توسعه‌ی یک ابزار پردازش برای تجزیه‌وتحلیل عمیق داده‌های رادیونوکلاید: مطالعه‌ی موردی داده‌های رادیونوکلاید آی‌اِم‌اِس برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۱۷

INC29-1237

فاطمه مسجدی*، محمدجواد صفری

گروه کاربرد پرتو، دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران- ایران

چکیده:

داده‌های غلظت رادیونوکلاید اندازه‌گیری‌شده در شبکه‌ی جهانی پایش (آی‌اِم‌اِس) از طریق نرم‌افزار سی‌آرتول، قابل‌دسترسی است. این داده‌ها حاوی غلظت‌های شناسایی‌شده برای انواع رادیونوکلایدهای طبقه‌بندی‌شده به‌عنوان گاز نجیب (زنون)، ذرات معلق، محصولات فعال‌سازی، محصولات شکافت و ذرات طبیعی است. نقش اصلی این داده‌ها یافتن و شناسایی هر رویدادی است که به‌نظام راستی آزمایی سازمان بین‌المللی منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای (سی‌تی‌بی‌تی) مربوط می‌شود. شناسایی رویدادها مستلزم تجسم داده‌ها برای جستجوی جنبه‌های مختلف داده است. در حال حاضر سی‌آرتول برای تجسم داده‌ها، متکی به قابلیت گرافیکی ساده‌ی محدودی است. در مقاله‌ی حاضر، گزارش از توسعه‌ی یک ابزار برای تحلیل داده‌های سی‌آرتول و نمایش بصری آن‌ها معرفی می‌شود. در این روش، فایل‌های سی‌اِس‌وی غیر برخط را برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۱۷ که از سی‌آرتول گرفته‌شده بود، با برچسب‌های مناسب که مکان، کشور و نوع رادیونوکلاید آشکارشده را اعلام می‌کرد، به دست آوردیم. سپس توسط نرم‌افزار متلب، ابزاری برای مطالعه‌ی پارامتریک این داده‌ها ایجاد گردید. انواع مختلفی از گرافیک برای تحلیل عمیق داده‌ها، تولید می‌شود: نمودار میله‌ای برای نشان دادن غلظت همه‌ی رادیونوکلایدها برای هر ایستگاه منفرد؛ نمودار میله‌ای برای نشان دادن غلظت یک رادیونوکلاید برای همه‌ی ایستگاه‌ها در یک منطقه/ کشور. همچنین امکان تولید تصویرهای متحرک، برای تنوع غلظت‌های روزانه، هفتگی یا ماهانه وجود دارد. این مهم ممکن است با ترسیم نمودار حباب بر روی یک نقشه‌ی جغرافیایی برای هر رادیونوکلاید منفرد، نمایش داده شود.

کلیدواژه‌ها: آی‌اِم‌اِس، سی‌آرتول، ابزار پردازش، نظام تأیید سی‌تی‌بی‌تی، تجسم داده

Development of a processing toolkit for in-depth radionuclide data analysis: Case study of IMS radionuclide data for the period 2017-2020

F. Masjedi, M. J. Safari

Radiation application department, Department of Energy Engineering and Physics, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract:

IMS radionuclide concentration data is accessible through the CRTooL. It contains detected concentrations for all kinds of radionuclides, categorized as noble gas (Xenon) and particulates, natural, activation and fission-products. The ultimate role of these data is to find and identify any event that is related to the verification regime of the CTBT. Identification of events demands data visualization to look for different aspects of data. Currently, CRTool is limited to very simple data visualization and graphics capabilities. This work helps to renew the design of CRTool data analysis and visualization graphics. We obtained offline CSV files for the period of 2017-2020 taken from CRTool, with appropriate tags declaring detection location, country and the kind of radionuclide. Then, a toolkit has been developed by MATLAB for parametric study of these data. There are several types of graphics produced for the in-depth analysis of data: a bar chart to show the concentration of all radionuclides for any single station and a bar chart to show the concentration of a radionuclide for all stations, probably within a region/country. It also is possible to produce animated graphics, for a daily, weekly or monthly variation of concentrations. This may be displayed by bubble chart graphics over a geographic map for any single radionuclide.

Keywords: IMS, CRTool, verification regime of the CTBT, visualization data, processing toolkit

۱. مقدمه

نظام تأیید[۱] سی‌تی‌بی‌تی[۲] به‌منظور شناسایی هرگونه انفجار هسته‌ای روی‌زمین-زیرزمین[۳]، زیر آب[۴] یا در جو[۵]، طراحی‌شده است. هدف این نظام، نظارت بر تطبیق کشورها با معاهده که ممنوعیت انفجارهای هسته‌ای در کره‌ی زمین است، است [۱].

انرژی منتشرشده توسط یک آزمایش انفجار هسته‌ای، سیگنال‌هایی ایجاد می‌کند که بالقوه توسط حسگرهای رادیونوکلاید، حسگرهای نوری و سایر حسگرهای الکترومغناطیسی (هم از نوع زمینی و هم ماهواره‌ای) و همچنین حسگرهای موج الاستیک (فرو صدا، هیدروآکوستیک[۶]، لرزه‌شناسی) قابل‌تشخیص هستند.

سیستم نظارت سی‌تی‌بی‌تی از ۴ روش تکمیلی تأیید و از مدرن‌ترین فناوری‌های موجود، استفاده می‌کند: لرزه‌ای، هیدروآکوستیک و فرو صدا (که درمجموع فناوری‌های لرزه‌ای- صوتی[۷] نامیده می‌شود) و پایش رادیواکتیویته (فناوری رادیونوکلاید). فناوری‌های لرزه‌ای- صوتی برای ارائه‌ی نظارت در زمان واقعی در محیط‌های زیرزمینی، زیرآب و جَوی و همچنین ارائه‌ی جزئیات دقیق مکانی، در نظر گرفته‌شده است [۲]. در مقابل، فناوری رادیونوکلاید پاسخ نسبتاً تأخیری‌ای خواهد داشت، زیرا آشکار شدن آن به ترابرد جوی مواد رادیواکتیو و جمع‌آوری و تحلیل بعدی آن‌ها بستگی دارد، اما این فناوری تنها فناوری‌ای است که می‌تواند اثبات قانونی «ماهیت هسته‌ای» هر رویداد مشکوک را ارائه دهد.

سی‌تی‌بی‌تی یک سیستم پایش بین‌المللی (آی‌اِم‌اِس)[۸] را برای نظارت بر اجرای معاهده، فراهم می‌کند. شبکه‌ی پایش جهانی شامل ۵۰ ایستگاه لرزه‌نگاری اولیه و ۱۲۰ ایستگاه کمکی برای شناسایی رویدادهای لرزه‌ای است. شبکه‌ی رادیونوکلایدی آی‌اِم‌اِس، اولین شبکه‌ی جهانی است که شامل ۸۰ ایستگاه رادیونوکلاید است که ۴۰ ایستگاه از آن‌ها، پس از لازم‌الاجرا شدن این معاهده، قادر به شناسایی گازهای نجیب خواهند بود. ۱۶ آزمایشگاه رادیونوکلاید، نمونه فیلترهای ایستگاه‌ها را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند. علاوه‌براین، یک شبکه‌ی منحصربه‌فرد از ۶۰ ایستگاه فرو صدا برای شناسایی انفجارهای هسته‌ای انجام‌شده در جو، طراحی‌شده است و ۱۱ ایستگاه هیدروآکوستیک نیز برای شناسایی چنین انفجارهایی در اقیانوس‌ها طراحی گردیده است.

۲. روش کار

داده‌های رادیونوکلاید موجود در سی‌آرتول[۹]، به‌صورت فایل اِکسلی شامل غلظت رادیونوکلایدهای ثبت‌شده در زمان‌ها و ایستگاه‌های رادیونوکلاید مختلف، در دسترس است. با بهره‌مندی از این داده‌ها می‌توان فرایندها و موادی که باعث انتشار رادیواکتیو می‌گردند را شناسایی کرد. حساسیت ایستگاه‌ها به حدی است که حتی می‌تواند به دانشمندان اجازه دهد تا مدلی از دستگاه خاصی که در یک آزمایش هسته‌ای خاص منفجرشده است را تهیه نمایند. اولین گام برای نیل به این هدف، پردازش صحیح و بصری سازی مناسب داده‌ها است. به این منظور، در این کار با استفاده از نرم‌افزار متلب و نوشتن الگوریتم‌های مناسب، به پردازش و بصری سازی داده‌ها پرداخته‌شده است. این داده‌ها به‌عنوان ورودی برنامه در نظر گرفته‌شده و خروجی برنامه به‌صورت جداول، نمودار و انیمیشن است.

در ابتدایی‌ترین حالت، همان‌گونه که در

شکل ۱ مشاهده می‌گردد، می‌توان تمامی داده‌های متعلق به هر رادیونوکلاید/ ایستگاه را در نمودار غلظت- زمان، برای زمانی دلخواه (اعم از چند روز تا چند سال)، به تصویر درآورد. با این کار می‌توان در کنار مشاهده‌ی کلی وضعیت جهانی این رادیونوکلاید/ ایستگاه، به سهولت و سرعت، به مقادیر نامتعارف این رادیونوکلاید/ ایستگاه و زمان رخداد آن‌ها، پی برد. با استفاده از

---

[1] Verification Regime
[۲] CTBT
[3] On Earth-Underground
[4] Underwater
[5] Atmospher
[۶] hydroacoustics
[۷] seismo-acoustic
[۸] International Monitoring System (IMS)
[۹] CRTool

شکل ۱ مشخص می‌گردد که به‌عنوان‌مثال، سزیم ۱۳۷ تقریباً در تمام‌روزهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰، دیده‌شده است، همچنین تاریخ و مقدار بیشترین غلظت ثبت‌شده نیز قابل‌مشاهده است، اما از این نمودار نمی‌توان دریافت که بیشترین غلظت متعلق به کدام ایستگاه است یا مثلاً وضعیت ثبت این رادیونوکلاید در یک ایستگاه خاص نسبت به سایر ایستگاه‌ها چگونه است. لذا درک موارد این‌چنینی و بررسی‌های دقیق‌تر، مستلزم پردازش‌های بیشتر بر روی‌داده‌ها است. به‌طور مثال می‌توان، از دستورهایی جهت برجسته کردن ایستگاه‌هایی که این رادیونوکلاید را در غلظتی ویژه یا درزمانی خاص ثبت کرده‌اند، استفاده نمود. نمونه‌ای از این نمودارها در

و

به نمایش درآمده‌اند.

همچنین می‌توان شرایط یک ایستگاه یا حتی یک محدوده‌ی جغرافیایی خاص را نسبت به سایر ایستگاه‌ها در ثبت رادیونوکلاید موردنظر، بر روی نمودارهایی مشابه

شکل ۴،

و **Error! Reference source not found.**، مشاهده نمود. لازم به ذکر است که در تمامی حالات گفته‌شده، کلیه‌ی داده‌های رادیونوکلاید موردنظر، همواره بر روی نمودار وجود دارد و برحسب نیاز، مواردی بر روی آن نشان‌دار می‌گردد، این امر با در اختیار گذاشتن سابقه‌ای از آن رادیونوکلاید یا ایستگاه، ما را در مقایسه، بررسی و تحلیل بهتر داده‌ها و رویدادها، یاری می‌رساند.

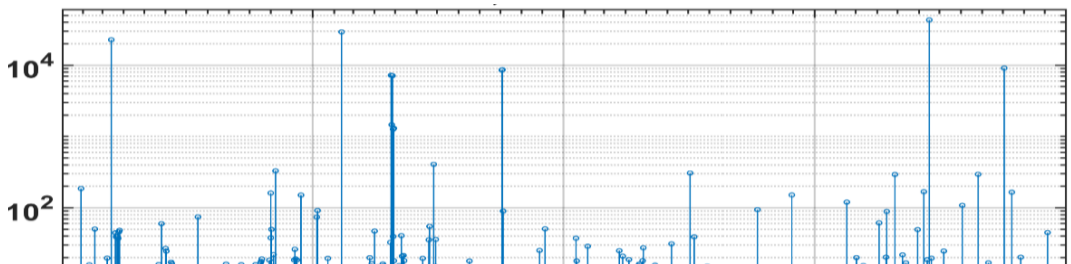
علاوه بر موارد فوق، ازجمله خروجی‌هایی که می‌تواند بسیار مفید باشد، انیمیشن‌هایی است که می‌تواند تغییرات یک رادیونوکلاید یا ایستگاه را درگذر زمان به‌خوبی به تصویر بکشد. این انیمیشن‌ها هم بر اساس نمودارهای میله‌ای، قابل‌مشاهده در

شکل ۷ و

و هم جئوبابل[۱۰] [۳] تهیه می‌گردند که دراین‌بین انیمیشن‌های جئوبابل از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. این انیمیشن‌ها قابلیت نمایش روند ثبت رادیونوکلاید موردنظر را درگذر زمان‌بر روی نقشه‌ی جغرافیا و در محل دقیق ایستگاه‌های جهانی رادیونوکلاید، دارا می‌باشند. با استفاده از الگوریتم‌های مناسب می‌توان این داده‌ها را به‌صورت گذرا یا به‌صورت تجمعی و یا مطابق

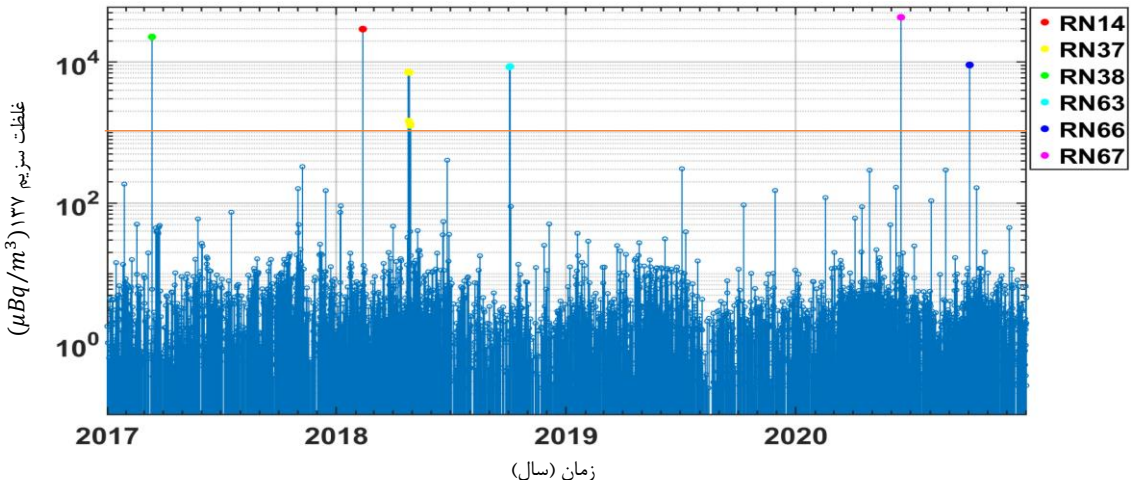
شکل ۹ با حفظ داده‌های روزهای گذشته، به نمایش درآورد.

۳. شکل‌ها

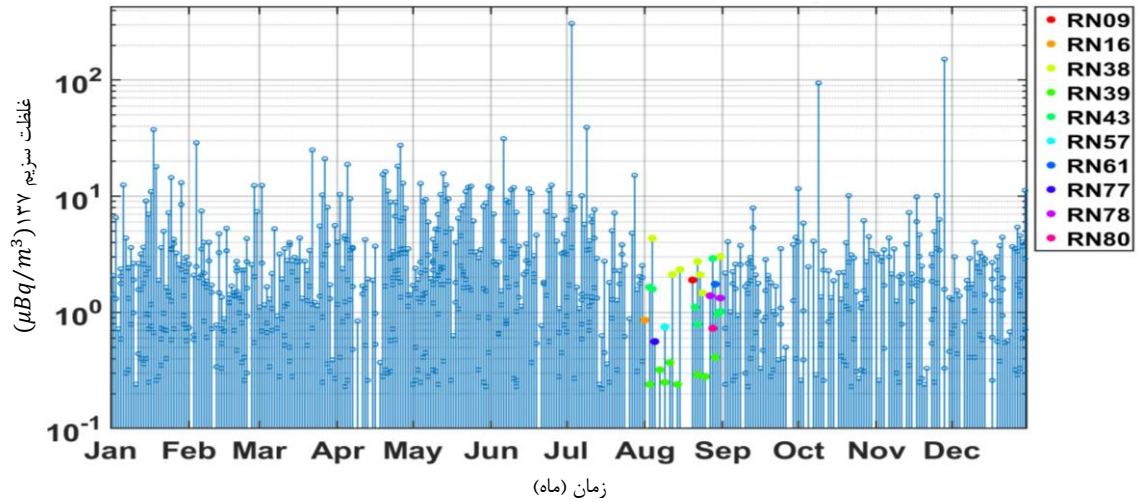


۱۰ Geob

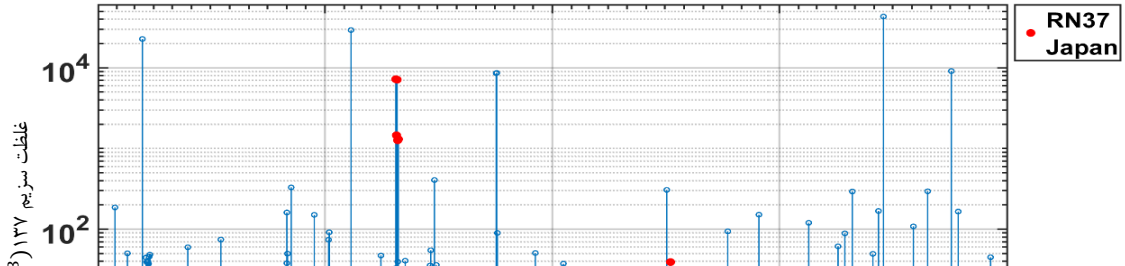
شکل ۱. نمودار خام غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۲۰



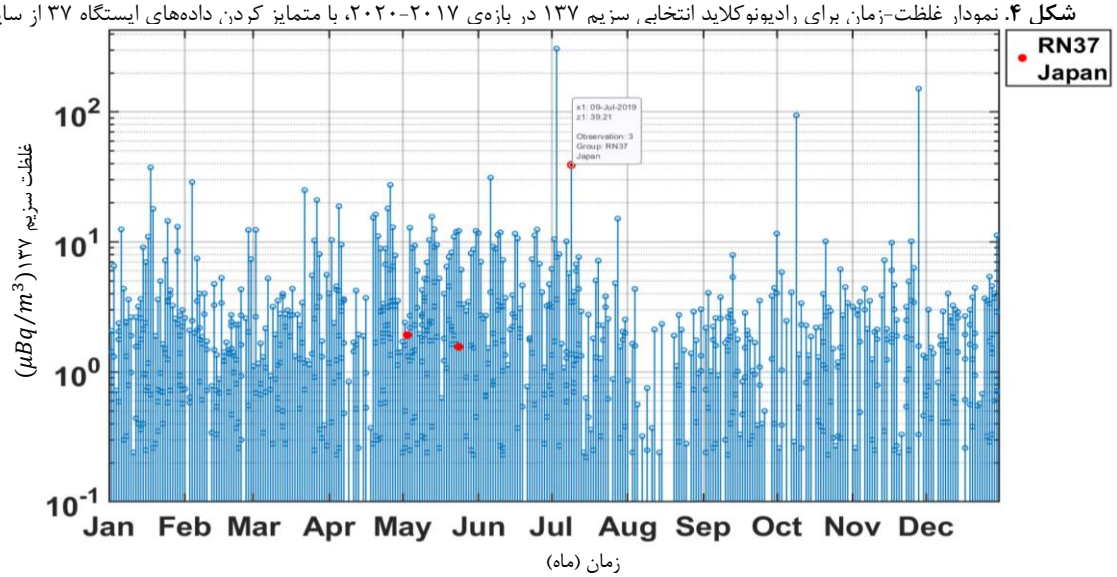
شکل ۲. نمودار غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در بازه‌ی ۲۰۱۲-۲۰۱۰ با مشخص کردن ایستگاه‌هایی که غلظت بالای ۱۰۰۰ را ثبت کرده‌اند



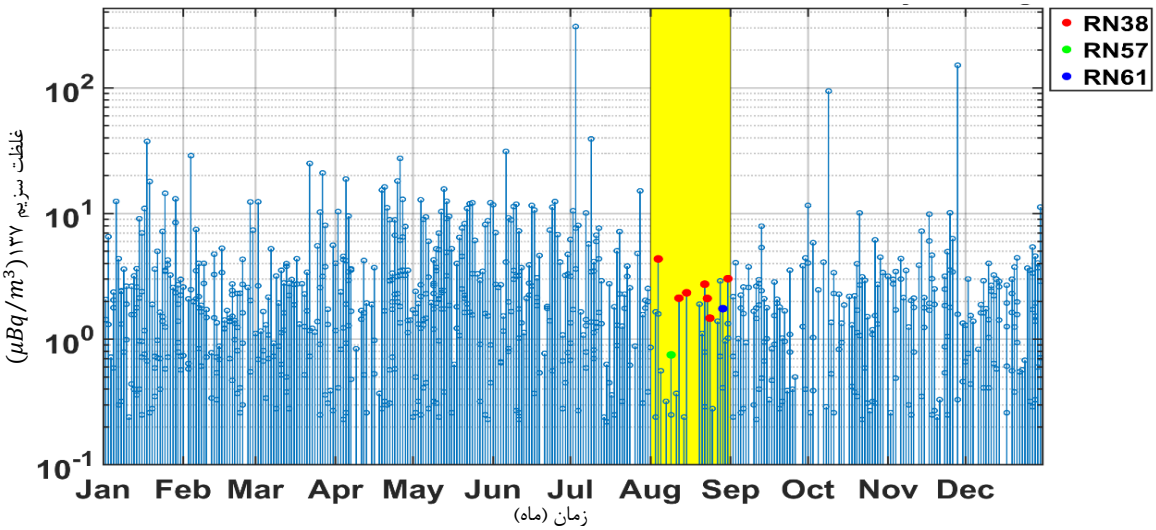
شکل ۳. نمودار غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در سال ۲۰۱۹، با مشخص کردن ایستگاه‌هایی که آن را در ماه اوت مشاهده نموده‌اند



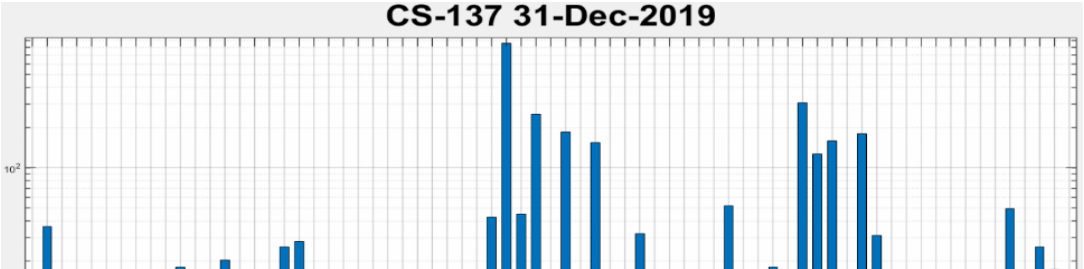
شکل ۴. نمودار غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۲۰، با متمایز کردن داده‌های ایستگاه ۳۷ از سایر داده‌ها



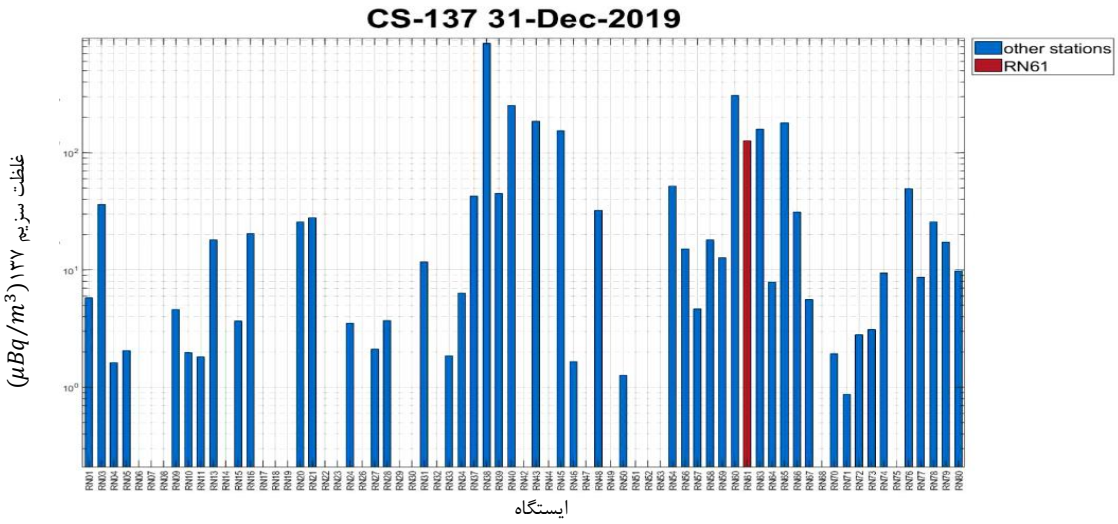
شکل ۵. نمودار غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در سال ۲۰۱۹، با متمایز کردن داده‌های ایستگاه ۳۷ از سایر داده‌ها



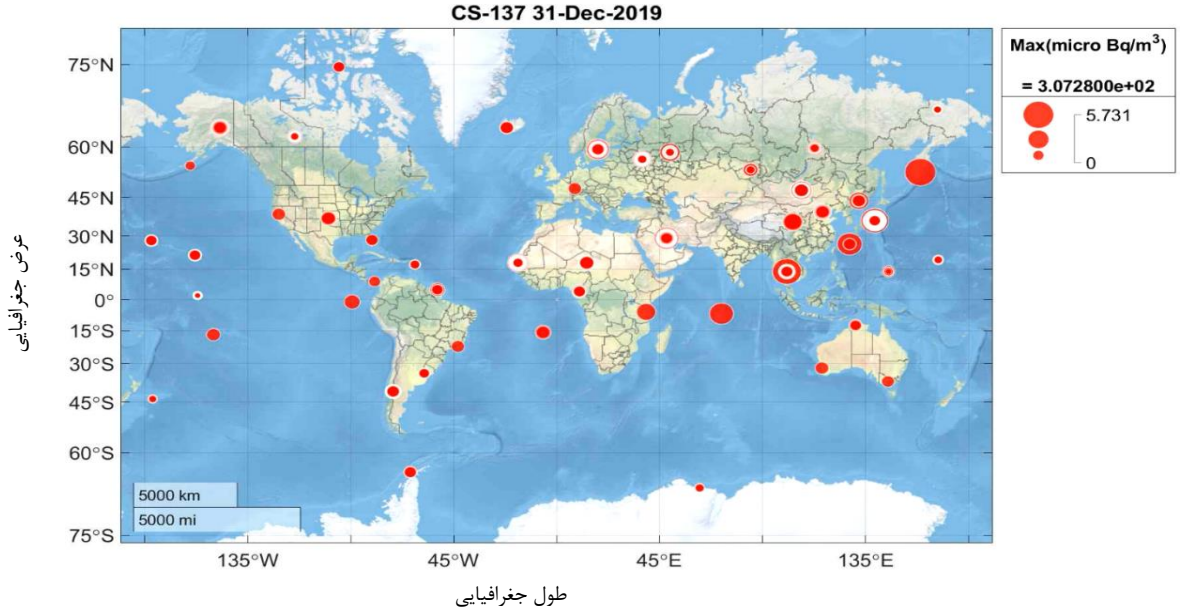
شکل ۶. نمودار غلظت-زمان برای رادیونوکلاید انتخابی سزیم ۱۳۷ در سال ۲۰۱۹، با نشان‌دار کردن داده‌های ایستگاه‌های روسیه و مجاور آن در ماه اوت



شکل ۷. تصویری از اسلاید آخر انیمیشن نمودار میله‌ای، نشان‌دهنده‌ی تغییرات غلظت سالانه به‌صورت تجمعی برای سزیم ۱۳۷



شکل ۸. تصویری از اسلاید آخر انیمیشن نمودار میله‌ای نشان‌دهنده‌ی تغییرات غلظت سالانه به‌صورت تجمعی برای سزیم ۱۳۷ با نشان‌دار کردن ایستگاه ۶۱



شکل ۹. تصویری از اسلاید آخر انیمیشن جئوبابل، نشان‌دهنده‌ی تغییرات غلظت سالانه‌ی سزیم ۱۳۷ بر روی نقشه‌ی جغرافیا با حفظ داده‌های ثبت‌شده در روزهای قبل

یادآور می‌شود، برای امکان مقایسه‌ی بهتر، تمامی نمودارها و انیمیشن‌ها برای یک رادیونوکلاید مشخص (سزیم ۱۳۷)، ارائه‌شده است. با بررسی اجمالی نتایج به‌دست‌آمده برای رادیونوکلاید انتخابی (سزیم ۱۳۷)، مشاهده می‌گردد که این رادیونوکلاید تقریباً در تمام بازه‌ی انتخابی دارای مقدار بوده است و بیشترین مقدار ثبت‌شده از آن در سال ۲۰۲۰ و متعلق به ایستگاه ۶۷ است. بیشترین دفعات مشاهده‌ی آن در سال ۲۰۱۹، مربوط به ایستگاه ۳۸ (ژاپن) است، درحالی‌که بیشترین غلظت ثبت‌شده در این سال، متعلق به روسیه و ماه جولای[۱۱] است.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار متلب، برنامه‌ای جهت پردازش سریع، متنوع و کارآمد داده‌های رادیونوکلاید آی‌اِم‌اِس، نوشته شد و مواردی از نتایج بصری حاصل برای سزیم ۱۳۷ ارائه گردید.

استفاده کارآمد از داده‌های سی‌آرتول، نیازمند پردازش مناسب و مؤثر داده‌ها است. بهره‌مندی از ابزارهایی که بتوانند این نیاز را برطرف سازند، ما را در تحلیل درست حوادث و ماهیت آن‌ها یاری خواهد رساند. الگوریتم‌های نوشته‌شده در تحقیق حاضر، یکی از ابزارهایی است که می‌تواند این قابلیت را فراهم نماید. از سوی دیگر، با تجهیز این الگوریتم‌های پردازشی به یک رابط گرافیکی[۱۲]، می‌توان امکان استفاده از آن را برای کاربران مختلف فراهم و تسهیل نمود.

۵. مراجع

1- https://www.ctbto.org/verification-regime
2- Technical issues related to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty,2002, National Academy of Sciences
3- MATLAB manual

[۱۱] July

[۱۲] GUI