مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۹، شمارهٔ ٤، پاییز ١٤٠٠، صفحه ٣٩-٤٥

تاریخ دریافت مقاله: ١٤٠٠/٠٦/١٦، تاریخ پذیرش مقاله: ١٤٠٠/٠٩/٢٨

بررسی فعالیت ویژه آلفا و بتای کل در آب‌های شرب استان ایلام

مسعود صیدی[1*]، حسن رنجبر[2]، لیلی شفیعی[3] و نورالله تیموری[3]

[1]گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

[2]پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

[3]شرکت آب و فاضلاب ایلام، ایلام، ایران.

[*]ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کدپستی: ٥١٦-٦٩٣١٥

پست‌الکترونیکی: m.sayedi@ilam.ac.ir

چکیده

یکی از جنبه‌های مورد بررسی کیفیت آب، بررسی هسته‌های پرتوزای موجود در آن می‌باشد که به‌دلیل خطرناک بودن آلودگی مربوط به مواد پرتوزا از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. یکی از اصلی‌ترین راه‌های نفوذ مواد پرتوزا به بدن انسان، مصرف آب آلوده به مواد پرتوزای طبیعی و مصنوعی است. در این مقاله تعداد ۲۰ نمونه از آب‌های شرب استان ایلام که تعداد خانوار بیش‌تری را تحت پوشش خود دارند، از نظر پرتوزایی مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، فعالیت ویژه آلفا و بتا کل (C_α و C_β) آن‌ها به‌کمک آشکارساز سوسوزن مایع (LSC) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که $C_\alpha \le 55\,(mBq/L)$ و $C_\beta \le 216\,(mBq/L)$ است. ضریب هم‌بستگی بین این دو متغیر، ۰/۲۷ می‌باشد ولی با این حال به‌کمک آزمون $p-value$ ثابت شد که رابطه‌ی معناداری بین این متغیرها وجود ندارد. نتایج نشان دادند که میزان فعالیت ویژه آلفا و بتای کل همه آب‌ها از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و مؤسسه استاندارد ملی ایران که به‌ترتیب ۵۰۰ mBq/L و ۱۰۰۰ mBq/L می‌باشند، پایین‌تر است. بنابراین از نظر کیفیت رادیولوژیکی این آب‌ها سالم هستند و مصرف آن‌ها برای افراد خطر نخواهد داشت.

کلیدواژگان: فعالیت ویژه، آشکارساز سوسوزن مایع، ضریب هم‌بستگی، استان ایلام، آزمون $p-value$.

۱. مقدمه

منابع آبی می‌توانند حاوی هسته‌های پرتوزای طبیعی یا ساخته شده توسط بشر باشند. مهم‌ترین هسته‌های پرتوزای طبیعی در آب عبارتند از: K^{40}، هسته‌های دختر ناشی از سری‌های واپاشی اورانیوم و توریم به‌ویژه Ra^{226}، Ra^{228}، U^{234}، U^{238}، Pb^{210} و گاز Rn^{222}. براساس مطالعات انجام شده توسط کمیته علمی اتحادیه ملل روی اثرات تابش اتمی، میزان دُز میانگین کل هر شخص در طول یکسال $3\ mSv/y$ می‌باشد. حدود ٨٠٪ از این دُز ناشی از منابع تابش (ازجمله آب آشامیدنی) ١٩/٦٪ مربوط به تشخیص‌های پزشکی و باقی آن یعنی ٠/٤٪ ناشی از منابع تابش ساخته شده توسط بشر

می‌باشد [۱-۳]. این تابش‌ها می‌توانند تهدیدی برای سلامت بشر باشند. تحقیقات برنر[1] و همکاران [٤] نشان داد که دُزهای بالای $100\ mSv$ خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد ولی در دُزهای پایین‌تر از این مقدار گزارشی ارائه نشده است. نتایج تجربی نشان داد "دُز فردی معیار" (IDC)[2] $0.1\ mSv/y$ و کمتر از این مقدار خطری برای سلامت شخص ندارد [٥]. با توجه به دستورالعمل ICPR، در صورتی‌که فعالیت ویژه آلفا و بتا به‌ترتیب کمتر از $0.5Bq/L$ و $1\ Bq/L$ باشد، $IDC \le 0.1\ mSv/y$ خواهد بود. در صورت تجاوز از این مقدار بایستی غلظت هسته‌های پرتوزای محلول در آب را کنترل و مانع از افزایش آن از حد استاندارد WHO شد [٦,١]. اندازه‌گیری‌های متعددی در طول سالیان و در نقاط مختلف جهان انجام شده که بیش‌تر برپایه اندازه‌گیری تابش‌های آلفا و بتا بوده است. با اندازه‌گیری میزان فعالیت ویژه بتا و آلفا می‌توان به نوع ایزوتوپ‌های گسیل‌کننده در آب پی برد. در سال ۱۹۹۵ ولچ[3] و همکاران با تجزیه و تحلیل تابش بتای ۸۰۰ نمونه از آب‌های زیرزمینی پنج منطقه در ایالات متحده به‌وجود هسته‌های بتازایی چون: K^{40}، Th^{234}، Ra^{228} و U^{238} پی بردند [۷]. به‌دنبال اندازه‌گیری‌های ولچ و همکاران می‌توان به نمونه‌های مشابهی از این نوع اندازه‌گیری‌ها در طول سالیان اخیر در ایران و کشورهای دیگر انجام شده است که برخی از آن‌ها عبارتند از: اندازه‌گیری دز مؤثر مرتبط با گاز رادون و تابش‌های آلفا و بتا در آب‌های شرب اطراف برخی از معادن طلای نیجریه [۸]، تعیین فعالیت ویژه آلفا و بتا در آب‌های شرب ایالت انگیو[4] در نیجریه [۹]، ارزیابی میزان پرتوزایی رادون-۲۲۲ (Rn^{222}) و رادیوم-۲۲٦ (Ra^{226}) در آب‌های معدنی و شرب شهرستان سرعین [۱۰]، بررسی مواد پرتوزا سنگین رادون و رادیوم در رودها و آب شرب منطقهٔ رامسر به وسیله دستگاه PRASSI [۱۱]، اندازه‌گیری فعالیت آلفا و بتا در آب‌های زیرزمینی دشت رودخانهٔ هایه[5] در چین [۱۲]، فعالیت ویژه آلفا و بتا در آب، خاک و رسوبات رودخانه بندیمای[6] و دریاچه وان در ترکیه [۱۳] و سنجش پرتوزایی ویژه‌هسته‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی و محاسبه خطرات پرتوشناختی مربوط به آن‌ها در آب آشامیدنی منطقه اصفهان [١٤].

عموماً تابش آلفا به‌علت انرژی زیاد و قدرت یونیزاسیون بالا، نسبت به تابش بتا تهدید جدی‌تری برای سلامت انسان به‌شمار می‌رود [۱۵]. نتیجهٔ حاصل از اندازه‌گیری‌های آلفا و بتا این است که مطمئن شویم "سطح دُز مرجع"[7] (RDL) در آب آشامیدنی کم‌تر از $0.1\ mSv$ در سال می‌باشد. براساس توصیه ICPR و استانداردهای بین‌المللی اساسی ایمنی، RDL، $0.1\ mSv$ معادل ۱۰٪ دُز حدی برای عموم مردم در سال می‌باشد [١٦]. توجه شود که علاوه‌بر آلفا و بتا، تابش گاما نیز از هسته‌های پرتوزا گسیل می‌شود؛ میزان نفوذ و برد اشعه گاما از اشعه بتا و آلفا بیش‌تر است اما به‌دلیل قدرت یونش بالای آلفا و بتا و نیز نفوذ راحت آن‌ها از طریق بلع و تنفس به بافت‌های بدن، بسیار مضرتر از تابش‌های گاما هستند، بنابراین در اندازه‌گیری‌ها، کانون توجه بر تابش‌های آلفا و بتا است [۱۷و۱٦]. این اندازه‌گیری‌ها عموما به‌دلیل کشف منابع جدید آب، زلزله، حفاری و استخراج مواد معدنی به‌طور مداوم، لازم و ضروری است، چرا که نشت مواد پرتوزا طبیعی به آب‌های شرب تهدیدی جدی برای سلامت بشر تلقی می‌شود.

هدف از این تحقیق، اندازه‌گیری فعالیت ویژه آلفا و بتای کل در نمونه‌های آب جمع‌آوری شده از منابع آب استان ایلام با استفاده از روش منحصربه‌فرد شمارش با

[1] Brenner
[2] Individual dose criterion
[3] Welch
[4] Enugu
[5] Haihe
[6] Bendimahi
[7] Reference Dose Level

"شمارنده سنتیلاسیون مایع"[1] (LSC) به‌منظور اطمینان از عاری‌بودن آب از آلودگی پرتوزا و عدم خطر رادیولوژیکی ناشی از مصرف این نمونه‌های آب است.

۲. روش کار

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت ویژه آلفا و بتای کل در نمونه‌های آب از آشکارساز سوسوزن مایع با استفاده از آشکارساز سوسوزن مایع مدل Quantulus 1220 استفاده شد. اندازه‌گیری با این دستگاه یکی از دقیق‌ترین و بهترین روش‌های شمارش ذرات گسیلنده آلفا و بتا در نمونه‌های آب است. اندازه‌گیری همزمان ذرات آلفا و بتا موجود در نمونه یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این روش و دستگاه است. از امتیازات و برتری‌های دیگر شمارش نمونه با آشکارساز سوسوزن مایع، اندازه‌گیری غلظت هسته‌های پرتوزای با فعالیت بسیار کم و ناچیز، اندازه‌گیری همزمان ذرات آلفا و بتا موجود در نمونه، بازده عالی برای هسته‌های پرتوزای بتازای پرانرژی و بازده نزدیک به ٪۱۰۰ برای هسته‌های پرتوزای آلفازا است.

برای آماده‌سازی نمونه‌های آب جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت ویژهٔ آلفا و بتای کل آن با استفاده از آشکارساز سوسوزن مایع از سند ASTM 11704 که روش استاندارد برای این موضوع است استفاده می‌شود. مطابق این سند استاندارد، پس از تعیین منابع آب مورد هدف، جمع‌آوری نمونه‌ها که در این تحقیق مجموعاً ۲۰ نمونه آب از منابع مختلف آب استان ایلام است، در بطری‌های پلاستیکی ۱/۵ لیتری برای ارسال به آزمایشگاه انجام می‌گردد. برای جلوگیری از رسوب هسته‌های پرتوزای احتمالی در آب به دیواره ظروف، جلوگیری از هرگونه فعالیت بیولوژیکی موجودات میکروبی و هم‌چنین جلوگیری از تشکیل کلوییید، مقدار معینی اسیدنیتریک ٪۶۰ به هر ظرف نمونه برای رسیدن pH آن به حدود ۲ اضافه می‌شود.

برای افزایش دقت اندازه‌گیری پرتوزایی در آب، ۲۵۰ میلی‌لیتر از هر نمونه در داخل بشر ریخته می‌شود و سپس آن را بر روی هیتر استیرر قرار می‌دهیم تا این‌که با روش تبخیر ملایم تا مرحله خشک‌شدن تغلیظ گردند [۱۸, ۱۹]. سپس مواد باقیمانده در بشر با ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر شسته می‌شود و به ویال مخصوص ۲۰ میلی‌لیتری دستگاه آشکارساز سوسوزن مایع منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر مایع سوسوزن OptiPhase HiSafe 3 به آن اضافه می‌گردد.

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق با استاندارد، هر نمونه دو بار و به‌مدت ۲۴۰ دقیقه با آشکارساز سوسوزن مایع شمارش می‌شود و از میانگین شمارش‌ها برای تعیین فعالیت ویژه استفاده می‌گردد. میزان فعالیت ویژه آلفا و بتای کل در حجم معینی از آب از رابطه زیر محاسبه و تعیین می‌شود [۱۳]:

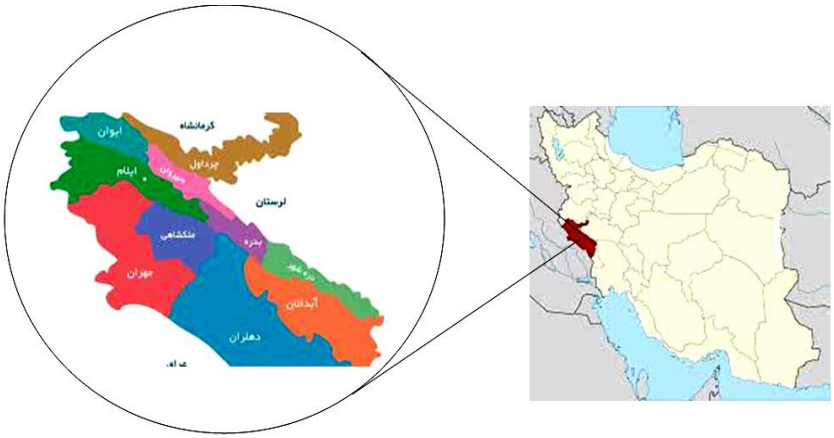
$$C_{\alpha,\beta} = \frac{N_{net}}{\varepsilon \times V \times 60} \qquad (۱)$$

که در این‌جا $C_{\alpha,\beta}$ فعالیت ویژه آلفا یا بتای کل برحسب Bq/L، N_{net} شمارش خالص نمونه (یعنی شمارش زمینه از شمارش نمونه کسر شده است) برحسب شمارش در دقیقه، ε بازده آشکارسازی، V حجم نمونه برحسب لیتر و ۶۰ ضریب تبدیل واپاشی در دقیقه به واپاشی در ثانیه است.

۳. نتایج و بحث

برای تعیین فعالیت ویژه ذرات آلفا و بتا در منابع آب سطحی و زیرزمینی، منابع آب موجود همراه با موقعیت آن‌ها در منطقه عملیاتی مشخص شده است. منابع آب در منطقه شامل آب چشمه، چاه، دریاچه و سد می‌باشد.

[1] Liquid Scintillation Counter



شکل (۱): نقشه شهرستان‌های استان ایلام که در آن‌ها نمونه‌برداری انجام شده است.

در این تحقیق با توجه به نظرات کارشناسان اداره آب و فاضلاب از مکان‌هایی که بیشترین خانوار را تحت پوشش خود داشتند ۲۰ نمونه آب انتخاب شد که شامل آب چشمه‌ها (۱۳ نمونه)، سدها و دریاچه‌ها (۱ نمونه)، چاه‌ها (٦ نمونه) مطابق شکل ۱ می‌باشد. بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها با تعیین pH اولیه و تغییر آن به‌کمک اسیدنیتریک غلیظ به مقدار ۲/۵، فرایند آماده‌سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقدار فعالیت ویژه ذرات آلفا و بتا انجام شد.

جدول (۱): کدگذاری نمونه‌ها و pH اولیه آن‌ها.

نام منبع آب	نام شهرستان	کد منبع آب	pH اولیه نمونه
چاه شماره ۵ دشت اکبر دهلران	دهلران	N-1	۷/۲۳
چاه شماره ۷ مهران	مهران	N-2	۷/۰۳
چشمه سراب آبدانان	آبدانان	N-3	۷/٦۳
چشمه سراب دره شهر	دره شهر	N-4	۷/٦۷
چاه شماره ۱ هلیلان	هلیلان	N-5	۷/۰۷
چاه باغله سرابله	چرداول	N-6	۷/۳۰
چاه شماره ۳ شهری سرابله	چرداول	N-7	۷/٤۸
چاه میرزابیگی لومار	سیروان	N-8	۷/۳۸
چشمه سرابکلان لومار	سیروان	N-9	۷/٤۱
چشمه میان تنگ ملکشاهی	ملکشاهی	N-10	۷/۵۰
چشمه سیاهگل ایوان	ایوان	N-11	۷/۲۹
چاههای قوچعلی (٤ حلقه)	ایلام	N-12	۷/٤۵
چاه تعاونی مسکن	ایلام	N-13	۷/۳۱
چاه دامپزشکی	ایلام	N-14	۷/۵۳
چاه خرم‌رودی	ایلام	N-15	۷/۳۸
چاه مهدی آباد	ایلام	N-16	۷/۵۲
چاه ترمینال	ایلام	N-17	۷/٤۸
چاه هفت چشمه (روستایی)	ایلام	N-18	۷/۷۱
چشمه گل‌گل	ملکشاهی	N-19	۷/۷۲
سد ایلام (ایستگاه شماره ۱)	ملکشاهی	N-20	۷/۱۵

ما برای تحلیل آسان‌تر، مطابق جدول ۱ نمونه‌ها را کدگذاری کرده و pH اولیه آن‌ها را به‌کمک دستگاه پی‌اچ‌سنج ساخت شرکت Metrohm سوئیس اندازه‌گیری کردیم. با توجه به جدول ۱، pH اولیه آب‌های مناطق بررسی شده تقریباً در محدوده خنثی وجود دارد. با تعیین عناصر و ترکیبات موجود در آب، احتمالاً بتوان رابطه معناداری بین جنس خاک‌های منطقه و مقدار pH پیدا کرد. اما با توجه به این‌که pH اولیه تمام نمونه‌ها را به مقدار ۲/۵ تقلیل دادیم بنابراین هیچ‌گونه ارتباط معناداری بین مقدار pH و فعالیت ویژه آلفا و بتا وجود ندارد.

اولین قدم در تعیین فعالیت ویژه آب، اندازه‌گیری آلفای کل و بتای کل می‌باشد. طبق سند و استاندارد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و ICRP [۱، ۲ و ۲۰] چنان‌چه میزان آلفای کل و بتای کل به‌ترتیب تا Bq/L ۰/۵ و Bq/L ۱ باشد، فعالیت دیگر و یا اندازه‌گیری مواد پرتوزا به‌صورت جداگانه نیاز نیست. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در سازمان انرژی اتمی به‌کمک دستگاه LSC مدل ۱۲۲۰ کوانتولوس، مقدار آلفا و بتای کل نمونه‌ها برحسب mBq/L و منبعی که از آن نمونه‌گیری شده، در جدول ۲ داده شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که با توجه به استانداردهای معیار دُز فردی WHO، ICRP و IAEA، فعالیت آلفا و بتای کل در هیچ یک از

نمونه‌ها، بالاتر از حد مجاز نمی‌باشد. بنابراین تمام آب‌های آشامیدنی ایلام که در جدول ۱ ارائه شده‌اند، ازنظر پرتوزایی طبق استانداردهای مذکور فاقد اشکال هستند. مطابق استانداردهای فوق، اگر میزان آلفای کل و بتای کل نمونه‌ای بالاتر از حدهای ذکر شده باشد، آن وقت نیاز به اندازه‌گیری جداگانه هسته‌های پرتوزایی مانند رادیوم و اورانیوم به‌صورت جداگانه است و حد مجاز رادیوم و اورانیوم، طبق استانداردهای مذکور خواهد بود. مطابق استاندارد "آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا"[1] (EPA) بررسی میزان رادون برای آب‌های سطحی قابل اهمیت نیست زیرا گاز رادون از آب‌های سطحی خارج می‌شود و تنها بررسی میزان رادون آب‌های زیرزمینی مانند آب‌های چاه دارای اهمیت می‌باشد [۲۱].

جدول (۲): مقدار فعالیت ویژه آلفا و بتای کل نمونه‌ها.

چاه‌ها		
نام منبع آب	آلفای کل (mBq/L)	بتای کل (mBq/L)
N-1	۱۱/۱	۹۸/۹
N-2	<MDA[2]	۴۹/۹
N-5	۲۰/۰	۱۴۴/۵
N-6	۴۶/۹	۱۰۵/۲
N-7	۳۰/۱	۱۶۲/۳
N-8	<MDA	۸۲/۱
N-12	۵۵/۲	۱۲۰/۰
N-13	۱۹/۱	۱۵۷/۷
N-14	۲۰/۰	۲۱۶/۴
N-15	۱۵/۱	۷۴/۹
N-16	۱۹/۱	۶۷/۳
N-17	۱۶/۱	۵۰/۳
N-18	۲۹/۶	۱۱۵/۲
چشمه‌ها		
نام منبع آب	آلفای کل (mBq/L)	بتای کل (mBq/L)
N-3	۲۸/۹	۱۱۰/۸
N-4	۷۳/۷	۱۵۶/۸
N-9	۱۰/۱	۱۲۴/۰
N-10	۴۹/۹	۹۲/۵
N-11	۴۰/۷	۱۳۱/۶
N-19	۴۵/۹	۸۱/۳
سدها		
نام منبع آب	آلفای کل (mBq/L)	بتای کل (mBq/L)
N-20	۲۶/۹	۵۹/۲

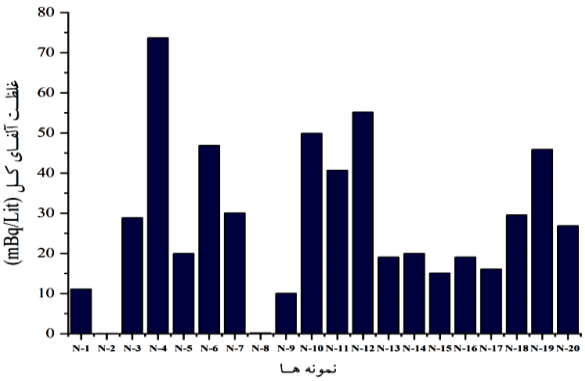
[1] United State Environmental Protection Agency
[2] Minimum Detectable Activity

طبق استانداردهای WHO چنان‌چه میزان رادون آب بیشتر از Bq/L ۱۰۰ باشد باید فعالیتی هم‌چون رادون‌زدایی انجام بگیرد [۲, ۲۲]. در این‌جا با توجه به نتایج جدول ۲ نیازی به اندازه‌گیری گاز رادون نیست و نمونه‌ها به لحاظ رادون فاقد اشکال هستند. مقدار متوسط فعالیت ویژه آلفا و بتای کل برحسب منابع برداشت آب در جدول ۳ داده شده است.

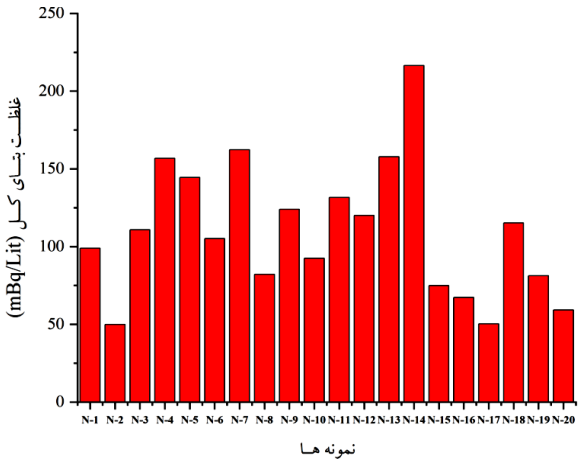
جدول (۳): مقدار متوسط فعالیت ویژه آلفا ($\bar{C}_\alpha\ (mBq/L)$) و بتای کل $\bar{C}_\beta\ (mBq/L)$ نمونه‌ها.

منبع نمونه‌گیری	تعداد نمونه‌ها	$\bar{C}_\alpha\ (mBq/L)$	$\bar{C}_\beta\ (mBq/L)$
چاه	۱۳	۲۰/۵۶	۱۱۱/۱۳
چشمه‌ها	۶	۴۱/۵۳	۱۱۶/۱۶
سد	۱	۲۶/۹۰	۵۹/۲۰

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، مقدار متوسط فعالیت ویژه کل آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها) کمتر از آب‌های سطحی (چشمه‌ها و سدها) می‌باشد و این احتمالاً به‌دلیل جنس خاک منطقه‌ای است که در آن نمونه‌گیری انجام شده است. در شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب فعالیت ویژه آلفا و بتای کل داده شده است. نتایج حاکی از این است که بیش‌ترین فعالیت ویژه تابش آلفا مربوط به نمونه N-4 و برای تابش بتا، مربوط به نمونه N-14 می‌باشد. این نشان می‌دهد که ترکیب هسته‌های پرتوزای این دو نمونه با هم متفاوت هستند یعنی یکی واپاشنده آلفاست و دیگری بتازا می‌باشد. با توجه به شکل ۱ کمترین میزان فعالیت ویژه آلفا مربوط به نمونه‌های N-2 و N-8 می‌باشد در حالی‌که این نمونه‌ها با توجه به شکل ۲ دارای تابش بتای به نسبت قابل توجهی می‌باشند.



شکل (۱): غلظت آلفای کل نمونه‌ها برحسب میلی‌بکرل بر لیتر.



شکل (۲): فعالیت ویژه بتای کل نمونه‌ها برحسب میلی‌بکرل بر لیتر.

برای بررسی ارتباط بین متغیرهای C_α و C_β نمونه‌ها ضریب هم‌بستگی پیرسن را به‌کمک رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \qquad (۲)$$

که در این‌جا پارامترهای $Cov(x,y)$، r و σ_x^2 به‌ترتیب کوواریانس، ضریب هم‌بستگی و مربع انحراف معیار استاندارد می‌باشند. طبق تعریف، کوواریانس بین دو متغیر C_α و C_β عبارت است از:

$$Cov(C_\alpha, C_\beta) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} f_{ij} C_\alpha^{(i)} C_\beta^{(j)} - \bar{C}_\alpha \bar{C}_\beta \qquad (۳)$$

پارامتر f_{ij} فراوانی دسته i نسبت به دسته j و یا برعکس می‌باشد [۲۳]. با انجام محاسبات به‌کمک نرم‌افزار آماری آر (r) ضریب هم‌بستگی بین این دو متغیر محاسبه می‌گردد:

$$r(C_\alpha, C_\beta) = 0.27$$

به‌همین ترتیب با استفاده از آزمون $p-value$ معناداری ارتباط بین متغیرها بررسی شده است که مقدار آن عبارت است از:

$$p_{value}(C_\alpha, C_\beta) = 24\ \%$$

با توجه به این‌که ضریب هم‌بستگی این دو متغیر مثبت می‌باشد بنابراین پارامترها با همدیگر هم‌بستگی مستقیم دارند. با توجه به این‌که $p_{value}(C_\alpha, C_\beta) > 5\ \%$ می‌باشد، بنابراین ارتباط بین این دو متغیر معنادار نیست. این نتیجه از دیدگاه فیزیک هم درست می‌باشد، چرا که واپاشی آلفازا ناشی از برهم‌کنش کولنی ذره آلفا با سد پتانسیل جاذب هسته‌ای است، در حالی‌که واپاشی بتازا ناشی از برهم‌کنش هسته‌ای ضعیف می‌باشد که این دو در انرژی‌های پایین تقریباً هیچ ارتباطی با هم ندارند.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعداد ۲۰ نمونه از آب‌های شرب استان ایلام با بیش‌ترین تعداد خانوار تحت پوشش را از نظر مقدار فعالیت ویژه آلفا و بتای کل بررسی کردیم. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، اندازه‌گیری C_α و C_β آن‌ها به‌کمک LSC اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز، فعالیت ویژه آلفای کل را از ۰/۲ mBq/L تا ۷۳/۷ mBq/L و با میانگین ۲۷/۹٤ mBq/L نشان دادند و به‌همین ترتیب فعالیت ویژه بتای کل در نمونه‌ها از ٤۹/۹ mBq/L تا ۲۱٦/٤ mBq/L و با میانگین ۱۱۰/۰٤ mBq/L به‌دست آمدند. نتایج نشان داد که تمام نمونه‌های تحت بررسی فاقد هرگونه آلودگی پرتوزا هستند. ضریب هم‌بستگی بین این دو متغیر، ۰/۲۷ محاسبه گردید ولی با این حال به‌کمک آزمون $p-value$ ثابت شد رابطه معناداری بین این متغیرها وجود ندارد. خوشبختانه نتیجه آنالیزهای همه نمونه‌ها نشان داد که تمام منابع آزمایش شده مطابق با دستورالعمل استاندارد ملی ایران [۲٤] زیر حد مجاز ۵۰۰ mBq/L برای آلفای کل و ۱۰۰۰ mBq/L برای بتای کل که منطبق بر استانداردهای WHO و ICRP است، هستند و ازنظر کیفیت رادیولوژیکی سالم و مناسب مصرف هستند.

۵. مراجع

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۷، شماره ۱، (۱۳۹۷).

[۱۱] حبیب زهراپور، علیرضا بینش و سعید محمدی. بررسی مواد رادیواکتیو سنگین رادون و رادیوم در رودها و آب شرب منطقه رامسر به‌وسیله دستگاه PRASSI. مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ٤، (۱۳۹۰).

[12] P. Yi, M. Gong, W. Zhang, X. L. Hou, A. Aldahan, J. Yang, P. Chen, Evaluation of gross-α and gross-β activities in groundwater of the Haihe River Plain, China, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry , 317 (2018) 193–201.

[13] Ö. Selçuk Zorer, H. Ceylan, M. Doğru, Gross alpha and beta radioactivity concentration in water, soil and sediment of the Bendimahi River and Van Lake (Turkey), Environ Monit Assess, 148 (2009) 39–46.

[14] D. M. Bunotto, T. O. Bueno, The natural radioactivity in Guarani aquifer groundwater, Brazil. Applied Radiation and Isotopes, 66 (2008) 1507-1522.

[15] F. O. Ogundare , O. I. Adekoya, Gross alpha and beta radioactivity in surface soil and drinkable water around a steel processing Facility, Journal of Radiation Research and Applied Science 8 (2015) 411-417.

[16] M. Mehade Hassan, M. I. Ali, D. Paul, M. A. Haydar, S. M. A. Islam, Natural radioactivity and assessment of associated radiation hazards in soil and water samples collected from and around Barapukoria 2X125MW coal fired thermal power plant, Dinajpur, Bangladesh, Journal of Nuclear & Particle Physics, 4 (2014) 17-24.

[17] IAEA, Safety requirements on preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. Vienna, International Atomic Energy Agency (Safety Standards Series No. GS-R-2) (2000).

[18] https:// archive.epa.gov/ water/ archive/ web/ html/ basicinformation-2.html.

[19] WHO, Guidelines for drinking-water quality, 3rd edition. Geneva: World Health Organization (2008).

[20] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, Ye King, probability and statistics for engineers and scientists, Pearson Education, Inc., (2012).

[1] ICRP, Nuclear decay data for dosimetric calculations. ICRP Publication 107. Annals of the ICRP, 3 (2008) 38.

[2] World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking-water quality - 4th Edition, ISBN 978-92-4-154815-1, (2011).

[3] Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA, 822-F-18-001, (2018).

[4] D. Brenner, R. Doll, D. T. Goodhead, E. J. Hall, C. E. Land, J. B. Little, J. H. Lubin, D. L. Preston, R. J. Preston, J. S. Puskin, E. R. Rainer, K. Sachs, J. M. Samet, R. B. Setlow, M. Zaider. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100 (2003)13761–13766.

[5] ICRP, Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 82. Annals of the ICRP, 29(1–2) (2000).

[6] Standard test method for radon in drinking water, ASTM D (2016) 5072-09.

[7] A. H. Welch, Z. Szabo, D. L. Parkhurst, P. C. Van Metre, A. H. Mullin, Gross beta activity in ground water: natural sources and artifacts of sampling in laboratory analysis, Applied Geochemistry, 10 (1995) 491- 503.

[8] S. Bello, R. Nasiru, N. N. Garba, D. J. Adeyemo, Annual effective dose associated with radon, gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water from gold mining areas of Shanono and Bagwai, Kano state, Nigeria, Microchemical Journal, 154 (2020) 104551.

[9] G. O. Avwiri, J. C. Osimobi, C. P. Ononugbo, Gross Alpha and Gross Beta Activity Concentrations and Committed Effective Dose due to Intake of water in Solid Mineral Producing Areas of Enugu State, Nigeria, International Journal of Physics and Applications, 8 (2016) 33-43.

[۱۰] شیوا جباری، بهرام سلیمی، علی بهرامی‌سامانی و سیمین‌دخت شیروانی‌آرانی. ارزیابی میزان پرتوزایی رادون- ۲۲۲ و رادیوم- ۲۲٦ در آب‌های معدنی و شرب شهرستان سرعین.