	۳۱/۱۵	۲۶۳/۴۴	۳	۰/۶۱	۰/۱۱
S25	۴۹/۶۲۴۳۷	۳۴/۰.۵۹۳	۲۳/۲	۳۶/۴	۲۳۲/۶۵	۷/۱۴	۰/۶۵	۰/۱۲
S26	۴۹/۶۴۱۹۷	۳۴/۰.۷۱۸۵	۲۱/۸۶	۳۳/۹	۲۳۰/۱۷	۶/۶۲	۰/۶۲	۰/۱۱
S27	۴۹/۶۷۵۴۵	۳۴/۰.۶۵۰۷	۲۱/۶۳	۴۰/۹۳	۶۱۹/۴	۶/۴۳	۰/۹۳	۰/۱۱
S28	۴۹/۶۸۵۳۱	۳۴/۰.۵۸۶۹	۲۰/۷۲	۴۱/۱۹	۵۳۵/۲۳	۱۰/۷۲	۰/۸۷	۰/۱۰
S29	۴۹/۶۸۶۱۸	۳۴/۰.۶۶۳۳	۱۸/۹۲	۳۷/۹۴	۶۱۷/۹۸	۳/۶۱	۰/۸۸	۰/۱۰
S30	۴۹/۷۱۱۶۴	۳۴/۰.۷۲۸۹	۲۱/۳۳	۴۰/۱۴	۵۱۸/۰.۸	۴/۶۶	۰/۸۶	۰/۱۱
S31	۴۹/۷۳۲۰.۷	۳۴/۰.۸۶۳۷	۲۲/۸۸	۵۴/۶۳	۵۴۱/۹۴	۱/۶	۱/۰۲	۰/۱۱

۰/۱۱	۰/۷۲	۱/۳۱	۵۰۵/۸	۲۷/۸۷	۲۱/۳	۳۴/۰۷۸۲۶	۴۹/۶۸۹۴۹	S۳۲
۰/۱۲	۰/۸۱	۱/۴۹	۵۱۷	۳۵/۰۳	۲۳/۰۳	۳۴/۰۷۲۳۲	۴۹/۶۷۷۱۵	S۳۳
۰/۱۱	۱/۰۵	۳/۹۲	۵۸۵	۵۴/۲۷	۲۲/۵۱	۳۴/۰۷۵۴۲	۴۹/۶۳۷۶۶	S۳۴

جدول (۲): مقایسه ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا، شاخص‌های گاما و آلفا با دیگر کشورها.

کشور	$^{226}\text{Ra}(\text{Bq/kg})$	$^{232}\text{Th}(\text{Bq/kg})$	$^{40}\text{K}(\text{Bq/kg})$	$I_\gamma$	$I_\alpha$	مرجع
یوگسلاوی	۳۹/۳۰	۵۳	۴۵۴	۱/۰۸	۰/۲۰	[۸]
پاکستان	۳۰	۵۶	۶۰۲	۱/۱۵	۰/۱۵	[۹]
مصر	۴۳	۵۴	۱۸۳	۰/۹۳	۰/۲۲	[۱۰]
الجزایر	۵۳/۲۰	۵۰/۰۳	۳۱۱	۱/۰۴	۰/۲۷	[۱۱]
مالزی	۸۰/۶۳	۱۱۶/۸۷	۲۰۰/۶۶	۱/۸۰	۰/۴۰	[۱۲]
عراق	۳۳/۵۵	۲۱/۵۲	۳۲۶/۷۴	۰/۶۴	۰/۱۷	[۱۳]
نیجریه	۳۱	۳۶	۷۱۲	۰/۹۹	۰/۱۶	[۱۴]
مصر	۳۱/۴۴	۳۹/۷۷	۱۱۳/۲۳	۰/۶۶	۰/۱۶	[۷]
ایران (چهاربهار)	۲۴	۲۰	۴۵۰	۰/۶۵	۰/۱۲	[۱۵]
میانگین جهانی	۳۰	۳۵	۴۰۰	۰/۸۲	۰/۱۵	[۶]
کار حاضر	۲۶/۵۰	۳۷/۷۵	۴۶۸/۷۹	۰/۸۶	۰/۱۳	

#### ۴. نتیجه گیری

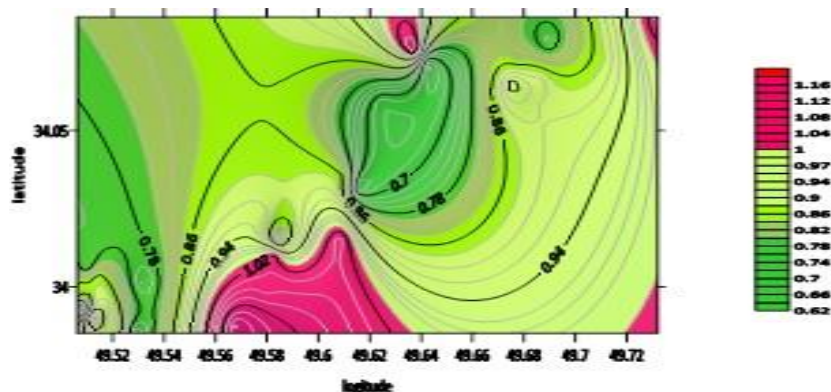
نمودار تغییرات فعالیت عناصر پرتوزای طبیعی بر حسب فاصله ازدودکش‌های نیروگاه نشان می‌دهند که بیشترین مقدار پرتوزایی در فاصله ۵ کیلومتری وجود دارد. با توجه به اینکه مقدار میانگین جهانی برای ویژه فعالیت  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک به ترتیب ۳۰، ۳۵ و ۴۰۰ گزارش شده است [۶]، میانگین ویژه فعالیت رادیوم پایین‌تر از میانگین جهانی است. میانگین ویژه فعالیت توریم و پتاسیم بالاتر از میانگین جهانی هستند. طبق شکل‌های ۲ و ۳ و ۴ مقدار فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نزدیکی شهر اراک (فاصله ۲۰ کیلومتری) کمتر از اطراف نیروگاه است و مقدار فعالیت ویژه رادیوم و

پتاسیم و توریم در جنوب غربی نیروگاه بالاتر است. ویژه هسته پرتوزای مصنوعی  $^{137}\text{Cs}$  در طبیعت به صورت طبیعی وجود ندارد و از پاره‌های شکافت  $^{235}\text{U}$  می‌باشد و از طریق جریان‌های جوی وارد کشور شده است لذا شباهت منحنی توزیع آن با توزیع رادیم، توریم و پتاسیم نشان می‌دهد که مقداری از هسته‌های پرتوزای از طریق دود خروجی وارد جو شده در اثر جریان باد در منطقه پخش شده‌اند. وجود قله‌هایی در نزدیکی دامنه کوه‌ها می‌تواند موید حرکت گردابی باد بدلیل وجود رشته کوه سفیدخانی در این منطقه باشد که به صورت یک مانع جلوی بادهای غربی - شرقی قرار گرفته است و باعث ایجاد یک توده ایستایی هوا می‌گردد و ذرات بعد از سرد شدن نشت پیدا می‌کنند. ۸۰ درصد بادهای منطقه از طرف

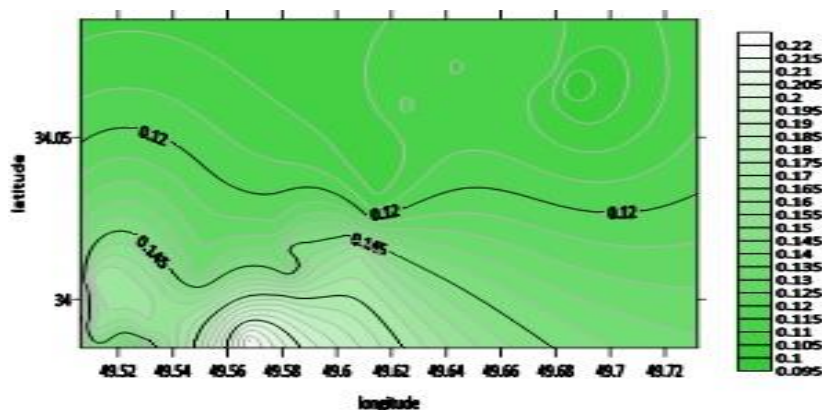


حاصل خیزی خاک‌های این منطقه دارد [۶-۱۵]. شکل ۶ و ۷ توزیع شاخص‌های گاما و آلفا برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطوریکه دیده می‌شود، هر دو مقدار میانگین این شاخص‌ها کمتر از یک (حد اکثر مقدار مجاز) می‌باشد. از نقطه نظر معیار ایمنی تابش، استفاده از خاک این نواحی برای اهداف ساخت و ساز مدارس و ساختمان‌ها و سکونت افراد بلامانع است. در نزدیکی طول جغرافیایی ۴۹/۵۶ درجه افزایش هر دو شاخص را مشاهده می‌کنیم که این موضوع مربوط به حرکت باد و ایجاد جریان ایستایی در دامنه کوه‌ها می‌باشد.

غرب به شرق می‌وزد که بعد از عبور از دره توره در منطقه سفیدخانی به علت پیشروی کوه‌ها به سمت شمال باعث تنگ شدن مسیر باد و ایجاد جریان ایستایی در کنار کوه‌ها می‌گردد. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج گزارش شده از بعضی کشورها (جدول ۳) نشان می‌دهد که مقدار فعالیت ویژه رادیوم نزدیک به مقدار گزارش شده در کشور عراق و از بقیه کشورها و میانگین جهانی کم‌تر است. در مورد توریم نتایج بدست آمده با نتایج گزارش شده کشورهای مصر، نیجریه و میانگین جهانی در یک سطح و به استثنای کشور عراق از بقیه کشورها کم‌تر است. در مورد پتاسیم مقدار به دست آمده از بقیه کشورها به جز پاکستان و نیجریه بیش‌تر است و این دلالت بر



شکل (۶): نقشه توزیع شاخص گاما.



شکل (۷): نقشه توزیع شاخص آلفا.

۵. مراجع

- [1] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposure from natural sources of radiation, United Nations publication sales No. 10.IX.3. (2008) United Nations, United Nations Office at Vienna.
- [2] A. N. Al-Farsi. Radiological Aspect of Petroleum exploration and production in Sultanate of Oman. PhD thesis, Queensland University and Technology, (2008).
- [3] A.J. Wilson, L.M. Scot. Characterization of Radioactive Petroleum piping scale with an evaluation of subsequent land contamination. Health Physics, 63 (1992) 681-685.
- [4] <http://shazandtp.ir/>
- [5] International Atomic Energy Agency, Compliance Monitoring for remediated sites, IAEA-TECDOC-1415, IAEA, VIENNA, (2004).
- [6] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations, (2000).
- [7] A. El- Taher, L. Najam, I. M. Omoniyi. Effect of Cement Factory Exhaust on Radiological Contents of Surrounding Soil Samples in Assuit Province, Egypt Article in Journal of Physical Science · November. DOI: 0.21315/jps2017.28.3.9
- [8] I. Bikit. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). J. Environ. Radioact. 78 (2004) 11–19.
- [9] M. Tufail, N. Akhtar, M. Waqas. Measurement of terrestrial radiation for assessment of gamma dose from cultivated and barren saline soils of Faisalabad in Pakistan. Radiat. Meas. 41(2006) 443–451.
- [10] S.A. Issa. Radiometric assessment of natural radioactivity levels of agricultural soil samples collected in Dakahlia, Egypt. Radiat. Prot. Dosim. 56(1) (2013) 59-67.
- [11] W. Boukhenfouf, A. Boucenna. The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique. J. Environ. Radioact. 102 (2011) 336–339.
- [12] A. Nisar, M. Suhaimi Jaafar, M. S. Alsaffar. Natural radioactivity in virgin and agricultural soil and its environmental implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. Pollut., 1(3) (2015) 305–313.
- [13] L. A. Najam, S. A. Younis. Assessment of natural radioactivity level in soil samples for selected regions in Nineveh Province (Iraq). Int. J. Novel Res. Phys. Chem. Math. 2(2) (2015) 1–9.
- [14] M.R Usikalu, A.B. Rabi, K.D. Oyeyemi, J.A. Achuka, M. Maaza. Radiation hazard in soil from Ajaokuta North-central Nigeria. International Journal of Radiation Research. 15(2) (2017) 219-224.
- [15] H. Abbas, F.Z. Masoumeh. the Effect of Soil Radioactivity in Pollution. Journal of Community Health Research. 2(4) (2013) 286-292.