

ارزیابی غلظت، تغییرات فصلی و منشایابی فلزات سنگین (سرب، روی، مس، کبالت، کروم و آهن) در آب رودخانه اعلاء شهرستان رامهرمز، استان خوزستان

چکیده

فلزات سنگین آلاینده‌های پایدار و تجزیه‌ناپذیری هستند که به دلیل توسعه شهری و فعالیت‌های انسانی، پساب‌های صنایع و کشاورزی وارد رودخانه‌ها می‌شوند و این اکوسیستم‌های آبی را تحت تاثیر سمیت قرار می‌دهند. این تحقیق با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین سرب، روی، مس، کبالت، کروم و آهن آب رودخانه اعلاء شهرستان رامهرمز، استان خوزستان انجام شد. در این پژوهش ۳۰ نمونه آب در فصل تابستان (تیر ماه) و فصل زمستان (بهمن ماه) سال ۱۴۰۲ بر اساس روش استاندارد انجمن بهداشت محیط آمریکا جمع‌آوری شدند. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، مس، روی، کبالت و آهن در آب رودخانه اعلاء به ترتیب ۳۴/۷۸۲، ۸/۲۵۶، ۶/۵۴۲، ۵/۸۷۶، ۵/۱۱۲ و ۱/۶۱۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد. میانگین غلظت سرب، کروم، مس، کبالت و آهن در آب رودخانه اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به دست آمد ($P < 0.05$)، اما میزان روی در مقایسه با آستانه استاندارد پایین‌تر بود ($P < 0.05$). تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (Principal Component Analysis) نشان داد که فلزات سنگین دارای دو منشأ هستند. در مولفه اول بار عاملی فلزات سرب (۰/۹۳۲)، کروم (۰/۹۱۷)، مس (۰/۸۲۵) و روی (۰/۸۶۵) منشأ آنتروپوژنیک (فعالیت‌های انسان‌زاد) دارند. فلزات کبالت و آهن با بار عاملی بالا در مولفه دوم، احتمالاً منشأ زمین‌شناسی (هوازگی سنگ‌های مادری و فرسایش خاک) را نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به نتایج اهمیت کنترل ورود آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به رودخانه اعلاء و حفاظت از این رودخانه در مقابل ورود آلودگی‌ها ضروری است.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، سمیت، ارزیابی آلودگی فلزات، رودخانه اعلاء،

شهرستان رامهرمز

مقدمه

آب نقش مهمی در سیستم‌های اکولوژیکی ایفا می‌کند و جزء جدایی‌ناپذیر زندگی انسان‌ها است. رودخانه‌ها به‌عنوان فضاهاى باز محیطی، بیشتر در معرض آلودگی قرار دارند (Vazquez-Tapia *et al.*, 2022). این موضوع توجه زیادی را به خود جلب کرده است، زیرا غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌ها تحت تاثیر مداوم فعالیت‌های انسانی، همچنان بالاتر از مقدار پس‌زمینه منطقه‌ای افزایش یافته و تأثیرات بالقوه‌ای بر سلامت انسان و تعادل اکولوژیکی ایجاد کرده است (Choudhury *et al.*, 2021; Mechouet *et al.*, 2024). آب‌های موجود در سطح کره زمین مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مصب‌ها، خلیج‌ها و اقیانوس‌ها مخازن بالقوه آلاینده‌های متنوعی از جمله فلزات سنگین هستند (Vazquez-Tapia *et al.*, 2022; Raj *et al.*, 2024). تغییرات اقلیمی جهانی، دسترسی و کیفیت منابع آب را بیشتر تحت تاثیر قرار داده است (Ingrao *et al.*, 2023). آلودگی رودخانه‌ها در اکثر کشورهای در حال توسعه یک مسئله حیاتی و مهم است. میزان پساب و پسماندهای دفع شده در سیستم‌های آب‌های سطحی به دلیل توسعه عظیم صنعتی افزایش یافته است (Xu *et al.*, 2022). فعالیت‌های انسانی ناشی از رشد جمعیت، صنعت و کشاورزی، تأثیر قابل توجهی بر منابع آب داشته و منجر به بهره‌برداری بیش‌از‌حد و آلودگی متعددی شده است (Gonzalez-Diaz *et al.*, 2025).

سیده راضیه پورموسوی^۱

آزیتا کوشافر^{۲*}

محمد ولایت زاده^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲. گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات

az.koushfar@iaou.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

رودخانه‌ها آلاینده‌های مختلف پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، پسماندهای خانگی و صنایع را حمل و جذب می‌کنند و منابع اصلی سمیت محیط‌زیستی این اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند (Ewaid *et al.*, 2020). آلودگی مرتبط با فلزات سنگین در پهنه‌های آبی به دلیل اثرات سمی گسترده آن‌ها بر اکوسیستم‌های خاک، آب، هوا، گیاهان، مواد غذایی و سلامت عمومی، یکی از نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی است (کوشافر و ولایت‌زاده، ۱۳۹۳؛ کوشافر و همکاران، ۱۳۹۷؛ پاینده و ولایت‌زاده، ۱۳۹۸). فلزات سنگین در اکوسیستم‌های حوزه آبی به‌سختی تجزیه شده و با پنهان شدن شدید مشخص می‌شوند که منجر به آسیب پایدار و حذف دشوار می‌شود (Xu *et al.*, 2022). فلزات سنگین درجات مختلفی از خطر، تأثیرات ناشی از آلودگی سطحی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، و ویژگی‌های تجمع‌زیستی و منابع غالب انسانی را نشان داده‌اند (Alengebawy *et al.*, 2021).

منابع طبیعی فلزات سنگین شامل هوازدگی زمین‌شناسی، فعالیت‌های آتشفشانی و رسوب‌گذاری جوی است. فلزات سنگین به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و کانی‌ها وجود دارند و آزاد شدن آن‌ها می‌تواند از طریق فرآیندهای فرسایش و هوازدگی رخ دهد. علاوه بر این، فوران‌های آتشفشانی برخی از عناصر سنگین را آزاد کرده و آنها را در خشکی یا در محیط‌های آبی رسوب می‌دهند (Yeongkyoo, 2018; Ilyinskaya *et al.*, 2021). ورود و انباشت فلزات سنگین در منابع آب به تأثیر فعالیت‌های انسانی بستگی دارد (Hamid *et al.*, 2022). علاوه بر این، فلزات سنگین نظیر روی، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، مس و سرب می‌توانند از طرق مختلف مانند صنایع فرآوری فلز، ساخت و سازه‌های صنعتی، کاربرد تجاری فلزات، دفع نامناسب زباله، گازهای خروجی از وسایل نقلیه، سایش لاستیک، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، استفاده از آفت‌کش‌ها، کودها و فاضلاب‌های آبیاری تصفیه نشده، توسط آب‌های سطحی به محیط‌های آبی منتقل شوند (Mansouri Moghadam *et al.*, 2024; El-Sharkawy *et al.*, 2025). تخلیه پساب‌های صنعتی، مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین مانند سرب، جیوه، کادمیوم و کروم را وارد محیط‌زیست می‌کند (Velayatzadeh, 2023). رواناب شهری یکی دیگر از عوامل اصلی است که فلزات سنگین را از جاده‌ها، ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری به رودخانه‌ها منتقل می‌کند (Rani *et al.*, 2022). شیوه‌های کشاورزی نیز نقش قابل توجهی در آلودگی فلزات سنگین دارند. استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها اغلب فلزاتی مانند آرسنیک، و مس را وارد خاک می‌کند که متعاقباً از طریق رواناب‌های سطحی به آب‌های سطحی منتقل می‌شوند (پاینده و همکاران، ۱۳۹۷؛ ولایت‌زاده و کوشافر، ۱۳۹۸; Velayatzadeh, 2023).

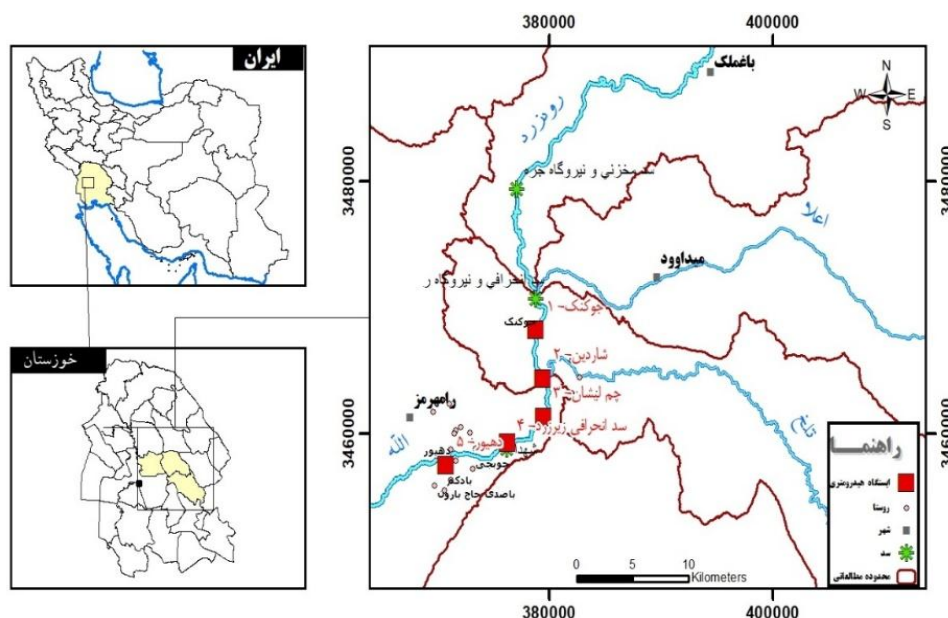
فلزات سنگین می‌توانند در آب‌ها به دو شکل محلول و ذره‌ای وجود داشته باشند. فلزات محلول معمولاً به‌صورت یون‌های آزاد یا به‌صورت کمپلکس‌هایی با لیگاندهای معدنی و آلی وجود دارند (Liu *et al.*, 2023). فلزات متصل به ذرات با ذرات معلق در ستون آب، از جمله ذرات معدنی، مواد آلی و بقایای بیولوژیکی مرتبط هستند (Xu *et al.*, 2022). این ذرات می‌توانند به‌عنوان ناقل فلزات سنگین عمل کنند و انتقال و رسوب آنها را در محیط‌های آبی تسهیل کنند. این فلزات متصل به ذرات، فلزات زیست‌فراهم (Bioavailability) در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند توسط موجودات آبی بلعیده شوند (Jia *et al.*, 2021). فلزات سنگین در غلظت‌های بالا برای زیستگاه‌های آبی (تالاب‌ها، رودخانه‌ها، خورها، دریاچه‌ها و مصب خلیج‌ها و رودها) و سلامت انسان خطرناک است (محمدصالحی و ولایت‌زاده، ۱۳۹۷؛ کوشافر و ولایت‌زاده، ۱۳۹۸; Hamid *et al.*, 2022). هنگامی که فلزات سنگین وارد یک سیستم آبی می‌شوند، می‌توانند در فعالیت‌های معمول آبیان اختلال ایجاد کنند و بیشتر فلزات سنگین خطرات سلامتی قابل توجهی را برای افراد با رده سنی مختلف ایجاد می‌کنند (Saravanan *et al.*, 2024). اگرچه در غلظت‌های طبیعی، فلزات سنگین وقتی در حد آستانه و مجاز غلظت می‌باشند، ضروری هستند و در بدن انسان و واکنش‌های زیستی و سوخت و ساز نقش مهمی دارند، اما کمبود این عناصر و غلظت‌های بالای آن‌ها سبب بیماری و مسمومیت می‌شود (ولایت‌زاده و پاینده، ۱۳۹۸; Moghadam *et al.*, 2024). انباشت فلزات سنگین در آب و بیماری‌های مرتبط با آن نتیجه رشد مداوم صنایع و محیط شهری است (Raj *et al.*, 2024). پدیده‌ای که به‌عنوان بزرگنمایی زیستی (Bioaccumulation) شناخته می‌شود، زمانی است که غلظت فلزات در هر مرحله از زنجیره غذایی افزایش می‌یابد و بنابراین به سطح بالاتر بعدی می‌رود (Saravanan *et al.*, 2024). منابع آب خطرناکی مرتبط با فلزات سنگین مانند افزایش فشار خون (باریم)،

تحریک‌پذیری و اختلالات گوارشی (بور)، نوروتوکسین‌ها (آلمینیوم و منگنز)، کندی رشد ذهنی و جسمی در کودکان و مشکلات کلیوی و فشار خون در بزرگسالان (سرب)، درمانیت آلرژیک، آسیب کبدی و استفراغ (کروم)، درد معده، استفراغ و سوزش پوست (آهن)، آسم و ذات‌الریه (کبالت)، بیماری‌های پوستی، سرطان و سمیت ایمنی، عصبی و ژنتیکی (نیکل)، ناراحتی گوارشی و آسیب کبدی یا کلیوی (مس)، سرگیجه و خستگی (روی) و سرطان‌ها، مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز، آسیب کلیوی و پوکی استخوان (کادمیوم) را نشان می‌دهند (Yan *et al.*, 2022; Velayatzadeh, 2023). رودخانه اعلاء یک اکوسیستم آبی حیاتی و شریانی مهم برای هزاران هکتار زمین‌های کشاورزی دشت رامهرمز - باغملک بوده که در آنها برنج محلی رقم چمپا، عنبربو و گندم کشت می‌شود. این رودخانه تامین کننده اصلی آب شرب و مصرفی مردم سه شهر رامهرمز، صیدون و میداود بوده و ۹۰ درصد حوزه آبریز این رودخانه در استان خوزستان است. با وجود مطالعات و تحقیقات متعدد در زمینه فلزات سنگین در رودخانه‌های استان خوزستان، درباره وضعیت کیفیت آب رودخانه اعلاء اطلاعات طبقه‌بندی شده به‌ویژه در فصل‌های مختلف سال وجود ندارد. همچنین از سوی دیگر مطالعه با رویکرد چند فلز در آب این رودخانه محدود است، بنابراین این پژوهش با هدف پر کردن این شکاف و ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سرب، روی، مس، کبالت، کروم و آهن در دو فصل کلیدی و مهم سال (تابستان و زمستان) انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدود مطالعه

رودخانه اعلاء همانند رودخانه مارون یکی از دو شاخه مهم رودخانه جراحی است که از منطقه کوهستانی واقع در ۷۰ کیلومتری شرق و شمال شرقی شهرستان رامهرمز به طول ۱۰۶ کیلومتر مزارع کشاورزی شهرستان باغملک و دشت رامهرمز را آبیاری می‌کند (پورموسوی و کوشافر، ۱۴۰۴). در این تحقیق ۵ ایستگاه محل نمونه‌برداری (جدول ۱) با توجه به طول رودخانه، تغییرات توپوگرافی از ورودی رودخانه اعلاء در تنگ چویل تا پایین دست در محل تلاقی و ارتباط با رودخانه مارون انتخاب شدند (شکل 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	۲۰° ۳۶' ۳۴" ، ۴۹° ۵۶' ۱۹"	بالادست

محل تلاقی ورودی قیر	۳۰/۳۱ ۷۵ ۴، ۳۲/۴۹ ۲۶ ۷	شاردین	۲
پایین دست محل تلاقی	۰۰ ۲۸/۳۱ ۴۹، ۷۳/۴۹ ۳۳ ۵۶	چم لیشان	۳
تامین آب شهری	۲۶/۳۱ ۱۲ ۸، ۶۹/۴۹ ۹۹ ۱۵	سد انحرافی زیرزرد	۴
پایین دست	۲۴/۳۱ ۴۴ ۹، ۶۴/۴۹ ۲۴ ۳۳	دهیور	۵

در این پژوهش نمونه‌های آب بر اساس روش استاندارد انجمن بهداشت محیط آمریکا (American public Health Association) تهیه شدند. نمونه‌های آب به صورت سیستماتیک و برنامه‌ریزی شده از هر ایستگاه با ۳ تکرار در فصل تابستان (تیر ماه) و فصل زمستان (بهمن ماه) سال ۱۴۰۲ جمع‌آوری شدند. به عبارت دیگر در مجموع از ۵ ایستگاه با ۳ تکرار در دو فصل سال، ۳۰ نمونه‌ی آب تهیه گردید. بدین منظور بطری نمونه‌بردار پلی‌اتیلنی استریل و با محلول آب مقطر و اسیدنیتریک ۲ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شستشو گردیدند (Latkoczy *et al.*, 2005). 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 ایکس، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بلافاصله به آزمایشگاه در شهر اهواز منتقل شدند. برای هضم شیمیایی نمونه‌های آب جهت سنجش فلزات، ۱۰۰ سی‌سی از نمونه‌ی مشخص شده داخل یک بشر ریخته شد. ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و چند عدد سنگ‌جوش اضافه به این مخلوط اضافه گردید. یک شیشه‌ی ساعت به‌عنوان سرپوش و جلوگیری از آلودگی روی بشر قرار داده شد. به نمونه موردنظر بر روی هیتر حرارت داده شد تا به آرامی به جوش آمد و تبخیر گردید. حرارت را تا زمانی که حجم نمونه به ۱۰ الی ۲۰ میلی‌لیتر برسد، ادامه داده شد. عمل حرارت را با افزودن اسید نیتریک 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 و نمونه به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل شد و پس از سرد شدن به حجم رسانیده و کامل مخلوط گردید. سپس نمونه‌ها را سانتریفوژ و صاف شدند (Hou and Jones, 2000).

فلزات سنگین سرب، روی، مس، کبالت، کروم و آهن در نمونه‌های آب بر اساس روش طیف‌سنجی انتشار نوری پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-OES; Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) سنجش شدند. برای اندازه‌گیری فلزات از دستگاه Optima 8300 ICP-OES ساخت شرکت Perkin Elmer آمریکا استفاده گردید. حد تشخیص فلزات به‌وسیله این دستگاه سنجش فلزات سنگین در حد میکروگرم بر لیتر است. نمونه‌ها باید برای حذف تمام ذرات مزاحم و اضافی، فیلتر شده، از صافی عبور کرده و قبل از تجزیه و تحلیل اسیدی شدند (Kasassi *et al.*, 2008). یک منحنی کالیبراسیون با رسم داده‌های شدت در مقابل غلظت برای غلظت‌های فلزی مورد مطالعه و انجام یک رگرسیون خطی، $\hat{y} = ax + b$ که در آن \hat{y} مقدار پیش‌بینی شده، a شیب و b عرض از مبدا است، تهیه شد. خطی بودن را می‌توان با حداقل چهار سطح غلظت تعریف کرد، اما اکثر دستورالعمل‌ها شش سطح غلظت را قابل قبول می‌دانند. در این مطالعه، از ۹ سطح غلظت برای ارزیابی خطی بودن استفاده شد و از محلول‌های حاوی ماتریس و نمونه‌های شاهد استفاده شد. خطی بودن منحنی‌های کالیبراسیون ابتدا از طریق محاسبه ضرایب همبستگی ارزیابی شد که طبق منابع، بیش محدودی ارائه می‌دهد. برای تأیید خطی بودن، باقیمانده‌های نسبی محاسبه شدند و انحراف باقیمانده نسبی باید کمتر از ۲۰ درصد باشد. برای تأیید بیشتر خطی بودن منحنی‌های کالیبراسیون، آزمون‌های عدم برازش (آزمون F) انجام شد. محلول‌های استاندارد کالیبراسیون در ۹ سطح غلظت ۰/۱، ۰/۰۴، ۰/۱، ۰/۴، ۱، ۴، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای هر فلز آزمایش شده در این مطالعه تهیه شدند. این محلول‌های استاندارد کالیبراسیون با رقیق کردن محلول استاندارد کالیبراسیون ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر با HNO_3 تهیه شدند. علاوه بر این، یک محلول ۲ میکروگرم در میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر دیگر تهیه و به‌عنوان محلول کنترل استفاده شد (Kruve *et al.*, 2015; Jateen *et al.*, 2022). روش‌های مختلفی برای تخمین حد تشخیص (LOD; Limit of Detection) و حد تعیین پذیری (LOQ; Limit of Quantification) وجود دارد که به ترتیب مربوط به کمترین غلظت آنالیتی است که می‌تواند به‌طور مداوم تشخیص داده شود و کمترین غلظت آنالیتی که می‌تواند به‌طور مداوم و دقیق تشخیص داده شود. در این کار، مقادیر حد تشخیص و حد تعیین پذیری برای هر فلز به‌صورت ریاضی از شیب منحنی کالیبراسیون خطی و انحراف معیار پاسخ (یعنی شدت مثبت) محلول شاهد تخمین زده شد. حد تشخیص (LOD)

فلزات سرب، روی، مس، کبالت، کروم و آهن به ترتیب ۰/۰۰۵۳، ۰/۰۰۷۹۱، ۰/۰۰۲۸، ۰/۰۱۴۸، ۰/۰۰۱۰، ۰/۱۸۶۴ میلی گرم بر لیتر و حد تعیین پذیری (LOQ) فلزات به ترتیب ۰/۰۱۸۴، ۰/۵۰۱۸، ۰/۰۱۲۸، ۰/۰۲۹۶، ۰/۰۰۳۳، ۰/۶۰۱۷ میلی گرم بر لیتر بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و اکسل نسخه ۲۰۰۷ انجام شد. مقایسه داده‌ها بین فصل زمستان و تابستان به کمک آزمون تی (T Test) و مقایسه‌ی آماری بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمک تحلیل واریانس یک‌طرفه، صورت پذیرفت.

نتایج

پارامترهای توصیفی فلزات سنگین در آب رودخانه اعلاء در جدول ۲ ارائه شده است. بالاترین و پایین‌ترین غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه اعلاء به ترتیب مربوط به فلزات سرب و آهن بود. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، مس، روی، کبالت و آهن در آب رودخانه اعلاء به ترتیب ۳۴/۷۸۲، ۸/۲۵۶، ۶/۵۴۲، ۵/۸۷۶، ۵/۱۱۲ و ۱/۶۱۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد. مقادیر چولگی و کشیدگی فلزات سنگین در دامنه ۲ و ۲- قرار داشتند، بنابراین نشان دهنده توزیع نرمال داده است.

جدول ۲: شاخص‌های توصیفی مقادیر فلزات سنگین (میکروگرم بر لیتر) آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

فصل	فلزات	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
تابستان	سرب	۱۹/۵۶۱	۳۷/۱۴۲	۳۵/۱۲۶	۱/۵۴۳	۲/۱۷۸	۱/۶۷۸	۰/۴۲۱
	کروم	۸/۱۳۸	۹/۲۶۷	۸/۷۸۱	۰/۹۵۲	۱/۳۲۴	۰/۵۶۷	-۰/۶۹۸
	مس	۶/۴۶۳	۶/۶۷۷	۶/۷۴۱	۰/۵۱۲	۰/۶۷۶	۰/۳۷۶	-۰/۹۵۱
	روی	۴/۳۲۲	۹/۴۴۲	۶/۴۰۷	۱/۲۱۵	۰/۷۸۹	-۱/۷۶۸	۰/۳۴۵
	کبالت	۴/۸۹۱	۵/۸۶۵	۵/۳۲۵	۰/۴۵۶	۰/۹۸۷	۰/۶۷۷	۰/۴۳۷
	آهن	۱/۶۳۱	۲/۵۲۶	۱/۸۲۵	۰/۴۱۲	۰/۹۸۷	۰/۲۷۵	۱/۶۵۱
زمستان	سرب	۱۹/۲۵۰	۳۳/۷۵۰	۲۵/۲۱۸	۴/۹۱۴	۲۴/۱۵۴	۰/۳۲۵	-۱/۲۹۹
	کروم	۶/۶۰۵	۸/۳۵۷	۷/۶۵۳	۰/۶۱۷	۰/۳۸۱	۱/۳۰۰	۰/۴۰۹
	مس	۵/۲۲۱	۶/۷۱۴	۶/۰۳۳	۰/۶۲۵	۰/۲۶۳	-۰/۶۷۰	-۰/۹۴۸
	روی	۲/۶۰۸	۷/۹۰۵	۴/۴۳۷	۱/۷۷۷	۳/۱۶۱	۱/۳۰۰	۰/۴۰۹
	کبالت	۴/۰۷۸	۵/۵۱۳	۴/۶۸۰	۰/۴۲۳	۰/۱۷۹	۰/۶۱۲	-۰/۳۵۴
	آهن	۱/۰۶۴	۲/۹۱۲	۱/۷۸۹	۰/۶۰۶	۰/۳۶۷	۱/۱۱۵	۰/۰۷۹

مقایسه‌ی میانگین فلزات سنگین سرب ($P \text{ Value} = ۰/۰۲۳$) و روی ($P \text{ Value} = ۰/۰۱۴$) در آب رودخانه‌ی اعلاء در فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < ۰/۰۵$)، اما میانگین غلظت کروم ($P \text{ Value} = ۰/۴۳۲$)، مس ($P \text{ Value} = ۰/۲۷۸$)، کبالت ($P \text{ Value} = ۰/۵۴۲$) و آهن ($P \text{ Value} = ۰/۱۲۷$) در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > ۰/۰۵$) (جدول ۳).

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر لیتر) رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز در دو فصل زمستان و تابستان

فلزات	تابستان	زمستان	P-value	Sig
سرب	۳۵/۱۱۲۶/۵۴۳	۲۵/۴±۲۱۸/۹۱۴	۰/۰۲۳	$P < ۰/۰۵$
کروم	۸/۰±۷۸۱/۹۵۲	۷/۰±۶۵۳/۶۱۷	۰/۴۳۲	$P > ۰/۰۵$
مس	۶/۰±۷۴۱/۵۱۲	۶/۰±۰۳۳/۶۲۵	۰/۲۷۸	$P > ۰/۰۵$
روی	۶/۱±۴۰۷/۲۱۵	۴/۱±۴۳۷/۷۷۷	۰/۰۱۴	$P < ۰/۰۵$
کبالت	۵/۰±۳۲۵/۴۵۶	۴/۰±۶۸۰/۴۲۳	۰/۵۴۲	$P > ۰/۰۵$

آهن	۱/۰±۸۲۵/۴۱۲	۱/۰±۷۸۹/۶۰۶	۰/۱۲۷	P>۰/۰۵
-----	-------------	-------------	-------	--------

مقایسه تجزیه و تحلیل آماری فلزات سنگین نشان داد میانگین غلظت سرب، کروم، مس، کبالت و آهن در آب رودخانه‌ی اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به دست آمد ($P < 0/05$)، اما میزان روی در مقایسه با آستانه استانداردها پایین تر بود ($P < 0/05$). بر اساس تحلیل واریانس مقادیر سرب ($P \text{ Value} = 0/034$)، کروم ($P \text{ Value} = 0/002$)، مس ($P \text{ Value} = 0/014$)، روی ($P \text{ Value} = 0/014$)، کبالت ($P \text{ Value} = 0/014$) و آهن ($P \text{ Value} = 0/014$) در مقایسه با حد مجاز استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0/05$) (جدول ۴).

بر اساس تحلیل همبستگی پیرسون، ارتباط فلزات سنگین نشان داد که غلظت سرب- کروم ($R = 0/779$, $P \text{ Value} = 0/022$)، سرب- مس ($R = 0/675$, $P \text{ Value} = 0/041$)، سرب- روی ($R = 0/845$, $P \text{ Value} = 0/034$)، کروم- مس ($P \text{ Value} = 0/025$)، کروم- روی ($R = 0/789$, $P \text{ Value} = 0/036$)، روی- آهن ($R = 0/798$, $P \text{ Value} = 0/032$) و کبالت- آهن ($R = 0/885$, $P \text{ Value} = 0/011$) در آب رودخانه اعلاء همبستگی مستقیم و معنی‌داری داشت ($P < 0/05$) (جدول ۵). تجزیه و تحلیل مولفه‌ی اصلی (Principal Component Analysis) فلزات سنگین آب رودخانه اعلاء نشان می‌دهد که ۲ عامل را استخراج کرده است. عامل اول تحت تاثیر فلزات سرب، کروم، مس و روی در آب بوده است و چهار فلز سرب، کروم، مس و روی بیش از ۹۰ درصد داده‌ها را استخراج کرده است. عامل دوم تحت تاثیر کبالت و آهن است (جدول ۶) که همبستگی پیرسون غلظت فلزات سنگین آب رودخانه اعلاء نیز موارد فوق را تایید کرده است.

جدول ۴: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر لیتر) در آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز با استاندارد ملی ایران و استاندارد سازمان بهداشت جهانی

فلزات سنگین	میانگین آب	استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳		استاندارد سازمان بهداشت جهانی			
		حد آستانه	P-value	Sig	حد آستانه	P-value	Sig
سرب	۳۴/۷۸۲	۰/۰۱	۰/۰۰۲	<۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱۸	<۰/۰۵
کروم	۸/۲۵۶	۰/۰۵	۰/۰۲۷	<۰/۰۵	۰/۵	۰/۰۳۵	<۰/۰۵
مس	۶/۵۴۲	۱	۰/۰۱۱	<۰/۰۵	۱/۵	۰/۰۲۱	<۰/۰۵
روی	۵/۸۷۶	۱۵	۰/۰۳۱	<۰/۰۵	۱۵	۰/۰۱۱	<۰/۰۵
کبالت	۵/۱۱۲	۰/۰۵	۰/۰۲۶	<۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵	<۰/۰۵
آهن	۱/۶۱۵	۰/۳	۰/۰۰۱	<۰/۰۵	۱	۰/۰۴۲	<۰/۰۵

جدول ۵: همبستگی پیرسون فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

سرب	کروم	مس	روی	کبالت	آهن	ضریب همبستگی	
۱	۰/۷۷۹	۰/۶۷۵	۰/۸۴۵	۰/۱۲۵	۰/۲۷۸	ضریب همبستگی	سرب
	۰/۰۲۲	۰/۰۴۱	۰/۰۳۴	۰/۲۴۲	۰/۵۷۸	P-value	
۱	۰/۸۸۵	۰/۰۲۵	۰/۷۸۹	۰/۳۴۱	۰/۲۱۹	ضریب همبستگی	کروم
	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶	۰/۳۱۱	۰/۶۱۲	P-value	
۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۲۷۸	۰/۱۷۸	ضریب همبستگی	مس
		۰/۴۵۸	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱	۰/۲۱۵	P-value	
۱	۱	۱	۱	۰/۱۱۷	۰/۷۹۸	ضریب همبستگی	روی
				۰/۱۲۱	۰/۰۳۲	P-value	
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۸۹۵	ضریب همبستگی	کبالت

۰/۰۱۱	P-value	آهن
۱	ضریب همبستگی	
	P-value	

جدول ۶: تحلیل مولفه‌ی اصلی (PCA) فلزات سنگین آب رودخانه‌ی اعلاء شهرستان رامهرمز

Component	فلزات	
	۲	۱
سرب	۰/۹۳۲	۰/۱۷۵
کروم	۰/۹۱۷	۰/۱۹۲
مس	۰/۸۲۵	۰/۲۷۵
روی	۰/۸۶۵	۰/۲۶۵
کبالت	۰/۲۱۵	۰/۶۸۹
آهن	۰/۳۲۶	۰/۷۱۲

بحث و نتیجه‌گیری

میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، مس، روی، کبالت و آهن در آب رودخانه اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر به دست آمد ($P < 0.05$)، اما میزان روی در مقایسه با آستانه استاندارد پایین‌تر بود ($P < 0.05$). در یک مطالعه مشابه نتایج غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه‌ی اعلاء در مقایسه با حد آستانه استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) و سازمان بهداشت جهانی بالاتر گزارش شده است ($P < 0.05$) و بر اساس تحلیل واریانس مقادیر کادمیوم ($P = 0.034$)، نیکل ($P = 0.002$) و وانادیوم ($P = 0.014$) در مقایسه با حد مجاز استاندارد ملی ایران (شماره ۱۰۵۳) اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$) (پورموسوی و کوشافر، ۱۴۰۴). سازمان بهداشت جهانی دستورالعمل‌ها و استانداردهایی را برای کیفیت آب آشامیدنی، از جمله حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین مختلف، تدوین می‌کند. این استانداردها شاخص‌های مهمی برای ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی و هدایت اقدامات نظارتی برای حفاظت از سلامت عمومی هستند (WHO, 2011). باین‌حال، رعایت این استانداردها در مناطقی که به‌سرعت در حال شهری شدن هستند، می‌تواند دشوار باشد، جایی که رشد سریع جمعیت و صنعتی شدن می‌تواند بر زیرساخت‌های موجود آب و سیستم‌های مدیریتی فشار وارد کند (Afzal et al., 2024). بسیاری از مطالعات و تحقیقات غلظت فلزات سنگین در آب را با محدودیت‌های مجاز سازمان بهداشت جهانی مقایسه می‌کنند (ولایت‌زاده و پاینده، ۱۳۹۸) و نشان می‌دهند که برخی از نمونه‌های آب، به‌ویژه برای فلزاتی مانند آرسنیک، کروم و سرب، از این محدودیت‌ها فراتر می‌روند (Xie and Ren, 2022; Gonzalez et al., 2025) و بالاتر از حد مجاز استانداردها گزارش شدند (پورموسوی و کوشافر، ۱۴۰۴). درحالی‌که برخی از فلزات سنگین در محدوده ایمن هستند (Choudhury et al., 2021)، برخی دیگر، مانند آرسنیک، می‌توانند خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا به‌ویژه در آب آشامیدنی، ایجاد کنند (آقایانی و همکاران، ۱۴۰۲).

مقایسه‌ی میانگین فلزات سنگین سرب، کروم، مس، روی، کبالت و آهن در آب رودخانه‌ی اعلاء در فصل تابستان و زمستان نشان داد که غلظت فلزات در آب رودخانه در فصل تابستان بالاتر از فصل زمستان بوده است اما از لحاظ آماری غلظت کروم، مس، کبالت و آهن در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). در یک بررسی بر روی رودخانه کوشیارا در کشور بنگلادش گزارش شد که غلظت فلزات سنگین در آب در فصل تابستان به اوج خود رسید و پس از آن زمستان و باران‌های موسمی قرار گرفتند. در آب، کادمیوم، آهن، منگنز و نیکل در تابستان بیشترین مقدار را داشتند، در حالی که مس، سرب، کروم و روی در زمستان برجسته بودند (Saifullah et al., 2025). در مورد رودخانه گنگ در کشور بنگلادش نیز الگوی توزیع یکسانی از فلزات سنگین مورد مطالعه نیز در هر دو فصل تابستان و زمستان نشان داده شد که فلزات کروم، سرب، مس، روی و کادمیوم در فصل تابستان بالاتر از فصل زمستان گزارش شدند (Ganges, 2019) که نتایج این تحقیقات، نتایج تحقیق حاضر را تایید می‌کنند. غلظت فلزات سنگین در آب می‌تواند به دلیل عواملی مانند دما، بارندگی و فعالیت‌های انسانی، بین فصول زمستان و تابستان به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد. به‌طور کلی، برخی مطالعات نشان می‌دهند که

غلظت فلزات سنگین در تابستان به دلیل افزایش دمای آب و رواناب بالقوه از مناطق آلوده، بیشتر است. باین حال، مطالعات دیگر غلظت‌های بالاتر را در زمستان، به‌ویژه در هنگام ذوب برف یا به دلیل فعالیت‌های صنعتی خاص، نشان می‌دهند (Darweesh *et al.*, 2019; Singh Sankhla *et al.*, 2021; Rather *et al.*, 2022). مقدار بالای آن در طول فصل خشک به‌طور قابل‌توجهی ممکن است به دلیل تبخیر زیاد آب‌های سطحی و به دنبال آن افزایش دما باشد (Ganges, 2019). به نظر می‌رسد که کودهای مورد استفاده کشاورزی در اطراف رودخانه‌ی اعلاء و فعالیت‌های آبیاری مردم محلی برای آبیاری مزارع کشاورزی، میزان فلزات را در تابستان افزایش می‌دهند. همچنین افزایش فلزات در طول تابستان ممکن است مربوط به افزایش حجم آب به دلیل باران و برف باشد، درحالی‌که کاهش فلزات در طول تابستان ممکن است مربوط به فرونشست ذرات حاوی فلز به دلیل عدم فعالیت در تابستان باشد (Basyigit and Tekin-Ozan, 2013; Sancer, and Tekin-Ozan, 2016).

تحلیل همبستگی پیرسون و تحلیل مولفه اصلی فلزات سنگین آب رودخانه اعلاء نشان داد که فلزات سرب، کروم، مس و روی دارای یک منشأ مشترک هستند و آهن و کبالت نیز دارای یک منشأ هستند. ورودی‌های عمده انسانی سرب، کروم، مس و روی در آب شامل صنایع، معادن، کارخانه‌های ذوب و سایش لاستیک و لنت وسایل نقلیه و دود خروجی از آگزوز آنها است (Velayatzadeh, 2023). همچنین فلزات سرب، کروم، مس و روی از طریق لجن پساب‌های شهری وارد آب‌ها می‌شود. سرب، کروم و روی در تولید باتری‌های اسید سرب، لیم، آلیاژها، پوشش کابل، رنگدانه‌ها، مهارکننده‌های زنگ، مهمات، لعاب‌ها و تثبیت‌کننده‌های پلاستیکی استفاده می‌شود (Rather *et al.*, 2022). بیشترین غلظت سرب، کروم، مس و روی در تابستان می‌تواند به دلیل رقیق شدن کمتر به دلیل دبی کم جریان باشد. افزایش محتوای فلزات سنگین در پایین‌دست ممکن است به دلیل ورود پسماند و پساب شهری و روستایی، پساب‌های خانگی، حمل و نقل، کارگاه‌های وسایل نقلیه و تخلیه صنعتی از واحدهای صنعتی در حوزه آبریز جریان رودخانه اعلاء باشد (پورموسوی و کوشافر، ۱۴۰۳). همچنین سرب عمدتاً از فعالیت‌های تولیدی صنعتی و کشاورزی انسان ناشی می‌شود. اطراف رودخانه اعلاء از بالادست تا پایین‌دست زمین‌های کشاورزی فراوانی وجود دارد که محصولات متنوعی نظیر برنج و گندم در آنها کشت می‌شود و احتمالاً علت غلظت سرب در آب رودخانه پساب کشاورزی است. اثرات فعالیت‌های انسانی نیز برای سرب در نمونه‌های آب مورد تجزیه و تحلیل مشاهده شد. منابع احتمالی سرب می‌تواند شامل آلودگی ناشی از حمل و نقل جاده‌ای و همچنین بقایای ناشی از انتشارات صنعتی گذشته و استفاده از سوخت‌های سرب‌دار باشد (Kluska and Jablonska, 2025). یکی دیگر از آلاینده‌های مهم سرب در 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 هستند (پورموسوی و کوشافر، ۱۴۰۴). آهن به‌عنوان ترکیبی از عناصر نوع جذب‌شده و نوع مغذی طبقه‌بندی می‌شود، زیرا آهن در آب‌های سطحی توسط جذب فیتوپلانکتون‌ها کاهش می‌یابد و تحت تأثیر کانی‌سازی مجدد و جذب در آب‌های میانی و عمیق قرار می‌گیرد (Zheng and Sohrin, 2019). به‌طور عمده غلظت آهن در آب منشأ طبیعی دارد (Kluska and Jablonska, 2025). کروم به‌طور گسترده در صنایعی مانند آبرکاری، تولید رنگ و رنگدانه، نساجی، کود و دباغی چرم استفاده می‌شود. این صنایع کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی را همراه با پساب فاضلاب به خاک و آب‌های سطحی تخلیه می‌کنند (Ganguli and Tripathi, 2002). مس عنصری است که معمولاً در طبیعت یافت می‌شود و به‌طور گسترده توسط انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. منابع مس در آب‌های سطحی عبارتند از استخراج و ذوب مس، هوازگی شیمیایی، تولید فولاد، صنایع برق، کشاورزی و لجن فاضلاب (Hussain *et al.*, 2017). آهن فراوان‌ترین عنصر در پوسته زمین و فراوان‌ترین فلز سنگین است، این عنصر عمدتاً به‌صورت دو ظرفیتی یا سه ظرفیتی در محیط‌زیست وجود دارد (Mesias *et al.*, 2013). کارخانه‌های تولید باتری‌های اسیدی به آلودگی سرب در آب‌های سطحی کمک می‌کنند. لوله‌های قدیمی استفاده شده حاوی سرب منبع مستقیمی برای تولید آلودگی سرب در آب هستند. کارخانه‌های صنعتی و آگزوز وسایل نقلیه آلودگی سرب را در آب تولید می‌کنند (Hashim *et al.*, 2011). سنگ‌های متنوعی در حوضه رودخانه اعلاء وجود دارد که مهم‌ترین آنها سنگ‌های آهکی و دولومیتی است. این سنگ‌ها در کوه‌های مرتفع این حوضه آبخیز رخمون دارند. این سنگ‌ها پس از فرسایش فیزیکی به

قطعه‌های بزرگ و کوچک سنگ و به قله‌های درشت و ریز تبدیل می‌شوند و بخش اعظم رسوبات درشت‌دانه موجود در بستر رودخانه تشکیل می‌دهند. سنگ‌های کنگلومرای و ماسه‌سنگ نیز در نقاط متعددی از حوضه آبخیز رودخانه اعلاء رخمون دارند. حاصل فرسایش این سنگ‌ها دانه‌هایی از قله‌سنگ، گراول یا شن و ماسه است. همچنین یکی از فعالیت‌های مهمی که در بستر رودخانه اعلاء انجام می‌شود بهره‌برداری از مصالح خام شن و ماسه است. این بهره‌برداری روند بسیار شتاب‌زده‌ای داشته که منجر به تخریب بستر و کناره‌های رودخانه گردیده است. بهره‌برداری از مصالح شن و ماسه عمدتاً در منطقه رامهرمز صورت می‌گیرد، اما مقادیری از این مصالح در منطقه پایین دست میداود سفلی نیز برداشت می‌شود (مطالعات طرح ساماندهی رودخانه اعلاء، ۱۳۸۷). کبالت موجود در آب رودخانه می‌تواند از منابع طبیعی و مصنوعی سرچشمه بگیرد. به‌طور طبیعی، در سنگ‌ها و خاک یافت می‌شود و می‌تواند در آب حل شود. منابع انسانی شامل استخراج و فرآوری سنگ‌های معدنی حاوی کبالت، استفاده از لجن یا کودهای حاوی کبالت و دفع پسماند است. فعالیت‌های صنعتی مانند ذوب، پالایش و تولید محصولات حاوی کبالت نیز می‌توانند کبالت را در محیط‌زیست آزاد کنند و در نهایت به رودخانه‌ها راه پیدا کنند (Essumang, 2009; Kosiorek and Wyszowski, 2019).

با توجه به طولانی بودن مسافت رودخانه اعلاء و صعب‌العبور بودن مسیر آن در انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری محدودیت وجود داشت، به همین دلیل ۵ ایستگاه انتخاب شد. از طرف دیگر دسترسی و نمونه‌برداری از آب رودخانه دشوار بود. همچنین به دلیل دمای بالای هوا در فصل تابستان تردد و نمونه‌برداری از آب رودخانه بسیار طاقت‌فرسا بود، به همین دلیل در هر فصل یک‌بار نمونه‌برداری انجام شد. یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق محدودیت زمانی برای انجام مراحل تحقیق بود که مشاهده می‌شود فقط دو فصل تابستان و زمستان نمونه‌های آب تهیه شدند. یافته‌های این تحقیق ممکن است برای مقامات دولتی و ذینفعان ارزشمند باشد و آنها را قادر می‌سازد تا با توجه به خطر قابل توجه آب‌های سطحی حوضه برای سلامت انسان و اکوسیستم رودخانه، اقدامات لازم را انجام دهند. اعمال مقررات زیست‌محیطی و همچنین اجرای اقدامات نظارتی و کنترلی برای کاهش خطرات سمیت برای آبزیان و جمعیت در معرض تماس با آب رودخانه‌ها ضروری است. همچنین این مطالعه نظارت مداوم بر پساب‌های کشاورزی و صنعتی را برای انجام استراتژی‌های مؤثر مختلف برای حذف یون‌های فلزی توصیه می‌کند. علاوه بر این، بلیید مقررات و قوانین زیادی برای حفاظت از منابع آب وضع شود. علاوه بر این، این کار می‌تواند سیاست‌گذاران و ذینفعان را در مورد عواقب احتمالی مرتبط با آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی آگاه نموده و ایجاد سیاست‌ها و قوانین متناسب برای کاهش این مسائل را تسهیل کند.

منابع

- آقایانی، ا.، شکوهیان، س.، بهنامی، ع.، عبدالله نژاد، ع.، پوراکیبر، م.، حق نظر، ح.، مهدوی، و. و محمدی، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر مراغه. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت ایران، ۱۶ (۱): ۵۲-۳۱.
- پاینده، خ.، رومیانی، ل. و ولایت‌زاده، م. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات برخی عناصر در گیاه آبی نی (*Phragmites australis*) تالاب ناصری در فصول بهار و پاییز. مجله علمی اکوبیولوژی تالاب، ۱۰ (۱): ۹۴-۷۹.
- پاینده، خ. و ولایت‌زاده، م. ۱۳۹۸. تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. مجله علمی اکوبیولوژی تالاب، ۱۱ (۲): ۹۶-۸۳.
- پورموسوی، س.ر. و کوشافر، آ. ۱۴۰۳. بررسی اثر چشمه‌های قیر ماماتین بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه اعلاء شهرستان رامهرمز. مجله مهندسی بهداشت محیط، ۱۲ (۱): ۴۶-۳۰.
- پورموسوی، س.ر. و کوشافر، آ. ۱۴۰۴. بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب رودخانه اعلاء شهرستان رامهرمز. مجله پژوهش در بهداشت محیط، ۱۱ (۱): ۵۲-۳۵.
- کوشافر، آ. و ولایت‌زاده، م. ۱۳۹۳. مقایسه تجمع زیستی فلزات سنگین در عضله دو گونه ماهی بیا آب شیرین (*Liza abu*) و شانک زرد باله (*Acanthopagrus latus*) رودخانه بهمنشیر در فصل تابستان. مجله علمی اکوبیولوژی تالاب، ۶ (۴): ۷۲-۵۹.

- کوشافر، آ.، سواری، ا.، سخایی، ن.، ارچنگی، ب. و کریمی اورگانی، ف. ۱۳۹۷. تعیین سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه بهمن شیر. مجله علمی اکوبیولوژی تالاب، ۱۰ (۲): ۶۴-۵۳.
- کوشافر، آ. و ولایت زاده، م. ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم و سرب در آب و رسوبات سطحی تالاب ناصری (خرمشهر). مجله پژوهش‌های محیط زیست، ۱۰ (۲۰): ۱۴۰-۱۲۷.
- محمد صالحی، ا. و ولایت زاده، م. ۱۳۹۷. اندازه گیری و مقایسه فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و روی در عضله و کبد اردک ماهی (*Esox lucius*) مصب رودخانه های استان مازندران و گیلان (دریای خزر). مجله پژوهش‌های محیط زیست، ۹ (۱۸): ۱۷۰-۱۵۷.
- مطالعات طرح ساماندهی رودخانه اعلاء. ۱۳۸۷. گزارش مطالعات زمین شناسی و ریخت شناسی. جلد چهارم. وزارت نیرو، سازمان آب و برق استان خوزستان، شرکت مهندسی مشاور سبز آب اروند. ۹۷ صفحه.
- ولایت زاده، م. و پاینده، خ. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر دستگاه‌های تصفیه آب خانگی بر غلظت فلزات آب آشامیدنی شهر اهواز. مجله طب جنوب، ۲۲ (۶): ۴۱۴-۴۰۲.
- ولایت زاده، م. و کوشافر، آ. ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب ناصری (خرمشهر). فصلنامه دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، ۱۷ (۲): ۱۶۸-۱۵۷.

Afzal, I., Begum, S., Iram, S., Shabbir, R., Shahat, A.A. and Javed, T. 2024. Comparative analysis of heavy metals toxicity in drinking water of selected industrial zones in Gujranwala, Pakistan. Scientific Reports, 14(1), 30639.

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R. and Wang, M.Q. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics, 9(3), 42.

Basyigit, B. and Tekin-Ozan, S. 2013. Concentrations of Some Heavy Metals in Water, Sediment, and Tissues of Pikeperch (*Sander lucioperca*) from Karataş Lake Related to Physico-Chemical Parameters, Fish Size, and Seasons. Polish Journal of Environmental Studies, 22(3), 633-644.

Choudhury, T.R., Acter, T., Uddin, N., Kamal, M., Chowdhury, A.S. and Rahman, M.S. 2021. Heavy metals contamination of river water and sediments in the mangrove forest ecosystems in Bangladesh: A consequence of oil spill incident. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 16, p.100484.

Darweesh, M., Gamal El-Dein, H., Abou-Shleel, S. and El-Shirbeny, M. 2019. Seasonal variation of heavy metals in water and organs of *Oreochromis niloticus* at Rosetta Branch, River Nile, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, 23(3), pp.513-526.

El-Sharkawy, M., Alotaibi, M.O., Li, J., Du, D. and Mahmoud, E. 2025. Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: A review. Sustainability, 17(2), 701.

Essumang, D.K. 2009. Levels of cobalt and silver in water sources in a mining area in Ghana. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 3(6), 1437-1444.

Ewaid, S.H., Abed, S.A., Al-Ansari, N. and Salih, R.M. 2020. Development and evaluation of a water quality index for the Iraqi rivers. Hydrology, 7(3), 67.

Ganges, P.A.S. 2019. Seasonal variation and ecological risk assessment of heavy metal contamination in surface waters of the Ganges River (northwestern Bangladesh). Malaysian journal of analytical sciences, 23(2), 300-311.

Ganguli, A. and Tripathi, A. 2002. Bioremediation of toxic chromium from electroplating effluent by chromate-reducing *Pseudomonas aeruginosa* A2Chr in two bioreactors. Applied Microbiology and Biotechnology, 58(3), pp.416-420.

Gonzalez-Diaz, R.L., de Anda, J., Shear, H., Padilla-Tovar, L.E., Lugo-Melchor, O.Y. and Olvera-Vargas, L.A. 2025. Assessment of Heavy Metals in Surface Waters of the Santiago-Guadalajara River Basin, Mexico. Hydrology, 12(2), 37.

Hamid, E., Payandeh, K., Karimi Nezhad, M.T. and Saadati, N. 2022. Potential ecological risk assessment of heavy metals (trace elements) in coastal soils of southwest Iran. Frontiers in Public Health, 10, p.889130.

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.

Hou, X. and Jones, B.T. 2000. Inductively coupled plasma/optical emission spectrometry. Encyclopedia of analytical chemistry, 2000, pp.9468-9485.

Hussain, J., Husain, I., Arif, M. and Gupta, N. 2017. Studies on heavy metal contamination in Godavari river basin. Applied Water Science, 7(8), pp.4539-4548.

Ilyinskaya, E., Mason, E., Wieser, P.E., Holland, L., Liu, E.J., Mather, T.A., Edmonds, M., Whitty, R.C., Elias, T., Nadeau, P.A. and Schneider, D. 2021. Rapid metal pollutant deposition from the volcanic plume of Kīlauea, Hawai'i. *Communications Earth & Environment*, 2(1), p.78.

Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G. and Huisinigh, D. 2023. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9 (8), e18507.

Jateen, S., Poonam, K.K., Vaishali, S., Jae-won, L., Il-Hyun, B., Santhosh, K.K., Pulidindi, I.N. and Sharma, P. 2022. Determination of Toxic Heavy Metals in Theobromine Using Quadrupole Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Q-ICP-MS). *Developments in Clinical & Medical Pathology*, 2 (3), 000536.

Jia, Z., Li, S., Liu, Q., Jiang, F. and Hu, J. 2021. Distribution and partitioning of heavy metals in water and sediments of a typical estuary (Modaomen, South China): the effect of water density stratification associated with salinity. *Environmental Pollution*, 287, p.117277.

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), 8578-8584.

Kluska, M. and Jablonska, J. 2025. Heavy Metal Pollution of the Świder River, Protection Measures and Impact on Tourism Development. *Water*, 17(13), p.1853.

Kosiorek, M. and Wyszowski, M. 2019. Effect of cobalt on the environment and living organisms-a review. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(5), 11419-11449.

Kruve, A., Rebane, R., Kipper, K., Oldekop, M.L. Evard, H., Herodes, K., Ravio, P. and Leito, I., 2015. Tutorial review on validation of liquid chromatography–mass spectrometry methods: Part I. *Analytica chimica acta*, 870, pp.29-44.

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), pp. JFS2005091-15.

Liu, J., Wang, Y., Li, Y., Penuelas, J., Zhao, Y., Sardans, J., Tetzlaff, D., Liu, J., Liu, X., Yuan, H. and Li, Y. 2023. Soil ecological stoichiometry synchronously regulates stream nitrogen and phosphorus concentrations and ratios. *Catena*, 231, p.107357.

Mansouri Moghadam, S., Payandeh, K., Koushfar, A., Goosheh, M. and Mohammadi Rouzbahani, M. 2024. Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. *Scientific Reports*, 14(1), 14754.

Mechouet, O., Foudil Bouras, A., Benaissa, N., Ait Hamadouche, Y., Haddad, F.Z. and Dimache, A. 2024. Assessing Heavy Metal Contamination in Surface Water and Sediments of The Tafna River (North-West of Algeria). *Pollution*, 10(1), pp.119-133.

Mesias, M., Seiquer, I. and Navarro, M.P. 2013. Iron nutrition in adolescence. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(11), 1226-1237.

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.

Raj, A.R.A., Mysamy, P., Sivasankar, V., Kumar, B.S., Omine, K. and Sunitha, T.G. 2024. Heavy metal pollution of river water and eco-friendly remediation using potent microalgal species. *Water Science and Engineering*, 17(1), 41-50.

Rani, L., Srivastav, A.L., Kaushal, J., Grewal, A.S. and Madhav, S. 2022. Heavy metal contamination in the river ecosystem. In *Ecological significance of river ecosystems* (pp. 37-50).

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.

Saifullah, M.K., Tasnim, N., Tasnim, A., Pandit, D., Sultana, M.A., Hossain, M.A., Harun-Al-Rashid, A. and Kunda, M. 2025. Seasonal variation, and ecological risks assessment of heavy metals pollution in an upstream tropical freshwater river, Bangladesh. *International Journal of River Basin Management*, pp.1-24.

Sancer, O. and Tekin-Ozan, S. 2016. Seasonal changes of metal accumulation in water, sediment and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel Growing in Lake Kovada (Isparta, Turkiye). Suleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science, 11(2), 45-60.

Saravanan, P., Saravanan, V., Rajeshkannan, R., Arnica, G., Rajasimman, M., Baskar, G. and Pugazhendhi, A. 2024. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research*, 258, 119440.

Singh Sankhla, M., Kumar, R. and Prasad, L. 2021. Seasonal variations of lead and chromium concentrations in the water samples from Yamuna River in Delhi, India. *Iranian Journal of Toxicology*, 15(2), 109-114.

Vazquez-Tapia, I., Salazar-Martinez, T., Acosta-Castro, M., Melendez-Castolo, K.A., Mahlkecht, J., Cervantes-Aviles, P., Capparelli, M.V. and Mora, A. 2022. Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico-A review. *Chemosphere*, 308, 136285.

Velayatzadeh, M. 2023. Heavy metals in surface soils and crops. In *Heavy Metals-Recent Advances*. IntechOpen.

WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, Edition, F.,38(4), pp.104-8.

Xu, Z., Zhang, Q., Li, X. and Huang, X. 2022. A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. *Chemical Engineering Journal*, 429, p.131688.

Yan, C., Qu, Z., Wang, J., Cao, L. and Han, Q. 2022. Microalgal bioremediation of heavy metal pollution in water: Recent advances, challenges, and prospects. *Chemosphere*, 286, p.131870.

Yeongkyoo, K. 2018. Effects of different oxyanions in solution on the precipitation of jarosite at room temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 353, pp.118-126.

Zheng, L. and Sohrin, Y. 2019. Major lithogenic contributions to the distribution and budget of iron in the North Pacific Ocean. *Scientific Reports*, 9(1), p.11652.

Assessment of concentration, seasonal changes and origin of heavy metals (lead, zinc, copper, cobalt, chromium and iron) in the water of the Alaa River in Ramhormoz County, Khuzestan Province

Seyedeh Razieh Pourmousavi¹
Azita Koushafer^{2*}
Mohammad Velayatzadeh³

1. Master's degree student, Department of Environment, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Environment, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Young Researchers and Elites Club, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

*Corresponding author:
az.koushafar@iau.ac.ir

Received date: December/09/2025
Accepted date: January/17/2026

Abstract

Heavy metals are persistent and non-degradable pollutants that enter rivers due to urban development and human activities, industrial and agricultural wastewaters, and affect these aquatic ecosystems with toxicity. This study was conducted to assess the status of heavy metal pollution of Pb, Zn, Cu, Co, Cr and Fe in the water of the Alaa River in Ramhormoz County, Khuzestan Province. In this study, 30 water samples were collected in the summer (July) and winter (February) of 2023 AH based on the standard method of the American Environmental Health Association. The average concentration of Pb, Cr, Cu, Zn, Co and Fe in the water of the Alaa River was 34.782, 8.256, 6.542, 5.876, 5.112, and 1.615 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively. The average concentrations of Pb, Cr, Cu, Co and Fe in Alaa River water were higher than the threshold limit of the Iranian National Standard (No. 1053) and the World Health Organization (WHO) ($P < 0.05$), but the amount of Zn was lower than the threshold limit of the standards ($P < 0.05$). Principal component analysis (PCA) showed that heavy metals have two origins. In the first component, the factor loading of lead (0.932), chromium (0.917), copper (0.825) and zinc (0.865) metals have anthropogenic origin (human-induced activities). Cobalt and iron metals with high factor loading in the second component probably indicate geological origin (weathering of parent rocks and soil erosion). Therefore, according to the results, it is important to control the entry of urban, industrial and agricultural pollutants into the Ala River and protect this river against the entry of pollutants.

Keywords: Heavy metals, Toxicity, Metal pollution assessment, Alaa River, Ramhormoz County