



Original Research Paper

Assessment of environmental hazards of potentially toxic elements arsenic, cadmium and nickel in water and sediments of Dez River

Laleh Rommiani ¹, Mohammad Velayatzadeh ^{2*}

¹ Department of Fisheries, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

² Department of Industrial Safety, Caspian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran

Key Words

Water quality assessment
Potential environmental risk index
Potentially toxic elements
Nemeru pollution index
Dez River

Abstract

Introduction: Potentially toxic elements are dangerous and toxic pollutants that can enter the food chain of living organisms and eventually cause disease and cancer in humans. This research was conducted with the aim of analyzing environmental pollution indicators in the water and sediments of the potentially toxic elements of arsenic, cadmium and nickel in the Dez River.

Materials & methods: The location of water and sediment sampling in this research was in Dezful city. 30 water samples and 30 sediment samples were collected from each station, and a total of 120 water and sediment samples of Dezful River were prepared from two studied stations. Sampling of water and sediments was done according to ASTM method. The measurement of the studied elements was done by atomic absorption method and graphite and hydride furnace system with the help of Perkin Elmer 4100 device.

Results: The results of the t-test of water toxic elements showed that there was a significant difference between cadmium and arsenic in the two studied stations of the Dez River ($P < 0.05$), but there was a significant difference in the nickel concentration (P -value=0.154). You have not been seen. Regarding arsenic and nickel deposits in the two studied stations, it showed a significant difference ($P < 0.05$), but there was no significant difference in the concentration of cadmium (P -value=0.662). The concentration of cadmium, arsenic and nickel in Dez river water was higher compared to the World Health Organization standard and according to the statistical analysis of t-test, there was a significant difference ($P < 0.05$). Regarding the sediments, the concentration of cadmium, arsenic and nickel was lower compared to the national environmental standard of Iran, and a significant difference was observed between the values of these elements with the Iranian standard ($P < 0.05$).

Conclusion: According to the results of the studied water pollution indicators, it seems that the Dez River has little pollution in terms of the potentially toxic elements of cadmium, arsenic and nickel and does not have any special problems. Also, the cadmium element enters the Dez River under the influence of human activities and causes moderate pollution of the sediments of this river.

* Corresponding Author's email: mv.5908@gmail.com

Received: 22 June 2022; Reviewed: 23 July 2022; Revised: 25 September 2022; Accepted: 26 October 2022

(DOI): [10.22034/AEJ.2022.363009.2889](https://doi.org/10.22034/AEJ.2022.363009.2889)

مقاله پژوهشی

ارزیابی مخاطره‌های محیط زیستی عناصر بالقوه سمی آرسنیک، کادمیوم و نیکل در آب و رسوبات رودخانه دز

لاله رومیانی^۱، محمد ولایت‌زاده^{۲*}^۱ گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران^۲ گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران

چکیده

کلمات کلیدی

مقدمه: عناصر بالقوه سمی جزء آلاینده‌های خطرناک و سمی می‌باشند که می‌توانند وارد زنجیره غذایی موجودات زنده شوند و در نهایت موجب بیماری و سرطان در انسان شوند. این پژوهش با هدف تجزیه و تحلیل شاخص‌های آلودگی محیط زیستی در آب و رسوبات عناصر سمی بالقوه آرسنیک، کادمیوم و نیکل رودخانه دز انجام شد.

مواد و روش‌ها: محل نمونه‌برداری آب و رسوبات در این تحقیق در محدوده شهرستان دزفول بود. از هر ایستگاه تعداد ۳۰ نمونه آب و ۳۰ نمونه رسوب جمع‌آوری گردید که در مجموع ۱۲۰ نمونه آب و رسوبات رودخانه دزفول از دو ایستگاه مورد مطالعه تهیه شد. نمونه‌برداری آب و رسوبات براساس روش ASTM صورت گرفت. سنجش عناصر مورد مطالعه به روش جذب اتمی و سیستم کوره گرافیتی و هیدرید با کمک دستگاه Perkin Elmer 4100 انجام شد.

نتایج: نتایج آزمون t عناصر سمی آب نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کادمیوم و آرسنیک در دو ایستگاه مورد مطالعه رودخانه دز وجود داشت ($P < 0/05$)، اما درمورد غلظت نیکل ($P\text{-value} = 0/104$) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درمورد رسوبات آرسنیک و نیکل در دو ایستگاه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/05$)، اما غلظت کادمیوم اختلاف معنی‌داری نداشت ($P\text{-value} = 0/662$). غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در آب رودخانه دز در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر بود و با توجه به تجزیه و تحلیل آماری آزمون t اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$). درمورد رسوبات غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در مقایسه با استاندارد ملی محیط زیست ایران پایین‌تر به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر این عناصر با استاندارد ایران مشاهده شد ($P < 0/05$).

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج شاخص‌های آلودگی آب مورد مطالعه به نظر می‌رسد رودخانه دز از نظر عناصر بالقوه سمی کادمیوم، آرسنیک و نیکل آلودگی کمی دارد و مشکل خاصی ندارد. هم‌چنین عنصر کادمیوم تحت تاثیر فعالیت‌های انسان زاد وارد رودخانه دز شده و سبب آلودگی متوسط رسوبات این رودخانه می‌شود.

مقدمه

عناصر بالقوه سمی (Potentially Toxic Elements) در محیط‌های آبی در نتیجه فرآیندهای هوازدگی سنگ‌های طبیعی وجود دارند و هم چنین از منابع انسانی به دست می‌آیند. مطالعات نشان می‌دهد که چرخه طبیعی بیوژئوشیمیایی عناصر بالقوه سمی (PETS) توسط فعالیت‌های انسانی مختل شده است (۱، ۲، ۳، ۴، ۵). حضور عناصر بالقوه سمی در اکوسیستم‌های آبی عمدتاً با منابع انسانی مرتبط است (۶). به‌طور کلی، همیشه در رسوباتی که منشأ انسانی مشخصی دارند، غلظت‌های بسیار بیش‌تری از عناصر بالقوه سمی وجود دارد (۷). رسوبات رودخانه‌ای به شدت مستعد آلودگی عناصر بالقوه سمی هستند (۸). عناصر بالقوه سمی ناشی از فعالیت‌های انسانی عموماً در غلظت‌های بالاتری وجود دارند و ممکن است اثرات سمی روی موجودات آبی داشته باشند (۹). عناصر بالقوه سمی می‌توانند باشند در زنجیره غذایی وارد شده و سپس به‌طور بالقوه بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارند (۱۰، ۱۱). منابع عمده آلودگی عناصر بالقوه سمی شامل پساب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی، صنایع و خانگی است (۱۲، ۱۳). بزرگ‌ترین منبع و منشأ عناصر بالقوه سمی، فعالیت‌های صنعتی هستند (۱۴). علاوه بر این، محیط زیست‌های منابع آبی در نتیجه شهرنشینی سریع آلوده شده است (۱۵، ۱۶، ۱۷). شهرنشینی سریع منجر به افزایش تنش بر روی رودخانه‌ها از جمله تأثیرات بر کیفیت آب (۱۸، ۱۹)، فرآیندهای یوتروفیکاسیون و رشد بیش از حد گیاهان آبی (۲۰)، سیل (۲۱) و آلودگی رسوبات با عناصر بالقوه سمی (۲۲، ۲۳، ۲۴) شده است. علاوه بر این، پیشرفت و افزایش مزارع کشاورزی می‌تواند یک مشکل جدی از دیدگاه آلودگی آبریان توسط عناصر بالقوه سمی باشد (۲۵). عناصر بالقوه سمی حلالیت کمی در آب دارند و به راحتی در رسوبات جذب می‌شوند. رسوبات مخزن عناصر بالقوه سمی در محیط‌های آبی هستند (۲۶، ۲۷). بنابراین، انتقال عناصر بالقوه سمی در اکوسیستم‌های رودخانه در درجه اول مربوط به رسوبات، به‌ویژه بافت و محتوای مواد آلی آن‌ها است. عناصر بالقوه سمی انباشته شده در رسوبات رودخانه در نتیجه فرآیندهای رودخانه‌ای به‌طور مداوم در مسیر رودخانه حرکت می‌کنند. انباشت و توزیع مکانی عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه عمدتاً توسط عوامل فیزیکی، شیمیایی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی کنترل می‌شود (۲۸). فرآیندهای رودخانه‌ای در مسیر رودخانه و دشت سیلابی میزان و سرعت انباشت عناصر بالقوه سمی در رسوبات و میزان انتقال پایین دست را تغییر می‌دهد (۲۸، ۲۹). غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه از بالادست به پایین دست افزایش می‌یابد (۲۵، ۳۰). نقش ویژه‌ای در انتقال عناصر بالقوه سمی در اکوسیستم‌های آبی

توسط دریاچه‌ها (۳۱) و تالاب‌ها (۳۲) ایفا می‌شود. وجود دریاچه‌ها، تالاب‌ها، سدها و سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه باعث اختلال در حمل و نقل رسوبات و در نتیجه انتقال عناصر بالقوه سمی می‌شود (۳۳، ۳۴، ۳۵). غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه به تأثیر انباشت منابع مختلف آلودگی و فرآیندهای طبیعی مرتبط با ساختار زمین‌شناسی و شرایط آب و هوایی (۱۱، ۳۶، ۳۷)، ویژگی‌های منابع آلودگی (نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای) (۳۸)، مکان آن‌ها و ساختار کاربری زمین (۳۹) مربوط می‌شود. به‌طور کلی، هر حوضه یک الگوی منحصر به فرد برای ورود غلظت عناصر بالقوه سمی به آب دارد که بر اساس نوع و توزیع منابع آلودگی و نرخ انتشار هدایت می‌شود (۴۰). کاربری زمین نقش مهمی در آلودگی عناصر بالقوه سمی آب و رسوبات دارد (۳۸، ۴۱، ۴۲). Liu و همکاران، نشان می‌دهند که علاوه بر انواع کاربری اولیه زمین، تنوع چشم‌انداز و ساختار برای ورود و انباشت عناصر بالقوه سمی مهم است (۴۳). در نتیجه غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه با هم پوشانی اثرات طبیعی و انسانی و فرآیندهای رودخانه‌ای در داخل یک رودخانه، می‌تواند به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد (۲۲، ۴۴، ۴۵). این پژوهش با هدف تجزیه و تحلیل شاخص‌های آلودگی محیط زیستی در آب و رسوبات عناصر سمی بالقوه آرسنیک، کادمیوم و نیکل رودخانه دز انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز رودخانه دز میان چین خوردگی‌های زاگرس میانی عبور کرده و از لحاظ جغرافیایی بین ۲۴ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۳۴ درجه و ۹۴ دقیقه و ۳۵ درجه و ۸۹ دقیقه طول شرقی محدود شده است. حوضه آبریز رودخانه دز به‌عنوان یک حوضه درجه ۳، زیر مجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگ‌تر زیرمجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد (۴۶). محل نمونه برداری آب و رسوبات در این تحقیق در محدوده شهرستان دزفول بود. موقعیت جغرافیایی ایستگاه اول در محدوده پارک دولت (۳۲ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی) و ایستگاه دوم در محدوده پل پنجم شهر دزفول (۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی) بود (شکل ۱).

نمونه برداری آب و رسوبات: از هر ایستگاه تعداد ۳۰ نمونه آب و ۳۰ نمونه رسوب جمع‌آوری گردید که در مجموع ۱۲۰ نمونه آب و رسوبات رودخانه دزفول از دو ایستگاه مورد مطالعه تهیه شد.

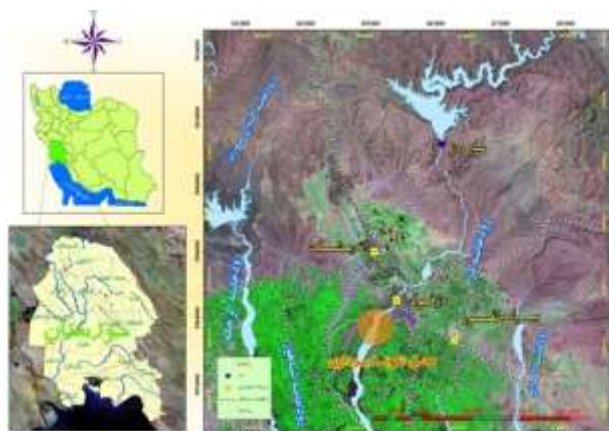
مورد مطالعه به‌روش جذب اتمی و سیستم کوره گرافیتی و هیدرید با کمک دستگاه Perkin Elmer 4100 انجام شد. حد تشخیص عناصر توسط این دستگاه جذب اتمی به‌روش کوره گرافیتی و هیدرید در حد میکروگرم بر کیلوگرم بود که دارای دقت حدود ۱۰۰۰ برابر سیستم شعله می‌باشد. ابتدا به ۱۰ میلی‌لیتر محلول هضم شده نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر محلول آمونیم پیرولیدین کاربامات ۵٪ اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها به هم زده شدند تا عناصر به صورت فرم آلی فلزی در محلول کمپلکس شوند و سپس به نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر متیل ایزوبوتیل کتون اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه نمونه‌ها به هم زده شدند و پس از ۱۰ دقیقه نمونه‌ها در دور ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند و عناصر مورد نظر به فاز آلی منتقل شدند. پس از تنظیم کوره و منبع تولید اشعه کاتدی دستگاه و بهینه کردن دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای این عناصر و ماتریکس مدیفایر پالادیم توسط نرم‌افزار WinLab32 رسم گردید و مقدار این عناصر در محلول‌های آماده شده اندازه‌گیری گردید (۵۰). صحت داده‌های به دست آمده با استفاده از استاندارد مرجع (Standard Reference Materials; SRM) بررسی گردید. برای این کار ابتدا غلظت‌های مختلف استاندارد عناصر به تعداد ۵ استاندارد ساخته شد و پس از تزریق به دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون عناصر رسم گردید. پس از آن نمونه‌های آماده شده به دستگاه تزریق شد و غلظت مورد نظر قرائت گردید (۵۱).

ارزیابی کیفیت آب

شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal pollution index)

(index): این شاخص نشان‌دهنده کیفیت کلی آب و مخصوص فلزات سنگین است. به کمک رابطه‌های ۱ و ۲ شاخص HPI محاسبه شد که در آن شاخص فرعی Qi برای پارامتر نمونه عنصر محاسبه می‌شود و وزن Wi به پارامتر نمونه عنصر اختصاص داده می‌شود (۵۲). وزن پارامتر را می‌توان براساس اهمیت آن نسبت داد که ممکن است بین ۰ تا ۱ داده شود و هم‌چنین می‌توان آن را با مقدار استاندارد برای هر عنصر یا پارامتر نسبت معکوس در نظر گرفت که در این تحقیق پارامتر وزنی کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۵ در رابطه قرار داده شد (۵۳). در رابطه ۲، مقدار عنصر نمونه بر حسب میکروگرم بر لیتر، Li و Si به ترتیب مقادیر ایده‌آل (کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۳، ۱۰ و ۰ میکروگرم بر لیتر) و غلظت استاندارد (کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۵، ۵۰ و ۷۰ میکروگرم بر لیتر) برای آب آشامیدنی سالم است که از آن‌ها حفاظت محیط‌زیست آمریکا (۵۴) و سازمان بهداشت جهانی (۵۵) برای عناصر در نظر گرفته شده است. مقدار HPI برابر با ۱۰۰ مقدار آستانه‌ای

برای نمونه‌برداری از آب، بطری نمونه‌بردار روتنر به عمق یک متری فرستاده و نمونه‌های آب در بطری‌هایی که از قبل استریل شده بودند ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند. بطری‌ها با محلول آب مقطر و اسید نیتریک ۲ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شستشو شدند. نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار گرب (Ekman grab) با سطح مقطع ۲۲۵ سانتی‌متر از ۳۰ سانتی‌متری بستر انجام شد. نمونه‌های رسوب در بطری‌هایی که از قبل با محلول آب مقطر و اسید نیتریک ۱۰ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) استریل شده بودند به آزمایشگاه منتقل گردیدند (۴۷).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی نمونه‌برداری آب و رسوبات رودخانه دز در محدوده شهر دزفول

سنجش عناصر بالقوه سمی: نمونه‌های آب به‌طور مستقیم

درون دستگاه اتوسمپلر قرار داده شدند. نمونه‌های رسوبات را به مدت ۱۲۰ تا ۱۵۰ دقیقه در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده تا به وزن ثابت رسیدند و سپس از داخل آون خارج شدند. برای هضم نمونه‌ها از روش مرطوب استفاده شد. به این صورت که ۰/۵ گرم از نمونه در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و به آن ۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۷ مولار و ۱ میلی‌لیتر محلول مولیبدات سدیم ۲ درصد اضافه شد و از سنگ جوش برای یکنواخت جوشیدن استفاده شد، سپس نمونه سرد شده و به آن از بالای مبرد به آرامی ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ به نسبت ۱:۱ به نمونه اضافه شد، سپس مخلوط حرارت داده شد تا بخارات سفید رنگ اسید به‌طور کامل محو شد، مخلوط سرد شده و درحالی‌که بالن چرخانده می‌شد ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر از بالای مبرد به آرامی به آن اضافه شد. با حرارت دادن حدود ۱۰۰ دقیقه محلول کاملاً شفاف به دست آمد، این محلول پس از سرد شدن به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد و به حجم رسانده شد (۴۸، ۴۹). سنجش عناصر

دامنه ۰-۱ باشد، این آب برای اهداف خاص قابل قبول است. اگر WPI کم تر از ۰ باشد این آب دارای کیفیت مناسب می باشد (۵۹).

$$WPI = (M_i - Min_i) / R_i \quad \text{رابطه ۶:}$$

شاخص سمیت فلزات سنگین (Heavy metal toxicity load):

غلظت عناصر بالقوه سمی یافت شده در منابع آبی که بر سلامت انسان تأثیر دارند با شاخص بار سمیت فلزات سنگین (HMTL) ارزیابی می شوند. با ضرب شدت خطر عناصر بالقوه سمی با غلظت مشاهده شده عناصر بالقوه سمی براساس رابطه ۷ محاسبه شد که در آن c غلظت عنصر سمی است. n عدد تعداد عناصر و HIS (hazard intensity score) امتیاز شدت خطر است. امتیاز شدت خطر از آژانس ثبت مواد سمی و بیماری ها (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) به دست می آید. امتیاز براساس فراوانی وقوع ماده خطرناک در فهرست اولویت های ملی (National Priorities List) تهیه شده توسط ATSDR (کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۱۳۱۸، ۱۶۷۶ و ۹۹۳)، سطح سمیت این مواد و احتمال قرار گرفتن در معرض انسان ارائه می شود. حداکثر امتیاز برای یک فلز کمیاب و سمی ۱۸۰۰ است که در آن ۶۰۰ امتیاز برای فرکانس NPL، سمیت و پتانسیل قرار گرفتن در معرض انسان در نظر گرفته شده است (۶۰).

$$HMTL = \sum_{i=1}^n c \times HIS \quad \text{رابطه ۷:}$$

ارزیابی آلودگی رسوبات

شاخص زمین انباشت (Geo-Accumulation Index): شاخص زمین انباشت (Igeo) براساس رابطه ۸ محاسبه شد که Ci غلظت عنصر، Bi مقدار پس زمینه عنصر و ضریب ثابت ۱/۵ برای به حداقل رساندن تأثیر اثر لیتوژنیک و غنی سازی ناشی از ورودی های رسوب از منابع متعدد بود. با توجه به مقادیر شاخص Igeo، درجه آلودگی را می توان به ۷ طبقه تقسیم بندی کرد. $Igeo < 0$ غیر آلوده، ۰-۱ غیر آلوده تا کمی آلوده، ۱-۲ کمی آلوده، ۲-۳ کمی آلوده تا خیلی آلوده، ۳-۴ خیلی آلوده، ۴-۵ خیلی آلوده تا شدیداً آلوده و > 5 شدیداً آلوده طبقه بندی شده است (۶۱).

$$Igeo = \log_2 [Ci / (1.5 \times Bi)] \quad \text{رابطه ۸:}$$

شاخص خطر زیست محیطی بالقوه (Potential Ecological Risk Index):

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) اغلب برای ارزیابی درجه خطر اکولوژیکی عناصر سمی بالقوه در رسوبات منابع آبی استفاده شده است. این روش علاوه بر این که سطوح آلودگی در رسوبات را ارزیابی می کند، بلکه اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی را با سم شناسی ترکیب می کند که ارزیابی بهتری از خطرات بالقوه آلودگی عناصر سمی بالقوه با سطح شاخص ارائه می دهد (۶۲). ابتدا برای هر نمونه رسوب فاکتور آلودگی (CF) با استفاده از رابطه ۹ محاسبه

است که در آن نتایج مضر محتمل است، درحالی که مقدار زیر ۱۰۰ نشان دهنده آلودگی کم توسط عناصر است. اگر مقدار HPI بیش از ۱۰۰ باشد، نشان می دهد که آب برای استفاده مناسب نیست (۵۲).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n Wi Qi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$Qi = \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Li|}{Si - Li} \times 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy metal evaluation index):

کیفیت عمومی آب های سطحی با توجه به محتوای عناصر سمی توسط شاخص آلودگی فلزات سنگین (HEI) ارائه می شود که بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد که در آن، MACi بالاترین غلظت مجاز عنصر مورد نظر (کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۳، ۱۰ و ۰ میکروگرم بر لیتر) است. کیفیت آب های سطحی براساس HEI بالاتر از ۲۰ آلودگی بالا، HEI در دامنه ۲۰-۱۰ آلودگی متوسط و HEI کم تر از ۱۰ آلودگی کم طبقه بندی می شوند (۵۶، ۵۷).

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{Mi}{MACi} \quad \text{رابطه ۳:}$$

شاخص درجه آلودگی (Contamination Degree):

مضر تجمعی همه عناصر مورد مطالعه بر روی آب های سطحی توسط شاخص درجه آلودگی (Cd) نشان داده می شود که به صورت رابطه ۴ و ۵ محاسبه گردید که در آن Cfi فاکتور آلودگی را برای عنصر نمونه آب نشان می دهد. در رابطه ۵، Mi مقدار عنصر نمونه بر حسب میکروگرم بر لیتر و Si بالاترین غلظت مجاز عنصر مورد نظر (کادمیوم، آرسنیک و نیکل به ترتیب ۳، ۱۰ و ۰ میکروگرم بر لیتر) است. درجه آلودگی برای طبقه بندی آلودگی فلزات در آب های سطحی به صورت، Cd بیش تر از ۳ آلودگی بالا، Cd در دامنه ۱-۳ آلودگی متوسط و Cd کم تر از ۱ آلودگی کم استفاده می شود (۵۸).

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$Cfi = \frac{Mi}{Si} - 1 \quad \text{رابطه ۵:}$$

شاخص آلودگی آب (Water pollution index):

آلودگی آب (WPI) در همه انواع آب ها استفاده می شود و شامل کنترل و نظارت آلودگی آب است. یک عدد قابل مقایسه توسط این شاخص در مورد کم ترین حد مجاز برای یک عنصر سمی خاص داده می شود که براساس رابطه ۶ محاسبه شد (۵۹) که در آن Ri محدوده حد مجاز برای یک عنصر خاص می باشد که از سازمان بهداشت جهانی (۵۵) گرفته شده و حداقل حد قابل قبول استاندارد است. اگر WPI بالاتر از ۱ به دست آید آب n بار آلوده شده است و باید با آب با بهترین کیفیت در محدوده قابل قبول رقیق شود. اگر WPI در

اساس رابطه ۱۳ محاسبه گردید. شاخص نمر (NIPI) ریسک آلودگی برای همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند در منطقه مورد مطالعه را مشخص می‌کند. این شاخص در پنج سطح بدون آلودگی ($NIPI < 0.7$)، خطر هشدار آلودگی ($0.7 \leq NIPI < 1$)، سطح آلودگی کم ($1 \leq NIPI < 2$)، سطح آلودگی متوسط ($2 \leq NIPI < 3$)، سطح بالای آلودگی ($NIPI > 3$) طبقه‌بندی شده است (۶۳).

$$NIPI = \frac{\sqrt{PI_1^2 \max + PI_1^2 \text{ave}}}{2} \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل پارامترهای توصیفی داده‌های عناصر سمی بالقوه آب و رسوبات به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ و میانگین داده‌ها به منظور مقایسه اختلاف معنی‌دار با حدود اطمینان ۹۵٪ ($P = 0.05$) با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA one way) انجام شد. برای رسم جداول و محاسبات شاخص‌های آلودگی از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ استفاده گردید. برای مقایسه آماری بین میانگین غلظت عناصر سمی بالقوه آب و رسوبات رودخانه دز با استانداردهای ملی و جهانی از آزمون t استفاده شد.

نتایج

پارامترهای توصیفی داده‌های عناصر سمی بالقوه آب و رسوبات شامل کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، خطای استاندارد و واریانس در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین کادمیوم، آرسنیک و نیکل در رسوبات بالاتر از آب رودخانه دز به دست آمد. در رسوبات عنصر نیکل مقادیر بالاتری نسبت به کادمیوم و آرسنیک داشت، اما در آب رودخانه دز کادمیوم در ایستگاه اول بالاتر بود (جدول ۱). نتایج آزمون t عناصر سمی آب نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین کادمیوم و آرسنیک در دو ایستگاه مورد مطالعه رودخانه دز وجود داشت ($P < 0.05$)، اما در مورد غلظت نیکل ($P\text{-value} = 0.154$) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مورد رسوبات آرسنیک و نیکل در دو ایستگاه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$)، اما غلظت کادمیوم اختلاف معنی‌داری نداشت ($P\text{-value} = 0.662$). غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در آب رودخانه دز در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر بود و با توجه به تجزیه و تحلیل آماری آزمون t اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). در مورد رسوبات غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در مقایسه با استاندارد ملی محیط زیست ایران پایین‌تر به دست آمد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر این عناصر با استاندارد ایران مشاهده شد ($P < 0.05$) (جدول ۲).

شد که در آن Cfi عامل آلودگی عنصر i در نمونه رسوب است. Csi غلظت عنصر i در نمونه رسوب است. Cni مقدار پس‌زمینه ژئوشیمیایی عنصر i (برای کادمیوم، نیکل و آرسنیک به ترتیب ۰/۲، ۸۰ و ۱/۵) است. بر اساس مقادیر Cfi، درجات آلودگی را می‌توان به آلودگی کم ($1 >$)، آلودگی متوسط ($1-3$)، آلودگی قابل توجه ($3-6$) و آلودگی بسیار بالا ($6 <$) تقسیم کرد (۶۳).

$$Cfi = Csi / Cni \quad \text{رابطه ۹:}$$

سپس شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) به کمک رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ محاسبه شد که Eri عامل خطر اکولوژیکی بالقوه عنصر سمی i است، Tri فاکتور پاسخ سمیت عنصر i است. مقادیر Tri برای کادمیوم، نیکل و آرسنیک به ترتیب ۳۰، ۵ و ۱۰ است (۶۳). عامل خطر اکولوژیکی بالقوه برای هر عنصر در ۵ سطح خطر کم $Er < 40$ ، خطر متوسط $40 \leq Er < 80$ ، خطر قابل توجه $80 \leq Er < 160$ ، خطر زیاد $160 \leq Er < 320$ و خطر خیلی زیاد $Er \geq 320$ رده‌بندی شده است. برای تحلیل شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) چهار رده ریسک اکولوژیکی کم $RI < 150$ ، ریسک اکولوژیکی متوسط $150 \leq RI < 300$ ، ریسک اکولوژیکی قابل توجه $300 \leq RI < 600$ و ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد $RI \geq 600$ طبقه‌بندی شده است (۶۳).

$$Er^i = Tr^i \times Cf \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

$$RI = \sum_{i=1}^n Er \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment factor): یک روش رایج

برای تخمین تأثیر انسانی بر رسوبات، محاسبه یک فاکتور غنی‌سازی نرمال شده (EF) برای غلظت عنصر سمی بالاتر از سطح پس‌زمینه آلوده است. روش فاکتور غنی‌شدگی محتوای عنصر سمی اندازه‌گیری شده را با توجه به یک نمونه فلزی مرجع مانند آهن یا آلومینیوم نرمال می‌کند. آهن معمولاً دارای غلظت طبیعی نسبتاً بالایی است و بنابراین انتظار نمی‌رود که به طور قابل توجهی از منابع انسانی در رسوبات رودخانه‌ای غنی شود (۶۴). در این تحقیق فاکتور غنی‌شدگی براساس رابطه ۱۲ به دست آمد که در آن Mx و Fex غلظت‌های نمونه رسوب عناصر سمی و آهن هستند، در حالی که Mb و Feb غلظت آن‌ها در پس‌زمینه مناسب (برای کادمیوم، نیکل و آرسنیک به ترتیب ۰/۲، ۸۰ و ۱/۵) یا ماده مرجع پایه (آهن ۴۱۰۰۰) هستند. طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی، $EF < 2$ آلودگی کم، $2 \leq EF < 5$ آلودگی متوسط، $5 \leq EF < 20$ آلودگی زیاد، $20 \leq EF < 40$ آلودگی بسیار زیاد و $CF \geq 40$ آلودگی به شدت زیاد را نشان می‌دهند (۶۵).

$$EF = Mx \times Fex / Mb \times Feb \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

شاخص آلودگی نمر (Nemerow Index): این شاخص از

جذر مجموع بیشینه و میانگین مقادیر عنصر سمی تقسیم بر ۲ بر

جدول ۱: نتایج پارامترهای توصیفی عناصر بالقوه سمی (PETs) در آب (میلی گرم بر لیتر) و رسوبات (میلی گرم بر کیلوگرم) رودخانه دز

نمونه	عنصر	ایستگاه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	واریانس
آب	کادمیوم	اول	۰/۱	۰/۲۴۶	۰/۱۵	۰/۰۴۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲
		دوم	۰/۰۰۸	۰/۱۴۵	۰/۰۵	۰/۰۴۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲
	آرسنیک	اول	۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰
		دوم	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۶۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵
	نیکل	اول	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۳۲	۰/۰۲۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
		دوم	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳
رسوبات	کادمیوم	اول	۰/۱	۰/۷۵	۰/۳۹	۰/۲۰۶	۰/۰۳۷	۰/۰۴۳
		دوم	۰/۱۱	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۲۰۵	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲
	آرسنیک	اول	۰/۰۸	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۶۹	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵
		دوم	۰/۰۳۲	۰/۷۴	۰/۲۶	۰/۱۶۴	۰/۰۳۰	۰/۰۲۷
	نیکل	اول	۰/۱	۳۳	۱/۳۵	۰/۹۷۷	۱/۰۹۱	۰/۷۳۶
		دوم	۰/۱	۰/۹	۰/۴۵	۰/۲۳۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۷

جدول ۲: مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمی در آب (میلی گرم بر لیتر) و رسوبات (میلی گرم بر کیلوگرم) ایستگاه‌های مورد مطالعه رودخانه دز

نمونه	عناصر	ایستگاه	انحراف معیار $\pm$ میانگین	P Value	استاندارد سازمان بهداشت جهانی	P Value
آب	کادمیوم	اول	۰/۱۵ $\pm$ ۰/۰۴۵	.	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
		دوم	۰/۰۵ $\pm$ ۰/۰۴۱			۰/۰۱۲
	آرسنیک	اول	۰/۰۱۳ $\pm$ ۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۳۵
		دوم	۰/۰۵ $\pm$ ۰/۰۶۸			۰/۰۲۶
	نیکل	اول	۰/۰۳۲ $\pm$ ۰/۰۲۹	۰/۱۵۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵
		دوم	۰/۰۵ $\pm$ ۰/۰۵۸			۰/۰۰۸
استاندارد محیط زیست ایران						
رسوبات	کادمیوم	اول	۰/۳۹ $\pm$ ۰/۲۰۶	۰/۶۶۲	۳/۹	.
		دوم	۰/۴۱ $\pm$ ۰/۲۰۵			.
	آرسنیک	اول	۰/۱۷ $\pm$ ۰/۰۶۹	۰/۰۱۰	۷/۲۴	۰/۰۰۱
		دوم	۰/۲۶ $\pm$ ۰/۱۶۴			۰/۰۱۲
	نیکل	اول	۱/۳۵ $\pm$ ۰/۹۷۷	۰/۰۱۹	۵۰	۰/۰۰۲
		دوم	۰/۴۵ $\pm$ ۰/۲۳۹			.

شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) در آب رودخانه دز برای ایستگاه‌های اول و دوم به ترتیب ۱۱۶/۸۹ و ۱۲۰/۹۳ به دست آمد. شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) برای کادمیوم در هر دو ایستگاه مورد مطالعه بالاتر از آرسنیک و نیکل بود که مجموع این شاخص برای ایستگاه‌های اول و دوم به ترتیب ۰/۳۰۷۱ و ۰/۱۱۷۱ به دست آمد. شاخص درجه آلودگی (Cd) آب رودخانه دز مقادیر کم تر از صفر را نشان داد. شاخص آلودگی آب (WPI) نیز در ایستگاه اول بالاتر از ایستگاه دوم بود و همانند شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) برای کادمیوم نسبت به آرسنیک و نیکل بالاتر به دست آمد.

شاخص بار سمیت فلزات سنگین (HMTL) نیز برای عنصر کادمیوم (ایستگاه اول و دوم به ترتیب ۱۹۷/۷ و ۶۵/۹) و ایستگاه اول (۲۵۱/۲۶) مقادیر بالاتری را نشان داد (جدول ۳). شاخص‌های آلودگی عناصر در رسوبات رودخانه دز نشان دادند که مقادیر عنصر کادمیوم نسبت به آرسنیک و نیکل بالاتر بوده است. فاکتور آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی عناصر کادمیوم و آرسنیک در ایستگاه دوم نسبت به ایستگاه اول بالاتر به دست آمد. هم‌چنین شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه و شاخص آلودگی نمره عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه در رسوبات رودخانه دز در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه اول بودند. در مورد عنصر

انباشت برای سه عنصر مورد مطالعه در رسوبات در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه اول در رودخانه دز بودند (جدول ۴).

نیکل فاکتور آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه دوم نسبت به ایستگاه اول بالاتر مشاهده شدند. هم‌چنین درمورد شاخص زمین

جدول ۳: نتایج ارزیابی کیفیت عناصر بالقوه سمی کادمیوم، آرسنیک و نیکل در آب رودخانه دز

شاخص	ایستگاه	کادمیوم	آرسنیک	نیکل	مجموع شاخص
شاخص فرعی Q_i	اول	۱۴۲/۵	۲۴/۹۶	۰/۰۰۰۴۵	-
	دوم	۱۴۷/۵	۲۴/۸۷	۰/۰۰۰۷۱	-
شاخص $W_i Q_i$	اول	۴۲/۷۵	۰/۴۹۹۲	۰/۰۰۰۲۲۵	۴۳/۲۴۹۴
	دوم	۴۴/۲۵	۰/۴۹۷۴	۰/۰۰۰۰۳۵۵	۴۴/۷۴۷۴
شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)	اول	-	-	-	۱۱۶/۸۹
	دوم	-	-	-	۱۲۰/۹۳
شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)	اول	۰/۰۳	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۴۵	۰/۳۰۷۱
	دوم	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷۱	۰/۱۱۷۱
شاخص درجه آلودگی (Cd)	اول	-۰/۹۷	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۲/۹۵
	دوم	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۲/۰۷
شاخص آلودگی آب (WPI)	اول	۰/۰۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۵۴۵
	دوم	۰/۰۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶
شاخص بار سمیت فلزات سنگین (HMTL)	اول	۱۹۷/۷	۲۱/۷۸۸	۳۱/۷۷۶	۲۵۱/۲۶
	دوم	۶۵/۹	۸۳/۸	۴۹/۶۵	۱۹۹/۳۵

جدول ۴: نتایج ارزیابی مخاطره عناصر بالقوه سمی کادمیوم، آرسنیک و نیکل در رسوبات رودخانه دز

شاخص	ایستگاه	کادمیوم	آرسنیک	نیکل
فاکتور آلودگی (CF)	اول	۱/۹۵	۰/۰۸	۰/۰۷
	دوم	۲/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۲
فاکتور غنی‌شدگی (EF)	اول	۱۶/۶۵	۰/۰۷	۰/۰۹
	دوم	۱۷/۵۴	۰/۱۰	۰/۰۴
شاخص زمین‌انباشت (Igeo)	اول	۰/۱۵	-۴/۳۲	-۶/۷۱
	دوم	۰/۲۹	-۳/۸۸	-۶/۲۸
عامل خطر اکولوژیکی بالقوه (Er)	اول	۵۸/۵۷	۰/۸۱	۰/۳۴
	دوم	۶۲/۲۵	۱/۲۴	۰/۱۱
شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI)	اول	۵۹/۷۱	۵۹/۷۱	۵۹/۷۱
	دوم	۶۳/۶۰	۶۳/۶۰	۶۳/۶۰
شاخص آلودگی نمر (NIPI)	اول	۱/۴۲	۱/۴۲	۱/۴۲
	دوم	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۴۸

بحث

در این پژوهش غلظت کادمیوم و آرسنیک آب رودخانه دز در ایستگاه اول بالاتر از ایستگاه دوم بودند، اما نیکل در ایستگاه دوم بالاتر به‌دست آمد. غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در آب رودخانه دز در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر بود و با توجه به تجزیه و تحلیل آماری آزمون t اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). در رسوبات نیز نیکل، کادمیوم در ایستگاه اول بالاتر از ایستگاه دوم به‌دست آمد، اما مقادیر آرسنیک در رسوبات

برعکس بود. درمورد رسوبات غلظت کادمیوم، آرسنیک و نیکل در مقایسه با استاندارد ملی محیط‌زیست ایران پایین‌تر به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر این عناصر با استاندارد ایران مشاهده شد ($P < 0.05$). پساب صنایع، کشاورزی و خانگی تأثیرات مهمی بر تغییرات غلظت عناصر سمی آب و رسوبات رودخانه‌ها دارند. بسیاری از پژوهشگران کیفیت عناصر کمیاب و سمی را آب و رسوبات موجود در رودخانه‌های مختلف را بررسی کردند که حمل، جابه‌جایی و انباشت مواد محلول و معلق را در افزایش غلظت این آلاینده‌ها تأیید کردند (۹، ۱۳، ۲۳، ۳۲، ۴۲، ۴۵). شاخص آلودگی فلزات سنگین

حد آستانه ($HPI > 100$ یا $HEI > 10$) دارد، اما HMTL غلظت آلودگی را در یک اکوسیستم یا منبع آبی کمی سازی می کند و درصد حذف مورد نیاز فلزات سمی از آن منبع آبی را پیش بینی می کند تا آن را برای استفاده انسان ایمن کند. بار سمیت فلزات سنگین (HMTL) میزان فلز سنگین سمی موجود در آب را اندازه گیری می کند که بر سلامت انسان تأثیر می گذارد (۶۰). براساس شاخص فاکتور آلودگی عنصر آرسنیک و نیکل در رسوبات رودخانه دز دارای آلودگی کم بودند و عنصر کادمیوم آلودگی متوسط را نشان داد. با توجه به مقادیر به دست آمده شاخص زمین انباشت رسوبات، عنصر آرسنیک و نیکل در گروه غیر آلوده قرار گرفتند و عنصر کادمیوم نیز کمی آلوده بود. شاخص نمره (NIPI) عناصر مورد مطالعه در رسوبات رودخانه دز ۱/۴۲ و ۱/۴۸ به دست آمد که براساس درجه بندی این شاخص نشان دهنده این است سطح آلودگی کم ($NIPI < 1$) (۶۳) می باشد. فاکتور غنی شدگی رسوبات رودخانه دز نشان داد که عنصر کادمیوم در رسوبات هر دو ایستگاه دارای آلودگی زیاد بود و عنصر آرسنیک و نیکل آلودگی کم داشتند. به عبارت دیگر با توجه به نتایج شاخص غنی شدگی رسوبات، احتمالاً آرسنیک و نیکل بیش تر تحت تأثیر فعالیت های طبیعی و زمین شناختی منطقه هستند و به نظر می رسد عنصر کادمیوم تحت تأثیر فعالیت های انسان زاد می باشد. عامل خطر اکولوژیکی بالقوه (Er) عنصر کادمیوم نشان داد این عنصر خطر متوسط و عناصر آرسنیک و نیکل خطر کم در رسوبات رودخانه دز دارند. شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) عناصر بالقوه سمی در رسوبات این رودخانه نشان دهنده رده ریسک اکولوژیکی کم می باشد. البته با توجه به نتایج عامل خطر اکولوژیکی بالقوه عنصر کادمیوم می توان چنین استنباط کرد که این عنصر در شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه رسوبات رودخانه دز نقش بیش تری داشته است. یکی از منابع مهم کادمیوم و ورود این عنصر به محیط های آبی، پساب فعالیت های کشاورزی است که منشا کودهای فسفاته و استفاده از علف کش ها و آفت کش ها می باشد (۶۷، ۶۸). شهر دزفول یکی از قطب های مهم کشاورزی در استان خوزستان می باشد که غالب اراضی کشاورزی تحت کشت و باغ های مرکبات در مجاورت رودخانه دز می باشند و جمعیت قابل توجهی در شهرک های صنعتی متعدد و شهرهای کوچک و روستاهای فراوانی در حاشیه و اطراف این رودخانه زندگی می کنند که در نتیجه رودخانه دز نیز پذیرنده پساب کشاورزی، صنعتی و شهری بسیاری می باشد که نقش مهمی در افزایش غلظت فلزات سنگین در آب این رودخانه دارند (۴۶). با توجه به نتایج شاخص های آلودگی آب مورد مطالعه به نظر می رسد رودخانه دز از نظر عناصر بالقوه سمی کادمیوم، آرسنیک و نیکل آلودگی کمی دارد و مشکل خاصی ندارد، اما با توجه به این نتایج می بایست مطالعات کامل تری در خصوص آلودگی عناصر کمیاب و سمی در آب رودخانه دز انجام گردد. با توجه به نتایج حاصل از شاخص های آلودگی رسوبات نشان می دهد که عنصر کادمیوم تحت تأثیر فعالیت های انسان زاد وارد

(HPI) در آب رودخانه دز برای ایستگاه های اول و دوم بالاتر از ۱۰۰ به دست آمد. شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نشان دهنده کیفیت کلی آب و مخصوص عناصر خطرناک و سمی است. مقدار HPI برابر با ۱۰۰ مقدار آستانه ای است که در آن نتایج مضر محتمل است، در حالی که مقدار زیر ۱۰۰ نشان دهنده آلودگی کم توسط عناصر است. اگر مقدار HPI بیش از ۱۰۰ باشد، نشان می دهد که آب برای استفاده مناسب نیست (۵۲). بنابراین با توجه به این که در ایستگاه های اول و دوم مقادیر این شاخص به ترتیب ۱۱۶/۸۹ و ۱۲۰/۹۳ به دست آمده است، می توان چنین استنباط کرد که آب رودخانه دز برای استفاده مطلوب نمی باشد. اطراف شهر دزفول شهرک های صنعتی متعددی وجود دارد که صنایع مختلف شیمیایی و معدنی، کودهای کشاورزی در مقیاس کوچک منجر به آلودگی بدنه های آبی در مجاورت آن ها می شود. این صنایع پساب های خطرناک خود را بدون تصفیه به طور مستقیم و غیرمستقیم در بدنه های آبی تخلیه می کنند (۴۶). مکان های نمونه برداری در منطقه مسکونی به دلیل تخلیه فاضلاب و هم چنین رواناب از زباله های شهری، زباله های ساختمانی و فعالیت های کشاورزی دارای شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) بالاتر از ۱۰۰ هستند. شستن لباس ها، ظروف و سایر فعالیت های خانگی در مناطق مسکونی نیز باعث افزایش سطح آلودگی در آب می شود. بنابراین، استنباط می شود که تأثیر تجمعی همه عناصر سمی در نظر گرفته شده بر کیفیت کلی آب به دلیل فعالیت های صنعتی، رواناب حاصل از پسماندها و فاضلاب خانگی نگران کننده است (۶۰). شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) آب رودخانه دز برای ایستگاه های اول و دوم به ترتیب ۰/۳۰۷۱ و ۰/۱۱۷۱ به دست آمد که با توجه به طبقه بندی کیفیت آب های سطحی براساس HEI (۵۶، ۵۷)، آب این رودخانه در گروه آلودگی کم قرار می گیرد. شاخص درجه آلودگی (Cd) آب رودخانه دز برای ایستگاه های اول و دوم به ترتیب ۲/۹۵- و ۲/۰۷- محاسبه شد که طبقه بندی آلودگی این شاخص در آب های سطحی (Cd) کم تر از ۱ (۵۸) نشان دهنده آلودگی کم آب رودخانه نسبت به عناصر کادمیوم، آرسنیک و نیکل می باشد. شاخص آلودگی آب (WPI) نیز در ایستگاه اول و دوم ۰/۵۴۵ و ۰/۰۲۶ به دست آمد که با توجه به طبقه بندی WPI در دامنه ۱-۰، این آب برای اهداف خاص قابل قبول است (۵۹). نتایج شاخص های مورد مطالعه ذکر شده در مورد آلودگی عناصر آب رودخانه دز نشان دهنده این است که منابع آلودگی عناصر سمی به صورت نقطه ای می باشد و نتایج سایر مطالعات نیز این نتایج را تایید می کند (۶، ۲۳، ۴۱). هم چنین تجزیه و تحلیل ۴۷ رودخانه در لهستان نشان می دهد که دو منبع اصلی آلودگی نقطه ای، صنعتی و شهری وجود دارد (۶۶). شاخص بار سمیت فلزات سنگین (HMTL) آب رودخانه دز در ایستگاه اول و دوم به ترتیب ۲۵۱/۲۶ و ۱۹۹/۳۵ به دست آمد. دوشاخص HPI و HEI فقط کیفیت آب و تأثیر آن را براساس مقدار آستانه مشخص می کنند. آن ها فقط بیان می کنند که کیفیت آب نامناسب است و تأثیر سلامتی فراتر از

- sediments of Comlekci stream, Giresun, Turkey. *Environ. Forensics*. 22: 130-142.
14. **Wu, H., Xu, C., Wang, J., Xiang, Y., Ren, M., Qie, H., Zhang, Y., Yao, R., Li, L. and Lin, A., 2021.** Health risk assessment based on source identification of heavy metals: A case study of Beiyun River, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 213: 112046.
 15. **Borek, L. and Kowalik, T., 2022.** Hydromorphological Inventory and Evaluation of the Upland Stream: Case Study of a Small Ungauged Catchment in Western Carpathians, Poland. *Land*. 11: 141.
 16. **Milacic, R., Zuliani, T., Vidmar, J., Oprckal, P. and Scancar, J., 2017.** Potentially toxic elements in water and sediments of the Sava River under extreme flow events. *Science of the Total Environment*. 15(605): 894-905.
 17. **Zhang, G., Bai, J., Xiao, R., Zhao, Q., Jia, J., Cui, B. and Liu, X., 2017.** Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China. *Chemosphere*. 184: 278-288.
 18. **Dabrowska, J., Dabek, P.B. and Lejcus, I.A., 2018.** GIS based approach for the mitigation of surface runoff to a shallow lowland reservoir. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 18: 420-430.
 19. **Kuriata-Potasnik, A., Szymczyk, S. and Skwierawski, A., 2020.** Influence of Cascading River Lake Systems on the Dynamics of Nutrient Circulation in Catchment Areas. *Water*. 12: 1144.
 20. **Jaskula, J. and Sojka, M., 2019.** Assessing Spectral Indices for Detecting Vegetative Overgrowth of Reservoirs. *Pol. J. Environ. Stud.* 28: 4199-4211.
 21. **Dysarz, T., Wicher-Dysarz, J., Sojka, M. and Jaskula, J., 2019.** Analysis of extreme flow uncertainty impact on size of flood hazard zones for the Wronki gauge station in the Warta River. *Acta Geophys.* 67: 661-676.
 22. **Jaskula, J. and Sojka, M., 2022.** Assessment of spatial distribution of sediment contamination with heavy metals in the two biggest rivers in Poland. *Catena*. 211: 105959.
 23. **Haghnazar, H., Hudson-Edwards, K.A., Kumar, V., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M. and Aghayani, E., 2021.** Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*. 285: 131446.
 24. **Nawrot, N., Wojciechowska, E., Mohsin, M., Kuittinen, S., Pappinen, A. and Rezanja, S., 2021.** Trace Metal Contamination of Bottom Sediments: A Review of Assessment Measures and Geochemical Background Determination Methods. *Minerals*. 11: 872.
 25. **Tang, W., Ao, L., Zhang, H. and Shan, B., 2014.** Accumulation and risk of heavy metals in relation to agricultural intensification in the river sediments of agricultural regions. *Environ. Earth Sci.* 71: 3945-3951.
 26. **Arfaeina, H., Dobaradaran, S., Moradi, M., Pasalari, H., Mehrizi, E.A., Taghizadeh, F., Esmaili, A. and Ansarizadeh, M., 2019.** The effect of land use configurations on concentration, spatial distribution, and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. *Sci. Total Environ.* 653: 783-791.
 27. **Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K. and Malik, A., 2005.** Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments a tributary of the Ganges, India. *J. Hydrol.* 312: 14-27.
 28. **Ciszewski, D., Malik, I. and Wardas, M., 2004.** Geomorphological influences on heavy metal migration in fluvial deposits: The Mała Panew River valley (southern Poland). *Przegl. i Geol.* 52: 163-174.
 29. **Dragun, Z., Roje, V., Mikac, N. and Raspor, B., 2009.** Preliminary assessment of total dissolved trace metal concentrations in Sava River water. *Environ. Monit. Assess.* 159: 99-110.
 30. **Charkhabi, A.H., Sakizadeh, M. and Bayat, R., 2008.** Land use effects on heavy metal pollution of river sediments in Guilan, southwest of the Caspian Sea. *Casp. J. Environ. Sci.* 6: 133-140.
 31. **Sojka, M., Choinski, A., Ptak, M. and Siepak, M., 2021.** Causes of variations of trace and rare earth

رودخانه دز شده و سبب آلودگی متوسط رسوبات این رودخانه می شود. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می شود سایر عناصر کمیاب و سمی در رسوبات، آبزیان و ماهیان رودخانه دز در بالادست سد دز و پایین دست تا نزدیکی محل اتصال به رودخانه کارون مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

1. **Haghnazar, H., Johannesson, K.H., Gonzalez-Pinzon, R., Pourakbar, M., Aghayani, E., Rajabi, A. and Hashemi, A.A., 2022.** Groundwater geochemistry, quality, and pollution of the largest lake basin in the Middle East: Comparison of PMF and PCA-MLR receptor models and application of the source-oriented HHRA approach. *Chemosphere*. 288: 132489.
2. **Redwan, M. and Elhaddad, E., 2020.** Assessment the Seasonal Variability and Enrichment of Toxic Trace Metals Pollution in Sediments of Damietta Branch, Nile River, Egypt. *Water*. 12: 3359.
3. **Ustaoglu, F., Tas, B., Tepe, Y. and Topaldemir, H., 2021.** Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28: 62736-62754.
4. **Varol, M., Ustaoglu, F. and Tokatli, C., 2021.** Ecological risks and controlling factors of trace elements in sediments of dam lakes in the Black Sea Region (Turkey). *Environ. Res.* 205: 112478.
5. **Vignati, D.A. and Berlinsky, N., 2009.** Potential environmental risks from sediment-bound trace elements: The Ukrainian part of the Danube Delta. *Terre Environ.* 88: 167-173.
6. **Jiang, Y., Gui, H., Chen, C., Wang, C., Zhang, Y., Huang, Y., Yu, H., Wang, M., Fang, H. and Qiu, H., 2021.** The Characteristics and Source Analysis of Heavy Metals in the Sediment of Water Area of Urban Scenic: A Case Study of the Delta Park in Suzhou City, Anhui Province, China. *Pol. J. Environ. Stud.* 30: 2127-2136.
7. **Guan, Q., Wang, F., Xu, C., Pan, N., Lin, J., Zhao, R., Yang, Y. and Luo, H., 2018.** Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: A case study in Hexi Corridor, northwest China. *Chemosphere*. 193: 189-197.
8. **Liber, Y., Mourier, B., Marchand, P., Bichon, E., Perrodin, Y. and Bedell, J.P., 2019.** Past and recent state of sediment contamination by persistent organic pollutants (POPs) in the Rhône River: Overview of ecotoxicological implications. *Sci. Total Environ.* 646: 1037-1046.
9. **Yi, Y.J., Sun, J., Tang, C.H. and Zhang, S.H., 2016.** Ecological risk assessment of heavy metals in sediment in the upper reach of the Yangtze River. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 11002-11013.
10. **Yi, Y., Yang, Z. and Zhang, S., 2011.** Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ. Pollut.* 159: 2575-2585.
11. **Emenike, P.C., Tenebe, I.T., Neris, J.B., Omole, D.O., Afolayan, O., Okeke, C.U. and Emenike, I.K., 2020.** An integrated assessment of land-use change impact, seasonal variation of pollution indices and human health risk of selected toxic elements in sediments of River Atuwara, Nigeria. *Environ. Pollut.* 265: 114795.
12. **Haghnazar, H., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M. and Aghayani, E., 2021.** Spatial distribution and risk assessment of agricultural soil pollution by hazardous elements in a transboundary river basin. *Environ. Monit. Assess.* 193: 158.
13. **Ustaoglu, F., 2021.** Ecotoxicological risk assessment and source identification of heavy metals in the surface

51. Lake Chini, Pahang, Malaysia. *Journal of Biological Sciences*. 10(2): 93-100.
52. **Rouessac, F. and Rouessac, A., 2007.** Chemical Analysis Modern Instrumentation Methods and Techniques. 2nd Edition, England, John Wiley & Sons Ltd.
53. **Sheykhi, V. and Moore, F., 2012.** Geochemical characterization of Kor River water quality, Fars province, Southwest Iran. *Water Qual. Expos. Health*. 4(1): 25-38.
54. **Prasanna, M.V., Praveena, S.M., Chidambaram, S., Nagarajan, R. and Elayaraja, A., 2012.** Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. *Environmental Earth Sciences*. 67(7): 1987-2001.
55. **USEPA. 2009.** Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-R-09-011.
56. **World Health Organization, 2011.** Guidelines for Drinking-water Quality (Fourth Ed). Incorporating the First Addendum. Geneva.
57. **Al-Ani, M.Y., Al-Nakib, S.M., Ritha, N.M. and Nouri, A.H., 1987.** Water quality index applied to the classification and zoning of Al-Jaysh canal, Baghdad Iraq. *J. Environ. Sci. Health*. 22(4): 305-319.
58. **Ameh, E.G., 2013.** Geostatistics and heavy metal indexing of surface water around Okaba coal mines, Kogi State, Nigeria. *Asian J. Environ. Sci*. 8(1): 1-8.
59. **Backman, B., Bodis, D., Lahermo, P., Rapant, S. and Tarvainen, T., 1998.** Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environ. Geol.* 36(1-2): 55-64.
60. **Thukral, A.K., Bhardwaj, R. and Kaur, R., 2005.** Water quality indices. Statistical Accounting of Water Resources. Central Statistical Organization, Ministry of Statistics and Programme Implementation, GoI, New Delhi.
61. **Saha, P. and Paul, B., 2019.** Assessment of heavy metal toxicity related with human health risk in the surface water of an industrialized area by a novel technique. Human and ecological risk assessment: an international journal. 25(4): 966-987.
62. **Muller, G., 1979.** Index of geo accumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 2: 108-118.
63. **Zhao, X.M., Yao, L.A., Ma, Q.L., Zhou, G.J., Wang, L., Fang, Q.L. and Xu, Z.C., 2018.** Distribution and ecological risk assessment of cadmium in water and sediment in Longjiang River, China: Implication on water quality management after pollution accident. *Chemosphere*. 194: 107-116.
64. **Hakanson, L., 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.* 14: 975-1001.
65. **Ravichandran, M., Baskaran, M., Santschi, P.H. and Bianchi, T., 1995.** History of trace metal pollution in Sabine-Neches Estuary, Beaumont, Texas. *Environmental Science and Technology*. 29: 1495-1503.
66. **Niencheski, L.F., Windom, H.L. and Smith, R., 1994.** Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*. 28: 96-102.
67. **Setia, R., Dhaliwal, S.S., Kumar, V., Singh, R., Kukal, S.S. and Pateriya, B., 2020.** Impact assessment of metal contamination in surface water of Sutlej River (India) on human health risks. *Environ. Pollut.* 265: 114907.
68. **Shahri, E., Sayadi, M.H. and Yousefi, E., 2020.** Evaluation of heavy metal pollution of Zinc, Nickel, Chromium, Lead, Cadmium, Copper and Iron in water, surface sediments and algae of the northern shores of Makran Sea in summer 2020. *Journal of Animal Environment*. 12(4): 593-603. (In Persian)
69. **Firozshahian, N., Payandeh, Kh. and Sabz Alipour, S., 2020.** Evaluation of Heavy Contamination of Metals (Nickel, Cadmium and Vanadium) in Water and Hawalzim Wetland Sediments in Khuzestan Province. *Journal of Animal Environment*. 11(4): 359-368. (In Persian)
70. elements concentration in lakes bottom sediments in the Bory Tucholskie National Park, Poland. *Sci. Rep.* 11: 244.
71. **Sojka, M., Siepak, M. and Gnojnska, E., 2013.** Assessment of heavy metal concentration in bottom sediments of Stare Miasto pre-dam reservoir on the Powa River. *Annu. Set Environ. Prot.* 15: 1916.
72. **Sojka, M., Siepak, M., Jaskula, J. and Wicher Dysarz, J., 2018.** Heavy Metal Transport in a River-Reservoir System: A Case Study from Central Poland. *Pol. J. Environ. Stud.* 27: 1725-1734.
73. **Tomczyk, P., Galka, B., Wiatkowski, M., Buta, B. and Gruss, L., 2021.** Analysis of Spatial Distribution of Sediment Pollutants Accumulated in the Vicinity of a Small Hydropower Plant. *Energies*. 14: 5935.
74. **Tomczyk, P., Galka, B., Wiatkowski, M., Wdowczyk, A. and Gruss, L., 2022.** Toxicity studies on sediments near hydropower plants on Slezka and Bystrzyca rivers, Poland, to establish a possible use for soil enrichment. *Land Degrad. Dev.* 33: 756-770.
75. **Namngam, N., Xue, W., Liu, X., Kootattep, T., Shrestha, R.P., Wattayakorn, G., Tabucanon, A.S. and Yu, S., 2021.** Sedimentary metals in developing tropical watersheds in relation to their urbanization intensities. *J. Environ. Manag.* 278: 111521.
76. **Wu, B., Wang, G., Wu, J., Fu, Q. and Liu, C., 2014.** Sources of Heavy Metals in Surface Sediments and an Ecological Risk Assessment from Two Adjacent Plateau Reservoirs. *PLoS ONE*. 9: e102101.
77. **Maanan, M., Ruiz-Fernández, A.C., Maanan, M., Fattal, P., Zourarah, B. and Sahabi, M., 2014.** A long term record of land use change impacts on sediments in Oualidia lagoon, Morocco. *Int. J. Sediment Res.* 29: 1-10.
78. **Tang, W., Sun, L., Shu, L. and Wang, C., 2020.** Evaluating heavy metal contamination of riverine sediment cores in different land-use areas. *Front. Environ. Sci. Eng.* 14: 104.
79. **Sojka, M., Jaskula, J. and Siepak, M., 2019.** Heavy Metals in Bottom Sediments of Reservoirs in the Lowland Area of Western Poland: Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk. *Water*. 11: 56.
80. **Mohammadi, M., Darvishan, A.K. and Bahramifar, N., 2019.** Spatial distribution and source identification of heavy metals (As, Cr, Cu and Ni) at sub-watershed scale using geographically weighted regression. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 7: 308-315.
81. **Ustaoglu, F., Tepe, Y. and Aydin, H., 2020.** Heavy metals in sediments of two nearby streams from Southeastern Black Sea coast: Contamination and ecological risk assessment. *Environ. Forensics*. 21: 145-156.
82. **Liu, A., Duodu, G., Goonetilleke, A. and Ayoko, G., 2017.** Influence of land use configurations on river sediment pollution. *Environ. Pollut.* 229: 639-646.
83. **Comero, S., Vaccaro, S., Locoro, G., De Capitani, L. and Gawlik, B.M., 2014.** Characterization of the Danube River sediments using the PMF multivariate approach. *Chemosphere*. 95: 329-335.
84. **Jaskula, J., Sojka, M., Fiedler, M. and Wroczynski, R., 2021.** Analysis of Spatial Variability of River Bottom Sediment Pollution with Heavy Metals and Assessment of Potential Ecological Hazard for the Warta River, Poland. *Minerals*. 11: 327.
85. **Romiani, L. and Jalilzadeh Yenganjeg, R., 2016.** Studying the absorption potential of heavy metals by aquatic plants in Dez River. *Journal of Ecohydrology*. 3(1): 133-140. (In Persian)
86. **ASTM. 1991.** Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing (Vol. 11.06). Philadelphia: ASTM.
87. **United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996.** Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2).
88. **Baldwin, D.R. and Marshall, W.J., 1999.** Heavy metal poisoning and its laboratory investigation, *Ann. Clin. Biochem.* 36: 267-300.
89. **Ahmad, A.K. and Shuhaimi-Othman, M., 2010.** Heavy metal concentration in sediments and fishes from