

## ارزیابی سلامت اکوسیستم آبی زاینده رود

نمر مرتضوی<sup>۱</sup>، گلنار مخفی<sup>۲\*</sup>، اکرم کریمی<sup>۳</sup>، سیاوش رضازاده<sup>۳</sup>، محمد پارسی مهر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

<sup>۳</sup> گروه محیط زیست ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶

### چکیده

زمینه و هدف: آلاینده‌های فلزات سنگین در رودخانه‌ها یکی از نگرانی‌های جدی محیط زیستی در اکوسیستم‌های آبی است و رسوبات به عنوان یک شناساگر محیطی، توانایی قابل قبولی در بیان میزان آلودگی محیط به فلزات سنگین دارند. بنابراین با هدف ارزیابی سلامت اکوسیستم آبی به بررسی آلودگی، با استفاده از شاخص‌های رسوب پرداختیم.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از رسوبات رودخانه‌ی زاینده رود در ۱۷ ایستگاه نمونه‌برداری شد و فلزات سرب، روی، آهن، کادمیوم، کبالت، نیکل، مس و کروم به روش هضم اسیدی و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های زمین انباشتگی، شاخص آلودگی نمر و پتانسیل خطر اکولوژیکی محاسبه گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات در رسوبات به ترتیب آهن ۱۷۶۲/۹۲، نیکل ۲۰۱/۵۲، روی ۴۴/۰۷، کبالت ۲۳/۳۶، مس ۲۸/۶۷، سرب ۱۱/۵۱، کروم ۱۰/۱۰۹ و کادمیوم ۰/۸۷ برحسب mg/kg بدست آمد. براساس شاخص Igeo، میانگین غلظت عناصر کروم، آهن، مس، روی و سرب در تمام ایستگاه‌ها از میانگین پوسته زمین پایین‌تر و غلظت نیکل و کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها بالاتر از مقدار پس‌زمینه، شناسایی شدند. در همه ایستگاه‌ها نیز شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی کادمیوم نسبت به سایر عناصر، بیشتر است.

نتیجه‌گیری: با توجه به وضعیت رسوبات رودخانه به لحاظ آلودگی به کادمیوم و خطر اکولوژیکی بسیار بالای آن و همچنین میزان نیکل، لازم است پایش رودخانه و موجودات زنده آن به منظور ارزیابی خطر سلامتی و اکولوژیکی آن، به صورت جامع و با رویکرد بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی رسوبات، شاخص زمین انباشتگی، شاخص آلودگی نمر و، پتانسیل خطر اکولوژیکی.

## مقدمه

فلزات سنگین به دلیل ماندگاری، سمیت محیطی بالا، تجمع زیستی در اکوسیستم‌های آبی یک نگرانی اساسی هستند<sup>۱،۲</sup>. آلودگی فلزات سنگین ممکن است از منابع طبیعی مانند هوازدگی سنگ یا فعالیت‌های انسانی از قبیل استخراج کانی‌های فلزی، کارخانه‌های مربوط به فلزات، استفاده از کود و سموم دفع آفات کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه نشده ناشی شود<sup>۳</sup>. فلزات سنگین ناشی از منابع انسانی، متحرک و قابل دسترس هستند و از این رو خطرات بیشتری برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می‌کنند<sup>۴،۵</sup>. فلزات سنگین آزاد شده از فعالیت‌های مختلف صنعتی در نهایت به محیط به ویژه آب‌های سطحی وارد می‌شوند<sup>۶</sup>. بنابراین با افزایش روند صنعتی شدن، میزان آلودگی فلزات سنگین به میزان قابل توجهی نیز افزایش یافته است<sup>۷،۸</sup>. رسوبات رودخانه‌ها تمایل به انباشت فلزات سنگین داشته که منبع بالقوه ثانویه‌ای از آلودگی فلزات سنگین در محیط-های آبی تحت پوشش خود می‌باشند<sup>۹</sup>. رسوب به عنوان یک جز مهم در اکوسیستم رودخانه‌ها، هم به عنوان یک مخزن و هم به عنوان یک منبع فلزات سنگین عمل می‌کند<sup>۱۱،۱۲</sup> و هنگامی که شرایط فیزیکوشیمیایی یا هیدرولوژیکی تغییر می‌کند، ممکن است فلزات سنگین از حالت رسوب خارج و مجدداً معلق شوند تا باعث آلودگی ثانویه در بدنه آبی گردند<sup>۱۳</sup>. فلزات سنگین می‌توانند با اجزا و ترکیبات مختلف محیط‌های آبی واکنش دهند و با فازهای مختلف ژئوشیمیایی در رسوبات ترکیب شوند<sup>۱۴</sup>. بنابراین با توجه به نقش و عملکرد رسوبات به عنوان محل تجمع، ذخیره و منبع تولید آلاینده‌های مختلف نظیر فلزات سنگین و همچنین نقش آنها در زندگی موجودات زنده، ارزیابی غلظت، میزان سمیت و خطر اکولوژیکی آنها (Ecological Risk) در رسوبات محیط‌های آبی مختلف ضروری است.

رسوبات به عنوان یک شناساگر محیط زیستی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و توانایی آنها در بیان

میزان آلودگی محیط به فلزات سنگین به خوبی مشخص شده است. در این راستا در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در زمینه تعیین غلظت و آلودگی فلزات سنگین رسوبات محیط‌های آبی بخصوص رودخانه‌ها در کشورهای مختلف و از جمله ایران انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به ارزیابی خطر اکولوژیکی (ER) فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بشار یاسوج<sup>۱۵</sup>، بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و مس) در رسوبات سطحی سواحل جزر ومدی بندر دیلم - خلیج فارس<sup>۱۶</sup>، تعیین روند آلودگی فلزات سنگین در آبهای سطحی و رسوبات رودخانه Houjing در یک منطقه بسیار صنعتی<sup>۱۷</sup>، اشاره نمود.

رودخانه زاینده‌رود که از کوه‌های زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و به تالاب گاوخونی در استان اصفهان می‌ریزد، به جهت اهمیت آن در تامین آب کشاورزی، شرب و صنعتی به عنوان شاهرگ حیاتی منطقه مرکزی ایران محسوب می‌شود. این رودخانه به دلیل عبور از مناطق پرجمعیت انسانی و پراکم صنعتی و کشاورزی و تاثیر پذیری از ورود سموم کشاورزی و پساب‌های صنعتی و انسانی در مخاطره جدی قرار دارد. بنابراین بررسی مقدار فلزات سنگین و ارزیابی خطر اکولوژیکی (ER) آنها در رسوبات این رودخانه به منظور ارزیابی خطرات احتمالی ناشی از ورود این آلاینده‌ها به آب و زنجیره غذایی ضروری است. در این راستا در پژوهش حاضر سعی شده علاوه بر اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (هشت فلز) در رسوبات بخشی از رودخانه زاینده رود در ۱۷ ایستگاه نمونه برداری، میزان آلودگی و پتانسیل خطر اکولوژیکی آنها با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین منشأیابی آنها با استفاده از تکنیک-های آماری انجام شود. نتایج این مطالعه علاوه بر مشخص کردن وضعیت فعلی رودخانه به لحاظ آلودگی، می‌تواند به عنوان داده های پایه در برنامه‌های پایش و ارزیابی جامع روند مکانی و

زمانی آلودگی فلزات سنگین در آینده در محدوده مورد مطالعه، مورد استفاده پژوهشگران و برنامه ریزان قرار گیرد.

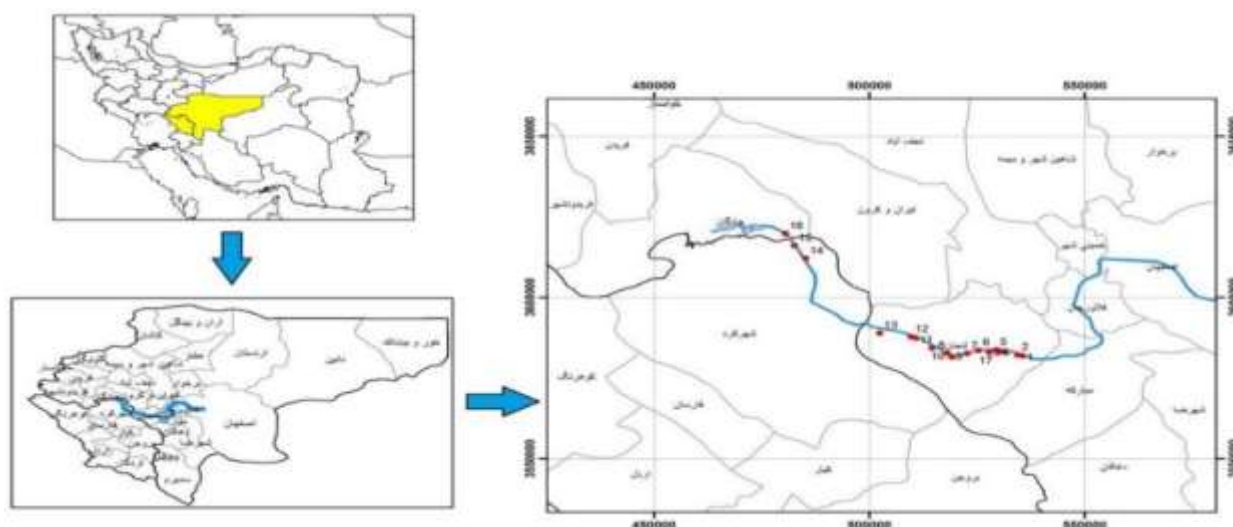
## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه و داده های مورد

#### استفاده

در این پژوهش آلودگی رسوبی رودخانه زاینده رود مورد بررسی قرار گرفت. این مسیر از پایین سد چادگان شروع

می شود و به محل ورودی آب به شهرستان مبارکه می رسد. قسمتی از مسیر رودخانه در استان اصفهان که شامل شهرستان های چادگان و لنجان است و بخش دیگر آن در استان چهارمحال بختیاری در شهرستان شهرکرد قرار دارد. از نظر محدود جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در  $22^{\circ}49'6''$  تا  $22^{\circ}51'$  طول شرقی و  $47^{\circ}49'$  تا  $47^{\circ}50'$  عرض شمالی قرار گرفته است.



شکل ۱ - موقعیت رودخانه مورد مطالعه

### نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

نحوه نمونه برداری به صورت سیستماتیک - تصادفی می باشد. جهت آماده سازی نمونه های رسوب ابتدا آنها را هوا خشک کرده تا وزن ثابتی پیدا کردند سپس نمونه ها را در یک هاون سنگی کوبیده تا به صورت پودر در آورده شوند و در نهایت نمونه های پودر شده رسوب ابتدا از الک مش ده (دو میلی متر) و در مرحله ی بعد از الک مش ۲۳۰ (۶۳ میکرون) عبور داده شدند. در این روش دو گرم از هر نمونه خشک شده (رسوب) توسط

ترکیبی از اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید کلریدریک به نسبت ۴:۴:۱۲ در دستگاه هضم کننده<sup>۱</sup> ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت ۳ ساعت هضم می گردد. سپس نمونه ها با کاغذ فیلتر واتمن<sup>۲</sup> شماره ۱ فیلتر شده و محلول صاف شده در ظروف پلی اتیلنی مخصوص در یخچال نگهداری و در نهایت نمونه ها با دستگاه جذب

۱- Hot block digester

۲- Whatman

اتمی مدل Analiticaljena Contra700<sup>۳</sup> آنالیز می شوند<sup>۱۸</sup>.

## شاخص کیفیت رسوبات

### (الف) شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی اولین بار توسط مولر معرفی شده است (۱۹۶۹) که روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی

رسوبات خاک و گرد و غبار به فلزات سنگین می باشد. و از تقسیم غلظت فلزات سنگین در نمونه به غلظت زمینه آن فلز، بدست می آید<sup>۱۹</sup>.

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (1)$$

که بطور عمومی به تغییرات سنگ شناسی رسوبات و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می شود، منظور شده است<sup>۲۱،۲۰</sup>. رده بندی مربوط به شاخص شدت آلودگی مولر در جدول ۱ آمده است.

در این معادله؛  $I_{geo}$ : شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات،  $C_n$ : غلظت فلز سنگین در رسوب و  $B_n$ : غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل) است. ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت های زمینه

جدول ۱- طبقه بندی درجه آلودگی براساس شاخص شدت آلودگی مولر

| مقادیر $I_{geo}$ | درجه آلودگی | وضعیت آلودگی رسوبات       |
|------------------|-------------|---------------------------|
| ۰                | ۰           | غیر آلوده                 |
| ۱ - ۰            | ۱           | غیر آلوده تا آلودگی متوسط |
| ۲ - ۱            | ۲           | آلودگی متوسط              |
| ۳ - ۲            | ۳           | آلودگی متوسط تا زیاد      |
| ۴ - ۳            | ۴           | آلودگی زیاد               |
| ۵ - ۴            | ۵           | آلودگی زیاد تا خیلی زیاد  |

## ب) فاکتور آلودگی

عنصر در نمونه و  $M_b$  غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) می‌باشد که بیان کننده رابطه زیر است <sup>۲۲</sup>.

اصولا مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط را ارائه دهد. در این رابطه  $M_x$  غلظت

$$C_f = \frac{M_x}{M_b} \quad (2)$$

شاخص درجه آلودگی  $C_d$

$$C_d = \sum_{i=1}^8 C_f^i \quad (3)$$

$C_f$ : فاکتور آلودگی  $n$ : تعداد پارامترهای مورد بررسی <sup>۲۳</sup>.

جدول ۲- طبقه بندی درجه آلودگی

| Class | کلاس | مقدار ظریف $C_d$   | مقدار ظریف $CF$  | درجه آلودگی Pollution degree |
|-------|------|--------------------|------------------|------------------------------|
| ۱     |      | $C_d < 6$          | $C_f < 1$        | ضریب آلودگی کم               |
| ۲     |      | $6 \leq C_d < 12$  | $1 \leq C_f < 3$ | ضریب آلودگی متوسط            |
| ۳     |      | $12 \leq C_d < 24$ | $3 \leq C_f < 6$ | ضریب آلودگی زیاد             |

## ج) شاخص درجه آلودگی بازبینی شده

$CF$ : فاکتور آلودگی  $n$ : تعداد پارامترهای مورد بررسی

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (4)$$

جدول ۳ - طبقه بندی شاخص درجه آلودگی بازیابی

| Class | مقدار ضریب mCd     | درجه آلودگی                |
|-------|--------------------|----------------------------|
| ۱     | $mCd \leq 1/5$     | درجه بسیار پایین از آلودگی |
| ۲     | $1/5 \leq mCd < 2$ | درجه پایین از آلودگی       |
| ۳     | $2 \leq mCd < 4$   | درجه متوسط از آلودگی       |
| ۴     | $4 \leq mCd < 8$   | درجه بالا از آلودگی        |
| ۵     | $8 \leq mCd < 16$  | درجه بسیار بالا از آلودگی  |
| ۶     | $16 \leq mCd < 32$ | درجه بشدت بالا از آلودگی   |
| ۷     | $mCd > 32$         | آلودگی با درجه ما فوق بالا |

### چ) شاخص پتانسیل خطر زیست محیطی

طور گسترده‌ای برای ارزیابی آلودگی رسوبات استفاده می‌شود ۲۵، ۲۴.

شاخص ارزیابی پتانسیل خطر زیست محیطی برای اولین بار توسط هاکنسون در سال ۱۹۸۰ ارائه شد. از این شاخص به

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i = T_r^i \left( \frac{C_s^i}{C_n^i} \right) \quad (5)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (6)$$

$C_f^i$  فاکتور آلودگی یک عنصر منفرد،  $C_n^i$  مقدار زمینه عنصر،  $C_s^i$  مقدار عنصر در نمونه،  $T_r^i$  فاکتور سمیت بیولوژیکی یک عنصر منفرد

جدول ۴ - طبقه بندی شاخص پتانسیل خطر زیست محیطی

| Class     | شاخص پتانسیل خطر زیست محیطی |
|-----------|-----------------------------|
| کم        | $RI < 150$                  |
| متوسط     | $150 \leq RI < 300$         |
| زیاد      | $300 \leq RI < 600$         |
| خیلی زیاد | $600 \leq RI$               |

## ح) شاخص غنی شدگی

برای تعیین میزان غنی شدگی از فاکتور غنی شدگی استفاده می شود. این فاکتور نشان دهنده تاثیر عوامل خارجی بر رسوبات است. این شاخص در گروه شاخص های تک عنصر می باشد، به صورتی که عنصر مورد نظر را نسبت به عنصر زمینه مورد

بررسی قرار می دهد. در این مطالعه از آهن به عنوان عنصر زمینه استفاده شده است زیرا منبع اصلی آن در خاک و رسوبات به صورت طبیعی وجود دارد. نحوه محاسبه فاکتور غنی شدگی به شرح زیر است:

$$Ef = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{ref}}\right)_{Sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{Background}} \quad (V)$$

در این رابطه  $C_i$ : غلظت فلز سنگین در رسوبات،  $C_{ref}$ : غلظت عنصر مرجع در رسوبات،  $B_n$ : غلظت زمینه فلز در میانگین شیل یا رسوبات آلوده نشده و  $B_{ref}$ : غلظت زمینه عنصر مرجع

در میانگین شیل یا رسوبات آلوده نشده است. طبقه بندی این شاخص به شرح زیر است<sup>۲۶</sup>.

جدول ۵ - طبقه بندی شاخص غنی شدگی

| طبقه | EF             | طبقه بندی کیفی رسوبات          |
|------|----------------|--------------------------------|
| ۱    | $EF < 2$       | عدم غنی شدگی یا حداقل غنی شدگی |
| ۲    | $2 < EF < 5$   | غنی شدگی متوسط                 |
| ۳    | $5 < EF < 20$  | غنی شدگی قابل توجه             |
| ۴    | $20 < EF < 40$ | غنی شدگی بسیار زیاد            |
| ۵    | $40 \leq EF$   | به شدت غنی شدگی                |

## خ) شاخص آلودگی نمره (PInemerow)

## شاخص آلودگی اصلاح شده (MPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۱ توسط Nemerow ارائه گردید. در سال های بعد Brady و همکاران شاخص آلودگی اصلاح شده

را معرفی نمودند که باعث بهبود شاخص آلودگی شده است و در محاسبات آن فاکتور غنی شدگی به جای فاکتور آلودگی بکار می رود نحوه محاسبه این دو فاکتور به شرح زیر است.

$$PI = \sqrt{\frac{(Cf_{average})^2 + (Cf_{max})^2}{2}} \quad (8)$$

$$MPI = \sqrt{\frac{(Ef_{average})^2 + (Ef_{max})^2}{2}} \quad (9)$$

در این رابطه ها Cf average: متوسط آلودگی، Cfmax: فاکتور آلودگی بیشینه Ef average: متوسط فاکتورهای غنی شدگی و Efmax: فاکتور غنی شدگی بیشینه است<sup>۲۷، ۲۸</sup>.

## نتایج

در میان هشت عنصر مورد مطالعه، حداقل میانگین غلظت فلزات در رسوب مربوط به فلز کادمیوم ( $0.87 \pm 0.05$ ) و حداکثر میانگین غلظت فلزات مربوط به آهن ( $1762.92 \pm 108.38$ ) می باشد. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک رودخانه مورد مطالعه به ترتیب آهن < نیکل < روی < مس < کبالت < سرب < کروم < کادمیوم کاهش یافته است. با بررسی شاخص های ارائه شده در این مطالعه و اهمیت میانگین غلظت کل عنصر آهن به عنوان عنصری مرجع برای سنجش غنی شدگی فلزی رسوب رودخانه مورد مطالعه، مشخص شد که میانگین غلظت عناصر کروم، آهن، مس، روی و سرب از میانگین پوسته زمین پایین تر بود. بیشترین انحراف استاندارد در غلظت عناصر سنگین مربوط به آهن ( $108.38$ ) می باشد. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشاندهنده گسترده تغییرات وسیع غلظت های فلز در رسوب است.

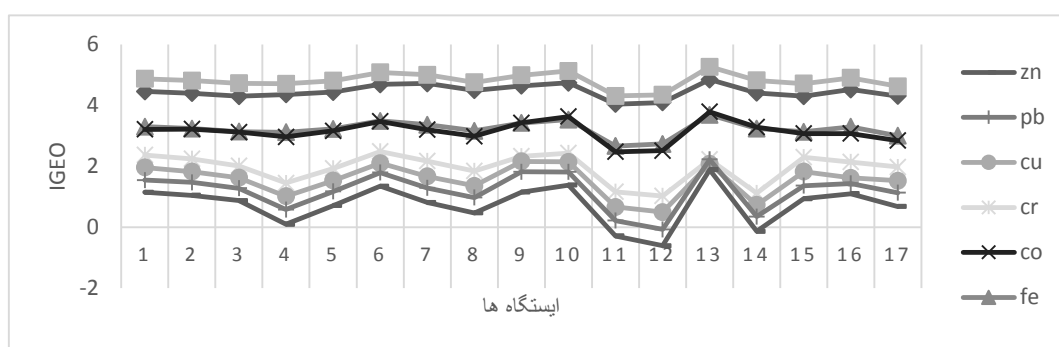
## تحلیل های آماری

در این پژوهش علاوه بر محاسبه شاخص های رسوب برای بررسی آماری و تجزیه و تحلیل داده ها از آزمون های آماری همبستگی پیرسون، تحلیل مولفه اصلی و تجزیه خوشه ای سلسله مراتبی نیز استفاده شد. به منظور تجزیه مؤلفه های اصلی در مرحله اول باید به بررسی و تشخیص مناسب بودن داده ها برای تحلیل عاملی پرداخت که می توان از روش ضریب KMO استفاده نمود، که مقدار این ضریب همواره بین صفر تا یک می باشد. برای اطمینان از مناسب بودن داده ها برای تحلیل عاملی افزون بر اینکه ماتریس همبستگی هایی که پایه تحلیل قرار گرفته است از آزمون کرویت بارتلت نیز استفاده شد<sup>۲۹، ۳۰</sup>. در این مطالعه به منظور خوشه بندی داده ها از روش Ward که براساس میانگین متغیرها در داخل خوشه محاسبه می شود و همچنین برای محاسبه فاصله بین دو متغیر از روش مربع فاصله اقلیدسی میانگین استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارها Spss، Excel استفاده گردید.

## شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی (Igeo)

بر اساس نتایج بدست آمده شاخص زمین انباشت برای عنصر روی در ایستگاه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۴ در محدوده زیر صفر قرار دارد. مقدار این شاخص برای عناصر سرب، مس، کروم و روی (در سایر ایستگاه‌ها) در محدود بین ۱ تا ۳ می‌باشد که

نشان‌دهنده‌ی آلودگی متوسط تا زیاد است. همچنین مقدار شاخص زمین انباشت برای عناصر کبالت و آهن در محدوده ۳ تا ۴ و برای عناصر نیکل و کادمیوم در محدوده ۴ تا ۵ قرار دارند که به ترتیب نشادهنده آلودگی زیاد و آلودگی خیلی زیاد می‌باشد (شکل ۲).



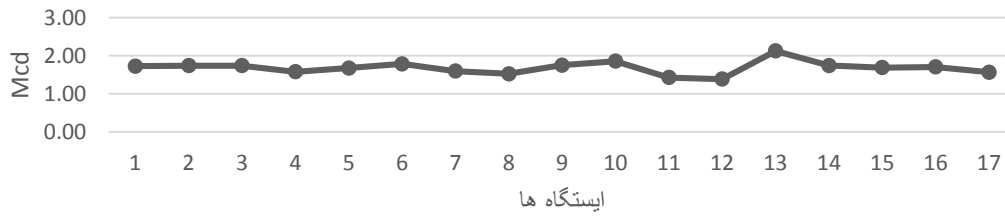
شکل ۲ - شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

## فاکتور آلودگی و شاخص درجه آلودگی

### بازبینی شده Mcd

مطابق نتایج بدست آمده فاکتور آلودگی در رودخانه مورد مطالعه برای فلزات نیکل، کادمیوم و کبالت بیشتر از یک می‌باشد. بیشترین میزان فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های ده و سیزده بوده و مربوط به عنصر کادمیوم می‌باشد در رده دوم عنصر نیکل قرار دارد که بیشترین میزان فاکتور آلودگی برای

این عنصر در ایستگاه‌های سه و سیزده قرار دارد. در شکل ۳ مقادیر شاخص درجه آلودگی بازبینی شده ارائه شده است با توجه به شکل مقدار این شاخص برای ایستگاه سیزده بیشتر از ۲ است که در طبقه متوسط آلودگی قرار می‌گیرد. ایستگاه‌های یازده و دوازده کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند و سایر ایستگاه‌ها در طبقه درجه پایین آلودگی قرار گرفته‌اند.

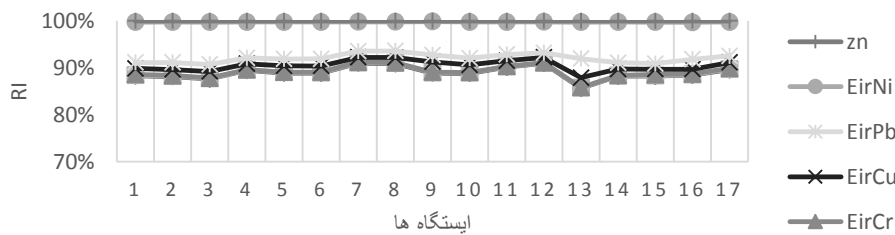


شکل ۳- شاخص درجه آلودگی بازیابی شده در ایستگاه های مورد مطالعه

### شاخص پتانسیل خطر زیست محیطی

اکولوژیکی کادمیوم نسبت به سایر عناصر، بیشتر بوده است و تمام ایستگاه ها در طبقه متوسط شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک قرار دارند.

در شکل ۴ مقادیر Eir به صورت تجمعی برای عناصر مختلف و مقدار نهایی RI نمایش داده شده است. ایستگاه سیزده دارای بیشترین مقدار و ایستگاه یازده کمترین مقدار به خود اختصاص داده اند. در همه ایستگاه ها شاخص خطر

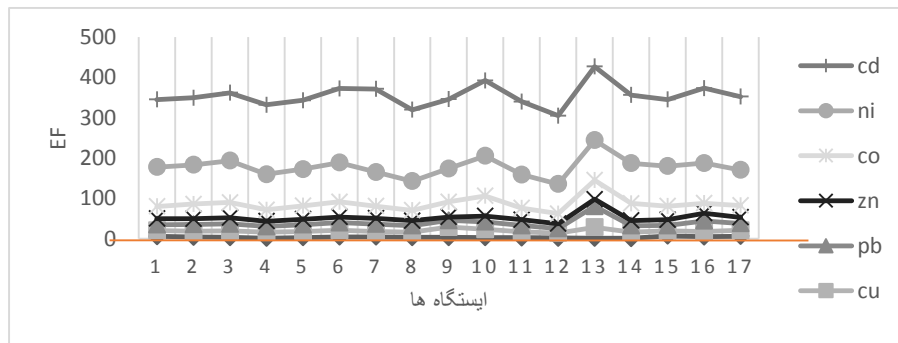


شکل ۴ - مقادیر تجمعی Eir و مقدار نهایی RI در ایستگاه های مورد مطالعه

### شاخص غنی شدگی

عنصر کادمیوم و نیکل می باشد. برای عنصر کبالت در ایستگاه های ۱۰، ۱۳ و ۱۴ و همچنین برای عنصر سرب در ایستگاه ۱۴، مقدار این شاخص بیشتر از ۴۰ (بسیار غنی شده) می باشد.

در شکل ۵ شاخص غنی شدگی ارائه شده است این شاخص نیز مانند شاخص آلودگی و شاخص اصلاح شده بر این موضوع تاکید می کند که بیشترین میزان آلودگی برای



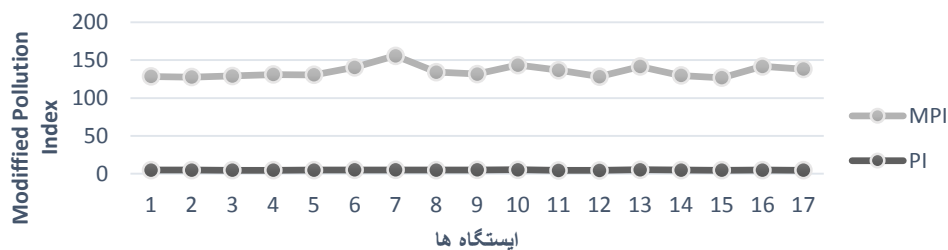
شکل ۵ - شاخص غنی شدگی در ایستگاه های مورد مطالعه

## شاخص آلودگی نمره (PInemerow)

### شاخص آلودگی اصلاح شده (MPI)

اصلاح شده ارائه شده است که بیشترین مقدار را ایستگاه ۷ و کمترین را ایستگاه شماره ۵ به خود اختصاص داده اند.

مطابق با شکل ۶ مقادیر شاخص آلودگی نمره و شاخص



شکل ۶ - شاخص آلودگی نمره و شاخص آلودگی اصلاح شده در ایستگاه های مورد مطالعه

## تحلیل همبستگی

### تحلیل مولفه اصلی

با توجه به اینکه مقدار آماره KMO برابر با ۰/۵۴ است پس داده ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب اند. همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی دار است. پس فرض مخالف تایید می شود، بدین معنی که بین متغیرها همبستگی معنی داری وجود دارد. نتایج نشان می دهد که در مولفه اول عناصر کادمیوم، کبالت، مس، سرب، نیکل و آهن تاثیر گذار هستند در مولفه دوم کروم و روی و در مولفه سوم آهن موثر است. همچنین مقادیر ویژه برای مولفه های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲/۹۳، ۱/۸۷ و ۱/۴۵ می باشد که مولفه اول به تنهایی ۳۶/۷ درصد و مولفه دوم ۲۳/۴ درصد و در نهایت مولفه سوم ۱۸/۱ درصد تغییرات را به خود اختصاص داده اند.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت عناصر مس و کادمیوم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۲۲، مس و کبالت با ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۶۶، نیکل و کبالت با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۹۳، روی و سرب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۰۶، آهن و کبالت با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۲۷ و آهن و نیکل با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۹۳ در سطح معنی دار ۰/۰۱ همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین بین میانگین غلظت عناصر کادمیوم و کبالت با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۶۸، سرب و کادمیوم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۹۶، سرب و کبالت با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۹۳، روی و نیکل با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۹۲ و آهن و مس با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۷۸ در سطح معنی دار ۰/۰۵ همبستگی مثبت وجود دارد.

علاوه بر تحلیل مولفه اصلی، در این پژوهش جهت تقسیم متغیرها به گروه‌های متجانس از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی HCA استفاده شد. به طوری که متغیرهای هر گروه بیشترین شباهت و متغیرهای گروه‌های مختلف کمترین شباهت را با هم دارند. کمینه نمودن متوسط فاصله بین تمام زوج متغیرها (فلزات سنگین و ایستگاه‌ها) در این پژوهش جهت این آزمون مدنظر قرار گرفت. طبق آنالیز خوشه‌های عناصر به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول شامل عنصر آهن است و گروه دوم شامل سرب، نیکل، روی، کادمیوم، کروم، مس و کبالت است. نتایج نشان می‌دهد که گروه اول دارای منشأ زمین‌شناسی هستند و گروه دوم دارای منشأ انسانی می‌باشند.

## بحث

رودخانه زاینده رود شریان حیاتی برای استان اصفهان و فلات مرکزی ایران است. آلوده شدن آب رودخانه با انواع آلوده‌کننده‌های معدنی و آلی و به دنبال آن شوری آب سبب ایجاد خطرات جدی برای سلامت محیط زیست و کشاورزی استان شده است. نتایج این پژوهش که با هدف ارزیابی سلامت اکوسیستم آبی در رودخانه زاینده رود انجام یافت، نشان داد که بیشترین میانگین غلظت مربوط به آهن و کمترین میانگین آن مربوط به کادمیوم می‌باشد. علت این نتیجه می‌تواند به ماهیت متفاوت عناصر مورد مطالعه مربوط گردد. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه مورد مطالعه به ترتیب  $Fe < Ni < Zn < Cu < Co < Pb < Cr < Cd$  کاهش یافته است. بیشترین غلظت آهن در ایستگاه ۹ (پارک ساحلی زرین شهر)، روی در ایستگاه ۱۳ (قسمت شرق آبگیر بابا شیخ علی) و ۱۶ (روستای حجت آباد)، نیکل در ایستگاه‌های ۳ (قرق آقا) و ۱۳ (قسمت شرق آبگیر بابا شیخ علی)، سرب در ایستگاه ۱۳ (قسمت شرق آبگیر بابا شیخ علی)، مس ایستگاه‌های ۱۳ و ۹، کروم ایستگاه ۱۵ (روستای گرمدره)، کبالت ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۰ (ورودی آبگیر بابا شیخ علی) و کادمیوم ایستگاه ۱۳ می‌باشد.

بالا بودن غلظت عناصر روی، نیکل، سرب، کبالت و کادمیوم در منطقه شرق آبگیر بابا شیخ علی و پارک ساحلی زرین شهر می‌تواند به دلیل برنج کاری در زرین شهر و مجاورت با مجتمع فولاد سبا، ذوب آهن اصفهان و پالایشگاه زغال سنگ اصفهان باشد. در این راستا می‌توان به مطالعه جعفری و همکاران در سال ۱۳۸۸ اشاره نمود که بیان می‌کنند یکی از منابع مهم آلودگی برنج کاری در محدوده زرین شهر می‌باشد<sup>۳۱</sup>. از سوی دیگر بالا بودن غلظت عنصر کبالت در ورودی آبگیر بابا شیخ علی می‌تواند به دلیل نزدیکی به کارخانه باتری‌سازی باشد. لازم به ذکر است غلظت بالای عنصر روی در منطقه حجت آباد و عنصر کروم در نزدیکی روستای گرمدره به دلیل شرایط خاص منطقه که در مجاورت منطقه نظامی قرار دارد، بوده که البته امکان تعیین دقیق منبع آلودگی در این رابطه امکان‌پذیر نمی‌باشد. نتایج بدست آمده با مطالعه چمنی که به ارزیابی آلودگی سرب و کادمیوم در رودخانه زاینده رود در سال ۲۰۲۰ پرداخته است مطابقت دارد. وی بیان می‌کند افزایش قابل توجهی در سطح آلاینده‌های رودخانه مشاهده شد است و برداشت آب برای اهداف کشاورزی و دامداری به طور قابل توجهی خطر آلودگی را در زنجیره غذایی افزایش می‌دهد<sup>۳۲</sup>. از طرف دیگر میرزایی و همکاران در سال ۱۳۹۷ به بررسی نقش کاربری اراضی در کیفیت آب رودخانه زاینده رود پرداختند و نتایج آن‌ها حاکی از ارتباط مستقیم میان کاهش کیفیت آب و افزایش کاربری کشاورزی و فعالیت صنایع در منطقه بود است<sup>۳۳</sup>.

بررسی شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد که عنصر کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها در وضعیت به شدت آلوده قرار دارد؛ از آنجا که این شاخص در واقع نشان‌دهنده شدت آلودگی می‌باشد می‌توان بیان نمود رودخانه زاینده‌رود از نظر آلودگی به کادمیوم در شرایط بسیار نامناسبی قرار داشته و آلودگی از سد تنظیمی که در واقع بالادست رودخانه قرار دارد، شروع

شده و با گذر از مناطق مسکونی و صنایع که در امتداد رودخانه قرار دارند، بیشتر می شود. همچنین بررسی شاخص ضریب آلودگی و درجه آلودگی نیز نشان می دهد میزان عنصر کادمیوم در تمام ایستگاه ها در طبقه خیلی آلوده قرار دارد و عنصر نیکل نیز در ایستگاه های ۱۳ و ۱۴ در طبقه خیلی آلوده قرار گرفته است، که دلیل آن می تواند مجاورت صنایع فولاد سبا و ذوب آهن اصفهان باشد. براساس شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، در همه ایستگاه ها شاخص خطر اکولوژیکی کادمیوم نسبت به سایر عناصر، بیشتر بوده و تمام ایستگاه ها در طبقه متوسط شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک قرار دارند. نتایج این شاخص ها با مطالعه کریمیان و همکاران که در سال ۲۰۲۰، به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رودخانه زاینده رود پرداختند، مطابقت دارد. آنها دو عنصر کادمیوم و سرب را در ۶ ایستگاه مورد بررسی قرار داده و بیان کردند میانگین غلظت فلزات در تمام ایستگاه ها از سطح پس زمینه فراتر رفته است. همچنین شاخص های درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده، آلودگی بسیار بالایی را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد.<sup>۳۴</sup>

نتایج حاصل از تحلیل مولفه اصلی نشان می دهد که بین متغیرها همبستگی معنی داری وجود دارد. همبستگی معنی دار آهن با اغلب عناصر نیز گویای نقش هیدروکسیدهای آهن در جذب فلزات سنگین می باشد. همچنین نتایج تحلیل خوشه ای مبین آن است که در بین فلزات انتخاب شده، Co، Cu، Zn، Ni، Pb، Cr و Cd عمدتاً از فعالیت های انسانی (فاضلاب صنعتی و خانگی و مصرف زیاد کود و سم) نشأت گرفته اند، در حالی که Fe می تواند ناشی از انتشار منابع طبیعی باشد.

از بعد دیگر، عنصر کادمیوم توانایی تجمع بالایی در موجودات زنده دارد و آبشش، کلیه، مجاری گوارشی و کبد اولین اندام های هدف برای تجمع کادمیوم هستند و به سبب توانایی تجمع بالا، این اندام ها متحمل تغییرات پاتوبیولوژیک و

بافت شناسی می شوند. به طوری که عروجهای و همکاران در سال ۱۳۹۲ با بررسی ماهی استرلیاد بیان کردند که با افزایش کادمیوم در آب میزان هموگلوبین در خون افزایش یافته که نشان دهنده اثرات مخرب کادمیوم می باشد که در دراز مدت موجب اثرات دائمی بر بافت های خون ساز می شود.<sup>۳۵</sup> علاوه بر این در انسان ها نیز موجب نارسایی کلیه و کبد می گردد و جز مواد سرطانزا محسوب می شود. عنصر کبالت یکی از عناصر ضروری بدن انسان است که در ساختار ویتامین B12 حضور دارد. این فلز، سیستم خون سازی بدن را تحریک کرده و تولید هموگلوبین را افزایش می دهد. با این وجود، قرار گرفتن در معرض مقادیر بالای این فلز، منجر به ایجاد بیماری پلی سیمی و پاسخ های خونی، عصبی و نیز پاسخ های ایمنی می شود. همچنین تماس طولانی مدت با کبالت، به صورت خوراکی، موجب افزایش معنی داری در مقدار این فلز در کبد، کلیه، شش، طحال و مغز می گردد. سرب یکی از مهمترین عناصر سمی است که از طریق خوردن آب و غذا و از راه تنفس وارد بدن می شود. به محض بلعیدن، این فلز با بیومولکول های بدن مانند پروتئین ها و آنزیم ها به شکل ترکیبات بیوتوکسیک پایدار درمی آید. در نتیجه ساختار آنها، تغییر کرده و فعل و انفعالات زیستی آنها با مشکل مواجه می شود. آلودگی سرب باعث جلوگیری از سنتز هموگلوبین، آسیب به عملکرد کلیه ها، سیستم باروری، مفاصل، سیستم قلبی عروقی، آسیب حاد و مزمن به سیستم عصبی مرکزی و سیستم عصبی جانبی می شود. سرب در گیاهان به طور فیزیکی باعث بلوکه کردن جایگاه جذب بسیاری از یون ها در ریشه می شود. مهار فتوسنتز علامت شناخته شده سمیت سرب است. گیاهانی که در معرض سرب قرار می گیرند کاهش میزان فتوسنتز را نشان می دهند که ناشی از تخریب فراساختار کلروپلاست، جلوگیری از سنتز کلروفیل، پلاستوکوئینون و کارتنوئیدها، مانعت از انتقال الکترون و جلوگیری از فعالیت آنزیم های چرخه کالوین است. سرب با

که تعادل اکولوژیکی را تهدید می‌کند پرداخت و از نقطه نظر سلامت عمومی به آن توجه ویژه‌ای گردد.

### نتیجه گیری

با جمع بندی نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های مختلف به نظر می‌رسد، ایستگاه‌های آبگیر بابا شیخ علی، ورودی آبگیر بابا شیخ علی، پارک ساحلی زرین شهر و نقاط نزدیک روستاهای حجت آباد و گرمدره در وضعیت به شدت آلوده قرار دارند و در میان عناصر مورد بررسی عناصر کادمیوم و نیکل بیشترین سهم را در ایجاد آلودگی داشته که دلیل اصلی آن وجود صنایع مانند ذوب آهن اصفهان، پالایشگاه زغال سنگ، مجتمع فولاد سبا و باتری سازی می‌باشد. از آنجا که رودخانه زاینده رود بزرگ‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران است و در واقع نقطه حیاتی مرکز ایران به شمار می‌رود. زاینده رود نقش بسیار مهم و قابل توجهی در تامین آب روستاها، مزارع، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی دارد. با توجه به وضعیت رسوبات رودخانه به لحاظ آلودگی Cd و خطر اکولوژیکی بسیار بالای آن همچنین میزان Ni، لازم است پایش رودخانه و موجودات زنده آن به منظور ارزیابی خطر سلامتی و اکولوژیکی آن، به صورت جامع و با رویکرد بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه مورد توجه قرار گیرد.

ایجاد اختلال در جذب فلزات ضروری مثل منیزیم و آهن مانع از سنتز کلروفیل می‌شود<sup>۳۶</sup>. روی در درک مزه و طعم، عنصر ضروری به شمار می‌رود و کمبود آن سبب بی‌اشتهایی، اختلال در فعالیت متالوآنزیم‌ها، کمبود رشد، اعمال بینایی، تاخیر در بهبود زخم‌های بدن، هضم غذا، تولید مثل، تنفس، اعمال کلیه و تنظیم قند خون می‌گردد. روی می‌تواند سرعت فعل و انفعالات موجود در خاک را کاهش دهد و از آنها جلوگیری کند. همچنین اثرات معکوس بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی دارد و بدین گونه باعث تخریب و آسیب به مواد ارگانیک می‌شود<sup>۳۷</sup>. کروم یکی از عناصر معمول کمیاب است و به طور طبیعی در فرم عنصری وجود ندارد و تنها در ترکیبات وجود دارد. کروم شش ظرفیتی دارای سمیت بیشتری نسبت به دیگر اشکال کروم دارد که این به دلیل داشتن تحرک بالا است. کروم با آماس پوست که بیماری آلرژیک در انسان است در ارتباط می‌باشد<sup>۳۸</sup>.

بنابراین با توجه به خصوصیات عناصری همچون کادمیوم، کبالت، نیکل، کادمیوم و سرب که توانایی تجمع زیستی آنها به وسیله موجودات آبی به خوبی تشخیص داده شده است و همچنین اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات آبی و گیاهان می‌گذارند و موجب سمیت و افت کیفیت آنها می‌شوند. لازم است برای جلوگیری از زوال بیولوژیکی به شناسایی منابعی

## References

1. Zhang C, Yu Z-g, Zeng G-m, et al. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environment International* 2014;73: 270-81.
2. Redwan M, Elhaddad E. Heavy metals seasonal variability and distribution in Lake Qaroun sediments, El-Fayoum, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 2017;134: 48-55.
3. Ji H, Li H, Zhang Y, et al. Distribution and risk assessment of heavy metals in overlying water, porewater, and sediments of Yongding River in a coal mine brownfield. *Journal of Soils and Sediments* 2018;18(2): 624-39.
4. Hoang H-G, Chiang C-F, Lin C, et al. Human health risk simulation and assessment of heavy metal contamination in a river affected by industrial activities. *Environmental Pollution* 2021;285: 117414.
5. Benson NU, Adedapo AE, Fred-Ahmadu OH, et al. New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. *Regional Studies in Marine Science* 2018;18: 44-56.
6. Zhu F, Qu L, Fan W, et al. Study on heavy metal levels and its health risk assessment in some edible fishes from Nansi Lake, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 2015;187(4): 161.
7. Khadse GK, Patni PM, Kelkar PS, Devotta S. Qualitative evaluation of Kanhan river and its tributaries flowing over central Indian plateau. *Environmental Monitoring and Assessment* 2008;147(1): 83-92.
8. Vu CT, Lin C, Yeh G, Villanueva MC. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications. *Environmental Science and Pollution Research* 2017;24(23): 19422-34.
9. Ahmed MK, Baki MA, Islam MS, et al. Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shellfish collected from the river Buriganga, Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research* 2015;22(20): 15880-90.
10. Nguyen TTH, Zhang W, Li Z, et al. Assessment of heavy metal pollution in Red River surface sediments, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin* 2016;113(1): 513-9.
11. Huang Z, Liu C, Zhao X, et al. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Sciences Europe* 2020;32(1): 23.
12. Pejman A, Nabi Bidhendi G, Ardestani M, et al. A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study. *Ecological Indicators* 2015;58: 365-73.
13. Kouidri M, Dali youcef N, Benabdellah I, et al. Enrichment and geoaccumulation of heavy metals and risk assessment of sediments from coast of Ain Temouchent (Algeria). *Arabian Journal of Geosciences* 2016;9(5): 354.
14. Rajeshkumar S, Li X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports* 2018;5: 288-95.
15. Mortazavi S, Hatami M. Assessment of Ecological Hazard of Heavy Metals (Cr, Zn, Cu, Pb) in Surface Sediments of The Bashar River, Yasouj, Iran. *Archives of Hygiene Sciences* 2018;7(1): 47-60.
16. seiedi j, masavi dehmordi l, khaki e. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb and Cu) pollution in Sediment of Deilam Port in Persian Gulf. *Journal of Environmental Science and Technology* 2022;23(12): 201-10.
17. Hoang H-G, Lin C, Tran H-T, et al. Heavy metal contamination trends in surface water and sediments of a river in a highly-industrialized region. *Environmental Technology & Innovation* 2020;20: 101043.
18. Solgi E, Beigmohammadi F, Zamanian A. Application of pollution indices to investigate of heavy metals sequestration in soil (Case Study of Nahavand Cement Factory). *Applied Soil Research* 2020;8(3): 188-201[In Persian].
19. khalili r, zali a, motaghi h. Evaluation of Heavy Metals in Water and Sediments of Haraz River, Using Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (Igeo). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 2021;52(4): 933-42[In Persian].
20. Muller G. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *GEO Journal* 1969;2: 108 - 18.

21. Jaskuła J, Sojka M. Assessment of spatial distribution of sediment contamination with heavy metals in the two biggest rivers in Poland. *CATENA* 2022;211: 105959.
22. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research* 1980;14(8): 975-1001.
23. Mirzaei M, Marofi S, Solgi E, et al. Ecological and health risks of soil and grape heavy metals in long-term fertilized vineyards (Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran). *Environmental Geochemistry and Health* 2020;42(1): 27-43.
24. Zhang S, Chen B, Du J, et al. Distribution, Assessment, and Source of Heavy Metals in Sediments of the Qinjiang River, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022;19(15): 9140.
25. Chai L, Li H, Yang Z, et al. Heavy metals and metalloids in the surface sediments of the Xiangjiang River, Hunan, China: distribution, contamination, and ecological risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research* 2017;24(1): 874-85.
26. Oura LE, Kouassi KE, Konan ATS, et al. Spatial distribution of heavy metals in sediments of the Ivory Coastal zone (Toukouzou Hozalem-Assinie) in correlation with anthropic activities. *Chemistry and Ecology* 2022;38(1): 72-94.
27. Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution* 2016;219: 1077-91.
28. Tahity T, Islam MRU, Bhuiyan NZ, et al. Heavy Metals Accumulation in Tissues of Wild and Farmed Barramundi from the Northern Bay of Bengal Coast, and Its Estimated Human Health Risks. *Toxics* 2022;10(8): 410.
29. Yan X, An J, Yin Y, et al. Heavy metals uptake and translocation of typical wetland plants and their ecological effects on the coastal soil of a contaminated bay in Northeast China. *Science of The Total Environment* 2022;803: 149871.
30. Li Y, Ma L, Ge Y, Abuduwaili J. Health risk of heavy metal exposure from dustfall and source apportionment with the PCA-MLR model: A case study in the Ebinur Lake Basin, China. *Atmospheric Environment* 2022;272: 118950.
31. Jafari J, Anvarifar H, Ghandali M, et al. A Review to Pollution Trend in Zayandeh Roud River. *National Conference on Human, Environment and Sustainable Development* 1388.
32. Chamani A. Evaluation of Lead and Cadmium Contamination in the Zayandeh Rud River. In: Mohajeri S, Horlemann L, Besalatpour AA, Raber W, editors. *Standing up to Climate Change: Creating Prospects for a Sustainable Future in Rural Iran*. Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 225-38.
33. Mirzayi m, Eisa SI, RasoolAL SMA. Role of land use in quality of water in Zayanderood River. *Water Engineering* 1397;11(38): 61-70.
34. Karimian S, Chamani A, Shams M. Evaluation of heavy metal pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 2020;192(5): 316.
35. Mahboobi Soofiani N, Dorafsahn S. Cadmium sub-lethal concentration effects on the haematological parameters of sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Journal of Fisheries Science and Technology* 2013;2(2): 11-22.
36. Karimian B, Landi A, Hojati S, Ahadian J. Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles deposited in Ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 2016;47(1): 159-73.
37. Abbasitabar H, Solgi E, Shayesteh K, Mortazavi S. Resources and Chemical Structure of Heavy Metals in Soil and Its Effect on Human Health and the Environment. *Human & Environment* 2022;20(1): 63-76.
38. Wuana RA, Okieimen FE. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology* 2011;2011: 402647.

## Water ecosystem health assessment of Zayandeh Rood River

Samar Mortazavi<sup>1</sup>, Golnar Makhfi\*<sup>2</sup>, Akram Karimi<sup>3</sup>, Siavash Rezazadeh<sup>3</sup>, Mohamad Parsi Mehr<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environments, Malayer University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup> Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environments, Malayer University, Hamedan, Iran

<sup>4</sup> Ph.D student of Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment ,Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran.

Email: makhfi\_g@yahoo.com

Received: 27 April 2023 , Accepted: 27 May 2023

### ABSTRACT

**Background:** Heavy metal pollutants in rivers are one of the serious environmental concerns in aquatic ecosystems. Sediments, as an environmental indicator, have an acceptable ability to express the degree of environmental pollution with heavy metals. Therefore, with the aim of evaluating the health of the water ecosystem of Zayandeh Rood, we investigated pollution using sediment indicators.

**Methods:** In this study, the sediments of Zayandeh Rood River were sampled at 17 stations. Metals lead, zinc, iron, cadmium, cobalt, nickel, copper and chromium were measured by acid digestion method with atomic absorption device. Also, land accumulation indices, Nemerow pollution index and ecological risk potential were calculated.

**Results:** The average concentration of metals in sediments is 1762.92 iron, 201.52 nickel, 44.07 zinc, 23.36 cobalt, 28.67 copper, 11.51 lead, 10.09 chromium, and 0.87 cadmium mg/kg. According to the Igeo index, the average concentration of chromium, iron, copper, zinc and lead elements in all stations was lower than the average of the earth's crust, and the concentration of nickel and cadmium in all stations was higher than the background value. In all stations, the ecological risk potential index of cadmium was higher than other elements.

**Conclusion:** Considering the condition of river sediments in terms of cadmium and nickel pollution and their very high ecological risk, it is necessary to comprehensively monitor the river and its living organisms. Also, in order to evaluate its health and ecological risk with the approach of examining the trend of spatial and temporal changes, heavy metal pollution in water and river sediments should be taken into consideration.

**Keywords:** sediment pollution, land accumulation index, Nemerow pollution index, ecological risk potential.