

Investigation of Heavy Metal Concentrations (Cadmium, Nickel, and Vanadium) in the Water of the Alla River, Ramhormoz City

Seydeh Razieh Pourmousavi

Master's student of Environment,
Ahvaz Branch, Islamic Azad
University, Ahvaz, Iran.

Azita Koshafar

* Department of Environment,
Ahvaz Branch, Islamic Azad
University, Ahvaz, Iran.

(Corresponding Author)
Azitakoosh1348@gmail.com

Abstract

Background and Purpose: Heavy metals are recognized as highly hazardous pollutants, drawing significant attention from researchers, chemists, and biologists. This study, conducted in 2023, aimed to assess the contamination levels of cadmium (Cd), nickel (Ni), and vanadium (V) in the Alla River, potentially influenced by bitumen coating from the Qiramatin spring.

Materials and Methods: Water samples were systematically collected from five stations, with three replicates per station, during summer (July) and winter (February). In total, 30 water samples were obtained across two seasons. Metal concentrations were measured using the Optima 8300 ICP-OES system (Perkin Elmer, USA).

Results: The mean concentrations of Cd, Ni, and V in the Alla River water were 0.89 mg L⁻¹, 71.16 mg L⁻¹, and 8.10 mg L⁻¹, respectively. A comparison of the mean Cd (P=0.041) and Ni (P=0.022) concentrations between summer and winter revealed statistically significant differences (P<0.05). However, seasonal variations in V concentration were not statistically significant (P>0.05). The average concentrations of Cd, Ni, and V exceeded the permissible limits set by both the Iranian National Standard (No. 1053) and the World Health Organization (P<0.05). Analysis of variance confirmed significant deviations of Cd (P=0.034), Ni (P=0.002), and V (P=0.014) from the permissible limits established by the Iranian National Standard (No. 1053) (P< 0.05).

Conclusion: The elevated Ni and V concentrations at downstream stations suggest that bitumen contaminants entering the Alla River have adversely impacted water quality. Furthermore, assessments of the carcinogenic and non-carcinogenic risk indices for Cd, Ni, and V indicate that water consumption from this river poses potential health risks to humans.

Keywords: Heavy Metals, Non-Carcinogenic Risk Index, Carcinogenic Risk Index, Alaa River, Ramhormoz

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Received: 2024/10/13
Accepted: 2025/03/12
Doi:10.22038/jreh.2025.25797

► **Citation:** Pourmousavi S.R, Koshafar A. Investigation of Heavy Metal Concentrations (Cadmium, Nickel, and Vanadium) in the Water of the Alla River, Ramhormoz City. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2025; 11(1):35-52.

بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

سیده راضیه پورموسوی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

آریتا کوشافر

* گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(نویسنده مسئول)

Azitakoosh1348@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین به دلیل ماهیت بسیار خطرناک در میان همه‌ی آلاینده‌ها، توسط پژوهشگران، شیمی‌دانان و زیست‌شناسان مورد توجه قرار دارند. این تحقیق در سال ۱۴۰۲ با هدف بررسی آلودگی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم ناشی از پوشش قیر در چشمه قیرماتین بر روی آب رودخانه اعلاء انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نمونه‌های آب به صورت سیستماتیک از هر ایستگاه با ۳ تکرار در فصل تابستان (تیر ماه) و فصل زمستان (بهمن ماه) جمع‌آوری شدند. به عبارت دیگر در مجموع از ۵ ایستگاه با ۳ تکرار در دو فصل سال، ۳۰ نمونه آب تهیه گردید. برای اندازه‌گیری فلزات از دستگاه Optima 8300 ICP-OES ساخت شرکت Perkin Elmer آمریکا استفاده گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء به ترتیب ۰/۸۹، ۷۱/۱۶ و ۸/۱۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. مقایسه‌ی میانگین فلزات سنگین کادمیوم ($Pvalue=0/041$) و نیکل ($Pvalue=0/022$) در آب رودخانه‌ی اعلاء در فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$)، اما میانگین غلظت وانادیوم در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). میانگین غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه اعلاء در مقایسه با حد آستانه‌ی استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به دست آمد ($P<0/05$) و بر اساس تحلیل واریانس مقادیر کادمیوم ($Pvalue=0/034$)، نیکل ($Pvalue=0/002$) و وانادیوم ($Pvalue=0/014$) در مقایسه با حد مجاز استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) اختلاف معنی‌داری داشت ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: با توجه به مقادیر نیکل و وانادیوم در ایستگاه‌های پایین دست به نظر می‌رسد که قیر ورودی به رودخانه‌ی اعلاء بر کیفیت آب تاثیر گذاشته است. مقادیر شاخص خطر سرطان‌زایی و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه اعلاء نشان داد که مصرف آب این رودخانه برای انسان می‌تواند خطرناک باشد.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، شاخص خطر غیرسرطان‌زایی، شاخص خطر سرطان‌زایی، رودخانه‌ی اعلاء، رامهرمز

◀ **استناد:** پورموسوی س.ر، کوشافر آ. بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. بهار ۱۴۰۴؛ ۱(۱۱): ۳۵-۵۲.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در منابع آب نیز در دسته آلاینده‌های معدنی قرار می‌گیرد. آلودگی فلزات سنگین در آب بسیار خطرناک است و در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۱). اگرچه فلزات سنگین به‌طور معمول در مقادیر کم در آب‌های طبیعی وجود دارند، اما بیشتر آن‌ها حتی در غلظت‌های بسیار کم بسیار سمی هستند (۲). به‌دلیل صنعتی‌شدن سریع، آلودگی فلزات سنگین در منابع آب به‌طور مداوم در حال افزایش است و پیامدهای سنگینی را به‌دنبال دارد (۳). منابع آلودگی فلزات سنگین در آب را می‌توان به‌طور کلی به دو دسته تقسیم کرد: منابع طبیعی و منابع انسانی (۴). گزارش‌هایی، منابع طبیعی مختلف آلودگی فلزات سنگین را گزارش کردند و انتشار فلزات سنگین را تحت برخی شرایط و پدیده‌های آب‌وهوایی خاص مانند فوران‌های آتشفشانی، اسپری‌های نمک دریا، آتش‌سوزی جنگل‌ها، هوازدگی سنگ‌ها، منابع بیوژنیک و ذرات خاک ناشی از باد نشان می‌دهند. فرایندهای هوازدگی طبیعی به‌طور کلی منجر به آزاد شدن فلزات از سنگ‌های مادری و بومی آن‌ها می‌شود. علاوه بر این فلزات سنگین را می‌توان به شکل هیدروکسیدها، اکسیدها، سولفیدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها و ترکیبات آلی یافت (۵،۶). منابع انسانی عمدتاً باعث آلودگی فلزات سنگین در آب هستند که فعالیت‌های معدنی، صنایع تولیدی و فرآوری، احتراق زغال سنگ، کودها و پسماندهای دارویی و واحدهای بازیافت می‌باشند (۷). تخلیه‌ی پساب تصفیه‌شده در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند مسبب آلودگی فلزات سنگین شوند که عمدتاً حاوی مقادیر زیادی فلزات سنگین و نمک این فلزات هستند. از آنجایی که فلزات سنگین در طبیعت غیرقابل تجزیه‌ی زیستی هستند، به‌طور معمول متابولیزه نمی‌شوند و اثرات زیست محیطی و سلامتی جدی را تحمیل می‌کنند (۸). پساب‌های صنعتی حاصل از صنایع تولیدی مانند باتری‌سازی، رنگ‌های روغنی، پلاستیک‌سازی و آب‌کاری باعث افزایش آلودگی کادمیوم در آب می‌شود (۹). از طرف دیگر، منابع کشاورزی مانند کودهای فسفاته حاوی کادمیوم نیز دلیلی برای تولید آلودگی کادمیوم در منابع آب هستند (۱۰).

آلودگی سرب در آب‌های زیرزمینی اکنون به یک امر دست‌وپا گیر و دلهره‌آور برای جامعه تبدیل شده است. کارخانه‌های تولید باتری‌های اسیدی به آلودگی سرب در آب‌های سطحی کمک می‌کنند. لوله‌های قدیمی استفاده‌شده حاوی سرب منبع مستقیمی برای تولید آلودگی سرب در آب هستند. کارخانه‌های صنعتی و آگزوز وسایل نقلیه، آلودگی سرب را در آب تولید می‌کنند (۹). قرارگرفتن در معرض سرب حتی در مقادیر کم، کشنده‌تر از سایر آلودگی‌های فلزات سنگین است. فلزات سنگین یک تهدید بسیار جدی برای پایداری محیط‌زیست و سلامت موجودات زنده هستند (۱۰). هنگامی که فلزات سنگین در معرض محیط‌زیست قرار می‌گیرند، بسیار پایدار، سمی، غیرقابل تجزیه‌ی زیستی و برای حمل‌ونقل در فواصل طولانی سازگار هستند و قابلیت تجمع زیستی را نشان می‌دهند (۱۱). همه‌ی موجودات زنده از جمله انسان به‌دلیل تجمع زیستی فلزات سنگین در معرض مستقیم این عناصر قرار می‌گیرند. قرارگرفتن مزمن فلزات سنگین با موجودات زنده باعث آسیب جدی به سلامت اکولوژیکی آبزیان و در نهایت باعث کاهش جمعیت گونه‌های مختلف آبرزی شده است (۱۲). اگر تجمع فلزات سنگین در زنجیره‌ی غذایی از حد مجاز بدن انسان عبور کند، باعث اختلال در عملکرد طبیعی آن می‌شود (۱۳). فلزات سنگین مختلف منجر به بیماری‌های جدی در بدن انسان می‌شوند. قرارگرفتن در معرض ترکیبات سمی فلزات سنگین منجر به انواع مختلفی از سرطان‌ها از جمله پوست، مثانه، ریه، کلیه، کبد و پروستات می‌شود (۱۴). به‌طور کلی فلزات سنگین یک تهدید جدی برای پایداری محیط‌زیست و شرایط سلامتی گونه‌های زنده از جمله انسان هستند. تمام حوزه‌های ضروری محیط‌زیست، یعنی اتمسفر، آب، خاک و گونه‌های زنده‌ی جانوری و گیاهی، اثرات مخرب ناشی از آلودگی فلزات سنگین را احساس می‌کنند. از آنجایی که یک بخش از محیط به‌شدت به دیگری وابسته است، چنین تاثیری ممکن است به‌طور غیرقابل برگشتی به محیط‌زیست آسیب برساند. فلزات سنگین با داشتن قدرت تجمع زیستی، مقاومت در برابر مکانیسم پاکسازی بدن انسان و تغییراتی در واکنش‌های بیوشیمیایی درون سلولی، سلامت انسان را به یک نگرانی جدی جهانی تبدیل کرده است (۶،۷).

کادمیوم یک فلز سنگین طبیعی، به دلیل حضور گسترده آن در محیط زیست و اثرات نامطلوب احتمالی آن بر اکوسیستم و سلامت انسان، توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است (۱۵). کادمیوم و ترکیبات آن به شکل‌های ته‌نشین‌شده، محلول، جذب‌شده یا زیست‌انباشته‌شده در اکوسیستم‌های آبی توزیع می‌شوند (۱۶). کیفیت پایین آب‌های سطحی، آب‌های دریایی و آب‌های زیرزمینی به دلیل سمیت کادمیوم، تعادل اکولوژیکی محیط را بر هم زده است (۱۷). کادمیوم یک فلز سمی است و قرار گرفتن در معرض مزمن آن منجر به تغییرات آنتاگونیستی در موجودات زنده در هنگام ورود به زنجیره‌ی غذایی می‌شود (۱۸). در انسان، دریافت کادمیوم از طریق سه راه انجام می‌شود که شامل مصرف غذا، قرارگرفتن در معرض شغلی و سیگارکشیدن است. با این حال، کادمیوم از طریق مصرف غذا یک مسیر اصلی قرارگرفتن در معرض است (۱۶). کادمیوم به‌طور کلی در اکوسیستم‌های آبی، به‌عنوان کاتیون کادمیوم دو ظرفیتی مشاهده می‌شود. جذب کادمیوم با وجود مقادیر بالایی از اکسیدهای آبدار، موادمعدنی خاک رس و مواد آلی افزایش می‌یابد و تحرک آن بیشتر تحت تاثیر pH و حالت قدرت یونی محلول قرار می‌گیرد (۱۹).

نیکل یک فلز رایج و سمی در منابع آب و خاک است که در غذا و آب آشامیدنی و منابع طبیعی و مرتبط با انسان یافت می‌شود، امنیت مواد غذایی و خوراکی را به‌خطر انداخته که مواجهه‌ی خوراکی با نیکل می‌تواند منجر به عوارض جانبی مختلفی شود (۲۰، ۲۱). نیکل از منابع مختلف انسانی نظیر صنایع آلیاژ نیکل، فرآیندهای تولید رنگدانه، پساب صنعت چرم‌سازی و سنگ‌های مافیک و اولترامافیک و خاک‌های مشتق‌شده از فرآیندهای طبیعی در نتیجه‌ی هوازدگی و پدوژنز به محیط‌زیست وارد می‌گردد (۲۲). دفع نادرست پسماندهای صنعتی و رسوبات اتمسفری آلاینده‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطوح نیکل در اکوسیستم‌های خاک و آب شود (۲۳). آلودگی نیکل می‌تواند مستقیماً از هوا و خاک به آب‌های سطحی از طریق رسوب و رواناب از خاک یا به‌طور غیرمستقیم از طریق شستشو به آب‌های زیرزمینی منتقل شود (۲۴). آلودگی این فلز به‌طور فزاینده‌ای به دلیل عدم تجزیه‌پذیری آن در محیط‌زیست به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه به یک نگرانی تبدیل شده است (۲۰، ۲۵).

بدیهی است که توانایی ذرات حاوی نیکل برای آزادسازی نیکل یک پارامتر حیاتی از دیدگاه ارزیابی ریسک است. برای مثال، تحریک پوستی ناشی از نیکل، به‌نظر می‌رسد که صرفاً مربوط به گونه‌های نیکل آزاد شده باشد. همچنین یک رابطه‌ی شناخته‌شده بین انتشار نیکل و حساسیت پوست وجود دارد (۲۶).

وانادیوم در منابع آبی به‌عنوان یک نگرانی جدید در سلامت بین‌المللی توجه قابل توجهی را به‌خود جلب کرده است (۲۷). وانادیوم به‌طور گسترده در پوسته‌ی زمین وجود دارد که مانند جیوه، سرب و کادمیوم به‌عنوان یک آلاینده‌ی بالقوه خطرناک شناخته شده است (۲۸). ترکیبات وانادیوم برای انسان و موجودات زنده بسیار سمی هستند (۲۹) و حضور آن‌ها در اتمسفر عمدتاً به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی است که مقادیر قابل توجهی وانادیوم دارند (۳۰). یکی از مسیرهای ورود وانادیوم به بدن انسان، آب آشامیدنی است و غلظت وانادیوم در آب آشامیدنی بسیار کم و حدود میکروگرم بر لیتر می‌باشد (۳۱). تخلیه‌ی پساب حاوی غلظت بالای وانادیوم می‌تواند سلامت انسان را از طریق انواع عناصر محیطی به‌خطر بیندازد (۳۲). وانادیوم به‌طور عمده از طریق غذا خورده می‌شود و وانادیوم خورده‌شده از طریق غذا از دستگاه گوارش به‌شکل وانادیل یا وانادات جذب می‌شود (۳۳) و در خون توسط آلبومین یا ترانسفرین به اندام‌ها و بافت‌های مختلف ازجمله کبد، طحال، کلیه، بیضه و استخوان منتقل می‌شود (۳۴).

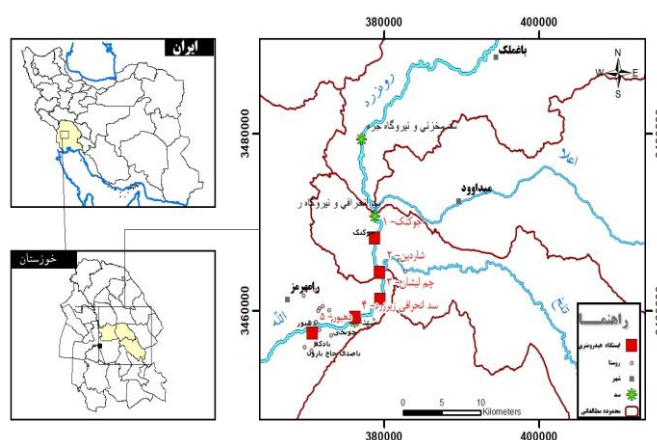
بر روی رودخانه‌ی اعلاء سد انحرافی احداث شده، که آب رودخانه در روستای خورشیدیه وارد تصفیه‌خانه شده و جهت شرب شهرستان رامهرمز استفاده می‌شود و همچنین در مسیر رودخانه، روستاهای اطراف از آب رودخانه اعلاء برای کشاورزی استفاده می‌کنند. بنابراین با توجه به اهمیت رودخانه از نظر شرب و کشاورزی و اثرات محیط زیستی فلزات سنگین ناشی از آلاینده‌ی چشمه‌های قیر ماماتین و عوارض ناشی از آن‌ها بر روی بدن انسان و آبریزان ضروری است که سنجش و اندازه‌گیری فلزات سنگین رودخانه انجام شده و میزان آن‌ها با استانداردها مقایسه شود. همچنین تاکنون تاثیر آلاینده‌های فلزی ناشی از چشمه‌ی قیر ماماتین بر روی رودخانه‌ی اعلاء انجام نشده است.

روش کار

منطقه‌ی مورد مطالعه

سرچشمه اصلی رودخانه اعلاء از جنوب غربی کوه‌های زاگرس در استان کهگیلویه و بویر احمد و رود لیراب است که در محلی به نام تنگ چویل و منطقه صیدون رودخانه اعلاء نامیده می‌شود و تا محل تلاقی با رودخانه مارون ۱۰۶ کیلومتر طول و ۲۳۳۰ کیلومتر مربع حوضه آبریز دارد که مزارع کشاورزی شهرستان باغملک و دشت رامهرمز را آبدهی می‌کند (۳۵). در این پژوهش بازه‌ی مورد مطالعه رودخانه اعلاء از محل خروج این رود از تنگ

چویل آغاز و در محل ارتباط رودخانه اعلاء با رودخانه مارون ختم می‌شود که ۵ ایستگاه مطالعاتی انتخاب شد (شکل ۱). در این پژوهش با توجه به طول رودخانه‌ی اعلاء، انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه، در تمامی طول رودخانه از ابتدای ورودی رودخانه از تنگ چویل تا پایین دست و محل تلاقی با رودخانه‌ی مارون بر اساس تغییرات توپوگرافی صورت پذیرفت (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری آب از رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	علت انتخاب
۱	جوکنک	۳۱°۳۴'۲۰"۷"، ۴۹°۷۲'۵۶"۱۹"	بالادست
۲	شاردین	۳۱°۳۰'۷۵"۴"، ۴۹°۳۲'۲۶"۷"	محل تلاقی ورودی قیر
۳	چم لیسان	۳۱°۲۸'۰۰"۴۹"، ۴۹°۷۳'۳۳"۵۶"	پایین دست محل تلاقی
۴	سد انحرافی زیررزد	۳۱°۲۶'۱۲"۸"، ۴۹°۶۹'۹۹"۱۵"	تامین آب شهری
۵	دهیور	۳۱°۲۴'۴۴"۹"، ۴۹°۶۴'۲۴"۳۳"	پایین دست

نمونه‌برداری

در این پژوهش نمونه‌های آب بر اساس روش استاندارد انجمن بهداشت محیط آمریکا^۱ تهیه شدند. نمونه‌های آب به‌صورت سیستماتیک و برنامه‌ریزی شده از هر ایستگاه با ۳ تکرار در فصل تابستان (تیر ماه) و فصل زمستان (بهمن ماه) سال ۱۴۰۲ جمع‌آوری شدند. به‌عبارت دیگر در مجموع از ۵ ایستگاه با ۳ تکرار در دو فصل سال، ۳۰ نمونه‌ی آب تهیه گردید. بدین‌منظور بطری نمونه‌بردار

پلی‌اتیلنی استریل و با محلول آب‌مقطر و اسیدنیتریک ۲ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شستشو گردیدند، سپس در ایستگاه‌های مورد مطالعه به عمق ۱۰ سانتیمتری فرستاده و نمونه آب برداشت شد و در هر ایستگاه با ۳ تکرار انجام گردید. در نهایت نمونه‌های آب با اسیدسولفوریک غلیظ فیکس، در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری و بلافاصله به آزمایشگاه در شهر اهواز منتقل شدند (۳۶).

¹American public Health Association

سنجش فلزات سنگین

برای هضم شیمیایی نمونه های آب جهت سنجش فلزات، ۱۰۰ سی سی از نمونه ی مشخص شده داخل یک بشر ریخته شد. ۵ میلی لیتر اسیدنیتریک غلیظ و چند عدد سنگ جوش اضافه به این مخلوط اضافه گردید. یک شیشه ی ساعت به عنوان سرپوش و جلوگیری از آلودگی روی بشر قرار داده و نمونه را روی هیتر حرارت داده تا به آرامی به جوش آمد و تبخیر شد. حرارت را تا زمانی که حجم نمونه به ۱۰ الی ۲۰ میلی لیتر برسد، ادامه داده شد. عمل حرارت را با افزودن اسیدنیتریک ادامه داده تا زمانی که نمونه شفاف شد. در طول عمل هضم، نمونه خشک نشد. دیواره بشر و شیشه ساعت را با آب دیونایز شستشو داده و نمونه به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شد و پس از سرد شدن به حجم رسانیده و کامل مخلوط گردید. سپس نمونه ها را سانتیفریوژ و صاف شدند (۳۷). فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در نمونه های آب بر اساس روش طیفسنجی انتشار نوری پلاسما ی جفت شده القایی^۱ سنجش شدند. برای اندازه گیری فلزات از دستگاه Perkin Elmer Optima 8300 ICP-OES ساخت شرکت Elmer آمریکا استفاده گردید. این دستگاه امکان تجزیه و تحلیل عناصر هم زمان را فراهم می کند. اندازه گیری ها با وارد کردن یک نمونه مایع به پلاسما ی آرگون با دمای بالا (۸۰۰۰ درجه ی سانتیگراد) انجام می شود. شدت نور ساطع شده توسط عناصر برانگیخته ی حرارتی در طول موج های مشخص اندازه گیری شده و با غلظت عنصر مرتبط است. این ابزار مجهز به یک نمونه گیر خودکار است که می تواند ۱۰۰ نمونه را در خود جای دهد. برای تجزیه و تحلیل هر نمونه حدود ۳ دقیقه زمان نیاز است. حداقل حجم نمونه ۳ تا ۵ میلی لیتر مورد نیاز است. حد تشخیص فلزات به وسیله این دستگاه سنجش فلزات سنگین در حد میکروگرم در کیلوگرم (ppb) است. نمونه ها باید برای حذف تمام ذرات مزاحم و اضافی، فیلتر شده، از صافی عبور کرده و قبل از تجزیه و تحلیل اسیدی شدند (۳۸).

شاخص سلامت آب

شاخص بهداشت و سلامت فلزات سنگین در نمونه های آب رودخانه اعلاء بر اساس ارزیابی جذب روزانه^۲ فلزات سنگین، شاخص خطر غیرسرطان زایی^۳ و شاخص خطر سرطان زایی^۴ محاسبه شد (۳۹). تخمین جذب روزانه برای فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (۴۰) که در این رابطه DWC^5 میزان مصرف روزانه آب (به ترتیب ۲/۲ و ۱/۲ لیتر در روز برای بزرگسالان و کودکان) (۴۱) و MC^6 غلظت فلز مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر لیتر می باشد.

رابطه ۱. $EDI (mg/Kg/day) = DWC \times MC$

شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) از طریق محاسبات با استفاده از فرض استاندارد برای تجزیه و تحلیل ریسک یکپارچه USEPA بر اساس رابطه ۲ انجام شد (۳۹) که در رابطه ۲، EF_r مواجهه افراد ۳۶۵ روز در سال در نظر گرفته شد، ED مدت زمان قرار گرفتن در معرض، ۷۰ سال معادل متوسط زمان زندگی انسان است (۴۰). FIR نرخ کسر جذب شده فلز ناشی از مصرف آب می باشد که ۰/۴ در نظر گرفته شده است. C غلظت فلز مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. دوز مرجع فلزات^۷ یا RfD برای کادمیوم، نیکل و وانادیوم به ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۰۹ میلی گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز بود (۴۲). BW متوسط وزن بدن انسان است که برای افراد بزرگسالان و کودکان ایرانی به ترتیب ۷۰ و ۱۵ کیلوگرم در نظر گرفته می شود (۴۳). TA میانگین زمان برای عوامل غیر سرطان زا ۳۶۵ روز سال در تعداد سال های مواجهه با فرض ۷۰ سال است (۴۰).

$$THQ = \frac{EF_r \times ED \times FIR \times C}{RfD \times BW \times TA} \quad \text{رابطه ۲:}$$

اگر مقدار THQ فلز مورد نظر کمتر از ۱ باشد، بعید است جمعیت در معرض خطر هیچ گونه خطر نامطلوب سلامتی را تجربه کند، اما اگر THQ مساوی یا بالاتر از ۱ باشد، خطر سلامتی بالقوه وجود دارد (۳۹). شاخص خطر

² Estimated Daily Intake

³ Target Hazard Quotient

⁴ Carcinogenic Risk

⁵ Daily Watere Consumption

⁶ Mean Metal Concentration

⁷ Oral Reference Dose

¹ ICP-OES; Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy

خطای استاندارد	۰/۰۸	۱/۰۹	۰/۱۴
چولگی	-۰/۰۹۶	-۰/۸۷۵	-۱/۴۵۵
کشدگی	-۱/۳۰۲	۰/۱۳۹	۱/۵۷۸

مقادیر نیکل در آب رودخانه‌ی اعلاء در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$)، اما میانگین غلظت کادمیوم و وانادیوم در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). بالاترین مقادیر فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در دو فصل زمستان و تابستان در ایستگاه ۵ مشاهده شد ($P < 0.05$) و غلظت این فلزات در ایستگاه ۵ نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاتر بود ($P < 0.05$). مقایسه میانگین فلزات سنگین در دو فصل مورد مطالعه نشان داد که غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در فصل زمستان در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاتر از فصل تابستان به‌دست آمد ($P < 0.05$). بالاترین و پایین‌ترین میزان کادمیوم در ایستگاه ۵ در فصل زمستان (۱/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ایستگاه ۱ در فصل تابستان (۰/۱۹ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد. بالاترین و پایین‌ترین مقدار نیکل در ایستگاه ۵ در فصل زمستان (۷۹/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر) و ایستگاه ۱ در فصل تابستان (۵۸/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد. بالاترین و پایین‌ترین غلظت وانادیوم در ایستگاه ۵ در فصل زمستان (۸/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر) و ایستگاه ۱ در فصل تابستان (۶/۲۷ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد (جدول ۳).

مقایسه‌ی میانگین فلزات سنگین کادمیوم (۰/۰۴۱)، $P\text{value} =$ و نیکل (۰/۰۲۲) $P\text{value} =$ در آب رودخانه‌ی اعلاء در فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$)، اما میانگین غلظت وانادیوم در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$) (جدول ۴).

سرطان‌زایی (Cr) بر اساس جذب روزانه (EDI) فلزات سنگین و فاکتور شیب سرطان^۱ محاسبه شد (رابطه ۳) (۴۲)، که در آن فاکتور شیب سرطان‌زایی برای فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم ۱۵، ۰/۹۱ و ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز گزارش شده است (۴۴). EDI مقدار تخمینی مصرف روزانه فلزات سنگین است.

$$\text{CR} = \text{CSF} \times \text{EDI} \quad \text{رابطه ۳:}$$

شاخص خطر سرطان‌زایی بر اساس سطوح خطر قابل قبول برای مواد سرطان‌زا از 10^{-4} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰ است) تا 10^{-6} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰۰۰ است) تعیین می‌شود (۴۲).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد. مقایسه داده‌ها بین فصل زمستان و تابستان به کمک آزمون‌تی^۲ و مقایسه‌ی آماری بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمک تحلیل واریانس یکطرفه^۳ انجام شد.

یافته‌ها

پارامترهای توصیفی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه اعلاء در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر چولگی و کشدگی فلزات سنگین نشان از توزیع نرمال بودن داده‌ها داشت، زیرا مقادیر این دو شاخص در دامنه ۲ و ۲- قرار داشتند. پایین‌ترین غلظت فلزات در آب رودخانه‌ی اعلاء مربوط به کادمیوم مشاهده شد و بالاترین سطح فلزات مربوط به نیکل بود. میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء به ترتیب ۰/۸۹، ۷۱/۱۶ و ۸/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد.

جدول ۲. شاخص‌های توصیفی مقادیر فلزات سنگین

(میلی‌گرم بر لیتر) آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

شاخص‌ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
کمینه	۰/۱۳	۵۸/۱۲	۶/۰۵
بیشینه	۱/۶۸	۷۹/۵۳	۹/۰۱
میانگین	۰/۸۹	۷۱/۱۶	۸/۱۰
انحراف معیار	۰/۴۸	۵/۹۸	۰/۷۷

^۱ Cancer Slope Factor

^۲ T Test

^۳ ANOVA One way

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر لیتر) آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز در فصل زمستان و تابستان

فصل	فلزات	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵
زمستان	کادمیوم	۱/۲۶±۰/۳۵ ^a	۰/۹۹±۰/۱۴ ^a	۱/۰۵±۰/۴۱ ^a	۱/۲۵±۰/۱۵ ^a	۱/۵۰±۰/۲۲ ^a
	نیکل	۷۳/۱۴±۰/۶۶ ^a	۷۳/۵۱±۰/۶۹ ^a	۷۵/۴۱±۱/۷۶ ^a	۷۶/۶۲±۰/۸۶ ^b	۷۹/۰۸±۰/۵۷ ^c
	وانادیوم	۸/۳۲±۰/۱۶ ^a	۸/۴۸±۰/۲۳ ^a	۸/۵۰±۰/۱۳ ^a	۸/۶۰±۰/۲۰ ^a	۸/۷۴±۰/۲۷ ^a
تابستان	کادمیوم	۰/۱۹±۰/۰۴ ^a	۰/۲۱±۰/۰۳ ^a	۰/۴۷±۰/۰۲ ^a	۰/۶۹±۰/۰۶ ^a	۱/۲۵±۰/۱۱ ^d
	نیکل	۵۸/۵۰±۰/۶۴ ^a	۶۳/۴۸±۰/۰۵ ^b	۶۹/۶۰±۰/۴۱ ^c	۷۰/۵۳±۰/۳۴ ^d	۷۱/۷۲±۰/۲۳ ^d
	وانادیوم	۶/۲۷±۰/۲۹ ^a	۷/۲۹±۰/۲۵ ^a	۷/۹۷±۰/۲۱ ^a	۸/۱۶±۰/۹۳ ^a	۸/۷۱±۰/۳۹ ^a

حروف متفاوت (a, b, c, d و e) در هر ردیف اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ (P=0.05) را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقایسه غلظت فلزات سنگین رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز در دو فصل زمستان و تابستان

فلزات	زمستان	تابستان	P-value	Sig
کادمیوم	۱/۲۱±۰/۰۹	۰/۵۶±۰/۰۲	۰/۰۴۱	<۰/۰۵
نیکل	۷۵/۵۵±۶/۴۲	۶۶/۷۷±۳/۸۷	۰/۰۲۲	<۰/۰۵
وانادیوم	۸/۵۳±۰/۹۵	۷/۶۸±۱/۲۵	۰/۲۷۸	>۰/۰۵

جدول ۵. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر لیتر) در آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز با استاندارد ملی ایران و استاندارد سازمان بهداشت جهانی

فلزات سنگین	میانگین آب رودخانه‌ی اعلاء	استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳		استاندارد سازمان بهداشت جهانی		
		حد آستانه	P-value	Sig	حد آستانه	P-value
کادمیوم	۰/۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۳۴	<۰/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲
نیکل	۷۱/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۰۲	<۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶
وانادیوم	۸/۱۰	۰/۱	۰/۰۱۴	<۰/۰۵	-	-

فلز بیش از ۹۰ درصد داده‌ها را استخراج کرده است (جدول ۶). همچنین جدول ۷ نیز تجزیه و تحلیل مولفه‌ی اصلی^۱ فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌ی اعلاء را نشان می‌دهد که ۲ عامل را استخراج کرده است که عامل اول تحت تاثیر فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب بوده است که در جدول ۶ نیز این مسئله تایید شده است و عامل دوم بیشتر تحت تاثیر هدایت الکتریکی و شوری آب می‌باشد که همبستگی پیرسون غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌ی اعلاء نیز موارد فوق را تایید کرده است.

تجزیه و تحلیل آماری فلزات سنگین نشان داد میانگین غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به دست آمد ($P < ۰/۰۵$) و بر اساس تحلیل واریانس مقادیر کادمیوم ($Pvalue = ۰/۰۳۴$)، نیکل ($Pvalue = ۰/۰۰۲$) و وانادیوم ($Pvalue = ۰/۰۱۴$) در مقایسه با حد مجاز استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) اختلاف معنی‌داری داشت ($P < ۰/۰۵$) (جدول ۵).

ارتباط فلزات سنگین بر اساس همبستگی پیرسون بررسی و نشان داد که غلظت کادمیوم - نیکل ($R=۰/۸۲۷, Pvalue=۰/۰۰۲$)، نیکل - وانادیوم ($R=۰/۹۱۵, Pvalue=۰/۰۰$) و کادمیوم - وانادیوم ($R=۰/۷۶۰, Pvalue=۰/۰۰۴$) در آب رودخانه‌ی اعلاء همبستگی مستقیم و معنی‌داری داشت ($P < ۰/۰۵$). تحلیل مولفه‌ی اصلی فلزات سنگین نشان داد که هر سه

¹ Principal Component Analysis

جدول ۶. همبستگی پیرسون غلظت فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ضریب همبستگی	۰/۸۲۷	۰/۷۶۰
P-value	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
ضریب همبستگی	۱	۰/۹۱۵
P-value		۰
ضریب همبستگی		۱
P-value		

جدول ۷. تحلیل مولفه‌ی اصلی (PCA) فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

Component	پارامترها
۲	۱
۰/۱۳۶	۰/۸۸۷
۰/۲۹۵	۰/۹۲۰
۰/۳۵۶	۰/۸۲۰

رده‌ی سنی کودکان به‌دست آمد. شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در فصل زمستان برای بزرگسالان به‌ترتیب ۳۹/۹۳، ۳/۳۲ و ۰/۱۶ مشاهده شد.

شاخص‌های سلامت و بهداشت فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء در جدول ۸ ارائه شده است. بالاترین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) کادمیوم و نیکل در فصل زمستان برای رده‌ی سنی کودکان به‌ترتیب ۲۲۵۸/۶۶ و ۷۰۵۱/۳۳ و برای فلز وانادیوم ۱۶۸۰ برای

جدول ۸. ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز برای رده‌ی سنی بزرگسالان و کودکان

رده سنی	فصل	شاخص‌های سلامت و بهداشت	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
بزرگسالان	زمستان	میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۲/۶۶۲	۱۶۶/۲۱	۱۸/۷۶
		شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۴۸۴	۱۵۱۱	۱۷۰/۶۰
		شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۳۹/۹۳	۳/۳۲	۰/۱۶
		میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۱/۲۳۲	۱۴۶/۸۹	۱۶/۸۹
	تابستان	شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۲۲۴	۱۳۳۵/۴۰	۳۴۱/۳۳
		شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۱۸/۴۸	۲/۹۳	۰/۱۵
		میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۱/۹۵۸	۱۵۶/۵۵	۱۷/۸۲
		شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۳۵۶	۱۴۲۳/۲۰	۳۶۰
	میانگین	شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۲۹/۳۷	۳/۱۳	۰/۱۶
		میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۱/۴۵۲	۹۰/۶۶	۱۰/۲۳
		شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۲۲۵۸/۶۶	۷۰۵۱/۳۳	۷۹۶/۱۳
		شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۲۱/۷۸	۱/۸۱	۰/۰۹
کودکان	تابستان	میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۰/۶۷۲	۸۰/۱۲	۹/۲۱
		شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۰/۰۰۱	۶۲۳۱/۸۶	۱۵۹۲/۸۸
		شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۱۰/۰۸	۱/۶۰	۰/۰۸
		میزان جذب روزانه (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)	۱/۰۶۸	۸۵/۳۹	۹/۷۲
	میانگین	شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۱۶۶۱/۳۳	۶۶۴۱/۶۰	۱۶۸۰
		شاخص خطر سرطان‌زایی (CR)	۱۶/۰۲	۱/۷۰	۰/۰۸

بحث

در این تحقیق غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در دو فصل زمستان و تابستان در ایستگاه ۵ بالاتر از سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. از آب بالادست رودخانه جهت مشروب نمودن زمین‌های کشاورزی در غرب و شرق رامهرمز استفاده می‌شود که در نتیجه پساب کشاورزی مزارع برنج و گندم و صیفی‌جات و سبزیجات در نهایت وارد رودخانه می‌شود (۴۵،۴۶). کادمیوم فلز سمی در محیط زیست است که از طریق فعالیت‌های مختلف صنعتی و کشاورزی وارد محیط زیست می‌شود (۴۷). کاربرد کادمیوم در کودهای شیمیایی نظیر فسفات و سموم علف‌کش و آفت‌کش نیز می‌تواند وارد منابع خاک و آب گردد (۴۸). علاوه بر فعالیت‌های کشاورزی که در نتیجه استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها سهم به‌سزایی در آلودگی رودخانه‌ی اعلاء به کادمیوم دارند، حمل‌ونقل و تردد خودروها نیز می‌تواند سبب ورود کادمیوم به منابع گردد (۴۹). پژوهشگران در مطالعات متعددی گزارش کردند که کادمیوم یکی از فلزات رایج آلاینده آب رودخانه‌ها می‌باشد که منبع اصلی آن فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بوده و از فرسایش طبیعی سنگ‌های مادری منشأ می‌شود (۵۰-۵۲). کادمیوم بیشتر به‌دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی از تخلیه‌های صنعتی، ضایعات معدنی و رسوبات جوی وارد آب رودخانه می‌شود (۵۳). منبع دیگر شستشو از زمین‌های کشاورزی است، زیرا برخی از کودها حاوی سطوح کادمیوم حتی تا ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هستند (۵۴). یکی از منابع عمده‌ی آلودگی کادمیوم، تولید کودهای معدنی از سنگ معدن فسفات است (۱۳،۵۵). منابع اصلی کادمیوم محیطی، کانی‌های روی و سرب هستند، زیرا به‌طور طبیعی در کانی‌های سولفیدی آن‌ها وجود دارد (۵۶).

ایستگاه دوم نمونه‌برداری آب، محل ورود قیر از چشمه‌های ماماتین می‌باشد که این آلاینده‌ها تا پایین‌دست رودخانه در ایستگاه ۵ (دهیور) گسترش می‌یابد. یکی از منابع واردکننده‌ی فلزات سنگین نیکل و وانادیوم به آب رودخانه‌ی اعلاء ورود قیر به منبع می‌باشد. نفت و مشتقات آن به‌طور طبیعی دارای درصد متغیری از فلزات سنگین است. نیکل و وانادیوم در بین فلزات

سنگین بیشترین غلظت را، نفت و مشتقات آن دارند (۵۷). یکی دیگر از آلاینده‌های مهم آب رودخانه‌ها، پساب‌های خانگی شهری و روستایی هستند و با توجه به این‌که در حاشیه و کنار رودخانه‌ی اعلاء شهرهای کوچک و روستاهای متعددی وجود دارد، یکی از عوامل ورود فلزات سنگین این آلودگی‌ها می‌باشند. در تحقیقی بر روی رودخانه‌ی مرداب در شهر آستارا نیز ورود آلودگی‌های ناشی از پساب خانگی، شهری و کشاورزی به آب رودخانه تایید شده است (۵۸). مطالعات نشان داده است که رودخانه‌هایی که از مناطق غنی از قیر عبور می‌کنند به‌خودی خود در معرض آلودگی شدید به‌دلیل تماس طولانی بین قیر و بدنه‌های آبی قرار دارند. برخی از رودخانه‌های آتاباسکا^۱ و پیسه^۲ در کانادا و رودخانه اورینوکو^۳ در ونزوئلا و برخی منابع آبی در نیجریه دارای منشا قیر هستند (۶۱-۵۹).

بالاترین و پایین‌ترین میزان کادمیوم، نیکل و وانادیوم در ایستگاه ۵ در فصل زمستان و ایستگاه ۱ در فصل تابستان مشاهده شد. مقایسه میانگین فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در دو فصل مورد مطالعه نشان داد که غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در فصل زمستان در همه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاتر از فصل تابستان به‌دست آمد ($P < 0/05$). احتمالاً چشمه‌های قیر ماماتین در فصل زمستان فعال‌تر هستند و دبی قیر ورودی به رودخانه‌ی اعلاء در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان می‌باشد. همچنین با توجه به این‌که رودخانه اعلاء در منطقه‌ی گرم و خشک قرار دارد، آب‌وهوای منطقه در فصل زمستان برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات مناسب‌تر می‌باشد، بنابراین چنین استنباط می‌شود که به‌همین دلیل رواناب حاصل از بارش باران بر روی خاک و ورود فلزات سنگین به آب رودخانه در فصل زمستان افزایش می‌یابد. نتایج غلظت فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در آب رودخانه‌ی تجن استان مازندران در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان گزارش شده است (۶۲) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. همچنین پژوهشگران ادعان کردند که این تغییرات را می‌توان به برهم‌کنش آب

¹ Athabasca

² Peace

³ Orinoco

وانادیوم به‌طور گسترده در پوسته‌ی زمین توزیع شده است و به‌عنوان یک آلاینده‌ی بالقوه خطرناک در کلاس‌های جیوه، سرب و کادمیوم شناخته شده است (۶۸،۶۹). ترکیبات وانادیوم برای انسان و حیوانات بسیار سمی هستند (۷۰) و حضور آن‌ها در اتمسفر عمدتاً به‌دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی است که محتوای وانادیوم قابل توجهی دارند (۷۱). پژوهشگران گزارش کردند نیکل باعث آسیب سلولی شده و فرآیندهای سرطان‌زا را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مسمومیت با نیکل می‌تواند حاد باشد، در حالی‌که برخی موارد دیگر ممکن است پس از قرارگرفتن در معرض طولانی‌مدت مزمن شوند که ممکن است منجر به آسیب چندین اندام در بدن مانند مغز، ریه، کبد و کلیه شود که باعث بیماری در بدن می‌شود (۷۲،۷۳). فلزات سنگین اثرات مضر متعددی بر سلامت انسان دارند که می‌توان آن‌ها را به سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا تقسیم کرد (۷). بنابراین، ارزیابی خطر سلامت معمولاً بر اساس تخمین خطرات غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا است. ارزیابی خطر به‌طور انحصاری به این روش انجام نمی‌شود و برخی از محققان فقط خطر غیرسرطان‌زا را ارزیابی کردند (۷۴-۷۷). با این‌حال، بیشتر مطالعات منتشرشده شامل خطرات غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا بودند. این شاخص‌ها نشان‌دهنده‌ی شاخص‌هایی برای توسعه‌ی بیماری‌های سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا در انسان است. بنابراین، محاسبه‌ی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) و شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) بینش بهتری نسبت به آلودگی فلزات سنگین در آب می‌دهد (۲۷،۷۸).

نتیجه‌گیری

تجزیه‌وتحلیل آماری فلزات سنگین نشان داد میانگین غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به‌دست آمد. ایستگاه دوم نمونه‌برداری آب، محل ورود قیر از چشمه‌های ماماتین می‌باشد که این آلاینده‌ها تا پایین‌دست رودخانه در ایستگاه ۵ گسترش می‌یابد و بالاترین مقادیر فلزات سنگین در ایستگاه ۵ مشاهده شد. با توجه به مقادیر نیکل و وانادیوم در ایستگاه‌های پایین‌دست به‌نظر می‌رسد که قیر ورودی به رودخانه‌ی اعلاء بر کیفیت آب تأثیر گذاشته است. مقادیر شاخص خطر سرطان‌زایی و

و خاک، به‌ویژه در ماه‌های فصل زمستان، نسبت داد (۶۵-۶۳). در تحقیق دیگری گزارش‌شده که سطوح کادمیوم در آب رودخانه ژین بیان^۱ در کشور چین در فصل زمستان نسبت به سایر فصول بالاتر بوده است (۶۶). برخی پژوهشگران تغییرات بالای فلزات سنگین در آب رودخانه را به‌دلیل زمین‌های کشاورزی و فعالیت کشاورزی بالا در حاشیه رودخانه‌ها می‌دانند (۶۷).

ارتباط فلزات سنگین بر اساس همبستگی پیرسون بررسی و نشان داد که غلظت کادمیوم - نیکل، نیکل - وانادیوم و کادمیوم - وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء همبستگی مستقیم و معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). تحلیل مولفه اصلی فلزات سنگین نشان داد که هر سه فلز بیش از ۹۰ درصد داده‌ها را استخراج کرده است و یک عامل تحت تأثیر فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب بوده است. بنابراین کادمیوم، نیکل و وانادیوم دارای منشا یکسان هستند و به‌نظر می‌رسد آلودگی ناشی از فرسایش سنگ‌های مادری منطقه و ورود قیر به آب رودخانه می‌باشند.

میانگین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) کادمیوم، نیکل و وانادیوم در نمونه‌های آب دو فصل زمستان و تابستان بالاتر از ۱ به‌دست آمد. اگر مقدار THQ فلز موردنظر کمتر از ۱ باشد، بعید است جمعیت در معرض خطر هیچ‌گونه خطر نامطلوب سلامتی را تجربه کند، اما اگر THQ مساوی یا بالاتر از ۱ باشد، خطر سلامتی بالقوه وجود دارد (۳۹). میانگین شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) کادمیوم، نیکل و وانادیوم نیز بالاتر از حد قابل قبول استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به‌دست آمد. شاخص خطر سرطان‌زایی بر اساس سطوح خطر قابل قبول برای مواد سرطان‌زا از 10^{-4} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰ است) تا 10^{-6} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰۰۰ است) تعیین می‌شود (۴۲). ارزیابی ریسک نشان داد که مردم ساکن در برخی کشورها مانند چین و ژاپن در معرض خطر اکولوژیکی نامطلوب وانادیوم در منابع آب قرار دارند. از این‌رو، برنامه‌های کنترل ضروری علاوه بر تکنیک‌های حذف کافی باید برای حذف قابل توجه فلزات سنگین مانند وانادیوم اجرا شود (۲۷).

¹ Xinbian

تعارض منافع: نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: نویسندگان مقاله اعلام می نمایند که این تحقیق پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می کنند.

سهم نویسندگان: نویسندگان مقاله خانم آریتا کوشافر و خانم سیده راضیه پورموسوی در مراحل مختلف انجام پژوهش شامل طراحی و ایده، نمونه برداری، عملیات آزمایشگاهی و نگارش مقاله همکاری متقابل داشتند.

References

1. Kanwal, H., Raza, A., Zaheer, M.S., Nadeem, M., Ali, H.H., Manoharadas, S., Rizwan, M., Kashif, M.S., Ahmad, U., Ikram, K. and Riaz, M.W., 2024. Transformation of heavy metals from contaminated water to soil, fodder and animals. Scientific Reports, 14(1), p. 11705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62038-7> PMID:38778064 PMCID:PMC11111443
2. Bansal, O.P., 2020. Health risks of potentially toxic metals contaminated water. Heavy metal toxicity in public health, p.63.
3. Alam, R., Ahmed, Z. and Howladar, M.F., 2020. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh. Groundwater for Sustainable Development, 10, pp. 100311. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100311>
4. Sharma, R., Agrawal, P.R., Kumar, R. and Gupta, G., 2021. Current scenario of heavy metal contamination in water. Contamination of Water, pp. 49-64. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00010-4>
5. Ali, H., Khan, E. and Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals:

شاخص خطر غیرسرطان زایی فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب

رودخانه ی اعلاء نشان داد که مصرف آب این رودخانه برای انسان می تواند خطرناک باشد.

تشکر و قدردانی: این مقاله از بخشی از پایان نامه ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط زیست دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی (کد پایان نامه ۱۰۶۰۲۹۷۱۷۵۴۱۹۴۵۷۵۰۰۲۰۱۶۲۷۷۳۵۲۰) مربوط به دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استخراج شده است. نویسندگان مقاله، تشکر و قدردانی خود را در راستای انجام این تحقیق از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام می نمایند.

- environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. Journal of chemistry, 2019(1), p. 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
6. Algul, F. and Beyhan, M., 2020. Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey. Scientific reports, 10(1), p.11782. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2> PMID:32678245 PMCID:PMC7366620
 7. Velayatzadeh, M. and Payandeh, K., 2020. Effect of household water treatment on the concentration of heavy metals of drinking water in Ahvaz city. Iranian South Medical Journal, 22(6), pp.402-414. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/ismj.22.6.402>
 8. Hussain, J., Husain, I., Arif, M. and Gupta, N., 2017. Studies on heavy metal contamination in Godavari river basin. Applied Water Science, 7, pp. 4539-4548. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0607-4>
 9. Hashim, M.A., Mukhopadhyay, S., Sahu, J.N. and Sengupta, B., 2011. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. Journal of environmental management, 92(10), pp. 2355-2388.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.009> PMID:21708421

10. Jarup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. British medical bulletin, 68(1), pp. 167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>

PMid:14757716

11. Jonathan, M.P., Ram-Mohan, V. and Srinivasalu, S., 2004. Geochemical variations of major and trace elements in recent sediments, off the Gulf of Mannar, the southeast coast of India. Environmental Geology, 45, pp. 466-480. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0898-7>

12. Barbieri, M., 2016. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. Journal of Geology & Geophysics, 5(1), pp. 1-4. <https://doi.org/10.4172/2381-8719.1000237>

13. Moghadam, S.M., Payandeh, K., Koushfar, A., Goosheh, M. and Rouzbahani, M.M., 2024. Human health risk assessment and carcinogenicity due to exposure to potentially toxic elements on soil pollution in Southwest Iran. Clinical Epidemiology and Global Health, 25, p.101492.

<https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101492>

14. Goodman, J.E., Prueitt, R.L., Thakali, S. and Oller, A.R., 2011. The nickel ion bioavailability model of the carcinogenic potential of nickel-containing substances in the lung. Critical reviews in toxicology, 41(2), pp. 142-174. <https://doi.org/10.3109/10408444.2010.531460> PMID:21158697

15. Al Marshoudi, M., Al Reasi, H.A., Al-Habsi, A. and Barry, M.J., 2023. Additive effects of microplastics on accumulation and toxicity of cadmium in male zebrafish. Chemosphere, 334, p.138969. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138969> PMID:37244557

16. da Silva, A.O.F., Bezerra, V., Meletti, P.C., Simonato, J.D. and dos Reis Martinez, C.B., 2023. Cadmium effects on

the freshwater teleost *Prochilodus lineatus*: Accumulation and biochemical, genotoxic, and behavioural biomarkers. Environmental Toxicology and Pharmacology, 99, p. 104121. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104121> PMID:37030645

17. Gao, S., Kang, X., Li, Y., Yu, J., Wang, H., Pan, H., Yang, Q., Yang, Z., Sun, Y., Zhuge, Y. and Lou, Y., 2024. Treatment of Cadmium-Contaminated Water Systems Using Modified Phosphate Rock Powder: Contaminant Uptake, Adsorption Ability, and Mechanisms. Water, 16(6), p. 862. <https://doi.org/10.3390/w16060862>

18. Hui, C.Y., Guo, Y., Li, H., Gao, C.X. and Yi, J., 2022. Detection of environmental pollutant cadmium in water using a visual bacterial biosensor. Scientific reports, 12(1), p. 6898. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11051-9> PMID:35477977

PMid:35477977

19. Akaras, N., Ileriturk, M., Gur, C., Kucukler, S., Oz, M. and Kandemir, F.M., 2023. The protective effects of chrysin on cadmium-induced pulmonary toxicity; a multi-biomarker approach. Environmental Science and Pollution Research, 30(38), pp. 89479-89494.

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-28747-8> PMID:37453011

20. Rizwan, M., Usman, K. and Alsafran, M., 2024. Ecological impacts and potential hazards of nickel on soil microbes, plants, and human health. Chemosphere, p. 142028.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142028> PMID:38621494

21. Salehi, F., Esmaeilbeigi, M., Kazemi, A., Sharafi, S., Sahebi, Z. and Asl, A.G., 2024. Spatial health risk assessments of nickel in the groundwater sources of a mining-impacted area. Scientific Reports, 14(1), p. 11017.

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-61914-6> PMID:38745041

PMid:38745041

22. Parades-Aguilar, J., Reyes-Martinez, V., Bustamante, G., Almendariz-Tapia, F.J., Martinez-Meza, G., Vélchez-Vargas, R., Link, A., Certucha-Barragan, M.T. and Calderon, K., 2021. Removal of nickel (II) from wastewater using a zeolite-packed anaerobic bioreactor: Bacterial diversity and community structure shifts. *Journal of Environmental Management*, 279, p. 111558.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111558> PMid:33221046
23. El-Naggar, A., Ahmed, N., Mosa, A., Niazi, N.K., Yousaf, B., Sharma, A., Sarkar, B., Cai, Y. and Chang, S.X., 2021. Nickel in soil and water: Sources, biogeochemistry, and remediation using biochar. *Journal of hazardous materials*, 419, p. 126421.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126421> PMid:34171670
24. Zhang, H., Pu, M., Li, H., Lu, B., Zhang, X., Li, S., Zhao, C., Pu, W., Liu, R., Guo, K. and Zhang, T., 2024. Progress and prospects for remediation of soil potentially toxic elements pollution: A state-of-the-art review. *Environmental Technology & Innovation*, p. 103703.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103703>
25. Bogusz, A. and Oleszczuk, P., 2018. Sequential extraction of nickel and zinc in sewage sludge-or biochar/sewage sludge-amended soil. *Science of the Total Environment*, 636, p. 927-935.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04072> PMid:29729510
26. Liden, C., Skare, L. and Vahter, M., 2008. Release of nickel from coins and deposition onto skin from coin handling-comparing euro coins and SEK. *Contact Dermatitis*, 59(1), pp. 31-37.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.2008.01363.x> PMid:18537991
27. Vasseghian, Y., Rad, S.S., Vilas-Boas, J.A. and Khataee, A., 2021. A global systematic review, meta-analysis, and risk assessment of the concentration of vanadium in drinking water resources. *Chemosphere*, 267, p. 128904.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128904> PMid:33199109
28. Bahr, C., Jekel, M. and Amy, G., 2022. Vanadium removal from drinking water by fixedbed adsorption on granular ferric hydroxide. *AWWA Water Science*, 4(1), p. e1271.
<https://doi.org/10.1002/aws2.1271>
29. Dabizha, A., Bahr, C. and Kersten, M., 2020. Predicting breakthrough of vanadium in fixed-bed absorbent columns with complex groundwater chemistries: A multi-component granular ferric hydroxide– vanadate– arsenate– phosphate– silicic acid system. *Water research X*, 9, p. 100061.
<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100061> PMid:32817931 PMCID:PMC7426449
30. Gustafsson, J.P., 2019. Vanadium geochemistry in the biogeosphere-speciation, solid-solution interactions, and ecotoxicity. *Applied geochemistry*, 102, pp. 1-25.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.027>
31. Xiong, C., Qin, Y. and Hu, B., 2010. On-line separation/preconcentration of V (IV)/V (V) in environmental water samples with CTAB-modified alkyl silica microcolumn and their determination by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Journal of hazardous materials*, 178(1-3), pp. 164-170.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.058> PMid:20133063
32. Li, M., Zhang, B., Zou, S., Liu, Q. and Yang, M., 2020. Highly selective adsorption of vanadium (V) by nano-hydrous zirconium oxide-modified anion exchange resin. *Journal of Hazardous Materials*, 384, p. 121386.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121386> PMid:31635822
33. Aihemaiti, A., Gao, Y., Meng, Y., Chen, X., Liu, J., Xiang, H., Xu, Y. and Jiang, J., 2020. Review of plant-vanadium physiological interactions, bioaccumulation, and bioremediation of vanadium-contaminated sites. *Science of the Total Environment*, 712, p. 135637.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135637> PMID:31810710

34. Zwolak, I., 2014. Vanadium carcinogenic, immunotoxic and neurotoxic effects: a review of in vitro studies. *Toxicology mechanisms and methods*, 24(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.3109/15376516.2013.843110> PMID:24147425
35. Taghipour, Sh., Hasanzadeh, M. and Hosseini Sarqin, S., 2011. Introduction of flora, biological form and geographical distribution of Ala and Rudozard region of Khuzestan province. *Journal of Taxonomy and Biosystematics*, 3(9), pp. 15-30. (In Persian).
36. Latkoczy, C., Becker, S., Ducking, M., Gunther, D., Hoogewerff, J.A., Almirall, J.R., Buscaglia, J., Dobney, A., Koons, R.D., Montero, S. and Van Der Peijl, G.J., 2005. Development and evaluation of a standard method for the quantitative determination of elements in float glass samples by LA-ICP-MS. *Journal of Forensic Sciences*, 50(6), p. JFS2005091-15. <https://doi.org/10.1520/JFS2005091>
37. Hou, X. and Jones, B.T. 2000. Inductively coupled plasma/optical emission spectrometry. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, pp. 9468-9485. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5110>
38. Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A. and Tzafeiropoulou, K., 2008. Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99(18), pp.8578-8584.
39. USEPA. 1989. Risk assessment guidance for superfund. *Human Health Evaluation Manual, Part A. EPA/540/1 - 89/002*. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.
40. Ullah, A.A., Maksud, M.A., Khan, S.R., Lutfi, L.N. and Quraishi, S.B., 2017. Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish

- and possible human health risk implications in Bangladesh. *Toxicology Reports*, 4, pp. 574-579. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.10.002> PMID:29152462 PMCID:PMC5671616
41. Aghayani, E., Shekoohiyan, S., Behnami, A., Abdollahnejad, A., Pourakbar, M., Haghnazar H., Mahdavi, V. and Mohammadi, A. 2023. Health risk assessment due to the presence of heavy metals in drinking water resources of Maragheh city. *Iranian Journal of Health and Environment*, 16 (1), pp. 31-52. (In Persian).
 42. UEPA, 2000. Risk-based concentration table. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
 43. Doabi, S.A., Karami, M., Afyuni, M., Yeganeh, M. 2018. Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, pp. 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057> PMID:30053585
 44. Wang, X., Sato, T., Xing, B. and Tao, S., 2005. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the total environment*, 350 (1-3), pp. 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.044> PMID:16227070
 45. Farhadi, N., Orak, N. and Bani Naimeh, S., 2017. Investigation of the causes of the change in the course of the Ala River in the Ramhormoz alluvial fan. *The 5th National Conference on Geomorphology and Environmental Challenges, Mashhad*, p. 5. (In Persian).
 46. Baluti, H. and Yaqoutzadeh, G.R., 2019. Classification of surface waters and groundwater in terms of drinking, agriculture and industry (case study of the Saidun River, Ala and the Gulal Dopran well and Seyyed Behzad seepage). *Journal of Water Sciences and Engineering*, 9 (23), pp. 57-70. (In Persian).

47. Al-Saleh, I. and Shinwari, N., 2001. Report on the levels of cadmium, lead, and mercury in imported rice grain samples. *Biological Trace Element Research*, 83(1), pp. 91-96.
<https://doi.org/10.1385/BTER:83:1:91> PMid:11694006
48. Lin, H.T., Wong, S.S. and Li, G.C., 2004. Heavy metal content of rice and Shellfish in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 12 (2), pp. 167-174.
<https://doi.org/10.38212/2224-6614.2649>
49. Firoozi, M.A., Mohammadi, D.C.M. and Saeedi, J., 2017. Evaluation of environmental instability indicators with emphasis on water, soil and noise pollutions using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Ahvaz metropolis. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19 (3), pp. 67-81. (In Persian).
50. Fu, F. and Wang, Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), pp. 407-418.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011> PMid:21138785
51. da Silva Junior, J.B., de Carvalho, V.S., Sousa, D.S., Dos Santos, I.F., Brito, G.B., Queiroz, A.F. and Ferreira, S.L., 2022. A risk assessment by metal contamination in a river used for public water supply. *Marine Pollution Bulletin*, 179, pp. 113730.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113730> PMid:35537302
52. Kluska, M. and Jablonska, J., 2023. Variability and Heavy Metal Pollution Levels in Water and Bottom Sediments of the Liwiec and Muchawka Rivers (Poland). *Water*, 15, p. 2833.
<https://doi.org/10.3390/w15152833>
53. Patel, P., Raju, N.J., Reddy, B.S.R., Suresh, U., Sankar, D.B. and Reddy, T.V.K., 2018. Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. *Environmental geochemistry and health*, 40, pp. 609-623.
<https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7> PMid:28695304
54. Kumar, S., Rahman, M.A., Islam, M.R., Hashem, M.A. and Rahman, M.M., 2022. Lead and other elements-based pollution in soil, crops and water near a lead-acid battery recycling factory in Bangladesh. *Chemosphere*, 290, p. 133288.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133288> PMid:34921850
55. Rashmi, I., Roy, T., Kartika, K.S., Pal, R., Coumar, V., Kala, S. and Shinoji, K.C., 2020. Organic and inorganic fertilizer contaminants in agriculture: Impact on soil and water resources. *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts and Management*, pp. 3-41.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_1
56. Rather, R.A., Ara, S., Sharma, S., Padder, S.A., Lone, F.A., Mir, S.A., Baba, Z.A., Ayoub, I.B., Mir, I.A., Bhat, T.A. and Baba, T.R., 2022. Seasonal changes and determination of heavy metal concentrations in Veshaw River of the Indian western Himalaya. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 3, p. 1018576.
<https://doi.org/10.3389/fenvc.2022.1018576>
57. Bostanzadeh, M., Roomiani, L., Payandeh, K., Sabzalipour, S. and Mohammadi Roozbehani, M., 2022. Risk assessment of aromatic hydrocarbon transfers cyclic through fish consumption (case study: Mesopotamichthys sharpeyi of Huralazim wetland in Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 21(2), pp.355-371.
58. Zeraatkari, S., Shakeri, A. and Rastegari Mehr, M., 2021. Evaluation of heavy metals concentration in surface

sediments of the Mordab river and parts of the Caspian Sea coast in Astara county. Iranian Journal of Health and Environment, 14 (1), pp. 83-98. (In Persian).

59. Timoney, K.P. and Ronconi, R.A., 2010. Annual bird mortality in the bitumen tailings ponds in northeastern Alberta, Canada. The Wilson Journal of Ornithology, 122(3), pp. 569-576. <https://doi.org/10.1676/09-181.1>

60. Timoney, K.P. and Lee, P., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons increase in Athabasca River Delta sediment: temporal trends and environmental correlates. Environmental science & technology, 45(10), pp. 4278-4284. <https://doi.org/10.1021/es104375d> PMID:21520949

61. Atojunere, E.E. and Ogedengbe, K., 2019. Evaluating water quality indicators of some water sources in the bitumen-rich areas of Ondo State, Nigeria. Journal ISSN, 1929, p. 2732. <https://doi.org/10.11159/ijep.2019.002>

62. Saeedi, M., Karbasi, A., Nabi Bidhendi, G.R. and Mehrdadi, N., 2006. The effect of human activities on the accumulation of heavy metals in the water of Tajan River in Mazandaran Province. Journal of Environmental Studies, 32 (40), pp. 50-41. (In Persian).

63. Arain, M.A., Wattoo, F.H., Wattoo, M.H.S., Ghanghro, A.B., Tirmizi, S.A., Iqbal, J. and Arain, S.A., 2009. Simultaneous determination of metal ions as complexes of pentamethylene dithiocarbamate in Indus river water, Pakistan. Arabian Journal of Chemistry, 2(1), pp. 25-29. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2009.07.007>

64. Reza, R. and Singh, G., 2010. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. International Journal of Environmental Science & Technology, 7, pp. 785-792. <https://doi.org/10.1007/BF03326187>

65. Maphanga, T., Chidi, B.S., Phungela, T.T., Gqomfa, B., Madonsela, B.S.,

Malakane, K.C., Lekata, S. and Shale, K., 2024. The interplay between temporal and seasonal distribution of heavy metals and physiochemical properties in Kaap River. International Journal of Environmental Science and Technology, 21 (7), pp. 6053-6064. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05401-x>

66. Yu, H., Lin, M., Peng, W. and He, C., 2022. Seasonal changes of heavy metals and health risk assessment based on Monte Carlo simulation in alternate water sources of the Xinbian River in Suzhou City, Huaibei Plain, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 236, p. 113445. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113445> PMID:35378402

67. Li, S. and Zhang, Q., 2010. Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China. Journal of hazardous materials, 181(1-3), pp. 1051-1058. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.120> PMID:20638969

68. Teng, Y., Ni, S., Zhang, C., Wang, J., Lin, X. and Huang, Y., 2006. Environmental geochemistry and ecological risk of vanadium pollution in Panzhihua mining and smelting area, Sichuan, China. Chinese Journal of Geochemistry, 25, pp. 379-385. <https://doi.org/10.1007/s11631-006-0378-3>

69. Kocak, N., Sahin, M. and Gubbuk, I.H., 2012. Synthesized of sporopollenin-immobilized Schiff bases and their vanadium (IV) sorption studies. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 22, pp. 852-859. <https://doi.org/10.1007/s10904-011-9646-8>

70. Ghosh, S.K., Saha, R. and Saha, B., 2015. Toxicity of inorganic vanadium compounds. Research on Chemical Intermediates, 41, pp. 4873-4897. <https://doi.org/10.1007/s11164-014-1573-1>

71. Wuilloud, R.G., Salonia, J.A., Gasquez, J.A., Olsina, R.A. and Martinez,

L.D., 2000. On-line pre-concentration system for vanadium determination in drinking water using flow injection-inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 420(1), pp. 73-79.

[https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)01010-2](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)01010-2)

72. Obasi, P.N. and Akudinobi, B.B., 2020. Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead-zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. *Applied Water Science*, 10(7), pp. 1-23.

<https://doi.org/10.1007/s13201-020-01233-z>

73. Zhang, X., Wu, Q., Gao, S., Wang, Z. and He, S., 2021. Distribution, source, water quality and health risk assessment of dissolved heavy metals in major rivers in Wuhan, China. *Peer Journal*, 9, pp. e11853.

<https://doi.org/10.7717/peerj.11853>

PMid:34395088 PMCID:PMC8323599

74. Onjia, A., Huang, X., Trujillo González, J.M. and Egbueri, J.C., 2022. Chemometric approach to distribution, source apportionment, ecological and health risk of trace pollutants. *Frontiers in Environmental Science*, 10, pp. 1107465.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1107465>

75. Fan, J., Deng, L., Wang, W., Yi, X. and Yang, Z., 2022. Contamination, source identification, ecological and human health

risks assessment of potentially toxic-elements in soils of typical rare-earth mining areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), p. 15105.

<https://doi.org/10.3390/ijerph192215105>

PMid:36429823 PMCID:PMC9690513

76. Taghavi, M., Darvishiyan, M., Momeni, M., Eslami, H., Fallahzadeh, R.A. and Zarei, A., 2023. Ecological risk assessment of trace elements (TEs) pollution and human health risk exposure in agricultural soils used for saffron cultivation. *Scientific Reports*, 13(1), p. 4556.

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-31681-x>

PMid:36941314 PMCID:PMC10027692

77. Wei, M., Pan, A., Ma, R. and Wang, H., 2023. Distribution characteristics, source analysis and health risk assessment of heavy metals in farmland soil in Shiquan County, Shaanxi Province. *Process Safety and Environmental Protection*, 171, pp. 225-237.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.089>

78. Dippong, T., Senila, M., Cadar, O. and Resz, M.A., 2024. Assessment of the heavy metal pollution degree and potential health risk implications in lakes and fish from northern Romania. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), p.112217.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112217>