

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۰ (۵۶-۴۷)

بررسی پرتوزایی محیطی در نمونه‌های رسوب، آب و گیاه نی در محل ورودی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اراک به تالاب بین‌المللی میقان

رضا پورایمانی^{*۱}

r-pourimani@araku.ac.ir

رامین فرداد^۲

محمود میرزایی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۴

چکیده

زمینه و هدف هسته‌های پرتوزا به صورت طبیعی و مصنوعی در آب، خاک، گیاهان و هوا وجود دارند. امروزه آلاینده‌های صنعتی و شهری نیز در بالا بردن سطح آن موثر هستند. در این پژوهش تاثیر آب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب اراک در ناحیه ورودی به تالاب میقان بر پرتوزایی محیطی این ناحیه مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: در این پژوهش ۱۰ نمونه رسوب، ۱۰ نمونه آب و ۱۰ نمونه گیاه نی از محل ورودی آب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب اراک به تالاب میقان، تهیه گردید. فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا با استفاده از روش بیناب‌نگاری گاما و با استفاده از آشکارساز فوق‌خالص ژرمانیومی (HPGe) تعیین شد و نقشه توزیع هسته‌های پرتوزا در این ناحیه برای نمونه‌های رسوب و آب رسم گردید.

یافته‌ها: مقادیر میانگین فعالیت ویژه هسته‌های ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌های رسوب به ترتیب ۲۲/۸۶، ۲۷/۲۶، ۴۰۹/۰۴ و ۶/۳۴، در نمونه آب به ترتیب ۲/۵۷، ۳/۰۴، ۲۳/۷ و ۰/۳۷ و در نمونه‌های نی نیز به ترتیب ۸/۸، ۹/۵۹، ۴۵/۶۶ و ۲/۲۶ برحسب Bqkg^{-1} به‌دست آمد. مقدار فعالیت رادیوم معادل در نمونه رسوب در محدوده ۸۴/۱۴ تا ۱۰۴/۵۵ تغییر می‌کند.

بحث و نتیجه گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد رسوبات این ناحیه آلوده به ^{137}Cs است که نمایانگر انتقال غبار ناشی از سوانح هسته‌ای از خارج از مرزهای کشور می‌باشد. مقدار میانگین Ra_{eq} در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه $93/34 \text{Bqkg}^{-1}$ به دست آمده است که از مقدار میانگین جهانی ($139/7 \text{Bqkg}^{-1}$) کم‌تر است. به نظر می‌رسد که آلاینده‌ها در حوضچه‌های آرامش حذف می‌گردند و مواد پرتوزای کمی وارد تالاب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرتوزایی محیطی، آشکارساز HPGe، رادیوم معادل، تالاب میقان.

۱- دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران. * (مسوول مکاتبات)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای، گروه فیزیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
۳- دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

Assessment of Environmental Radioactivity in Sediments, Water and Reed Samples at the Inlet of Wastewater Treatment Plant to Arak Meyghan Wetland

Reza Pourimani^{1*}

rpourimani@araku.ac.ir

Ramin Fardad²

Mahmoud Mirzaei³

Admission Date: June 10, 2019

Date Received: December 15, 2018

Abstract

Background and Objective: Radionuclides are naturally occurring in water, soil, plants and air, and today, industrial and urban pollutants are also effective in increasing its level. As part of this research, the impact of Arak wastewater treatment plant production on environmental radiation in the Meyghan wetland entrance area was examined.

Material and Methodology: In this study, 10 sediment samples, 10 water samples and 10 reed samples from the water input zone from the Arak wastewater treatment plant to Meyghan wetlands were collected. The specific activities of radionuclides were determined using gamma ray spectrometry method employing high purity germanium detector (HPGe) and maps of the distribution of radionuclides in this area were prepared for sediment and water samples.

Findings: The average values of specific activity of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs in sediment samples were 22.86, 27.26, 409.04 and 6.34, and in water samples 2.67, 3.04, 23.7 and 0.37 as well as in reed samples 8.8, 9.59, 45.66 and 2.26 in Bqkg⁻¹, respectively. The amount of radium equivalent activity in sediment samples ranges from 84.14 to 104.55, with an average of 93.34 in Bqkg⁻¹.

Discussion and Conclusion: The average Ra_{eq} value in the sediment samples obtained as 93.34 Bqkg⁻¹, which is less than the global average (139.7 Bqkg⁻¹). It seems that the pollutants are removed from the water taken in calm ponds and the treatment section by active sludge, and the water entering the wetlands contains a small amount of radioactive contaminants.

Keywords: Environmental Radioactivity, HPGe Detector, Radium Equivalent, Meyghan Wetland.

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

2- M.Sc., Nuclear Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

3- Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

مقدمه

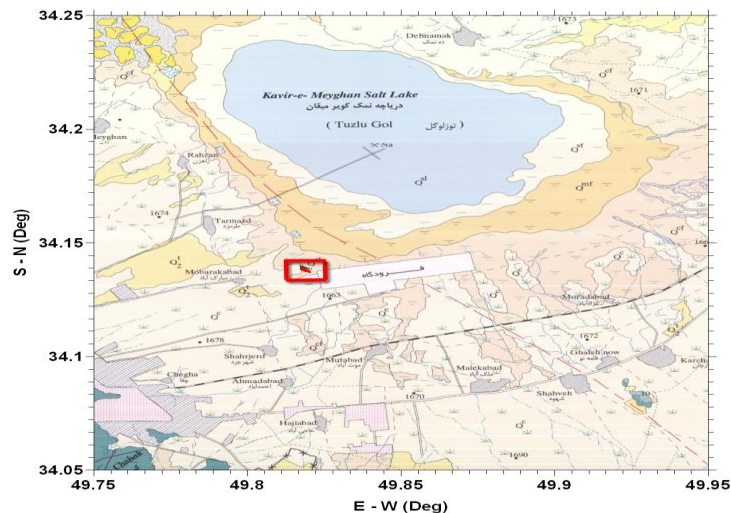
تابش‌های یون‌ساز، جزء جدایی‌ناپذیر طبیعت به حساب می‌آیند. اکثر این پرتوها ناشی از پرتوزایی طبیعی و مصنوعی حاصل از فرایندهای بشری می‌باشند. هسته‌های پرتوزای طبیعی موجود در پوسته زمین شامل سری‌های واپاشان ^{235}U ، ^{232}Th و ^{238}U و دختران پرتوزای آن‌ها و ویژه‌هسته‌های پرتوزای منفرد مانند ^{40}K هستند (۱). این ویژه‌هسته‌ها از ابتدای شکل‌گیری کره زمین وجود داشته و بسته به نوع خاک، سنگ و یا منطقه جغرافیایی، مقادیر متفاوتی از خود نشان می‌دهند (۲). در حالت طبیعی مقدار میانگین اورانیوم در پوسته زمین 1mgkg^{-1} تا 7mgkg^{-1} تخمین زده شده است (۳). در مورد توریم مقدار میانگین برآورد شده 1mgkg^{-1} می‌باشد (۴). مقدار پتاسیم به عنوان هشتمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین $2/8\%$ مواد تشکیل دهنده اندازه‌گیری شده است (۵). تابش‌های هسته‌های گسیل شده از این عناصر از جمله گاز پرتوزای رادن و فوتون-های گاما برای بافت‌های بدن مضر می‌باشند و ممکن است باعث بیماری‌هایی نظیر سرطان و یا ناهنجاری‌های ژنتیکی گردند (۶). امروزه به دلیل استفاده مردم از رادیوداروها، آلودگی ناشی از رخدادهای هسته‌ای در کشورهای دیگر و همچنین آلاینده‌های صنعتی نظیر استفاده از سوخت‌های فسیلی در کارخانه‌ها و تاسیسات شهری، استفاده از کودهای فسفاته در اراضی کشاورزی سطح پرتوزایی بعضی از مناطق تغییر می‌کند. قسمتی از این مواد به همراه آلاینده‌های صنعتی از طریق

دودکش‌ها، فاضلاب و یا روان‌آبها جابه‌جا می‌شوند. در شهر اراک فاضلاب مناطق مسکونی به همراه نزولات آسمانی جمع-آوری و به تالاب میقان در ضلع شمالی شهر هدایت می‌گردد. میزان فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه بین $0/8$ تا 2 مترمکعب برثانیه متغیر است. قسمتی از این فاضلاب با استفاده از روش لجن‌فعال و قسمتی دیگر از طریق حوضچه‌های آرامش تصفیه شده و وارد تالاب میقان می‌گردد. آب خروجی از این تصفیه‌خانه ممکن است بعدها به عنوان آب مصرفی در صنعت، فضای سبز شهری و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد لذا با اندازه‌گیری سطح پرتوزایی ناحیه ورودی به تالاب می‌توان اطلاعاتی در مورد تاثیرات آن کسب کرد. در این پژوهش مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌های خاک، آب و نی‌های روییده شده در محل ورودی آب تصفیه شده به تالاب میقان، اندازه‌گیری شده است.

روش انجام تحقیق

معرفی منطقه تحت بررسی

محل نمونه‌برداری در تالاب میقان واقع در استان مرکزی و 15 کیلومتری شمال شرق اراک در مختصات طول و عرض جغرافیایی $49/826119$ درجه شرقی و $34/142065$ درجه شمالی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه واقع در تالاب میقان

Figure1. Geographical map of studied region in Meyghan wetland

نمونه برداری و نمونه سازی

مشخصات نمونه‌ها شامل کد محل نمونه برداری همراه با مختصات جغرافیایی آن درج شده است.

بیناب‌نگاری نمونه‌ها و ارائه نتایج

طیف نمونه‌ها با استفاده از آشکارساز فوق‌خالص ژرمانیومی (HPGe) هم‌محور نوع P مدل GCD-BSI (Baltic Scientific ساخت شرکت Instrument LTD (005- Latvia)) با قدرت تفکیک انرژی $1/95 \text{ keV}$ برای خط گامای $1332/52 \text{ keV}$ مربوط به ^{60}Co ثبت شد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی طیف‌سنجی گاما با استفاده از چشمه استاندارد مخلوط حاوی رادیونوکلوئیدهای ^{241}Am ، ^{152}Eu و ^{137}Cs و مواد مرجع RGK، RGU و RGTh با فعالیت مشخص انجام و کنترل کیفی در سطح ۰/۰۵ انجام گرفت.

در این تحقیق ۱۰ نمونه رسوب از قسمت‌های مختلف ناحیه ریزش آب خروجی تصفیه‌خانه به تالاب در مساحت حدود ۵۰۰۰ متر مربع از کف تا عمق ۵ سانتی‌متری به روش نمونه برداری تصادفی، ۱۰ نمونه آب سطحی ورودی و ۱۰ نمونه ساقه و برگ نی روییده شده در همان ناحیه برداشت شد. نمونه‌های رسوب 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 مش شماره ۴۰ عبور داده شدند و نمونه‌های گیاهی با آسیاب گیاهی آسیاب گردیدند (۷). به منظور برطرف کردن رطوبت احتمالی، پودرهای آماده شده در کوره با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خشک شدند. نمونه‌های آب و نی در ظروف استاندارد مارینلی بیکر^۱ به ترتیب با وزن خالص ۸۰۰ گرم و ۳۳۰ گرم و نمونه‌های رسوب در ظروف استاندارد نگین^۲ با وزن خالص ۳۰۰ گرم بسته‌بندی و به منظور برقراری تعادل بین هسته‌های ^{226}Ra و ^{222}Rn و ممانعت از خروج گاز رادن کاملاً آب‌بندی شدند. بعد از گذشت مدت ۶۰ روز، از هر نمونه به مدت یک شبانه روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف‌گیری به عمل آمد (۸). در جدول ۱

1- Marinelli Beaker
2- Negin

جدول ۱- کد و مختصات جغرافیایی نمونه‌های خاک جمع آوری شده از تالاب میغان

Table 1. Geographical Coordinate and code of collected samples of meyghan wetland

عرض جغرافیایی E	طول جغرافیایی N	کد نمونه رسوب با پسوند S کد نمونه آب با پسوند W کد نمونه نی با پسوند R	ردیف
۳۴/۱۳۸۵۵	۴۹/۸۱۷۶۵	IrMS1, IrMW1, IrMR1	۱
۳۴/۱۳۸۶۰	۴۹/۸۱۷۶۹	IrMS2, IrMW2, IrMR2	۲
۳۴/۱۳۸۲۹	۴۹/۸۱۷۸۷	IrMS3, IrMW3, IrMR3	۳
۳۴/۱۳۸۱۹	۴۹/۸۱۷۹۹	IrMS4, IrMW4, IrMR4	۴
۳۴/۱۳۸۰۴	۴۹/۸۱۸۴۴	IrMS5, IrMW5, IrMR5	۵
۳۴/۱۳۷۸۷	۴۹/۸۱۸۷۴	IrMS6, IrMW6, IrMW6	۶
۳۴/۱۳۷۷۱	۴۹/۸۱۸۹۸	IrMS7, IrMW7, IrMR7	۷
۳۴/۱۳۷۶۲	۴۹/۸۱۹۳۶	IrMS8, IrMW8, IrMR8	۸
۳۴/۱۳۷۶۳	۴۹/۸۱۹۶۵	IrMS9, IrMW9, IrMR9	۹
۳۴/۱۳۷۲۹	۴۹/۸۲۰۲۱	IrMS10, IrMW10, IrMR10	۱۰

اندازه‌گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های مورد مطالعه

مقادیر فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا با استفاده از تجزیه و تحلیل طیف‌های گاما به کمک نرم‌افزار GammaVision32 Ortec Software محاسبه گردید. در تجزیه و تحلیل تمامی بیناب‌ها، برای تصحیح مربوط به تابش‌های زمینه، بیناب ظرف خالی مارینلی، در شرایط هندسی و زمان یکسان اندازه‌گیری، و از بیناب نمونه‌ها کسر گردیده است. برای محاسبه فعالیت ویژه از معادله ۲ استفاده شد:

(۲)

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

در این رابطه، Act فعالیت نمونه برحسب $Bq \cdot kg^{-1}$ ، Net Area سطح زیر پیک تمام انرژی متناظر با انرژی خاص، ϵ بازدهی آشکارساز در آن انرژی، B.R. نسبت انشعابی برحسب

برای کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ cm با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ mm قرار داده شده که پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون‌های کم انرژی و الکترون‌ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی تقلیل یابند (۹). تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی تحت شرایط یکسان صورت گرفت. بر مبنای طیف‌های ثبت شده فعالیت ویژه هسته‌های ^{226}Ra ، ^{137}Cs و ^{40}K ، ^{232}Th در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۸).

$$\epsilon(\%) = \frac{N_i}{Act \times P_n(E_i) \times T} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه N_i شمارش خالص زیر قله فوتوپیک متناظر با انرژی E_i ، Act فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در ظرف استاندارد برحسب Bq، $P_n(E_i)$ احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی برحسب درصد و T زمان طیف‌گیری از نمونه برحسب ثانیه است (۸).

برحسب $Bqkg^{-1}$ به دست آمد. مقدار متوسط جهانی ارایه شده برای ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K در خاک توسط UNSCAER به ترتیب برابر ۳۰، ۳۵ و ۴۰۰ برحسب $Bqkg^{-1}$ است (۶). مقدار کمیت Ra_{eq} برای نمونه رسوب از ۸۴/۱۴ تا ۱۰۴/۵۵ با میانگین ۹۳/۳۴ و برای نمونه آبی از ۳/۶۲ تا ۱۳/۵۳ با میانگین ۸/۷۳ و برای نمونه نی از ۷/۴۲ تا ۳۸/۶۳ با میانگین ۲۶/۰۳ بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. مقدار میانگین ویژه فعالیت ^{137}Cs در نمونه‌های رسوب ۶/۳۴ برحسب $Bqkg^{-1}$ به دست آمده است. لذا نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رسوبات این منطقه آلوده به سزیوم پرتوزا می‌باشد و آلودگی آن در سطح آلودگی خاک‌های استان مرکزی است (۱۰). به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در این پژوهش، در جدول (۳) نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در خاک برخی کشورها درج شده است (۱۱-۱۷). که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پرتوزایی رسوبات در کشورهای مصر، فرانسه و یونان بیشتر و بقیه کشورهای یاد شده در سطح این پژوهش می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت آلودگی‌ها بیشتر در حوضچه‌های آرامش و تصفیه‌خانه ته‌نشین شده و مقدار کمی از آن وارد تالاب می‌گردد. میزان پرتوزایی ناحیه مورد مطالعه در سطح طبیعی می‌باشد و از این نظر خطری سلامتی افراد را تهدید نمی‌کند. میانگین پتاسیم در نمونه‌های آب زیاد است، بنابراین برای آبیاری فضای سبز و کشت درختان غیر مثمر از این نظر مفید می‌باشد. در شکل‌های ۲ تا ۴ نقشه توپوگرافی توزیع رادیوم، کمیت رادیوم معادل و سزیوم رسم شده است که نقطه S1 محل ورود آب به تالاب می‌باشد.

درصد، t زمان بینابنگاری از نمونه برحسب ثانیه و m جرم نمونه برحسب کیلوگرم می‌باشد (۸). برای اندازه‌گیری - فعالیت ویژه ^{226}Ra در نمونه‌ها، از پرتو گامای ^{214}Pb با انرژی $609.31keV$ و پرتو گامای ^{214}Bi با انرژی $2204.03keV$ استفاده شده است و برای تعیین ویژه فعالیت ^{232}Th از دو خط گامای ^{228}Ac ، یکی با انرژی $911.21keV$ و احتمال واپاشی 26.6% و دیگری با انرژی $968.97keV$ و احتمال واپاشی 17.4% استفاده شده است. همچنین فعالیت ویژه ^{40}K و ^{137}Cs با استفاده از خطوط گامای این هسته‌ها به ترتیب با انرژی $1460.70keV$ و $661.66keV$ تعیین شدند (۸).

فعالیت معادل رادیوم (Ra_{eq})

۹۸/۵٪ از اثرات رادیولوژیکی سری اورانیوم مربوط به ^{226}Ra و ویژه هسته‌های پرتوزای دختر آن می‌باشد، بنابراین برای تعیین سطح پرتوزایی محیط زیست و امکان مقایسه نمونه‌ها، کمیتی به نام فعالیت ویژه معادل رادیوم (Ra_{eq}) که بیانگر اثرات رادیولوژیکی ^{226}Ra و ^{232}Th و دختران آن‌ها و ^{40}K می‌باشد تعریف و طبق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (۶).

$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_k$	(۳)
--	-----

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا و فعالیت معادل رادیوم در رسوبات، آب و نی در جدول (۲) آمده است. در این جدول برای نمونه‌هایی که فعالیت هسته‌های پرتوزا کمتر از حد قابلیت تشخیص دستگاه می‌باشد با علامت $<$ و مقدار MDA^1 برای آن محاسبه و درج شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر فعالیت ویژه ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌های رسوب به ترتیب در محدوده ۱۴/۴۴ تا ۲۶/۵۸ با میانگین ۲۲/۸۶، در محدوده ۲۲/۷۸ تا ۳۴/۵۶ با میانگین ۲۷/۲۶ و ۳۶۰/۸۴ تا ۴۴۷/۷۹ با میانگین ۴۰۹/۰۴ به دست آمد. مقادیر میانگین فعالیت ویژه این عناصر در نمونه‌های آب به ترتیب ۲/۵۷، ۳/۰۴ و ۲۳/۷۰ و در نمونه‌های نی به ترتیب ۸/۸۰، ۹/۵۹ و ۴۵/۶۶

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های رسوب، آب و نی در ناحیه تالاب میقان

Table 2. Results of measurement of specific activities of radionuclides in sediment, water and reed samples in meyghan wetland region

فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزا و فعالیت معادل رادیوم بر حسب $Bqkg^{-1}$					کد نمونه‌ها
Ra_{eq}	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	
۸۸/۵۶±۶/۱۰	۰/۷۰±۰/۴۶	۴۳۹/۴۷±۱۱/۶۰	۲۲/۷۸±۲۲/۲۳	۲۲/۱۵±۲/۰۲	IrMS1
۸۸/۲۱±۵/۳۲	<۱/۵۱	۴۳۲/۵۳±۱۱/۴۲	۲۲/۷۹±۲/۱۰	۲۲/۳۲±۱/۵۰	IrMS2
۹۰/۵۷±۶/۲۹	<۱/۳۵	۳۸۲/۸۱±۱۰/۷۰	۲۴/۱۴±۲/۰۵	۲۶/۵۸±۲/۵۴	IrMS3
۱۰۱/۴۸±۵/۹۴	۶/۳۵±۰/۵۲	۴۱۱/۶۲±۱۱/۱۵	۳۲/۰۰±۱/۹۰	۲۴/۰۴±۲/۳۶	IrMS4
۱۰۰/۵۴±۶/۱۷	۸/۵۳±۰/۵۴	۴۱۷/۳۲±۱۱/۱۱	۳۰/۵۰±۱/۹۳	۲۴/۸۰±۲/۵۶	IrMS5
۱۰۱/۹۴±۷/۲۰	۵/۳۶±۰/۵۱	۳۸۳/۷۷±۱۰/۶۵	۳۳/۲۳±۲/۹۰	۲۴/۸۷±۲/۲۴	IrMS6
۸۸/۴۸±۶/۲۰	۹/۶۰±۰/۵۴	۳۹۴/۰۷±۱۰/۷۶	۲۳/۸۰±۲/۳۵	۲۴/۱۱±۲/۰۰	IrMS7
۸۴/۸۸±۴/۱۱	۸/۸۶±۰/۳۷	۴۴۷/۷۹±۱۰/۵۳	۲۵/۱۴±۱/۴۶	۱۴/۴۴±۱/۲۱	IrMS8
۱۰۴/۵۵±۵/۳۰	۸/۰۶±۰/۵۳	۴۲۰/۱۸±۱۱/۱۳	۳۴/۵۶±۱/۹۱	۲۲/۷۷±۱/۷۰	IrMS9
۸۴/۱۴±۳/۶۸	۱۳/۰۳±۰/۳۹	۳۶۰/۸۴±۸/۷۰	۲۳/۶۵±۱/۳۰	۲۲/۵۴±۱/۱۶	IrMS10
۹۳/۳۴±۵/۶۳	۶/۳۴±۰/۳۹	۴۰۹/۰۴±۱۰/۷۸	۲۷/۲۶±۳/۰۱	۲۲/۸۶±۱/۹۳	میانگین
۱۳/۵۳±۱/۴۰	<۰/۲۰	۲۱/۳۰±۲/۸۰	<۰/۹۱	۱۰/۶۰±۱/۱۶	IrMW1
<۸/۳۰	<۰/۵۳	<۱۱/۹۲	<۳/۸۳	<۱/۹۰	IrMW2
۶/۵۲±۰/۲۲	۰/۱۶±۰/۱۰	۳۰/۴۷±۲/۹۰	<۲/۱۰	<۱/۲۱	IrMW3
۱۲/۲۳±۰/۵۲	۰/۳۱±۰/۲۵	۵۰/۹۸±۶/۷۰	<۴/۳۵	<۲/۱۰	IrMW4
۸/۸۱±۰/۲۷	<۰/۸۱	۱۲/۵۷±۳/۵۷	<۴/۱۱	<۱/۹۷	IrMW5
۶/۹۳±۰/۲۱	<۰/۳۰	۳۵/۲۵±۲/۷۸	<۲/۱۳	<۱/۱۷	IrMW6
<۳/۶۲	<۰/۲۶	<۳/۱۷	<۱/۴۷	<۱/۲۸	IrMW7
۸/۴۷±۰/۲۶	<۰/۴۰	۱۹/۷۳±۳/۳۷	<۳/۶۴	<۱/۷۵	IrMW8
۱۱/۴۷±۰/۴۹	<۰/۳۴	۴۵/۲۰±۶/۳۴	<۴/۱۶	<۲/۰۴	IrMW9
<۷/۴۳	<۰/۴۱	<۶/۴۵	<۳/۷۰	<۱/۶۴	IrMW10
۸/۷۳±۰/۳۴	۰/۳۷±۰/۰۴	۲۳/۷۰±۳/۲۴	۳/۰۴	۲/۵۷±۰/۱۲	میانگین
----	<۲/۵۸	<۱۳/۷۶	<۱/۲۸	<۵/۲۷	IrMR1
۳۸/۶۳±۲/۴۹	<۴/۱۶	۹۴/۸۵±۳/۳۷	<۱/۱۰	<۹/۸۰	IrMR2
----	<۲/۷۰	<۹/۵۵	<۱/۸۳	<۷/۸۶	IrMR3
----	<۳/۶۲	<۶/۱۰	<۰/۶۲	<۶/۳۴	IrMR4
۱۹/۰۵±۲/۷۶	<۰/۹۰	۱۲۷/۰۳±۳/۸۰	<۴/۸۰	<۲/۴۲	IrMR5
----	۱/۳۱±۰/۶۵	<۷/۸۵	<۲/۹۰	<۲/۶۶	IrMR6

۲۶/۵۰±۱/۲۶	۲/۱۲	<۹/۱۶	<۳/۲۶	۲۰/۳۷±۱/۲۶	IrMR7
۳۲/۸۱±۸/۱۰	۰/۸۵±۰/۵۹	<۱۰/۱۶	۱۵/۰۰±۳/۱۰	۱۰/۴۳±۰/۸۰	IrMR8
۲۳/۱۱±۱/۱۰	<۱/۷۷	<۱۱/۳۲	<۶/۲۱	۱۲/۶۶±۱/۱۰	IrMR9
۳۷/۶۰±۸/۸۳	<۱/۶۱	<۱۲/۸۱	۱۷/۹۲±۲/۵۴	۱۰/۲۲±۰/۹۰	IrMR10
۲۶/۰۳±۲/۴۵	۲/۲۶±۰/۱۲	۴۵/۶۶±۶/۸۲	۹/۵۹±۱/۰۶	۸/۸۰±۰/۴۱	میانگین

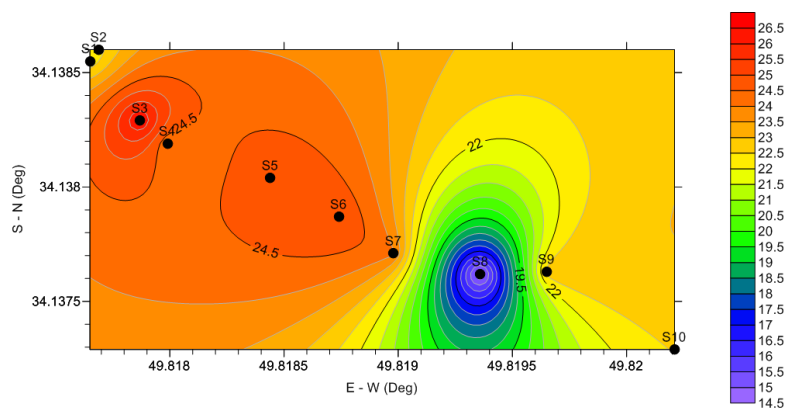
جدول ۳- مقایسه نتایج فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای طبیعی در این پژوهش و خاک بعضی از کشورها

Table 3. Comparison the results of specific activities of natural radionuclides in this research with soil of some countries

منبع	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	نام کشور
(۱۱)	۱۹-۸۱	۱۹-۸۸	۱۵۲-۱۵۹۳	یونان
(۱۲)	۴-۴۸	۸-۵۰	۱۶-۱۸۷	مصر
(۱۳)	۹-۶۲	۱۶-۵۵	۱۲۰-۱۰۲۶	فرانسه
(۱۴)	۱۳-۲۳	۱۳-۴۰	۲۶۶-۶۷۵	آلبانی
(۱۵)	۹-۱۴	۱۱-۱۶	۲۲۰-۴۶۰	اسپانیا
(۱۶)	--	۶-۳۲	۵۶-۶۰۷	الجزایر
(۱۷)	--	۳۱-۳۷	۴۱۰-۴۷۵	ایتالیا
این پژوهش	۱۴-۲۶	۲۳-۳۴	۳۶۰-۴۴۷	ایران-اراک

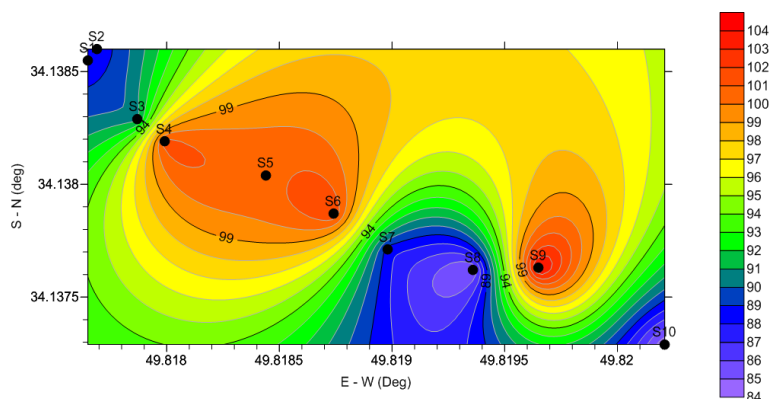
سرعت آب کم می‌شود رسوب می‌کند. در مورد توریم و پتاسیم شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهند که توزیع توریم شبیه سزیم و پتاسیم شبیه رادیم می‌باشد.

این نقشه‌ها نشان می‌دهند که هرچه از ورودی فاصله بیشتر می‌شود مقدار پرتوزایی رادیوم کم می‌شود در نتیجه در ابتدای ورود مقدار ته‌نشینی بیشتر است. در مورد سزیم نقشه توزیع، عکس این مطلب را نشان می‌دهد و سزیم بیشتر در نقاطی که



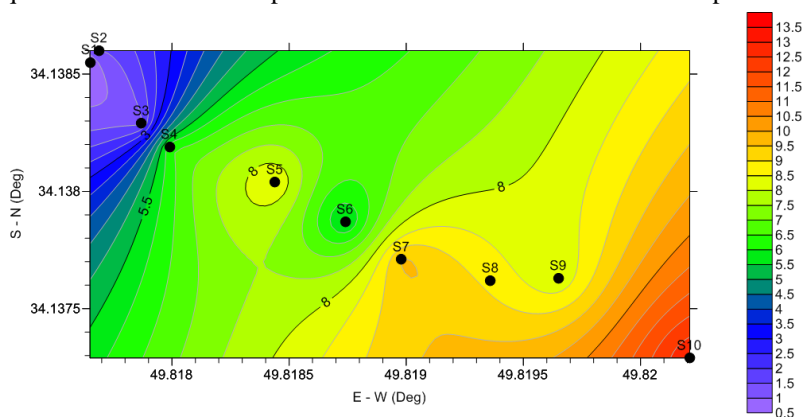
شکل ۲- نقشه توزیع ^{226}Ra در محل ورودی آب تصفیه‌خانه به تالاب میقان

Figure 2. ^{226}Ra distribution map at the inlet from the wastewater treatment plant to Meyghan Wetland



شکل ۳- نقشه توزیع رادیم معادل در محل ورودی آب تصفیه‌خانه به تالاب میقان

Figure3. Radium equivalent distribution map at the inlet of the wastewater treatment plant to Meyghan wetland



شکل ۴- نقشه توزیع ویژه هسته ^{137}Cs در محل ورودی آب تصفیه‌خانه به تالاب میقان

Figure 4. ^{137}Cs distribution map at the inlet of the wastewater treatment plant to Meyghan wetland

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی شده است بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت یاد شده کمال تشکر را داشته باشند.

from eastern desert Egypt and its radiological implication. Radiation Measurement, 42, 94-100.

3. Singh P, Rana N, Azam A, Naqvi A, Srivastava D., 1996. Levels of uranium in waters from some Indian cities determined by fission track analysis. Radiation Measurements, 26(5), 683-687
4. Firestone B R, Shirley S V, Bagalin M C, Frank Chu SY, Zipkin J. The Edition of Table of isotopes, CD-ROM, John Wiley & Sons Inc
5. Wedepohl KH., 1995. The composition of the continental crust.

Reference

1. 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
2. El-Arabi, A.M., 2007. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentration in igneous rocks

- Lake Nasser sediments", *Appl. Radiat. Isot.* 46 (5), 297–299.
13. Lambrechts A., Foulquier L., Garnier-Laplace J., 1992. "Natural radioactivity in the aquatic components of the main French rivers", *Radiat. Prot. Dosim.* 45 (1), 253–256.
 14. Tsabaris C., Eleftheriou G., Kapsimalis V., Anagnostou C., Vlastou R., Durmishi C., Kedhi M., Kalfas C.A., 2007. " Radioactivity levels of recent sediments in the Butrint Lagoon and the adjacent coast of Albania", *Appl. Radiat. Isot.* 65 (4), 445–453.
 15. Ligeró R.A., Ramos-Lerate I., Barrera M., Casas-Ruiz M., 2001. Relationships between sea-bed radionuclide activities and some sedimentological variables. *J. Environ. Radioact.* 57, 7–19.
 16. Benamar M.A., Zerrouki A., Idiri Z., Tobbeche S., 1997. Natural and artificial levels in sediments in Algiers Bay. *Appl. Radiat. Isot.* 48 (8), 1161–1164.
 17. Doretta L., Ferrar D., Barison G., Gerbasi R., Battiston G., 1992. Natural radionuclides in the muds and waters used in thermal therapy in Abano Terme, Italy. *Radiat. Prot. Dosim.* 45 (1), 175–178.
 6. UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposure from natural sources of radiation, United Nations publication sales No. 10.IX.3
 7. International Atomic Energy Agency. Collection and Preparation of bottom sediment sample for analysis of radionuclides an trace element. IAEA- TECDOC-1360, IAEA; VIENNA; 2003.
 8. Gilmore GR, Practical Gamma-ray Spectrometry, 2nd Edition, Nuclear Training Services Ltd Warrington, UK, 2008; ISBN: 978-0-470-86196-7
 9. Aziz A, 1981. International Atomic Energy Agency, Vienna, Methods of Low-Level Counting and Spectrometry Symposium. Berlin. Vol. 221.
 10. 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.(In Persian)
 11. Florou H., Kriditis P., 1992. Gamma radiation measurements and dose rate in the coastal areas of a volcanic island, Aegan Sea, Greece, *Radiation Protection Dosimetry.* 45 (1), 277–279.
 12. Ibrahiem, N.M., Shawky, S.M., Amer, H.A., 1995. "Radioactivity levels in