

## اندازه‌گیری و ارزیابی پرتوزایی طبیعی خاک شهر تهران

حسن رنجبر\*، علی یوسفی

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران-ایران

### چکیده:

مواد رادیواکتیو طبیعی که در محیط پیرامون انسان بطور معمول و طبیعی وجود دارد می‌تواند خواسته یا ناخواسته افراد را در معرض پرتوگیری قرار دهد. یکی از مهمترین منابع پرتوگیری خارجی، رادیونوکلیدهای حاصل از واپاشی سری اورانیوم و توریم و رادیونوکلید پتاسیم در خاک می‌باشد. هدف از این پژوهش اندازه‌گیری  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک شهر تهران به منظور اطمینان از عدم خطر رادیولوژیکی افراد از پرتوگیری خارجی است. در این تحقیق ۲۰ نمونه خاک از شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری به صورت تصادفی و مطابق با دستورالعمل استاندارد ASTM c999 نمونه‌سازی شد. میزان غلظت رادیونوکلیدها با استفاده از روش اسپکترومتری گاما و با استفاده از آشکارساز HPGe با بازده ۸۰٪ اندازه‌گیری شد. غلظت رادیونوکلیدهای  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  به ترتیب در محدوده ۱۰-۲۵ Bq/kg، ۳۰-۹ Bq/kg و ۶۵۰-۳۶۰ Bq/kg اندازه‌گیری گردید. غلظت این رادیونوکلیدها در بازه مقادیر جهانی آن که ۱۷-۶۰ Bq/kg، ۱۱-۶۴ Bq/kg و ۱۴۰-۸۵۰ Bq/kg است، قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: پرتوزایی طبیعی، رادیوم-۲۲۶، تریوم-۲۳۲، پتاسیم-۴۰، HPGe

## Measurement and investigation of natural radioactivity in Tehran soil

Hassan Ranjbar\*, Ali Yousefi

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.BOX:  
11365-8486, Tehran, Iran.

### Abstract:

Naturally occurring radioactive material that are normally present in the surrounding environment, wanted or unwanted can exposure of people to radiation. One of the most important sources of external exposure is radionuclides resulting from the decay of uranium and thorium series and potassium radionuclide in soil. The aim of this study is to measure  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in the soil of Tehran in order to ensure that there is no radiological risk of external exposure. In this study, 20 soil samples from Tehran were studied. Samples were randomly collected and prepared according to ASTM standard instructions. The concentration of radionuclides was measured by gamma spectrometry using HPGe detector with 80% efficiency. Radionuclides concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  were 10-25 Bq/kg, 9-30 Bq/kg and 360-650 Bq/kg, respectively. The concentration of these radionuclides is in the range of universal values which are 17-60 Bq/kg, 11-64 Bq/kg and 140-850 Bq/kg.

**Keywords:** Natural Radioactivity,  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$ ، HPGe.

Email: hranjbar@aeoi.org.ir

## ۱. مقدمه

پرتوگیری خارجی انسان عمدتاً از پرتوهای گامای ساطع شده از رادیونوکلیدهای پوسته زمین که درون خاک هستند ناشی می‌شود. منابع اصلی تابش طبیعی در محیط، پرتوهای کیهانی و رادیونوکلیدهای نخستین موجود در پوسته زمین، می‌باشند [۱]. در ابتدای شکل‌گیری زمین هسته‌های پرتوزای زیادی در طبیعت موجود بوده‌اند که نیمه‌عمر برخی از آنها به صدها میلیون سال می‌رسید. به طور کلی عناصر موجود در پوسته زمین شامل دو گروه هسته‌های پرتوزا و هسته‌های پایدار می‌باشند. آن دسته از هسته‌ها که در مقایسه با عمر زمین (۴٫۵ میلیارد سال) دارای نیمه‌عمر کوتاهتری بوده‌اند دچار واپاشی شده و به هسته‌های پایدار تبدیل شده‌اند ولی تعدادی از آنها که دارای نیمه‌عمری در حد عمر زمین بوده‌اند، نظیر  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{235}\text{U}$ ،  $^{238}\text{U}$  و  $^{40}\text{K}$  تا به امروز دوام آورده‌اند. سه زنجیره واپاشی را تشکیل می‌دهند. هر کدام از این رادیونوکلیدها که نقطه آغازین سری‌های مذکور می‌باشند، در طی واپاشی خود تعدادی دخترهسته پرتوزا مانند رادیم، رادن، بیسموت، اکتینیم، تالیوم و ... تولید می‌کنند و در انتها زنجیره با یکی از ایزوتوپ‌های پایدار سرب خاتمه می‌یابد [۲].

دسته دیگری از هسته‌های پرتوزا، رادیونوکلیدهای کیهانزاد نظیر  $^{14}\text{C}$ ،  $^7\text{Be}$  و  $^3\text{H}$  می‌باشند که به طور پیوسته طی اندرکنش‌های پرتوهای کیهانی با عناصر موجود در لایه‌های بالایی جو تولید می‌شوند. این هسته‌های پرتوزا نیز به عنوان بخشی از پرتوزایی طبیعی به حساب می‌آیند و محیط زیست و انسان و سایر جانداران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند [۳]. ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی نظیر  $^{235}\text{U}$ ،  $^{238}\text{U}$  و  $^{232}\text{Th}$  چون دارای نیمه‌عمر طولانی می‌باشند تا به امروز دوام یافته‌اند. این هسته‌ها پس از چندین بار واپاشی متوالی با انتشار ذرات آلفا و بتا و فوتون‌های گاما نهایتاً به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند [۴].  $^{40}\text{K}$ ، یکی از رادیونوکلیدهای نخستین است که از دیدگاه بیولوژیکی یکی از با اهمیت‌ترین رادیونوکلیدهای حاکی می‌باشد. نیمه‌عمر آن حدود  $1,3 \times 10^9$  سال می‌باشد و ۹۰٪ هسته‌های آن با واپاشی و گسیل ذره بتا به عنصر پایدار  $^{40}\text{Ca}$  تبدیل می‌گردد. ۱۰٪ مابقی از طریق گیراندازی الکترون به  $^{40}\text{Ar}$  برانگیخته تبدیل می‌شود که با گسیل یک فوتون گامای ۱۴۶۰ کیلوالکترون‌ولت به حالت پایدار می‌رسد. این فوتون برای اندازه‌گیری و شناسایی  $^{40}\text{K}$  از طریق طیف‌سنجی گاما بسیار مفید می‌باشد [۵].

قرار گرفتن در معرض پرتوهای یونیزان توسط انسان یکی از موضوعات علمی است که توجه عمومی را به خود جلب کرده است، زیرا تابش با منشأ طبیعی بیشترین میزان پرتوگیری افراد را به خود اختصاص می‌دهد. رادیونوکلیدهای طبیعی زیادی در محیط وجود دارند. این رادیونوکلیدهای طبیعی در خاک، رسوبات، آب، گیاهان و هوا وجود دارد [۶]. تابش زمینه طبیعی در خاک از  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  حاصل می‌شود و تقریباً ۸۰٪ کل دوز تابشی است که فرد در یک سال دریافت می‌کند. غلظت رادیونوکلید در خاک و پرتوگیری خارجی در اثر تابش گاما به شرایط زمین‌شناسی و جغرافیایی بستگی دارد و دارای سطوح مختلف در خاک هر منطقه از جهان است [۷]. بسیاری از اثرات رادیوبیولوژیکی بر سلامتی در اثر قرار گرفتن در معرض اورانیوم (U) و رادیوم (Ra) رخ می‌دهد. تومورهای استخوانی از قرار گرفتن در معرض رادیوم ناشی می‌شوند، در حالی که ریه، لوزالمعده، سرطان کبد، استخوان و کلیه و سرطان خون از قرار گرفتن در معرض توریم ناشی می‌شوند [۸].

با توجه به اهمیت اندازه‌گیری میزان غلظت مواد پرتوزای طبیعی، هدف از این تحقیق ارزیابی و اندازه‌گیری رادیونوکلیدهای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در خاک شهر تهران است که می‌تواند خطر بالقوه‌ای در پرتوگیری خارجی افراد از محیط اطرافشان داشته باشد.

## ۲. روش کار

تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی البرز گسترده شده است و ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. از نظر جغرافیایی نیز در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. گستره‌ی کنونی تهران از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است؛ این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. آب و هوای آن دارای اقلیم نیمه‌خشک است.

از ۲۰ نمونه خاک از سطح شهر و به صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام گرفت به این صورت که نمونه‌های خاک با استفاده از بیلچه از عمق ۵ سانتی‌متری برداشته شدند و به کیسه‌های مخصوص حمل (زیپ کیپ) منتقل گردیدند. نمونه‌سازی نمونه‌های خاک، بر اساس سند C-999 از سری استانداردهای ASTM صورت می‌پذیرد [۹]. نمونه‌ها در ابتدا به سینی‌های فلزی مخصوص منتقل شده و سپس با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند و وزن هر کدام ثبت گردید. سپس نمونه‌ها داخل آن مدل گالنکامپ قرار داده شدند. بر اساس استاندارد دما بر روی ۱۱۰ درجه سانتیگراد تنظیم گردید و در طی ۲۴ ساعت نمونه‌ها خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها مجدداً وزن شدند و وزن آنها ثبت گردید. در مرحله بعد با استفاده از آسیاب گلوله‌ای (Ball mill) عملیات خردایش صورت گرفت تا سنگ‌ها و تکه‌های به هم چسبیده خاک به صورت کامل پودر شده و آماده الک کردن شوند. در مرحله بعد با استفاده از الک با مش ۵۰۰ میکرومتر نمونه‌ها الک شدند تا دانه‌بندی آنها دقیقاً مشابه نمونه استاندارد که دستگاه طیف‌سنج گاما به وسیله آن کالیبره شده، گردد. نمونه‌های الک شده به ظروف استاندارد آزمایشگاه منتقل شده و مجدداً وزن شدند. در این مرحله به منظور ایجاد تعادل بین رادیونوکلیدهای موجود در نمونه‌ها (تعادل بین رادن و دخترهسته‌های آن  $^{214}\text{Bi}$  و  $^{214}\text{Pb}$ ) می‌بایست نمونه‌ها به صورت کاملاً دربسته - به طوریکه امکان خروج گاز رادن از ظرف وجود نداشته باشد - به مدت حدود یک ماه نگهداری شوند (۸ نیمه عمر رادن). به همین دلیل نمونه‌ها با استفاده از طلق‌هایی که برای همین کار طراحی و ساخته شده‌اند سید شده و درب آنها محکم بسته شد و در آزمایشگاه به مدت یک ماه تا پیش از شمارش با دستگاه طیف‌سنجی گاما نگهداری شدند.

به منظور شناسایی و اندازه‌گیری میزان رادیونوکلیدهای موجود در نمونه‌های گردآوری شده از نقاط مختلف، از دستگاه طیف‌سنج گاما استفاده گردید. آشکارساز به کار رفته در این دستگاه از نوع ژرمانیوم با خلوص بالا (HPGe) می‌باشد. بازدهی نسبی آن نیز ۸۰٪ بوده که برای اندازه‌گیری نمونه‌های محیطی و مقادیر کم رادیونوکلیدها بسیار مناسب است. الکترونیک دستگاه شمارش شامل ماژول‌های ولتاژ بالا (۵ کیلوولت)، آمپلی‌فایر، مبدل آنالوگ به دیجیتال ( $\text{ADC}^2$ ) و آنالیزور چند کاناله ( $\text{MCA}^3$ ) می‌باشد که همگی ساخت شرکت یوراسیس مژر ۴ فرانسه است.

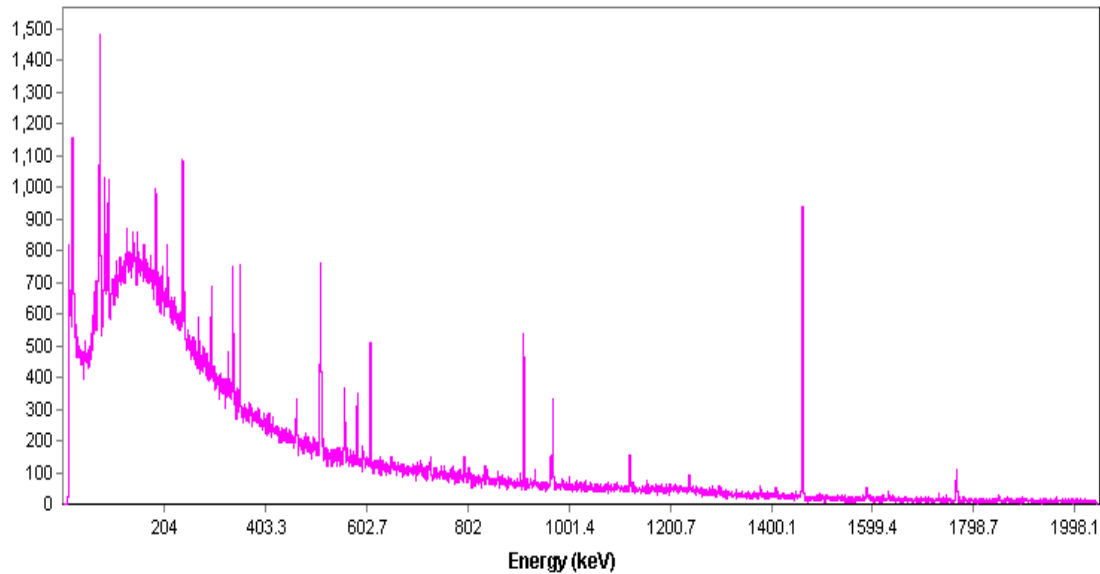
## ۳. نتایج و بحث

شکل ۱ طیف گاما (شمارش بر حسب انرژی) یک نمونه خاک که به مدت ۳۰ روز سید شده بود را نشان می‌دهد که به مدت ۸۰۰۰۰ ثانیه با استفاده از آشکارساز HPGe شمارش شده است.

<sup>2</sup> Analogue to Digital Converter

<sup>3</sup> Multi Channel Analyser

<sup>4</sup> EURISYS MESURES



شکل ۱. طیف پرتو گاما یک نمونه خاک شمارش شده با آشکارساز HPGe

اکتیویته رادیونوکلیدهای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های خاک از سند C1402 [۱۰] از استانداردهای ASTM و با استفاده از فرمول زیر انجام می‌شود [۱۱]:

$$A = \frac{N_S - N_B}{\epsilon \cdot \gamma \cdot m \cdot t \cdot K} \quad (1)$$

که پس از شمارش نمونه‌ها به مدت زمان کافی سطح زیر منحنی پیک (N) و زمان شمارش (t) از خروجی نرم‌افزار استخراج می‌گردد. با استفاده از منحنی کالیبراسیون بازده، بازده در انرژی‌های مورد نظر ( $\epsilon$ ) به دست می‌آید. نسبت انشعاب<sup>۵</sup> ( $\gamma$ ) نیز از مراجعی نظیر جدول ایزوتوپ‌ها یا نرم‌افزار RadDecay قرائت شده و جرم نمونه نیز توسط وزن کردن به دست می‌آید. با داشتن تمامی پارامترهای معادله فوق، اکتیویته رادیونوکلیدها که به صورت ویژه و بر واحد جرم یا حجم گزارش می‌گردد در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱. غلظت اکتیویته رادیونوکلیدهای طبیعی در خاک

اکتیویته $^{40}\text{K}$	اکتیویته $^{232}\text{Th}$	اکتیویته $^{226}\text{Ra}$	نمونه
۴۰۳٫۳	۲۰٫۳	۱۷٫۹	نمونه خاک ۱
۴۶۷٫۵	۱۸٫۵	۱۶٫۳	نمونه خاک ۲
۴۶۹٫۶	۱۶٫۲	۱۴٫۰	نمونه خاک ۳
۳۸۲٫۳	۳۰٫۱	۲۳٫۷	نمونه خاک ۴
۳۶۶٫۴	۹٫۸	۱۳٫۴	نمونه خاک ۵
۴۳۹٫۶	۱۹٫۲	۱۶٫۲	نمونه خاک ۶
۴۸۷٫۲	۲۵٫۷	۱۶٫۰	نمونه خاک ۷
۳۸۹٫۵	۲۸٫۳	۲۵٫۱	نمونه خاک ۸
۴۲۰٫۱	۱۷٫۲	۱۱٫۶	نمونه خاک ۹
۵۰۸٫۴	۲۱٫۰	۱۷٫۲	نمونه خاک ۱۰
۶۵۱٫۵	۱۴٫۹	۱۷٫۵	نمونه خاک ۱۱
۵۱۲٫۶	۱۲٫۷	۱۱٫۴	نمونه خاک ۱۲

<sup>5</sup> Branching Ratio

۴۷۲٫۹	۲۴٫۶	۱۷٫۸	نمونه خاک ۱۳
۴۶۷٫۵	۱۱٫۲	۱۳٫۷	نمونه خاک ۱۴
۶۵۸٫۱	۱۹٫۳	۱۰٫۸	نمونه خاک ۱۵
۳۷۰٫۸	۲۱٫۲	۱۸٫۱	نمونه خاک ۱۶
۴۹۲٫۷	۱۸٫۷	۱۴٫۷	نمونه خاک ۱۷
۴۷۷٫۳	۱۲٫۳	۱۰٫۶	نمونه خاک ۱۸
۳۸۶٫۹	۱۶٫۱	۱۳٫۲	نمونه خاک ۱۹
۶۰۱٫۷	۲۰٫۷	۲۱٫۶	نمونه خاک ۲۰

میانگین و محدوده پرتوزایی ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های بالا به ترتیب  $۱۰-۲۵$  Bq/kg،  $۹-۳۰$  Bq/kg و  $۳۶۰-۶۵۰$  Bq/kg اندازه‌گیری و بدست آمده است.

محدوده پرتوزایی ویژه  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  در نمونه‌های خاک ایران بر مبنای UNSCEAR 2000 به ترتیب Bq/kg  $۵۵-۸$ ،  $۴۲-۵$  Bq/kg و  $۲۵۰-۹۸۰$  گزارش شده است. جدول ۲ در رابطه با گزارش‌های منتشر شده ایست که مقدار رادیونوکلید  $^{226}\text{Ra}$  را در نمونه‌های خاک در نقاط مختلف جهان ارائه داده است لازم به ذکر است واحد مقادیر گزارش شده بر حسب Bq/kg می‌باشد.

مقادیر اکتیویته رادیوم بدست آمده در این تحقیق با مقادیر ایران و جهان هم از نظر مقدار و هم از نظر طول بازه اندازه‌گیری، تفاوت معناداری که باعث نگرانی یا عدم صحت داده‌ها شود مشاهده نمی‌گردد.

جدول ۲. غلظت رادیوم-۲۲۶ موجود در خاک دیگر کشورها [۷]

غلظت رادیوم-۲۲۶	نام کشور	غلظت رادیوم-۲۲۶	نام کشور
۳۱۰-۶	استونی	۱۸۰-۵	الجزایر
۵۰-۵	بلژیک	۶۴-۵	مصر
۲۱۰-۱۲	بلغارستان	۱۳۰-۱۱	کاستاریکا
۱۷۰-۱۲	سوئد	۱۶۰-۸	آمریکا
۲۰۰-۵	آلمان	۴۳-۲۱	بنگلادش
۲۰۰-۱۰	ایرلند	۴۴۰-۲	چین
۵۲-۶	لوگزامبورگ	۱۱۰-۲۰	هنگ کنگ
۶۳-۶	هلند	۸۱-۷	هند
۹۰۰-۱۰	سوئیس	۹۸-۶	ژاپن
۲۹-۹	دانمارک	۱۲۰-۱۲	قزاقستان
۷۶-۱۴	مجارستان	۹۴-۳۸	مالزی
۱۲۰-۵	لهستان	۷۸-۱۱	تایلند
۶۰-۸	رومانی	۷۷-۳۲	ارمنستان
۷۶-۱	روسیه	۵۵-۸	ایران
۱۲۰-۱۲	اسلواکی	۳۲-۱۳	سوریه
۶۵-۸	پرتغال	۷۷-۲۱	کروواسی
۲۱۰-۲	اسلونی	۱۲۰-۰	قبرس
۲۵۰-۶	اسپانیا	۲۴۰-۱	یونان

#### ۴. نتیجه‌گیری

خاک به عنوان یکی از مهمترین منابع پرتوزایی رادیواکتیو محسوب می‌شود. منبع اصلی تابش‌های زمینی یا خاکی، رادیونوکلیدهای موجود در سری‌های طبیعی می‌باشند که در پوسته زمین وجود دارند. در اغلب مناطق غلظت این عناصر رادیواکتیو در محدوده قابل قبول قرار دارد اما در برخی مکان‌ها طی برخی از فعالیت‌های بشر در صنایع مختلف به دلیل

استخراج منابع طبیعی و یا تغییراتی که در این مواد داده می‌شود غلظت‌های بالایی از رادیواکتیویته وجود دارند که در این موارد باید بررسی‌های دقیق صورت گرفته و در صورت نیاز اقدامات کنترلی و حفاظتی اعمال گردد. بیست نمونه خاک جمع آوری شده و برای اندازه‌گیری رادیواکتیویته طبیعی از  $^{40}\text{K}$  و  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  با استفاده از سیستم طیف سنجی گاما آماده شد. اندازه‌گیری‌ها با کالیبراسیون روزانه و تکرار هر اندازه‌گیری نمونه‌ای انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان رادیواکتیویته طبیعی در نمونه‌های خاک کمتر از میانگین جهانی است.

#### ۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از رئیس و پرسنل آزمایشگاه شناسایی و مشخصه‌یابی رادیونوکلیدها (آنالیز هسته‌ای سابق) پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای که ما را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

#### ۶. مراجع

- [1] Ediagbonya, T. F., G. E. Okungbowa, and O. Titilayo. "Background Study of Natural Radioactivity in Soil." *Journal of Chemical Society of Nigeria* 45.2 (2020).
- [2] Pourimani, Reza, and Tayebbeh Davoodmaghami. "Radiological hazard resulting from natural radioactivity of soil in east of Shazand power plant." *Iranian Journal of Medical Physics* 15.3 (2018): 192-199.
- [3] Choppin, Gregory, Jan-Olov Liljenzin, and Jan Rydberg. *Radiochemistry and nuclear chemistry*. Butterworth-Heinemann, 2002.
- [4] Manić, Vesna, et al. "Radioactivity of soil in the region of the town of Niš, Serbia." *Radiation protection dosimetry* 185.4 (2019): 456-463.
- [5] Devi, Vandana, Amit Kumar, and R. P. Chauhan. "Radiation doses due to background radioactivity in soil from inhabited area of Northern Haryana." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2142. No. 1. AIP Publishing LLC, 2019.
- [6] Alghazaly, Saif M., Laith Taj-Aldeen, and Nihal A. AbdulWahhab. "Radiological Effects of Natural Radioactivity in Soil Samples from Hospitals and Health Centers." *Solid State Technology* 63.6 (2020): 3920-3930.
- [7] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation, Vol. 1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report of the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York; 2000.
- [8] Uosif, M. A. M., and Atef El-Taher. "Radiological assessment of Abu-Tartur phosphate, western desert Egypt." *Radiation Protection Dosimetry* 130.2 (2008): 228-235.
- [9] ASTM C999 – 05 - American Standard Test Methods Committee. Standard Practice for Soil Sample Preparation for the Determination of Radionuclides, 2005.
- [10] ASTM C1402 - 17 - American Standard Test Methods Committee. Standard Guide for High-Resolution Gamma-Ray Spectrometry of Soil Samples, 2006.
- [11] Gilmore, Gordon. *Practical gamma-ray spectroscopy*. John Wiley & Sons, 2011.