

اندازه‌گیری مخاطرات تابشی و نقشه توزیع سطحی عناصر رادیواکتیو  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ .

$^{232}\text{Th}$  در محدوده پارک علم و فناوری استان کرمان

INC29-1010

شراره بابامحمدی، یاسین حیدری زاده، محمدرضا رضایی\*

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، ۷۶۳۱۸۸۵۳۵۶، کرمان، ایران.

## چکیده:

میزان مخاطرات تابشی در هر منطقه بستگی به میزان عناصر پرتوزا شامل سری‌های واپاشی  $^{238}\text{U}$  و  $^{232}\text{Th}$  و هسته‌های پرتوزای  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  موجود در خاک و نیز توزیع سطحی این عناصر دارد. بدین منظور ابتدا ۱۵ نمونه از خاک مناطق مختلف پارک علم و فناوری استان کرمان جمع‌آوری و با استفاده از آشکارساز سوسوزن  $\text{CsI(Tl)}$  میزان فعالیت ویژه عناصر  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  و  $^{40}\text{K}$  در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس با استفاده از معادلات مخاطرات تابشی، توزیع پارامترهای پرتو شناختی در سطح پارک محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که متوسط فعالیت ویژه عناصر  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  و  $^{40}\text{K}$  در سطح پارک به ترتیب برابر ۹,۷۸، ۲۰,۹۱، ۶,۳۴ و ۱۰۴,۶۰ (Bq/kg) است. فعالیت این عناصر به جز سزیم کمتر از میانگین جهانی است. همچنین مقدار متوسط کمیت‌های مخاطرات تابشی  $\text{ELCR}$ ,  $I_y$ ,  $H_{in}$ ,  $H_{ex}$ ,  $D_{tot}$ ,  $D_{in}$ ,  $D_{out}$ ,  $D_y$ ,  $R_{eq}$  به ترتیب ۰,۰۷۳، ۰,۰۹۹، ۰,۱۱ و ۰,۴۹ می‌باشد. با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر مجاز این پارامترها، نتیجه می‌شود که مخاطرات تابشی  $D_y$ ,  $D_{out}$  بیشتر از حد مجاز و بقیه پارامترهای مخاطرات تابشی کمتر از حد مجاز می‌باشند. در آخر نقشه رسم شده مخاطرات تابشی و عناصر رادیواکتیو در نقاط مختلف پارک، نشان می‌دهد که در همه نقاط پارک حضور سالانه کارکنان دانشجویان و اساتید پارامترهای مخاطرات تابشی غیر از  $D_y$ ,  $D_{out}$  مجاز است.

کلیدواژه‌ها: فعالیت ویژه، مخاطرات تابشی، خاک، عناصر رادیواکتیو، پارک علم و فناوری کرمان

## Measurement of radiation hazards and surface distribution map of $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{238}\text{U}$ radioactive elements in the Science and Technology Park of Kerman province zone

Sh. Babamohammadi, Y. heydarizade and M. R. Rezaie\*

Department of Nuclear Engineering, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, ۷۶۳۱۸۸۵۳۵۶, Kerman, Iran

### Abstract:

The radiation hazards in each region depend on its surface distribution, and activity of  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{238}\text{U}$  radioactive elements. Due to the presence of personnel, professors and students in Park Science and Technology of Kerman Province, it is of particular importance to investigate the dose received due to  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{238}\text{U}$  elements in the soil of this area. For this purpose, first, 15 soil samples from different areas of the Park Science and Technology were collected and the specific activity of  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{238}\text{U}$  elements was obtained with the  $\text{CsI(Tl)}$  scintillation detector. Then, using radiation hazard equations, the distribution of radiation hazard parameters at the Park Science and Technology have been calculated. The research results show that the average specific activity of  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{238}\text{U}$  elements at the university zone is equal to 20.90, 3.34, 104.60 and 9.78 Bq/kg. Cs is the lowest limit. Also, the average of  $R_{eq}$ ,  $D_y$ ,  $D_{out}$ ,  $D_{in}$ ,  $D_{tot}$ ,  $H_{ex}$ ,  $H_{in}$ ,  $I_y$ , and  $\text{ELCR}$  radiation hazard quantities are 47.72(Bq/kg), 56.70(mGy/y), 0.07 (mGy/y), 0/14(mGy/y), 0.14(mGy/y), 0.073, 0.099, 0.11 and 0.49 respectively. According to the results the  $D_y$  and  $D_{out}$  radiation hazards are more than the

permissible limit and the rest of the radiation hazard parameters are less than the permissible limit. Finally, the distribution of natural radioactive elements and radiation hazards in different parts of the university was drowned that result shows that except for  $D_{\gamma}$  and  $D_{out}$ , the other radiation hazard parameters in the administrative buildings and dormitories of the Park Science and Technology are less than the permissible limit. Therefore, the annual presence of staff, students, and professors in Park Science and Technology are allowed.

**Keywords:** Specific Activity, Radiation Hazards, Soil, Radioactive Elements, Park Science and Technology of Kerman Province

## ۱. مقدمه

حضور کارکنان، اساتید و دانشجویان در پارک به‌منظور پیشبرد دانش بشری و رسیدن به امنیت، آسایش، رفاه و ثروت عمومی از اهداف عامه هر نظام آموزشی می‌باشد. بنابراین به علت حضور مداوم افراد می‌بایست میزان مخاطرات تابشی ناشی از عناصر رادیواکتیو موجود در خاک در محیط پارک بررسی شود. عناصر رادیواکتیو  $^{238}\text{U}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  از عناصر رادیواکتیو مهم در خاک به شمار می‌روند [۱]. روش‌های مختلفی برای بررسی اندازه‌گیری فعالیت ویژه این عناصر وجود دارد [۲]. یکی از این روش‌ها استفاده از آشکارسازهای سوزن  $\text{CsI(Tl)}$  می‌باشد که تاکنون گزارش‌های متعددی در زمینه استفاده از آن‌ها به این منظور گزارش شده است [۳ و ۴]. معمولاً بعد از محاسبه فعالیت ویژه عناصر از معادلات مخاطرات تابشی جهت محاسبه میزان مخاطرات تابشی استفاده می‌شود [۵-۳]. گزارش‌های متعددی از اندازه‌گیری نقشه عناصر رادیواکتیو در شهرهای مختلف جهان گزارش شده است [۸-۶]. همچنین امکان تهیه نقشه عناصر رادیواکتیو در اکثر مناطق مهم علم‌آموزی، تحقیقاتی، رفاهی و... نیز وجود دارد [۹، ۱۰]. در این تحقیق سعی شده است که ابتدا میزان عناصر رادیواکتیو موجود در خاک محیط پارک اندازه‌گیری شود و سپس از معادلات مخاطرات تابشی، میزان مجاز حضور کارکنان، اساتید، دانشجویان در پارک بررسی گردد. چگونگی انجام این فرایند در ادامه توضیح داده می‌شود.

## ۲. روش کار

ابتدا با استفاده از Google Maps نقشه پارک علم و فناوری کرمان استخراج شد، که در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمایی از سطح پارک

در شکل ۱ محل قرارگیری ساختمان‌های مختلف پارک علم و فناوری کرمان نشان داده شده است. با توجه به نقاط مشخص شده روی نقشه پارک در شکل ۱ تعداد ۱۵ نمونه خاک گردآوری و در بسته‌های ۵۰۰ گرمی شماره‌گذاری شد. طیف گاماها‌ی نمونه‌های تهیه شده در آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای دانشگاه با دستگاه  $\text{CsI(Tl)}$  اندازه‌گیری شد. علت

اینکه خروجی دستگاه CsI(Tl) به صورت شماره کانال می‌باشد جهت محاسبات فعالیت بایستی به MeV تبدیل شود. بدین منظور این آشکارساز کالیبره شده است.

## ۱.۲. کالیبره کردن دستگاه CsI(Tl) برای اندازه‌گیری عناصر رادیواکتیو در خاک:

از سه چشمه  $^{60}\text{Co}$ ،  $^{65}\text{Zn}$ ،  $^{137}\text{Cs}$  جهت کالیبراسیون دستگاه CsI(Tl) استفاده شده است. چشمه  $^{60}\text{Co}$  دارای ۵ انرژی ۰.۸۵، ۰.۲۲، ۰.۰۶، ۰.۱۷، ۱.۱۷، ۱.۳۳، ۱.۱۲ که به ترتیب مربوط به کانال‌های ۲۲۸، ۱۴۲، ۱۱۸، ۴۲، ۱۷ می‌باشد. همچنین چشمه  $^{65}\text{Zn}$  دارای یک قله در انرژی ۱،۱۲ و چشمه  $^{137}\text{Cs}$  دارای یک قله در انرژی ۰،۶۶ هست. با قرار دادن سه چشمه فوق به صورت مجزا شماره کانال‌های مربوط به هر قله مشخص شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: انرژی کانال‌های مختلف چشمه‌های رادیواکتیو  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{65}\text{Zn}$ ،  $^{60}\text{Co}$

| channel | ۱۷               | ۴۲               | ۱۱۸               | ۱۴۲              | ۱۶۷              | ۲۰۰              | ۲۲۸              |
|---------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| energy  | ۰،۰۶             | ۰،۲۲             | ۰،۶۶              | ۰،۸۵             | ۱،۱۲             | ۱،۱۷             | ۱،۳۳             |
| source  | $^{60}\text{Co}$ | $^{60}\text{Co}$ | $^{137}\text{Cs}$ | $^{60}\text{Co}$ | $^{65}\text{Zn}$ | $^{60}\text{Co}$ | $^{60}\text{Co}$ |

با استفاده از نرم‌افزار Origin معادله کالیبراسیون دستگاه CsI(Tl) با توجه به داده‌های جدول یک استخراج شد که به صورت معادله ۱ می‌باشد.

$$E \text{ (MeV)} = -0.14446 + 0.0097 \times \text{Ch} - 1.80191\text{E-}5 \times \text{Ch}^2 + 1.1519\text{E-}8 \times \text{Ch}^3 \quad (1)$$

در این معادله Ch شماره‌ی کانال و E انرژی مربوط به هر کانال برحسب MeV است.

## ۲.۲. محاسبات فعالیت عناصر موجود در خاک:

با استفاده از دستگاه CsI(Tl) طیف گامای ناشی از خاک به دست می‌آید. با توجه به این طیف در کانال‌هایی که مربوط به قله‌های عناصر  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{235}\text{U}$ ،  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  است، می‌توان فعالیت این عناصر را با استفاده از معادله ۲ به دست آورد.

$$As = \frac{N}{\varepsilon \times I \times M \times T \times 0.5} \quad (2)$$

در این معادله N مقدار شمارش در انرژی مربوطه،  $\varepsilon$  بازده آشکارساز، I شدت گسیل گاما، m جرم نمونه خاک (۵۰۰ گرم)، t زمان اندازه‌گیری (۹۰۰ s) هست. دو پارامتر I و  $\varepsilon$  از پارامترهای مهم جهت محاسبات فعالیت ویژه‌اند که مقادیر آنها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: انرژی گامای مشخصه چشمه‌های رادیواکتیو  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{65}\text{Zn}$ ،  $^{60}\text{Co}$  همراه با شدت گسیل گاما و بازده آشکارساز [11-12]

| Element           | E(KeV) | $I_\gamma$ | $\varepsilon$ |
|-------------------|--------|------------|---------------|
| $^{232}\text{U}$  | ۶۰۹،۳۲ | ۴۴،۶۰      | ۰،۲۷۹         |
| $^{232}\text{Th}$ | ۹۱۱،۱۶ | ۲۶،۶۰      | ۰،۱۷۱         |
| $^{40}\text{K}$   | ۱۴۶۰   | ۱۰،۶۷      | ۰،۰۷          |
| $^{137}\text{Cs}$ | ۶۶۱،۶۱ | ۸۷،۵۰      | ۰،۲۵          |

## ۳. معادلات مخاطرات تابش

### ۳-۱ فعالیت معادل رادیوم

فعالیت معادل رادیوم،  $R_{aeq}$ ، برحسب  $Bq \cdot kg^{-1}$ ، برای ارزیابی خطرات تابش برای سلامتی ناشی از غلظت فعالیت  $U$   $^{238}Th$ ،  $^{232}Th$  و  $^{40}K$  موجود در خاک استفاده می‌شود. مقادیر  $R_{aeq}$  با استفاده از معادله ۳ به دست می‌آید.

$$R_{aeq} = A_U + 1.43 \times A_{Th} + 0.077 \times A_K \quad (3)$$

### ۳-۲ میزان دز جذبی در هوا

اثرات تشعشعات گاما که از منابع رادیواکتیو در محیط نشأت می‌گیرند، به‌طور کلی با توجه به میزان کل دز جذب شده اشعه گاما در هوا  $D_\gamma$  بیان می‌شود. مقادیر  $D_\gamma$  در هوا ۱ متر بالاتر از سطح زمین از طریق غلظت فعالیت اندازه‌گیری شده  $^{238}U$ ،  $^{232}Th$ ،  $^{137}Cs$  و  $^{40}K$  تابش زمینه کیهانی رادیونوکلیدها با استفاده از فرمول نیمه تجربی ۴ محاسبه می‌شود.

$$D_\gamma (nSv/h) = 0.427 \times A_U + 0.662 \times 0.043 \times A_K + 0.03 \times A_C + 34 \quad (4)$$

### ۳-۳ دز معادل مؤثر سالانه

دز معادل مؤثر سالانه (AEDE) دریافت شده توسط افراد با استفاده از ضریب تبدیل نرخ دز  $0.7 Sv \cdot Gy^{-1}$  و فاکتورهای اشغال داخلی و خارجی به ترتیب ۰.۲ و ۰.۸ از مقادیر محاسبه شده  $D_\gamma$  محاسبه می‌شود [۱۳، ۱۴]. دز مؤثر سالانه خارجی ( $D_{out}$ )، دزهای داخلی سالانه مؤثر ( $D_{in}$ ) و کل دزهای مؤثر سالانه ( $D_{tot}$ ) توسط معادلات زیر محاسبه می‌شوند؛

$$D_{out} (mSv \cdot y^{-1}) = D_r (mGy/h) \times 24h \times 365.25d \times 0.2 \times 0.7 Sv/Gy \times 10^{-6} \quad (5)$$

$$D_{in} (mSv \cdot y^{-1}) = D_r (mGy/h) \times 24h \times 365.25d \times 1.4 \times 0.8 \times 0.7 Sv/Gy \times 10^{-6} \quad (6)$$

$$D_{tot} (mSv \cdot y^{-1}) = D_{tot} + D_{in} \quad (7)$$

### ۴-۳ شاخص‌های خطر تشعشع خارجی

شاخص‌های خطر تشعشع خارجی و داخلی به ترتیب با استفاده از معادلات زیر به دست می‌آید.

$$H_{ex} (Bq/kg) = A_U/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (8)$$

$$H_{in} (Bq/kg) = A_U/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (9)$$

شاخص خطر تشعشع خارجی،  $H_{ex}$ ، مربوط به رادیونوکلیدهای طبیعی  $^{238}U$ ،  $^{232}Th$  و  $^{40}K$  و در حالت کم خطر باید کمتر یا برابر با واحد باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده  $H_{in}$  نیز در حالت کم خطر باید کمتر از یا برابر با واحد باشد، که نشان‌دهنده سطح پایین غلظت رادون و دختران آن برای اندام‌های تنفسی انسان‌های ساکن در خانه‌ها کمتر از  $40 Bq/m^3$  می‌باشد.

### ۳-۵ شاخص سطح رادیو فعالیت

شاخص سطح تابش،  $I_\gamma$ ، به‌طور کلی برای ارزیابی سطح خطر رادیونوکلیدها در بدن انسان هنگامی که در معرض مقدار دز مؤثر سالانه خارجی (داخلی یا خارجی) ناشی از پرتوهای گامای نوکلیدهای رادیواکتیو در طبیعت قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. مقادیر  $I_\gamma$  را می‌توان طبق فرمول نیمه تجربی پایین محاسبه کرد.

$$I_\gamma (Bq/kg) = A_U/150 + A_{Th}/100 + A_K/1500 \quad (10)$$

### ۳-۶ حد خطر ابتلا به سرطان

خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی با کمیت حد خطر ابتلا به سرطان (ELCR) و با استفاده از معادله پایین محاسبه می‌شود.

$$ELCR = D_{tot} \times D_L \times D_F \quad (11)$$

در معادله بالا  $D_L$  طول عمر (تقریباً ۷۰ سال) است و  $D_F$  عامل خطر ( $Sv^{-1}$ ) که طبق گزارش ICRP60 در حد ۰,۰۵ می‌باشد.

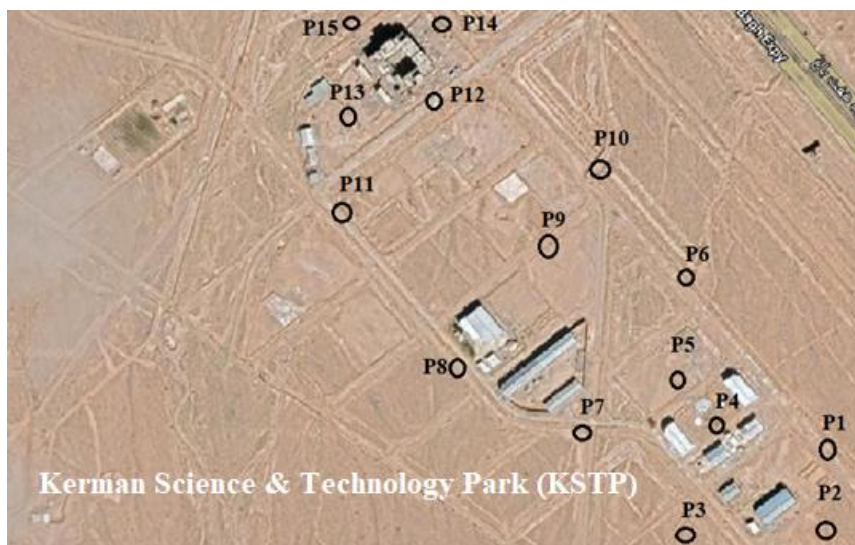
#### ۴. معادلات مخاطرات تابش

۴-۱ نتایج مربوط به فعالیت ویژه در سطح پارک

ابتدا فعالیت‌های ویژه‌ی هر یک از عناصر  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{137}Cs$  و  $^{40}K$  در سطح پارک محاسبه شده است که توزیع متوسط مجموع فعالیت این عناصر در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳. داده‌های فعالیت عناصر  $^{238}U$ ,  $^{40}K$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{232}Th$  در مکان‌های مختلف در سطح پارک

| مکان         | مشخصات پیکسل هر مکان |         | عناصر رادیواکتیو |           |            |          | مجموع فعالیت |
|--------------|----------------------|---------|------------------|-----------|------------|----------|--------------|
|              | PX                   | PY      | $^{232}Th$       | $^{238}U$ | $^{137}Cs$ | $^{40}K$ |              |
| P1           | 534.00               | -286.00 | 3.93             | 10.21     | 2.03       | 50.91    | 67.09        |
| P2           | 534.00               | -339.00 | 11.79            | 8.17      | 2.84       | 9.26     | 32.06        |
| P3           | 442.00               | -341.00 | 5.90             | 8.51      | 2.23       | 32.40    | 49.04        |
| P4           | 462.00               | -270.00 | 57.99            | 5.11      | 7.72       | 319.34   | 390.16       |
| P5           | 437.00               | -241.00 | 64.87            | 12.25     | 14.63      | 365.63   | 457.38       |
| P6           | 443.00               | -174.00 | 10.81            | 14.30     | 10.16      | 37.03    | 72.29        |
| P7           | 375.00               | -275.00 | 8.85             | 10.89     | 5.89       | 37.03    | 62.66        |
| P8           | 294.00               | -233.00 | 10.81            | 0.34      | 3.25       | 37.03    | 51.43        |
| P9           | 353.00               | -153.00 | 50.13            | 5.79      | 14.43      | 319.34   | 389.68       |
| P10          | 386.00               | -103.00 | 4.91             | 15.32     | 4.27       | 13.88    | 38.38        |
| P11          | 218.00               | -132.00 | 59.95            | 1.70      | 10.57      | 268.43   | 340.66       |
| P12          | 278.00               | -60.00  | 1.97             | 19.74     | 4.27       | 9.26     | 35.23        |
| P13          | 223.00               | -70.00  | 11.79            | 5.45      | 1.83       | 18.51    | 37.58        |
| P14          | 283.00               | -9.00   | 3.93             | 5.79      | 5.69       | 23.14    | 38.55        |
| P15          | 224.00               | -9.00   | 5.90             | 23.15     | 5.28       | 27.77    | 62.10        |
| متوسط فعالیت |                      |         | 20.90            | 9.78      | 6.34       | 104.60   | 141.62       |



شکل ۲. مکان‌های اندازه‌گیری فعالیت عناصر  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{137}Cs$  و  $^{40}K$  در سطح پارک



## ۴-۲ نتیجه‌گیری

در این تحقیق توزیع مکانی فعالیت عناصر رادیواکتیو  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  در سطح پارک علم و فناوری با استفاده از آشکارساز  $\text{CsI(Tl)}$  به دست آمده است. جدول ۳ مقدار متوسط فعالیت عناصر  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  موجود در سطح پارک را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقدار متوسط فعالیت عناصر  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{40}\text{K}$  موجود در سطح پارک

| Element           | Th    | U    | Cs   | K      | TOTAL  | $A_U/A_K$ | $A_{Th}/A_K$ | $A_U/A_{Th}$ |
|-------------------|-------|------|------|--------|--------|-----------|--------------|--------------|
| activity          | ۲۰,۹۱ | ۹,۷۸ | ۶,۳۴ | ۱۰۴,۶۰ | ۱۴۱,۶۲ | ۰,۰۶      | ۰,۱۹         | ۰,۴۶         |
| permissible level | ۱۱۱   | ۷۸   | ۰,۴  | ۱۱۰۹   | ۱۱۹۳   | ۰,۰۷      | ۰,۰۱         | ۰,۷۰         |

[۱۵,۱۶]

با توجه به نتایج جدول ۳ نسبت اکتیویته اورانیوم به پتاسیم و نسبت فعالیت توریوم به پتاسیم و نسبت فعالیت اورانیوم به توریوم به دست آمده است که نسبت فعالیت توریوم به پتاسیم بیشتر از حد مجاز [۱۵,۱۶] است. همچنین میزان فعالیت عنصر  $^{137}\text{Cs}$  بیشتر از حد مجاز گزارش شده است. همچنین با استفاده از معادلات مخاطرات تابشی میزان مخاطرات تابشی به دست آمده است. جدول ۴ میزان متوسط کمیت‌های مخاطرات تابشی را در سطح پارک نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که غیر از  $D_\gamma$  بقیه مخاطرات تابشی در سطح پارک کمتر از حد مجاز است.

جدول ۴. مقدار متوسط مخاطرات تابشی در سطح پارک

| Hazard                | $R_{\text{req}}$ | $D_\gamma$ | $D_{\text{out}}$ | $D_{\text{in}}$ | $D_{\text{tot}}$ | $H_{\text{ex}}$ | $H_{\text{in}}$ | $I_\gamma$ | ELCR |
|-----------------------|------------------|------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------|------|
| world-average [۱۷-۱۸] | ۳۴۷,۷            | ۵۶,۷۰      | ۰,۰۷             | ۰,۰۷            | ۰,۱۴             | ۰,۰۷۳           | ۰,۰۹۹           | ۰,۱۱       | ۰,۴۹ |
|                       | ۳۷۰              | ۵۵         | ۰,۰۸             | ۰,۴۲            | ۰,۵              | ۱               | ۱               | ۲,۵۲       | ۱,۷۸ |

بنابراین حضور دانشجویان اساتید و همکاران در پارک هیچ‌گونه مخاطرات تابشی به علت وجود عناصر  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  در خاک پارک ایجاد نمی‌کند. دز جذبی در ارتفاع یک متری در هوا برابر میانگین جهانی که بین ۵۵ و ۵۶  $\text{mGy/h}$  است [۱۸] قرار دارد. بنابراین با توجه به خطای اندازه‌گیری نمی‌توان گفت که بالاتر از حد مجاز است.

## ۵. مراجع

- [1] Ahmed RS. The concentration of radioactive materials in Iraqi soils, water and plants: A review. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2022 Mar 1;15(1):245-56.
- [2] Kahraman G, Aslan N, Şahin M, Yüksek S. Radioactivity measurement method for environmental monitoring gross alpha/beta activities in drinking water in Turkey. *Acta Chimica Slovenica*. 2015 Jul 17;62(3):595-604.
- [3] Xu J, Liu J, Chen X. A well typed phoswich detector consisting of CsI and plastic scintillators for low level radioactivity measurements. *Applied Radiation and Isotopes*. 2021 Mar 1;169:109462.
- [4] Khezripour S, Zarei N, Rezaie MR. Estimation of granite radiation hazards of Deh Siahian village in Rafsanjan city. *Journal of Instrumentation*. 2022 Aug 26;17(08):T08011.
- [5] Merdanoğlu B, Altınsoy N. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from Kestanbol granite area, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. 2006 Dec 1;121(4):399-405.
- [6] El Samad O, Baydoun R, Abdallah M. Radioactive map of soil at Mount Lebanon province and external dose assessment. *Environmental earth sciences*. 2018 Feb;77(4):1-2.

- [7] Lis J, Pasiieczna A, Strzelecki R, Wołkowicz S, Lewandowski P. Geochemical and radioactivity mapping in Poland. *Journal of Geochemical Exploration*. 1997 Nov 1;60(1):39-53.
- [8] Bölviken B, Haabrekke H, Lindahl I. Mapping of the natural distribution of radioactive elements in Norway. In *Health problems in connection with radiation from radioactive matter in fertilizers, soils and rocks* 1988.
- [9] Aboud E, Alqahtani F, Osman Aboelnaga H. Radiation map for King Abdulaziz University campus and surrounding areas. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2019 Jan 2;12(1):260-8.
- [10] Yousuf RM, Ahmed AH, Ahmed SW. A simplified map of natural radioactivity for Mosul city. *kirkuk university journal for scientific studies*. 2016;11(4).
- [11] Maphoto KP. Determination of natural radioactivity concentrations in soil: a comparative study of windows and full spectrum analysis (Doctoral dissertation, University of the Western Cape).
- [12] Ridha AA, IMAN T. Determination of radionuclides concentrations in construction materials used in Iraq. *Mustansiriya University*. 2013 Jan.
- [13] A. El-Shershaby, S. El-Bahi, N.W. El-Dine and K. Dabayneh, Assessment of natural and man-made radioactivity levels of the plant leaves samples as bio-indicators of pollution in Hebron District-Palestine, *Arab J. Nucl. Sci. Appl.* 39 (2006) 231.
- [14] I. Fatima, J.H. Zaidi, M. Arif, M. Daud, S.A. Ahmad and S.N.A. Tahir, Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of Southern Punjab, Pakistan, *Radiat. Protect. Dosim.* 128 (2007) 206.
- [15] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex B. Exposures from natural radiation sources. New york, United Nation. 2000;9:11.
- [16] Khezripour S, Zarei N, Rezaie MR. Estimation of granite radiation hazards of Deh Siah village in Rafsanjan city. *Journal of Instrumentation*. 2022 Aug 26;17(08):T08011.
- [17] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex B. Exposures from natural radiation sources. New york, United Nation. 2000;9:11.
- [18] Pourimani R, Bajelan M, Mohebian M. Assignment of a radiological map of the city of Borujerd in Iran. *Radiation Physics and Engineering*. 2022 Dec 27.