Scientific Researches in
Theoretical and Applied Physics
Vol. 2, Issue. 2, Fall 2024

Research Paper

Assessment of natural radioactivity level for mineral water samples from Sabalan region

Okhtay Jahanbakhsh*[1], Salar Khamizadeh Aghdam[2]

This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.

DOI: 10.22034/strap.2024.18924

Refference to this article: Jahanbakhsh, O; Khamizadeh Aghdam, S; (2024). Assessment of natural radioactivity level for mineral water samples from Sabalan region. *Scientific Researches in Theoretical and Applied Physics*, 2 (2): 56-62

Keywords

Natural radioactivity, radioisotope, mineral water, Sablan

Received: 2023/12/06

Accepted: 2024/12/10

Available: 2025/07/08

A B S T R A C T

The supply of clean and abundant drinking water is one of the major problems in human societies that modern civilization faces today. Subsurface waters, especially waters of volcanic and rocky areas, can contain high amounts of natural radioisotopes. The presence of these radionuclides in food and water can cause deadly diseases such as cancer and so on. The purpose of this article is to investigate the natural activity of drinking water springs and hot water springs in Sablan region, to identify and measure the possible amount of radioactive substances in mineral and drinking water and to compare it with international standards. Due to the fact that this mountain is a volcano, it was naturally expected that the activity in its waters would be higher than in areas with sedimentary texture. According to the results, the highest measured activity is related to the water of Jalde-Bakhan village with an activity of 40 Bq/kg and the lowest activity is related to the mineral water of Ardha village with an activity of 4.66 Bq/kg. The obtained results are comparable with international standards and surveys in different countries.

*** Corresponding Author: Okhtay Jahanbakhsh**
E-mail: o.jahanbakhsh@tabrizu.ac.ir

1. Department of Physics, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Department of Physics, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

مقاله پژوهشی

بررسی میزان رادیواکتیویته طبیعی موجود در آب های معدنی منطقه سبلان

اختای جهان‌بخش[1*]، سالار خامی زاده اقدم[2]

این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کریتیو کامانز قابل استفاده است.

ارجاع به این مقاله: جهان‌بخش ، اختای ؛ خامی زاده اقدم ، سالار ؛ (1403). بررسی میزان رادیواکتیویته طبیعی موجود در آب های معدنی منطقه سبلان. *پژوهش‌های علمی در فیزیک نظری و کاربردی*، 2(2): 56-62.

DOI: 10.22034/strap.2024.18924

کلیدواژه‌ها

رادیوکتیویته طبیعی، رادیوایزوتوپ، آب معدنی، سبلان

دریافت شده: 1402/09/15

پذیرفته شده: 1403/09/20

منتشر شده: 1404/04/17

چکیده

تامین آب آشامیدنی تمیز و فراوان یکی از مشکلات اساسی در جوامع بشری بوده که امروزه تمدن مدرن با آن روبرو است. آبهای زیرسطحی خصوصا آبهای مناطق آتشفشانی و صخره ای می تواند حاوی مقادیر بالای رادیوایزوتوپهای طبیعی باشد. وجود بیش از حد مجاز این رادیونوکلئیدها در مواد غذایی و آب میتواند سبب ایجاد بیماریهای مهلک مانند سرطان و غیره شود. هدف این مقاله بررسی اکتیویته طبیعی آب چشمه‌های آب شرب و چشمه‌های آب گرم موجود در منطقه سبلان، تشخیص عناصر و اندازه گیری میزان احتمالی مواد رادیواکتیو در آبهای معدنی و شرب و مقایسه آن با استانداردهای بین المللی می‌باشد. با توجه به اینکه این کوه آتشفشانی بوده به طور طبیعی انتظار می‌رفت اکتیویته موجود در آبهای آن نسبت به مناطقی که دارای بافت رسوبی هستند بیشتر باشد. طبق نتایج حاصل شده، بیشترین اکتیویته اندازه گیری شده مربوط آب روستای جلده باخان با اکتیویته 40 بکرل بر کیلوگرم و کمترین اکتیویته مربوط به آب معدنی روستای اردها با با اکتیویته 4.66 بکرل بر کیلوگرم می باشد. نتایج حاصل شده قابل مقایسه با استانداردهای جهانی و بررسی ها در کشورهای مختلف می باشد.

* نویسنده مسئول: اختای جهان‌بخش

رایانامه: o.jahanbakhsh@tabrizu.ac.ir

1- دکتری تخصصی ، استاد یار، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

2- دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

مقدمه

آب یکی از مهم ترین منابع کره زمین می باشد و دسترسی به آب آشامیدنی سالم یک چالش اساسی و از نیازهای اساسی در اغلب کشورهای جهان می باشد. محدودیت منابع آب، تغییر اقلیم، افزایش جمعیت و آلودگی منابع آب، تأمین آب آشامیدنی را با چالش مواجه می نماید. تأمین و توزیع آب آشامیدنی سالم در جوامع شهری و روستایی یکی از راهکارهای اجرایی مهم در جهت حفظ سلامتی مردم و ارتقای سطح بهداشت عمومی است. نحوه چرخه آب و همچنین نحوه بهره برداری و استفاده انسان ها از منابع آب تأثیر به سزایی در آلودگی آن دارد تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی حامل مواد رادیواکتیو در محیط زیست و جذب مواد رادیواکتیو در خاک ها از عواملی می باشند که علت ورود مواد رادیواکتیو موقع عبور جریان آب ها از آن منطقه در آب ها می شوند. رادیونوکلئیدهایی که به صورت طبیعی در محیط وجود دارند عمدتاً شامل ایزوتوپ پتاسیم ۴۰ و رادیو ایزوتوپ های موجود در سری های طبیعی اورانیوم ۲۳۵، توریوم ۲۳۲ و اورانیوم ۲۳۸ است [1-2]. این رادیو ایزوتوپ ها در آب، هوا و خاک و تقریباً در همه جای کره زمین وجود دارند و تا به امروز بیش از ۳۳۰۰ رادیو ایزوتوپ مختلف شناسایی شده است که ۳۴۰ عدد از آن به صورت طبیعی در زمین وجود دارد و مابقی به صورت مصنوعی توسط واکنش های هسته ای در آزمایشگاه ها، راکتورهای هسته و یا در انفجارهای هسته ای ساخته شده اند که همه این نوکلئیدهای مصنوعی پرتوزا و ناپایدار می باشند . پتاسیم ۴۰ به وفور در آب ها پیدا می شود. این رادیو ایزوتوپ و رادیوم ۲۲۶ دو عنصر رادیواکتیو طبیعی فراوان ترین در آب ها می باشند که می‌توانند به روش های مختلف وارد چرخه آب ها شوند. وجود نوکلئیدهای اورانیوم و توریوم و دختران حاصل از فروپاشی مرتبط با آن ها، عمدتاً در آب های زیرزمینی که فرایند زئو شیمیایی اجازه انحلال و انتقال رادیو نوکلئیدها را می‌دهد کاملاً مشهود است. تحقیقات نشان می‌دهد که آب می‌تواند سهم مهمی در جذب رادیو نوکلئیدها در بدن موجودات زنده داشته باشد. خواص فیزیکی و ویژگی های شیمیایی رادیو نوکلئیدها و همچنین نوع بافتی که در آن جذب می‌شوند، عامل مهمی در میزان جذب عناصر رادیواکتیو هستند بر اساس تعریف موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی وزارت صنایع، آب معدنی در ایران به آبی گفته می‌شود که مستقیماً از سفره‌های آب زیرزمینی عمیق و بکر منشاء می‌گیرد و حاوی املاح معدنی، عنصرهای جزئی و یا دیگر ترکیبات بوده باشد و همچنین حاوی خواص بهداشتی و درمانی باشد. به صورت کلی آب های معدنی گرم و سرد دارای سه منشاء سطحی، عمقی و مخلوط می‌باشند که مطالعه محل خارج شدن آب های معدنی از سطح زمین نشان دهنده این بوده که عمدتاً آب با فشار از پایین به سمت بالا درحرکت هستند و از شکاف های نزدیک سطح زمین خارج می‌شوند. بر اساس تحقیقات انجام یافته توسط آدامز پوسته کره زمین دارای شکاف و شکستگی هایی است که حرکت آب را تا عمق هزار و هشت‌صد متری زمین ممکن می‌سازد. بر اساس نظر کینگ عمق ذکر شده تا حدود ۳۰ کیلومتر در زمین های از نوع سخت می‌رسد[3-4].

چشمه های معدنی اکثرا حاوی مقدار کم و بیش مواد پرتوزا و رادیواکتیو هستند. رادیواکتیویته معمولا به دو صورت گازی مانند گاز رادن با نیمه عمر کوتاه و یا به خاطر وجود مواد پرتوزا با نیمه عمر طولانی به صورت مخلوط در آب وجود دارد. منشاء وجود رادیواکتیویته آب ها منحصر به زمین هایی می‌شود که آب از آن عبور کرده باشد. اگر منشاء رادیواکتیویته آب خیلی عمیق باشد همیشه میزان آن ثابت خواهد بود مگر وقتی که با آب های سطحی مخلوط شود در این صورت میزان آن ثابت نخواهد بود و افزایش خواهد یافت. معمولا رادیواکتیویته با تغییرات فصلی در اثر مخلوط شدن با آب های سطحی دستخوس این تغییرات می‌شود. عموماً چشمه هایی که دارای اکتیویته بیشتری هستند از زمین های با قدمت طولانی تر سرچشمه می‌گیرند [5].

همان طور که مطالعه تابش های هسته ای دارای اهمیت زیادی است، مطالعه و اندازه گیری اکتیویته و پرتوزایی آب دارای اهمیت می‌باشد. اندازه گیری و مطالعه اکتیویته آب به خاطر حصول اطمینان از پایین بودن سطح رادیواکتیویته آب از حد مجاز استاندارد جهانی برای مصرف انسان می‌باشد زیرا آب آشامیدنی یکی از عامل های مهم و تاثیر گذار در افزایش کل دوز تابش دریافتی جمعیت انسان ها باشد. لذا محققان بسیاری در سرتاسر جهان با روشهای مختلف به بررسی میزان اکتیویته موجود در آبهای آشامیدنی و معدنی پرداخته اند.

ویلالبا و همکارانش در سال 2006 نمونه های آب های زیرزمینی را از ایالت چیهواوا در مکزیک را جمع آوری کرده و میزان اکتویته موجود مربوط به Ra226 و Rn222 و کل اورانیوم را با استفاده از روش گاما طیف سنجی و استفاده از آشکارساز سوسوزن مایع مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. بر اساس نتایج همبستگی خطی بین اورانیوم و رادون محلول در آب های زیرزمینی چاه های منفرد در نزدیکی شهر چیهواوا مشاهده شد. به صورت متوسط میزان اکتیویته موجود در اورانیوم در بسیاری از چاه های منفرد در شهرهای آلداما و چیهواوا را بیش از حد معمول آب های آشامیدنی در مکزیک نشان دادند [6].

علی زاده و همکارانش آب های قینرجه سویی که در شمال شرق قینرجه با متوسط دمایی 80 درجه سلسیوس و ایلاند سویی در شمال غرب کوه سبلان قرار دارند را جهت مطالعه به منظور اندازه گیری گامای محیط و تعیین دوز جذبی سالیانه برای آب های گرم فوق الذکر و مقایسه آن با استاندارد جهانی در منطقه توریستی مشکین شهر مورد مطالعه قرار دادند. آنها از یک دزیمتر گایگر مولر مدل اسمارت ایون

برای اندازه گیری پرتوزایی گامای محیطی استفاده کردند. تعداد موارد دوزیمتری در هر فصل ۳ بار در قبل از ظهر و بعد از ظهر انجام شد در مدت یک سال به صورت میانگین کل پرتوزایی گامای محیطی آب گرم قیرنرجه 26 و آب گرم ایلاند 21 و آب مویل سویی 22 میلی سیورت بود که با مقایسه استانداردهای جهانی منابع طبیعی رادیواکتیو بیش از 8-10 برابر بالاتر بوده می‌توان منطقه را جزئی منطقه های پرخطر به شمار آورد [7].

نانکو و همکارانش در سال 2013 میزان رادیواکتیویته موجود در آب‌های زیرزمینی از ده نمونه آب در تانکه ایلورین در نیجریه را با استفاده از طیف سنجی گاما مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار دادند که نتایج نشان داد میزان دز دریافتی از آب برای ساکنان بیشتر از دوز دریافتی استاندارد سازمان جهانی بود و آب این منطقه باید بیشتر مورد مطالعه قرار می‌گرفت[8].

آیدان آلتیکولاک و همکارانش در سال 2015 در ترکیه میزان رادیواکتیوهای طبیعی در 52 نمونه آب آشامیدنی که از مناطق متفاوت جمع آوری کرده بودند را بااستفاده از تکنیک گاما اسپکترومتری و با استفاده از آشکارساز یدور سدیم وهایپرژرمانیوم مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج بدست آمده میزان دز سالانه دریافتی افراد عادی جامعه که از این آب استفاده می‌کردند کمتر از میزان استاندارد جهانی (۱۰۰ میکروسیورت در سال) بود و نتیجه گرفتند این آب‌ها از نظر پرتوزایی بی خطر هستند[9].

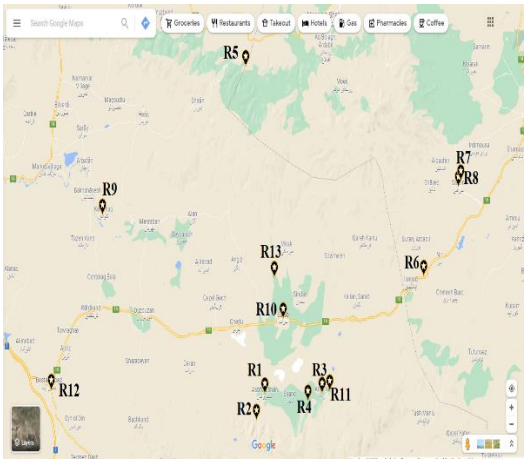
دانیل ماکروس بونوتو و همکارانش در سال 2015 میزان اکتیویته موجود در در آب‌های معدن سائو پائولو برزیل اندازه گیری کردند. آنها تابش های موجود در 75 نمونه آب آن منطقه را با تکنیک آلفا اسپکترومتری و همچنین گاما اسپکترومتری و آشکارساز سوسوزن یدور سدیم اندازه‌گیری کردند. برطبق نتایج بدست آمده میزان اکتیویته 48 درصد آب‌ها با توجه به استانداردهای سازمان جهانی بیش از حد بوده اند[10].

ألعبودی و همکارانش در سال 2019 میزان رادیواکتیویته طبیعی در نمونه‌های آب شهر نجف عراق را با استفاده از آشکارساز یدور سدیم و رادون (RAD-7) مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نمونه آب‌ها از سه منبع اصلی آب آشامیدنی شهر، آب رودخانه و آب‌های زیرزمینی جمع آوری شده بودند. بر اساس نتایج اندازه گیری شده میانگین دوز سالانه آب شهر و رودخانه کمتر از استاندارد جهانی بوده در حالیکه میانگین دوز سالانه آب زیرزمینی بیشتر از استاندارد جهانی حاصل شده است[11].

هدف از این تحقیق بررسی میزان رادیواکتیویته طبیعی موجود در آب چشمه های منطقه سبلان با استفاده از روش اسپکتروسکوپی گاما با آشکارساز سوسوزن یدور سدیم (NaI) است. در این روش با تعیین مستقیم طیف اشعه گامای ساطع شده از عناصر رادیواکتیو موجود در نمونه ها و تحلیل آن به مشخصات عناصر موجود در نمونه پی می برند. در این کار ضمن بررسی نمونه های مورد نظر نتایج تحقیقات انجام یافته در مورد اکتیویته آب های نقاط مختلف جهان، مقایسه با استاندارد جهانی پرداخته شده است و همچنین اثرات زیست محیطی آن مورد بررسی قرار گرفته است[5،12].

نمونه برداری محیطی و کارهای آزمایشگاهی

کوه سبلان در جوار استان اردبیل و شهرستان سراب و نیز کوه بزگوش واقع در شهرستان سراب (آذربایجان شرقی) قرار دارند در اطراف این کوه ها چشمه های طبیعی با آب معدنی آشامیدنی به وفور وجود دارد؛ که به صورت گسترده مردم مناطق محلی و توریست ها از آن استقبال می کنند همچنین از نظر تفریحی (شنا کردن) و گردشگری بسیار مورد توجه می باشند به همین دلیل و نیز گزارش روند صعودی بیماری سرطان دستگاه گوارشی مردم در این مناطق، انگیزه بررسی میزان مواد رادیواکتیو در آب های معدنی، آب های آشامیدنی این مناطق (سراب – سرعین – اردبیل – بستان آباد – تبریز – هریس) شد. نمونه های مختلفی از انواع چشمه های آشامیدنی و آبگرم منطقه جمع آوری شد که نام و مختصات جغرافیایی چشمه ها در جدول 1 و در شکل شماره 1 نقشه کامل موقعیت جغرافیایی نمونه های تهیه شده نشان داده شده است.



شکل 1. نقشه کامل موقعیت جغرافیایی نمونه های تهیه شده

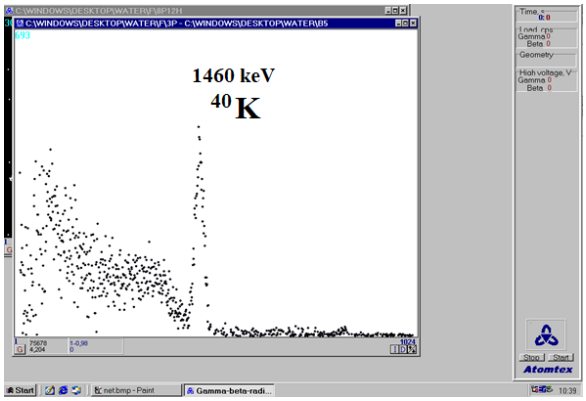
از هر کدام از چشمه ها به اندازه 3 لیتر آب نمونه برداری شد ودر ابتدا میزان pH، رسانندگی و سختی آب اندازه گیری شد. نمونه ها به مدت 1 ماه در ظروف سرباز قرار داده شدند تا مقداری از آن ها تبخیر شوند

که بعد از تبخیر مقدار جرم نمونه ها به 1 کیلوگرم کاهش یافت و سپس با ماده HCL اسیدی کرده و pH آن به 2 رسانده شد.

شکل 2. طیف سنج گاما-بتا (AT1315)

برای اندازه گیری پرتوهای مختلط گاما و بتا از طیف سنج AT1315 که از ۲ سوسوزن طیف سنجی یدور سدیم و پلاستیک تشکیل شده است استفاده گردید. این طیف سنج به منظور شناسایی و آشکارسازی رادیو نوکلوئیدهای موجود در این مواد برای اندازه گیری کیفی و کمی تشعشات گاما و بتای نمونه های محیطی با ساختارهای مختلف (شامل آب شرب، غذا، آب غیر شرب، مصالح ساختمانی، خاک، مواد و محصولات کشاورزی خام) و تعیین اکتیویته ویژه رادیو نوکلوئیدهای طبیعی توریوم 232، رادن 226، اورانیوم 238 و پتاسیوم 40 و ... کاربرد دارد.

به منظور اندازه گیری مقدار زمینه، ابتدا ظرف مارینلی یک لیتری را پر از آب مقطر کرده و سپس درون محفظه اسپکترومتر قرار داده شد. زمینه به مدت سه ساعت اندازه گیری شد و به عنوان بگ گراند در سیستم ذخیره گردید. سپس هر کدام از نمونه ها به مدت 5 ساعت در اسپکترومتر قرار داده شد و با انجام تصحیحات مربوط به زمان اندازه گیری زمینه و نمونه اصلی، طیف خالص بدست آمد. شکل 3 نمون های از طیف خالص بدست آمده را نشان می دهد.



شکل 3. طیف خالص گامای یک نمونه آب ثبت شده توسط طیف سنج

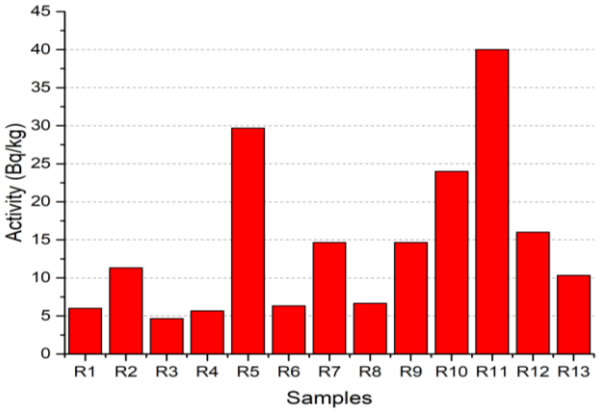
در تمامی نمونه های بررسی شده تنها پیک مشاهده شده مربوط به پتاسیم 40 با انرژی 1460 کیلو الکترون ولت بود و پیک دیگری مشاهده نشد که نشاندهنده میزان خیلی پایین بقیه رادیوایزوتوپهای طبیعی بود. به عبارت دیگر اکتیویته این ایزوتوپها کمتر از کمینه اکتیویته قابل شناسایی (Minimum Detectable Activity) توسط دستگاه است. نحوه عملکرد و استفاده از دستگاه در مقاله اشرفی و جهانبخش در سال 2021 توضیح داده شده است [13].

برای محاسبه میزان اکتیویته ویژه نمونه های آب، نیاز به مساحت خالص زیر پیک مربوطه و تعیین زمان، جرم نمونه، راندمان آشکارساز و درصد تلاشی گاما در انرژی 1460keV می باشد. اکتیویته مربوط به ^{40}K برای نمونه‌ها(A_i) به صورت زیر محاسبه شده است:

$$A_i = \frac{N_i}{t \times m \times \gamma_d \times \varepsilon_E}$$

که در آن N_i مساحت زیر پیک، t زمان ثبت طیف با تصحیح زمان مرگ برحسب ثانیه و m جرم نمونه های مورد نظر برحسب کیلوگرم است. درصد تلاشی گاما(γ_d) با توجه به مد واپاشی ^{40}K برابر ٪ 10/67 بوده و راندمان آشکارساز(ε_E) در انرژی 1460keV با توجه به منحنی کالیبراسیون دستگاه 0/0119 می باشد.

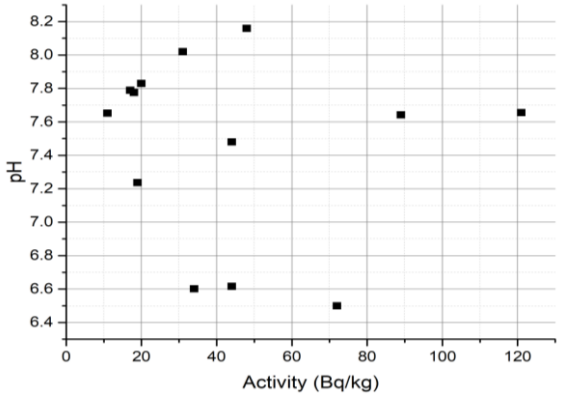
جدول 2 نتایج بدست آمده برای سختی، رسانندگی، pH و اکتیویته نمونه های آب را نشان می‌دهد. شکل 4 نمودار مربوط به اکتیویته ^{40}K را برای نمونه ها نشان می دهد.



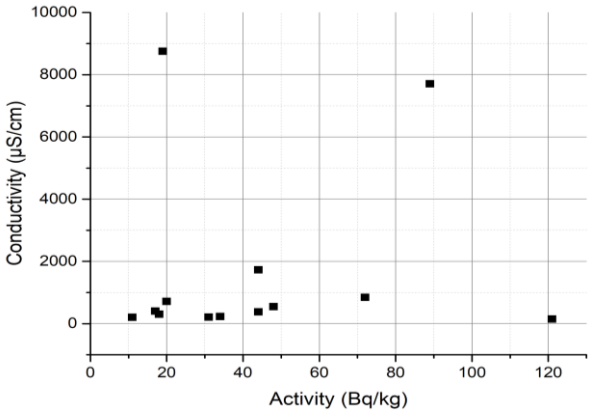
شکل 4. اکتیویته مربوط به K40 نمونه ها

همانطور که در شکل 4 دیده می‌شود کمترین اکتیویته متعلق به نمونه R3 با اکتیویته 4.66 Bq/kg و بیشترین اکتیویته مربوط به نمونه R11 با اکتیویته 40 Bq/kg می‌باشد.

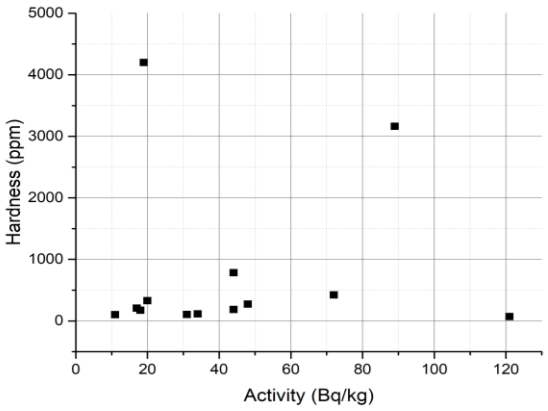
به منظور بررسی ارتباط احتمالی بین میزان pH، رسانندگی و سختی آب با اکتیویته آن، نمودار نمودارهای pH، سختی آب و رسانندگی الکتریکی برحسب اکتیویته رسم گردیدند (شکل های 5، 6 و 7).



شکل 5. نمودار pH نمونه های آب بر حسب اکتیویته



شکل 6. نمودار رسانندگی الکتریکی آب بر حسب اکتیویته



شکل 7. نمایش سختی آب بر حسب اکتیویته

همانگونه که در شکل های 5، 6 و 7 مشاهده می‌شود رابطه علی و منطقی بین میزان pH ، رسانندگی و سختی آب با اکتیویته نمونه ها مشاهده نمی شود.

همچنین در جدول3 چند نمونه از اندازه گیری‌های اکتیویته ^{40}K در نقاط مختلف جهان توسط دیگر پژوهشگران آورده شده است که می توان با نتایج حاصل این پژوهش مقایسه کرد. همانگونه که مشاهده می شود که تقریباً نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج آزمایش ها در کشورهای مختلف دنیا همخوانی قابل قبول دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

به منظور بررسی میزان اکتیویته آب چشمه‌های آب شرب و آب‌گرم های تفریحی و توریستی منطقه سبلان و تشخیص و اندازه گیری میزان رادیوایزوتوپ‌های احتمالی موجود و مقایسه آن با استانداردهای بین المللی، سیزده چشمه در آن منطقه که مورد استفاده اهالی و گردشگران قرار می‌گیرد مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد بیشترین اکتیویته مربوط به آب روستای جلده باخان با اکتیویته 40 بکرل بر کیلوگرم و کمترین اکتیویته مربوط به آب معدنی روستای اردها با با اکتیویته 4.66 بکرل بر کیلوگرم می باشد. نتایج حاصل شده تقریباً در حدود اکتیویته آب چشمه‌های معدنی گزارش شده توسط سایر پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا می باشد. همچنین میزان اکتیویته بدست آمده برای اکثر نمونه ها کمتر از استانداردهای جهانی توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی(WHO) که در حدود 10 Bq/kg است می باشد و نشان دهنده سالم بودن آب مکان های نمونه برداری شده است. علاوه براین هیچگونه همبستگی بین میزان pH ، رسانندگی و سختی آب با اکتیویته نمونه ها مشاهده نشد.

منابع و مراجع

[1] Leclerc, Henri, and Annick Moreau. Microbiological safety of natural mineral water. FEMS Microbiology Reviews 26.2 (2002): 207-222.

[2] Saqan, S. A., M. K. Kullab, and A. M. Ismail. Radionuclides in hot mineral spring waters in Jordan. Journal of environmental radioactivity 52.1 (2001): 99-107.

[3] Van der Aa, Monique. Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. Environmental geology 44.5 (2003): 554-563.

[4] Martin, James E. Physics for radiation protection: a handbook. John Wiley & Sons, (2006).

[5] Edition, Fourth. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle 38.4 (2011): 104-8.

[6] Villalba, L., et al. Natural radioactivity in groundwater and estimates of committed effective dose due to water ingestion in the state of Chihuahua (Mexico). *Radiation protection dosimetry* 121.2 (2006): 148-157.

[7] Alizadeh S, Samvat H, Samadi M T. Environmental Gamma Radiation Rate of Hot Springs of Ghainarjeh, Ilando and Moill in Meshkinshahr 2006-2007. *J Ardabil University Medical Science* 8 (3) (2008): 281-287

[8] Nwankwo, L. I. Determination of natural radioactivity in groundwater in Tanke-Ilorin, Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology* 21.1 (2013): 111-120.

[9] Altıkulaç, Aydan, Şeref Turhan, and Hasan Gümüş. "The natural and artificial radionuclides in drinking water samples and consequent population doses. *Journal of radiation research and applied sciences* 8.4 (2015): 578-582.

[10] Bonotto, Daniel Marcos. 226 Ra and 228 Ra in mineral waters of southeast Brazil. *Environmental Earth Sciences* 74 (2015): 839-853.

[11] Alaboodi, A. S., et al. Radiological hazards due to natural radioactivity and radon concentrations in water samples at Al-Hurrah city, Iraq. *International Journal of Radiation Research* 18.1 (2020): 1-11.

[12] Marović, Gordana, Jasminka Senčar, and Zdenko Franić. "226Ra in tap and mineral water and related health risk in the Republic of Croatia. *Environmental monitoring and assessment* 46 (1997): 233-239.

[13] Ashrafi, Saleh, and Okhtay Jahanbakhsh. "Measurement of natural radioactivity of Iranian granite samples using beta–gamma coincidence spectrometer and maximum likelihood method. *Environmental Earth Sciences* 78 (2019): 1-8.

[14] Al-Ghamdi, A. H. "Activity concentrations in bottled drinking water in Saudi Arabia and consequent dose estimates. *Life Science Journal* 11.9 (2014): 771-777.

[15] Gümüş, Hasan, and Fevzi Köksal. Effective stopping charges and stopping power calculations for heavy ions. *Radiation effects and defects in solids* 157.5 (2002): 445-458.

[16] Fatima, I., et al. "Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates. *Radiation Protection Dosimetry* 123.2 (2007): 234-240.

[17] Ajayi, O. S., and T. P. Owolabi. Determination of natural radioactivity in drinking water in private dug wells in Akure, Southwestern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry* 128.4 (2008): 477-484.

[18] Arabi, AM El, N. K. Ahmed, and K. Salahel Din. Natural radionuclides and dose estimation in natural water resources from Elba protective area, Egypt. *Radiation protection dosimetry* 121.3 (2006): 284-292.

[19] Rahman, M. Moshiur, et al. Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiological Significance of Bottled Drinking Water in Bangladesh. *American Journal of Physics and Applications* 3.6 (2015): 203.

[20] Parhoudeh, Marzban, et al. Natural radioactivity level of 226Ra, 232Th, and 40K radionuclides in drinking water of residential areas in Kermanshah province, Iran using gamma spectroscopy. *Iranian Journal of Medical Physics* 16.1 (2019): 98-102.