

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یک، شماره سه، خرداد ماه ۹۸

ارزیابی پتانسیل خطر اکولوژیک و منشاء یابی فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کادمیوم و روی در آب و رسوبات سطحی رودخانه قشلاق سنندج

فرانک فقیری^۱

دلنیا حاجی احمدی^۱

جمیل امان‌اللهی^۲

فرشید قربانی^{۲*}

f.ghorbani@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین به علت سمیت، ماندگاری در شرایط طبیعی، قابلیت ورود و تجمع در زنجیره غذایی به عنوان آلوده‌کننده‌های جدی تلقی می‌شوند. بنابراین مطالعه پیش رو به منظور ارزیابی پتانسیل خطر اکولوژیک و منشاء‌یابی فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کادمیوم و روی در آب و رسوبات سطحی رودخانه قشلاق سنندج انجام گرفت.

روش بررسی: به این منظور در این پایش ۱۶ نمونه از آب و رسوبات سطحی رودخانه قشلاق جمع‌آوری شد. سپس نمونه‌ها برای تعیین غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیوم و روی با روش طیف سنجی جذب اتمی مورد سنجش قرار گرفتند. همچنین از شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک (PERI) و شاخص غنی‌شدگی (EF) جهت ارزیابی خطر اکولوژیک و از شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) جهت بررسی اثر عناصر سنگین بر سلامت انسان استفاده شد. آنالیز چند متغیره مانند آنالیز هم‌بستگی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شاخص غنی‌شدگی جهت شناسایی پتانسیل منابع انسانی آرسنیک، سرب، کادمیم و روی در رودخانه قشلاق مورد استفاده قرار گرفتند. یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت یک گروه از عناصر شامل Pb، Cd و Zn بیش‌تر از مقادیر زمینه بودند، در صورتی که میانگین غلظت As به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیر زمینه بود. عامل غنی‌شدگی فلزات سنگین مورد مطالعه در رودخانه قشلاق به صورت $As < Cd < Zn < Pb$ به دست آمد. از سویی، نتایج به دست آمده از شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک (PERI) درجه خطر کم را برای فلزات As، Pb و Zn نشان داد اما فلز Cd برای نقاط نمونه‌ای تحت تاثیر تردد جاده‌ای دارای خطر اکولوژیک متوسط بود.

۱- دانش آموخته کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.

۲- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

- 3- Potential Ecological Risk Index
- 4- Enrichment Factor
- 5- Heavy Metal Pollution Index
- 6- Principal Component Analysis

بحث و نتیجه گیری: . براساس نتایج حاصل از عامل غنی شدگی، آنالیز هم‌بستگی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی می‌توان گفت که میزان غلظت As بیش‌تر تحت تاثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه (لیتوژنیک) بوده است. غلظت Pb و Cd در چهار منطقه نمونه‌برداری به طور یکسان تحت تاثیر کشاورزی و تردد جاده‌ای بوده است. هم‌چنین مشخص شد که غلظت Zn تحت تاثیر فاضلاب‌های مسکونی قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: منشاء‌یابی فلزات سنگین، ارزیابی خطر اکولوژیک، عامل غنی شدگی، آنالیز چند متغیره، رودخانه قشلاق.

Ecological risk assessment and source identification of heavy metals including lead, arsenic, cadmium and zinc in surface water and sediments from Gheshlagh river, Sanandaj

Faranak Faghiri¹
Delnia Hajiahmadi¹
Jamil Amanollahi²
Farshid Ghorbani^{2*}
f.ghorbani@uok.ac.ir

Admission Date: June 15, 2016

Date Received: August 16, 2015

Abstract

Background and Objective: Heavy metals are considered as serious pollutants due to their toxicity, persistence in natural conditions and ability to enter and accumulate in the food chain. Therefore, this study was carried to assess the potential ecological risk and identify the source of heavy metals including lead, arsenic, cadmium and zinc in the surface water and sediments from Gheshlagh river, Sanandaj.

Method: For this purpose, 16 samples of surface water and sediment were collected. Then, concentrations of arsenic, lead, cadmium and zinc were determined by atomic absorption spectrometry. Moreover, potential ecological risk index (PERI) and enrichment factor (EF) were utilized to assess the ecological risk, and heavy metals pollution index (HPI) was used to survey the effects of heavy metals on human health. Multivariate analyses such as correlation analysis, principal component analysis (PCA) and EF were used to identify human resource potential of arsenic, lead, cadmium and zinc.

Findings: The results showed that the average concentration of a group of elements, including Pb, Cd and Zn, was higher than background levels, whereas average concentration of As was significantly lower than the background levels. Enrichment of the studied heavy metals was obtained as Pb > Zn > Cd > As in Gheshlagh river. The results of PERI showed a low risk for Pb, As and Zn and a moderate risk for Cd in the samples under the influence of road traffic.

Discussion and Conclusion: Considering the results of EF and PCA, it can be concluded that the concentration of As has been mostly affected by the geological structure. Pb and Cd concentrations in four sampling areas were equally affected by agriculture and road traffic. It was also found that the concentration of Zn is influenced by residential wastewater.

Keywords: Source identification of heavy metals, Ecological risk assessment, Enrichment factor, Gheshlagh river.

1- B.Sc. Student, Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

2- Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.
*(Corresponding Author).

مقدمه

در طول دو دهه گذشته، توجه زیادی به ردیابی کردن فلزات و شبه فلزات در هردو اکوسیستم خشکی و آبی معطوف شده است. این فلزات در بیوتا تجمع می‌یابند و در غلظت‌های بالا به طور بالقوه سمی هستند (۳-۱). فلزات سنگین به عنوان یک دسته از آلاینده‌های خطرناک در نتیجه برخی از فعالیت‌های انسانی هم‌چون کشاورزی، آب‌زی‌پروری، فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌توانند به محیط‌زیست تخلیه شوند (۴، ۵). در اکوسیستم‌های آبی فلزات سنگین تمایل زیادی به ترکیب شدن با ذرات جامد دارند و به این ترتیب در رسوبات سطحی تجمع می‌یابند (۶). آلوده شدن رسوبات به فلزات سنگین بر آب، حیات گونه‌ها و سلامت بشر تأثیر خواهد داشت (۷). به همین سبب در سال‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی به دلایلی هم‌چون سمیت محیطی، فراوانی و پایداری آن توجه محققین مختلف را در سطح دنیا به خود جلب نموده است (۸). مطالعه فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌ها نقش مهمی در ارزیابی اثرات آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی ایفا می‌کند (۷). رودخانه‌های موجود در مناطق شهری به دلیل تخلیه فاضلاب صنعتی و خانگی دارای مشکلات کیفیت آب هستند (۸).

رسوبات در رودخانه‌ها نه تنها دارای نقش موثری بر آلودگی آب رودخانه هستند بلکه می‌توانند برای ثبت تاریخچه آلودگی رودخانه و منشأیابی آلودگی نیز مورد استفاده قرار گیرند (۹). مطالعات زیادی در رابطه با آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات انجام گرفته است (۷، ۱۱-۹). در مطالعه‌ای که توسط-Paramasivam و همکاران در سال ۲۰۱۵ جهت بررسی سطح فلزات سنگین در رسوبات سطحی در هند انجام گرفت (۹)، نشان داده شد که مقدار خاک رس و مواد آلی نقش مهمی در بالا بردن سطح فلزات سنگین و نیز سطح سمیت دارند. ایشان هم‌چنین نشان دادند که شاخص خطر نمونه‌ها پس از حذف گل و لای و رس کاهش می‌یابد. مطالعه Maanan و همکاران در سال (۲۰۱۵) به ارزیابی فلزات سنگین در تالاب نادور مراکش با استفاده از شاخص‌های محیط‌زیستی پرداخته است (۷). نتایج مطالعه ایشان نشان داد که حضور فلزات سنگین در رسوبات تالاب در نواحی شهری عمدتاً به سبب فعالیت‌های

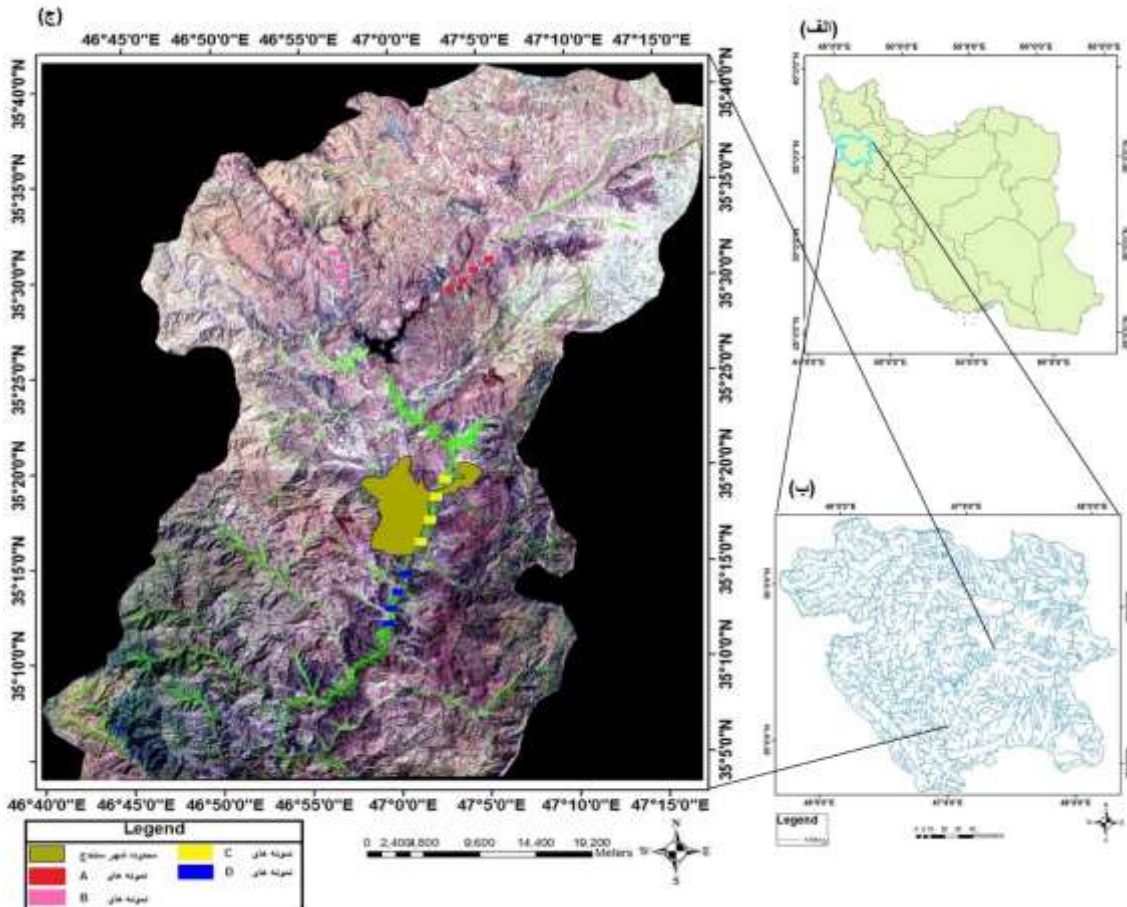
انسانی رخ می‌دهد. در مطالعه‌ی دیگری که توسط Shi و همکاران در سال (۲۰۱۳) انجام شد (۱۰)، فلزات سنگین به عنوان یک عامل اصلی برای بررسی کیفیت آب در رودخانه‌ی زرد، مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که مقدار جذب سرب اشباع شده رابطه‌ی مثبت نزدیکی با مقدار مواد آلی و مقدار رس در رسوبات دارد. مطالعه‌ی دیگری توسط شنبه زاده و همکاران در سال ۱۳۹۲ برای تعیین غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب انجام شد (۱۱)، نتایج مطالعه ایشان نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین مورد نظر در فصول مختلف در پایین دست نسبت به بالا دست رودخانه بیش‌تر است. همان‌طور که مطالعات بالا نشان می‌دهد بررسی کیفیت آب و رسوب در رودخانه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و می‌تواند در حفظ سلامت مراکز جمعیتی استفاده کننده از آن رودخانه نقش داشته باشد. با توجه به این‌که رودخانه‌ی قشلاق منبع اصلی آب شیرین برای برآورده کردن نیازهای زندگی روزانه و آبیاری کشاورزی در شهرستان سنندج است، توسعه‌ی سریع اقتصادی و عبور رودخانه از محیط شهری سبب شده که رودخانه قشلاق پذیرای هرچه بیش‌تر رواناب کشاورزی و تخلیه پساب خانگی باشد. این مطالعه بر روی رودخانه قشلاق صورت گرفت. در سال‌های اخیر، گزارش‌های متنوعی با متمرکز کردن توجهات به سطوح مواد غذایی و فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه ارائه شده است که از آلوده شدن رودخانه توسط فعالیت‌های انسانی خبر می‌دهند و ایمنی آب برای آشامیدن، آبیاری کشاورزی و آب‌زی‌پروری تحت تأثیر قرار گرفته است (۱۲، ۱۳). با این حال مطالعه چندانی درباره‌ی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و ارتباط آن با پتانسیل خطر اکولوژیکی انجام نشده است. بنابراین مطالعه پیش رو با اهداف تعیین سطح آلودگی و پتانسیل خطر اکولوژیکی آرسنیک، سرب، کادمیوم و روی در آب و رسوبات رودخانه قشلاق از طریق شاخص عامل‌غنی‌شدگی (EF) و شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (PERI)، شاخص- (HPI) و شناسایی پتانسیل منابع انسانی این فلزات سنگین با استفاده از آنالیز چند متغیره همانند آنالیز هم‌بستگی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، رودخانه قشلاق و دو سرشاخه اصلی آن (شکل ۱) واقع در شهرستان سنندج در استان کردستان می‌باشد. این رودخانه دومین رودخانه طولانی در استان کردستان است.

از جمله منابعی که در حوزه آبریز این رودخانه پتانسیل ایجاد آلودگی فلزات سنگین را دارد می‌توان ساختار زمین شناسی منطقه، جاده‌های دسترسی شهری و بین شهری، مزارع کشاورزی، صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی در محدوده شهری را نام برد.



شکل ۱- (الف) موقعیت استان کردستان در جغرافیای ایران، (ب) رودخانه های موجود در استان کردستان و (ج) حوزه

آب خیز رودخانه قشلاق و محل نقاط نمونه برداری در طول این رودخانه

Figure 1. a) The geographical position of Kurdistan province in Iran, b) Rivers of Kurdistan c) watershed of Gheshlagh river and sampling sites location.

۲- نمونه برداری

کیلومتر برای هر نمونه است (حرف D یعنی جایی که رودخانه- باید خودپالایی کند). در این مطالعه به منظور تثبیت فلزات سنگین در نمونه‌های آب، ۵ میلی لیتر اسیدنیتریک ۶۵ درصد به بطری‌ها افزوده شد. نمونه‌های رسوب نیز در کیسه‌های- پلاستیکی جمع‌آوری شده و جهت انجام آنالیزهای بعدی به- آزمایشگاه منتقل شدند. موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه نمونه- برداری با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد. در آزمایشگاه

در اردیبهشت ۱۳۹۴، ۱۶ نمونه آب و رسوب در محل‌های تعیین شده در طول بدنه اصلی از رودخانه قشلاق، از ۴ منطقه‌ی اصلی جمع‌آوری شد. مناطق نمونه برداری شامل منطقه نزدیک جاده- (حرف A)، منطقه دارای زمین‌های کشاورزی دیم و سکونت‌گاه- های روستایی (حرف B)، مناطق تحت اثر پساب فاضلاب- مناطق شهری و صنعتی (حرف C) و مناطق بعد از ورودی- فاضلاب شهری و صنعتی به داخل رودخانه قشلاق با فاصله یک

کاهش تأثیر اندازه دانه ذرات رسوب بر آلودگی فلزات سنگین، داده‌های غلظت باید با استفاده از یک عنصر محافظه‌کار^۲ (عنصری که غلظت آن در رسوبات سطحی در جهت عمودی و افقی تغییر چندانی نداشته باشد) نرمال‌سازی شوند. آلومینیوم (Al) در فرآیند مهاجرت یک عنصر خنثی است و عمدتاً از منابع طبیعی لیتوژنیک نشأت می‌گیرد. لذا استفاده از آلومینیوم به عنوان یک عنصر استاندارد شده عمومیت دارد و به رسمیت شناخته می‌شود (۱۵). مقدار EF با استفاده از غلظت Al از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۱۶):

$$EF = \frac{(C_x/C_{Al})_{\text{sediment}}}{(C_x/C_{Al})_{\text{Background}}} \quad (1)$$

که در آن صورت کسر برابر است با نسبت غلظت عنصر مورد بررسی (C_x) به غلظت آلومینیوم (C_{Al}) در نمونه‌های رسوب و مخرج کسر برابر است با نسبت غلظت همان عنصر به غلظت آلومینیوم در نمونه شاهد. EF شامل ۵ کلاس کیفی می‌باشد:

جدول ۱- طبقه بندی درجه تغلیظ فلزات سنگین در رسوب

Table 1. Classification of heavy metals concentration rate in sediment.

طبقه بندی EF	سطح تغلیظ
<۲	حداقل غنی سازی
۲-۵	غنی سازی متوسط
۵-۲۰	غنی سازی معنی دار (قابل توجه)
۲۰-۴۰	غنی سازی بسیار زیاد
>۴۰	حداکثر غنی سازی

۲-۴- شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک (PERI)

برای این که بتوان دسترسی زیستی یا اثرات ترکیبی فلزات-سنگین را بررسی کرد می‌توان از شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک (PERI) جهت ارزیابی فلزات سنگین موجود در رسوبات سطحی استفاده نمود. پارامتر PERI، که برای اولین بار توسط Hakanson پیشنهاد شده است، به بررسی سمیت فلزات سنگین پرداخته و پتانسیل خطر اکولوژیک را که با تجمع سطوح-آلاینده‌های مختلف برآورد می‌شود، تشریح می‌کند. شاخص خطر (RI) به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۱۷):

نمونه‌های رسوب در معرض هوا خشک شدند و سپس از الک با مش ۱۰ (منافذ ۲ میلی متر) عبور داده شدند و از الک برای جداسازی گراول و بقایای آلی استفاده شد. سپس بخشی از نمونه‌ها برای عبور از الک با مش ۱۰۰ و آنالیزهای بعدی جدا شده و نمونه‌های آب نیز پس از فیلتراسیون تا زمان آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۳- تجزیه و تحلیل عنصری

جهت استخراج فلزات سنگین از ماتریس نمونه‌های رسوب از-روش استاندارد 3050B که توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) پیشنهاد شده است، استفاده گردید (۱۴). به طور خلاصه پس از توزین ۱ گرم از نمونه، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن افزوده گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۵ میلی‌لیتر دیگر اسید نیتریک به محلول اضافه گردید و با همان دما به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد تا بخار قهوه‌ای آن متوقف گردد. سپس مقدار ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه افزوده و تا کاهش مقدار محلول به میزان ۵ میلی‌لیتر حرارت داده شد. برای جداسازی ذرات جامد باقی‌مانده‌ی نمونه‌های هضم شده به مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند، سپس محلول به دست آمده به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید و غلظت فلزات سنگین آن به همراه نمونه‌های فیلتر شده آب با استفاده از دستگاه جذب اتمی به روش کوره (Atomic Absorption Spectrophotometer: Phoenix-986) تعیین شد.

۴- روش‌های ارزیابی

مقادیر زمینه^۱ نقش مهمی در ارزیابی درجه‌ی آلودگی فلزات سنگین دارند. در این مطالعه میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب در سرشاخه‌های اصلی رودخانه به عنوان مقادیر زمینه‌ی فلزات در آب و رسوبات سطحی رودخانه انتخاب شد (۲).

۱-۴- عامل غنی‌شدگی (EF)

از عامل غنی‌شدگی (EF) جهت تعیین درجه غنی‌شدگی هر یک از فلزات سنگین مورد بررسی به تنهایی استفاده شد. به منظور

2- Conservative Element
3- Risk Index

1- Background Value

عامل پاسخ سمیت برای آرسنیک، کادمیم، سرب و روی به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰، ۵ و ۱ است (۱۸). جدول (۱) طبقه‌بندی استاندارد پتانسیل خطر اکولوژیک فلزات سنگین را نشان می‌دهد.

$$RI = \sum E_r^i = \sum T_r^i \left(\frac{C_s^i}{C_n^i} \right) \quad (2)$$

که در آن RI برابر است با مجموع پتانسیل خطر اکولوژیک همه فلزات سنگین مورد بررسی، E_r^i عبارت است از پتانسیل خطر اکولوژیک هر عنصر به تنهایی، T_r^i عامل پاسخ سمیت برای هر فلز سنگین مورد بررسی، C_s^i غلظت فعلی فلزات سنگین در رسوبات سطحی و C_n^i به مقادیر زمینه (شاهد) فلزات سنگین اشاره می‌کند.

جدول ۲- طبقه بندی شاخص‌های RI و E_r^i و درجه خطر بالقوه زیست محیطی و اکولوژیک آن‌ها

Table 2. Classification of RI and E_r^i indices and their environmental and ecological potential risk.

E_r^i	درجه خطر اکولوژیک برای هر فلز به تنهایی	RI	درجه پتانسیل خطر اکولوژیک برای محیط‌زیست
$E_r^i < 40$	خطر کم	$RI < 150$	خطر کم
$40 \leq E_r^i < 80$	خطر متوسط	$150 \leq RI < 300$	خطر متوسط
$80 \leq E_r^i < 160$	خطر قابل توجه	$300 \leq RI < 600$	خطر قابل توجه
$160 \leq E_r^i < 320$	خطر بالا	$RI \geq 600$	خطر بالا
$E_r^i \geq 320$	بسیار خطرناک		

۴-۴- روش‌های آماری چند متغیره

در این مطالعه از آنالیزهای چند متغیره مانند آنالیز هم‌بستگی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) به منظور تعیین منابع فلزات سنگین در رسوبات سطحی استفاده شد. از آنالیز هم‌بستگی به منظور تعیین هم‌بستگی میان فلزات سنگین مختلف استفاده شده است. آزمون (PCA) به منظور ساده کردن داده‌ها جهت شناسایی عواملی که بیش‌ترین واریانس میان داده‌ها را توضیح می‌دهند، استفاده شده است. آنالیز پارامترهای اصلی به عنوان یک روش موثر جهت شناسایی منابع پتانسیل فلزات سنگین به اثبات رسیده و به طور گسترده‌ای با آنالیز هم‌بستگی به کار گرفته می‌شود. برای به دست آوردن ضریب هم‌بستگی در صورت نرمال بودن داده‌ها از ضریب هم‌بستگی پیرسون و در صورت نرمال نبودن داده‌ها از ضریب هم‌بستگی اسپیرمن استفاده شد. برای آزمون (PCA) عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب و رسوب به صورت ماتریس‌هایی ساخته شدند و داده‌ها با استفاده از نرم افزار PC ORD win version 4.17 در PCA به منظور استاندارد کردن داده‌ها، آنالیز گردیدند. در PCA به منظور استاندارد کردن داده‌ها،

۳-۴- شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین در آب

از شاخص آلودگی فلزات سنگین جهت بررسی اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان استفاده می‌شود. برای تعیین آن از رابطه‌های (۴) و (۵) استفاده می‌شود:

$$HPI = \frac{\sum W_i q_i}{\sum W_i} \quad (4)$$

در این معادله W_i نسبت وزنی i امین مؤلفه می‌باشد که از طریق معکوس وزن استاندارد ذکر شده برای هر یک از فلزات سنگین (فاکتور پاسخ سمیت) محاسبه می‌شود ($W_i = 1/S_i$) و q_i نرخ کیفی i امین مؤلفه است که از رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$q_i = \frac{V_i}{S_i} \quad (5)$$

در این معادله V_i غلظت i امین مؤلفه، S_i مقدار استاندارد i امین مؤلفه است.

اگر HPI بیش‌تر از ۱۰۰ باشد آب به فلزات سنگین آلوده است، در صورتی که $HPI = 100$ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد و اگر HPI کم‌تر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است (۱۹، ۲۰).

میانگین غلظت فلز As در منطقه مورد مطالعه به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از میانگین غلظت مقادیر زمینه بود. براساس این نتایج ممکن است فلز As ناشی از منابع طبیعی مانند ساختار زمین شناسی منطقه باشد، درحالی که غلظت سایر فلزات مورد بررسی تحت تأثیر هم‌جواری با جاده، عبور از شهر و فعالیت‌های کشاورزی قرار می‌گیرد. مطالعه Maanan و همکاران در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی فلزات سنگین در تالاب نادور مراکش با استفاده از شاخص‌های محیطی زیستی پرداخته است (۷). نتایج آن‌ها نشان داد که حضور فلزات سنگین در رسوبات تالاب در نواحی شهری عمدتاً به سبب فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد. مطالعات دیگر نشان داده است که کیفیت آب رودخانه‌های موجود در مناطق شهری از تخلیه فاضلاب صنعتی و خانگی تأثیر می‌پذیرند (۸). در مطالعه دیگری که Majnoni و همکاران (۲۰۱۵) بر روی رودخانه قشلاق سنندج انجام دادند، غلظت فلزات سنگین Cr، Cd و Pb در آب و رسوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده ایشان نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین Cr، Cd و Pb در رسوب به ترتیب برابر با ۰/۶۹، ۱۷/۱۹، ۱۰/۶۹ میکروگرم بر گرم و در نمونه‌های آب به ترتیب ۱/۹۹، ۱/۴۵ و ۱۲/۹۲ میکروگرم بر لیتر بود. بر اساس شاخص تجمع زمین شناختی و شاخص بار آلودگی، رسوبات را نسبت به سرب و کروم غیر آلوده و نسبت به کادمیوم غیر آلوده تا آلودگی متوسط ارزیابی نمودند (۱۲).

انحراف معیار داده‌ها به کار برده شد (۱۸). قبل از انجام آزمون PCA آزمون‌های Kaiser-Meyer-Olkin و Bartlett's برای تعیین مناسب بودن یا نبودن ماتریس‌ها برای آزمون PCA باید صورت گیرد. آزمون Bartlett's برای نشان دادن همگنی واریانس داده‌ها است که شرط لازم برای استفاده از PCA می‌باشد (۱۸) و مقادیر sig به دست آمده برای این آزمون باید کمتر از ۰/۰۵ باشد. آزمون Kaiser-Meyer-Olkin امکان تعلق داده‌ها به مجموعه‌های کوچک تری که همان بیان شیب تغییرات در PCA است را نشان می‌دهد. عدد به دست آمده در این آزمون نباید کوچک‌تر از ۰/۵ باشد (۱۸).

نتایج و بحث

– غلظت فلزات سنگین در رودخانه قشلاق

در جدول (۳) خلاصه‌ای از نتایج مربوط به سنجش فلزات سنگین رسوبات در مقایسه با مقادیر زمینه در این مطالعه آورده شده است. جهت تعیین درجه‌ی آلودگی باید غلظت فلزات آلوده‌کننده در منطقه‌ی مورد مطالعه با غلظت فلزات در منطقه‌ی غیرآلوده (شاهد) مقایسه شود. این فلزات در منطقه‌ی شاهد باید به عنوان یک عامل آلوده‌کننده تلقی نگردند و به صورت طبیعی در منطقه وجود داشته باشند. در این صورت می‌توان نمونه‌های مطالعه شده را با آن‌ها مقایسه کرد. نتایج این مطالعه نشان دادند که متوسط غلظت تمامی فلزات سنگین به جز آرسنیک در رسوبات سطحی بیش‌تر از مقادیر زمینه بودند.

جدول ۳- غلظت‌های فلزات در نمونه‌های آب و رسوبات سطحی

Table 3- Heavy metal concentrations in water and surface sediments.

غلظت عناصر بر حسب (ppb)					پارامتر مورد بررسی	
Al	Zn	Cd	Pb	As		
۲۰۸۵۶۹	۲۸۲۹۵	۳/۸۹	۳۸۸۷	۱۶۲۹۵/۴۰	بیش‌ترین مقدار	نمونه‌های رسوبات
۱۱۱۳۶	۵۷۱۱	۱/۰۵	۵۹۳	۳۶۵۷/۲۰	کم‌ترین مقدار	
۱۰۸۰۱۲	۱۳۰۵۱	۲/۲۵	۱۷۳۱	۹۳۱۵/۱۳	میانگین	
۱۰۶۰۶۴	۸۳۷۴	۲/۱۰	۸۵۸	۱۴۸۸۹/۰۶	میانگین مقادیر زمینه	
۱۷۱۳۲	۸۶۱	۰/۵۲	۳۷/۰۱	۱۲/۹۱	بیش‌ترین مقدار	
۱۱۱۲۱	۲۶۴	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۶۰	کم‌ترین مقدار	نمونه‌های آب
۱۳۵۸۴	۵۴۶	۰/۳۷	۱۴/۰۳	۶/۲۵	میانگین	
۱۳۷۹۶	۵۶۲	۰/۳۵	۱۲/۶۲	۶/۳۵	میانگین مقادیر زمینه	

- ارزیابی آلودگی

- عامل غنی‌شدگی

جهت تعیین میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین در اثر فعالیت‌های انسانی از شاخص EF استفاده شد (۸, ۲۲). EF برای هر عنصر بعد از نرمال‌سازی توسط عنصر Al محاسبه گردید (جدول ۴). براساس مطالعات Sakan و همکاران در سال ۲۰۰۹ مقادیر EF بین ۰-۱ به این معنی است که فلزات از پوسته زمین یا فرآیندهای طبیعی منشأ می‌گیرند. در حالی‌که مقادیر EF بیش‌تر از ۱/۵ اثر فعالیت‌های انسانی از قبیل صنعتی‌سازی، شهرسازی و دیگر منابع را نشان می‌دهند (۷, ۲۳). براساس نتایج حاصل، رسوبات رودخانه قشلاق از نظر وجود عناصر Zn و Pb در طبقه کیفی متوسط قرار دارد. از سوی دیگر، فلزات As و Cd حداقل غنی‌شدگی را در رسوبات رودخانه سبب شده‌اند. رسوباتی که به طور مستقیم از منطقه شاهد (ایستگاه‌های A۳, B۲ و B۱) برداشت شده‌اند، دارای

محتوای آرسنیک بالایی هستند. هم‌چنین مقدار میانگین EF برای فلز As نزدیک به ۱ است که نشان می‌دهد این فلز به طور طبیعی در محل وجود دارد (۱۸). سایر فلزات مورد بررسی دارای EF بیش‌تر از ۱/۵ هستند. میزان غنی‌شدگی رودخانه در رابطه با فلزات سنگین مورد بررسی به شرح روبه‌رو به دست آمد: $As < Cd < Zn < Pb$. اثر منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای از قبیل سرب موجود در بنزین و اثر حمل و نقل، رواناب‌های شهری و رسوبات اتمسفری (ایستگاه‌های A۲, A۳, C۱ و D۳) سبب افزایش حضور فلز سرب (۸, ۲۶-۲۴)، ورود فاضلاب شهرک‌های صنعتی و خانگی به درون رودخانه سبب افزایش فلز روی (ایستگاه‌های A۳, B۲, C۱ و D۳) و فعالیت‌های کشاورزی و اثر فاضلاب صنایع (ایستگاه‌های A۳, B۲, C۱, C۲, C۴ و D۳) هم سبب افزایش فلز کادمیوم در آب و رسوبات رودخانه شده‌است (۲۷).

جدول ۴- مقادیر EF برای هر یک فلزات سنگین مورد بررسی در رسوبات رودخانه قشلاق

Table 4- EF values for studied heavy metals in the Gheshlagh river sediment.

درجه غنی‌شدگی	EF (total)	EF				ایستگاه
		Zn	Cd	Pb	As	
غنی‌سازی متوسط	۳/۶۸	۰/۸۷	۱/۳۷	۱/۱۱	۰/۳۳	۱A
غنی‌سازی قابل توجه	۱۰/۴۲	۱/۱۵	۰/۹۳	۷/۶۲	۰/۷۲	۲A
غنی‌سازی بسیار زیاد	۲۹/۱۶	۷/۷۰	۵/۹۶	۱۱/۳۴	۴/۱۶	۳A
حداقل غنی‌سازی	۱/۵۱	۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۳۹	۴A
غنی‌سازی متوسط	۲/۷۵	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۵۶	۰/۶۵	۱B
غنی‌سازی قابل توجه	۱۱/۵۸	۲/۸۳	۲/۸۱	۳/۱۸	۲/۷۶	۲B
غنی‌سازی قابل توجه	۶/۸۴	۱/۷۶	۱/۴۱	۱/۹۵	۱/۷۲	۳B
غنی‌سازی متوسط	۲/۴	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۶۶	۴B
غنی‌سازی قابل توجه	۱۳/۷	۴/۴۶	۲/۴۷	۶/۰۸	۰/۶۹	۱C
غنی‌سازی قابل توجه	۸/۵۴	۲/۹۰	۲/۱۸	۲/۸۱	۰/۶۵	۲C
غنی‌سازی متوسط	۳/۷۶	۰/۹۷	۰/۷۸	۱/۸۰	۰/۲۱	۳C
غنی‌سازی قابل توجه	۶/۹۳	۲/۱۶	۱/۳۰	۲/۸۴	۰/۶۳	۴C
غنی‌سازی قابل توجه	۵/۴۵	۱/۷۳	۰/۹۰	۲/۵۰	۰/۳۲	۱D
غنی‌سازی متوسط	۲/۶۶	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۳۹	۲D
غنی‌سازی قابل توجه	۱۷/۷۵	۷/۳۰	۳/۳۳	۶/۲۳	۰/۸۹	۳D
غنی‌سازی قابل توجه	۵/۶۶	۲/۲۳	۰/۷۰	۲/۱۰	۰/۶۳	۴D
-	۲۹/۱۶	۷/۷	۶	۱۱/۳۴	۴/۱۶	بیش‌ترین مقدار
-	۱/۵۱	۰/۴۱	۰/۳	۰/۴۱	۰/۲۱	کم‌ترین مقدار
-	۸/۳۱	۲/۴۱	۱/۶۶	۳/۲۵	۰/۹۹	میانگین

- پتانسیل خطر اکولوژیک

ایستگاه‌ها دارای خطر اکولوژیک کم هستند، اما فلز کادمیوم در ایستگاه‌های A1، C2 و D3 (تحت تاثیر تردد جاده‌ای و منطقه تحت تاثیر پساب صنعتی و شهری) دارای خطر اکولوژیک متوسط است و از میان فلزات مورد بررسی Cd، بیش‌ترین خطر را برای انسان و اکوسیستم در منطقه دارد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از مطالعات Maanan و همکاران در سال ۲۰۱۵ هم‌خوانی دارد که نشان دادند ایستگاه‌های نزدیک به مرکز شهر، پتانسیل خطر اکولوژیک بالاتری را نشان می‌دهند و سایر مناطق پتانسیل خطر کم‌تری دارند (۷).

جدول (۵) شاخص PERI حاصل از ارزیابی هر یک از عناصر به تنهایی و جمع شاخص پتانسیل محیط‌زیستی را نمایش می‌دهد. پارامتر PERI، سمیت فلزات سنگین را بررسی می‌کند و پتانسیل خطر اکولوژیک را که با تجمیع سطوح آلاینده‌های مختلف برآورد می‌شود، تشریح می‌کند. میانگین مقادیر پتانسیل خطر اکولوژیک محیط‌زیستی (RI) برای تمامی ایستگاه‌ها کم است، به این معنی که مجموع فلزات مورد بررسی از نظر سمیت پتانسیل خطر کمی در منطقه مورد مطالعه دارند. براساس مقادیر E_r^i فلزات آرسنیک، سرب و روی در تمام

جدول ۵- نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه قشلاق

Table 5. Results of potential ecological risk assessment for heavy metals in Gheshlagh river surface sediments.

پتانسیل خطر اکولوژیک	RI	E_r^i				ایستگاه
		Zn	Cd	Pb	As	
کم خطر	۵۶/۴۳	۰/۹۶	۴۵/۶۰	۶/۱۷	۳/۷۱	۱A
کم خطر	۴۴/۱۸	۰/۶۸	۱۶/۶۰	۲۲/۶۵	۴/۲۵	۲A
کم خطر	۲۹/۹۴	۰/۸۱	۱۸/۸۰	۵/۹۶	۴/۳۷	۳A
کم خطر	۲۵/۶۲	۰/۶۹	۱۴/۹۵	۳/۴۶	۶/۵۳	۴A
کم خطر	۴۷/۲۶	۱/۰۳	۳۳/۲۸	۳/۸۹	۹/۰۶	۱B
کم خطر	۴۶/۲۰	۱/۰۰	۲۹/۸۲	۵/۶۲	۹/۷۶	۲B
کم خطر	۴۲/۲۹	۱/۰۴	۲۵/۲۰	۵/۸۱	۱۰/۲۴	۳B
کم خطر	۴۸/۲۴	۰/۹۱	۳۱/۷۱	۴/۶۸	۱۰/۹۴	۴B
کم خطر	۴۱/۰۲	۱/۵۷	۲۶/۲۲	۱۰/۷۶	۲/۴۶	۱C
کم خطر	۷۵/۳۵	۲/۴۶	۵۵/۴۹	۱۱/۸۹	۵/۵۱	۲C
کم خطر	۵۹/۰۶	۱/۶۱	۳۸/۸۴	۱۵/۰۳	۳/۵۷	۳C
کم خطر	۵۲/۲۰	۱/۸۲	۳۳/۰۸	۱۲/۰۱	۵/۲۹	۴C
کم خطر	۶۱/۱۷	۲/۴۰	۳۶/۹۳	۱۷/۳۴	۴/۵۰	۱D
کم خطر	۵۲/۴۲	۱/۶۷	۳۵/۰۷	۸/۱۰	۷/۵۸	۲D
کم خطر	۶۸/۲۲	۳/۳۸	۴۶/۳۰	۱۴/۴۳	۴/۱۱	۳D
کم خطر	۵۱/۷۶	۲/۸۷	۲۷/۰۹	۱۳/۵۷	۸/۲۲	۴D
-	۷۵/۳۵	۳/۳۸	۵۵/۴۹	۲۲/۶۵	۱۰/۹۴	بیش‌ترین مقدار
-	۲۵/۶۲	۰/۶۸	۱۴/۹۵	۳/۴۶	۲/۴۶	کم‌ترین مقدار
-	۵۰/۰۹	۱/۵۶	۳۲/۱۹	۱۰/۰۸	۶/۲۶	میانگین

(E_r^i): ریسک اکولوژیک برای هر یک از عناصر به تنهایی - (RI): پتانسیل ریسک اکولوژیک زیست محیطی

- شاخص آلودگی فلزات سنگین در آب

براساس نتایج به دست آمده در جدول (۶) میانگین مقادیر شاخص آلودگی فلزات برابر با $108/46$ و ماکزیمم مقدار HPI برابر است با $148/34$ و ایستگاه C۱ ماکزیمم شاخص آلودگی فلزات سنگین را نشان داده است. براساس این شاخص چنانچه مقادیر دارای $HPI > 100$ باشد، به عنوان سطوح غیرقابل قبول از نظر آلودگی فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شوند و در طبقه کیفی بحرانی قرار می‌گیرند (۱۸، ۱۹) و ایستگاه‌هایی که HPI

آن‌ها کمتر از ۱۰۰ باشد، به این معنا خواهد بود که آب از نظر آلودگی در سطح بحرانی قرار ندارد. براین اساس ایستگاه‌های A۱ تا C۱ به استثنای ایستگاه‌های A۴ و B۲ در سطح بحرانی قرار دارند و آلوده به فلزات سنگین هستند اما به سبب وجود جریان مناسب در آب رودخانه و توان خودپالایی رودخانه (فصل بررسی بهار بوده است)، غلظت فلزات سنگین ناشی از تخلیه فاضلاب در آب پس از طی مسیر کوتاهی کاهش می‌یابد (۱۸) و ایستگاه‌های C۲ تا D۳ عدم آلودگی را نشان می‌دهند.

جدول ۶- نتایج به دست آمده از ارزیابی درجه آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص HPI

Table 6- The results of heavy metal pollution rate assessment by HPI index.

ایستگاه	HPI	درجه آلودگی
۱A	۱۳۳/۶۸	آلوده
۲A	۱۴۴/۴۸	آلوده
۳A	۱۱۸/۴۹	آلوده
۴A	۸۲/۱۰	عدم آلودگی
۱B	۱۱۲/۷۱	آلوده
۲B	۷۵/۵۲	عدم آلودگی
۳B	۱۲۰/۶۰	آلوده
۴B	۱۱۷/۴۹	آلوده
۱C	۱۴۸/۳۴	آلوده
۲C	۱۰۹/۸۵	عدم آلودگی
۳C	۹۱/۹۰	عدم آلودگی
۴C	۸۶/۳۳	عدم آلودگی
۱D	۹۲/۲۶	عدم آلودگی
۲D	۹۱/۵۹	عدم آلودگی
۳D	۸۵/۵۷	عدم آلودگی
۴D	۱۲۴/۴۶	آلوده
میانگین	۱۰۸/۴۶	-
حداکثر	۱۴۸/۳۴	-
حداقل	۷۵/۵۲	-

تعیین منشاء فلزات سنگین در رسوبات رودخانه

- آنالیز هم‌بستگی

هم‌بستگی بین مقادیر فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب ممکن است منعکس‌کننده منبع ایجاد این آلودگی‌ها، نحوه پراکنش رسوبات حاوی این فلزات و یا بیان‌کننده شرایط پراکنش ثانویه فلزات سنگین در این نمونه‌ها باشد. عناصری که دارای هم‌بستگی بالایی هستند، امکان دارد دارای منابع

مشترک، شرایط مشابه فیزیکی و شیمیایی خاص در هنگام تبادل این فلزات و یا انتقال در طول مسیر حرکت باشد (۱۸). برای مشخص کردن میزان هم‌بستگی بین فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه‌های رسوب و آب ضریب هم‌بستگی پیرسون و اسپیرمن برحسب نرمال بودن و یا نرمال نبودن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت و نتایج در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- نتایج آنالیز همبستگی فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب در رودخانه قشلاق

Table 7. Results of correlation analysis for heavy metals in water and sediment samples from Gheshlagh river.

آب				رسوب				فلزات سنگین
Zn	Cd	Pb	As	Zn	Cd	Pb	As	
			۱				۱	As
		۱	۰/۰۸۹			۱	*-۰/۴۹۶	Pb
	۱	۰/۰۰۹	۰/۲۰۷		۱	۰/۱۴۴	۰/۰۸۷	Cd
۱	۰/۱۵۱	-۰/۰۸۶	-۰/۰۵۶	۱	**۰/۵۹۸	*۰/۵۶۱	-۰/۱۹	Zn

(* بیان‌گر همبستگی در سطح ۰/۰۵ و ** بیان‌گر همبستگی در سطح ۰/۰۰۱ است).

عنصر Cd از منابع کشاورزی ناشی می‌گردند (۱۸، ۲۹). در مطالعه دیگری که Zhou و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور کاربرد آنالیزهای چند متغیره به منظور شناسایی منابع فلزات سنگین در رسوب و آب در چین انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که پراکنش Cd و Pb در آب و رسوب دارای منبع مشترک‌اند و از طریق تاثیر بالای عامل لیتوژنیک کنترل می‌شوند و Zn از فعالیت‌های صنعتی حاصل می‌شود (۳۰).

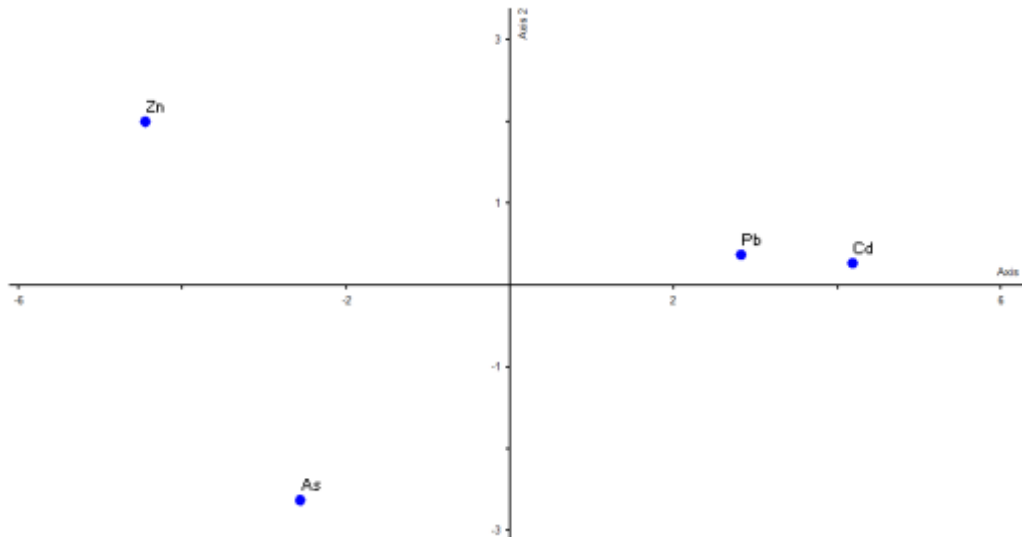
- نتایج ارزیابی داده‌ها با استفاده از PCA

آنالیز PCA برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر از منابع ایجاد آلودگی فلزات سنگین در رودخانه قشلاق به کار برده شد. نتایج حاصل از آزمون Kaiser-Meyer-Olkin برای آب و رسوب به ترتیب برابر با ۰/۴۶ و ۰/۵۵ بود و نیز نتایج آزمون Bartlett's برای آب و رسوب به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۰۲۷ به دست آمد. نتایج بیان‌گر این است که از بین داده‌های فلزات سنگین موجود در رسوب و آب، فقط داده‌های فلزات سنگین موجود در رسوب برای انجام آزمون PCA مناسب است. به عبارت دیگر، داده‌های فلزات سنگین موجود در آب دارای واریانس همگنی نبوده (Bartlett's) و همچنین احتمال این‌که این داده‌ها به گروه‌های کوچک‌تر (Kaiser-Meyer-Olkin) که نتیجه آزمون PCA می‌باشد تعلق داشته باشند، بسیار ناچیز است. لذا با توجه به نتایج آزمون‌های Kaiser-Meyer-Olkin و Bartlett's برای فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب در نقاط مختلف می‌توان گفت که تقریباً مقادیر این فلزات منتج از منبع خاصی نبوده و تمامی منابع ذکر شده دارای سهم یکسانی در میزان غلظت این عناصر است. لذا آزمون PCA

همان‌طور که جدول (۷) نشان می‌دهد، میزان غلظت فلز As با Pb در نمونه‌های رسوب دارای همبستگی منفی در سطح ۰/۰۵ است. غلظت فلزات Pb و Cd با غلظت فلز Zn در نمونه‌های رسوب دارای همبستگی مثبت به ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ است. این نتایج بیان‌گر آن است که منبع ایجاد فلزات As و Pb در نمونه‌های رسوب یکی نیست و از طرف دیگر فلزات Cd، Pb و Zn می‌تواند دارای منبع تولید مشترکی در نمونه‌های رسوب باشند. براساس مطالعاتی که توسط مجنونیان و همکاران در سال ۲۰۱۵ بر روی رودخانه قشلاق انجام گرفت، همبستگی مثبتی بین سرب و کادمیوم وجود داشت (۱۲). نتایج ضریب همبستگی بین فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب نشان می‌دهد که همبستگی بین غلظت این عناصر در نمونه‌های مختلف وجود ندارد که می‌تواند بیان‌گر این باشد که مناطق مختلف نمونه‌برداری شامل مناطق نزدیک جاده، مناطق دارای زمین‌های کشاورزی و سکونت‌گاه‌های روستایی، مناطق تحت اثر فاضلاب شهری و صنعتی و مناطق بعد از ورود فاضلاب شهری و صنعتی با فاصله یکسان تاثیر یکسانی بر روی میزان غلظت فلزات سنگین در آب داشته است. همان‌طور که نتایج ضریب همبستگی نشان می‌دهد، با استفاده از این ضریب فقط وجود و یا عدم وجود منبع تولید مشترک فلزات سنگین در آب و رسوب مشخص می‌شود و برای شناسایی دقیق‌تر منابع تولید باید از آزمون PCA استفاده کرد. براساس مطالعاتی که به منظور منشاء‌یابی فلزات سنگین در چین انجام شده است، مشخص شد که عناصر As و Pb دارای منابع مشترک‌اند و از فعالیت‌های معدنی و صنعتی حاصل می‌شوند (۱۸، ۲۸). از طرف دیگر مشخص شده است که عنصر Zn از منابع طبیعی و

تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در بین نمونه‌های رسوب نسبت به محوره‌های حاصل از آزمون PCA به دست آمد.

فقط برای داده‌های فلزات سنگین موجود در نمونه‌های رسوب جهت شناسایی منابع ایجاد این آلودگی‌ها به کار گرفته شد. بر این اساس ابتدا داده‌ها با استفاده از انحراف معیار هم وزن شد و



شکل ۲- نمودار PCA حاصل از داده‌های فلزات سنگین موجود در رسوب

Figure 2. Results of PCA for heavy metals in the sediment.

نشان می‌دهد این محور میزان گرادیان‌های محیطی را کم‌تر بیان می‌کند. برای شناسایی عوامل اثر گذار بر روی پراکنش فلزات سنگین در طول محوره‌های ۱ و ۲ باید میزان هم‌بستگی محوره‌های ۱ و ۲ مورد استفاده در آزمون PCA با محل‌های مختلف نمونه‌برداری به دست آید که در جدول (۹) نشان داده شده است.

در آزمون PCA محوره‌های ۱ و ۲ با مقادیر ویژه به ترتیب ۱۲/۹۸۴ و ۲/۷۸۸ به منظور توصیف نتایج به کار گرفته شدند. محور ۱ به تنهایی ۸۱/۱۴۹ درصد و محور ۲ نیز ۱۷/۴۲۳ درصد تغییرات را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از شکل (۲) نشان می‌دهد محور ۱ بیان‌گر اصلی گرادیان‌های محیطی است و تمام فلزات سنگین دارای پراکنندگی بر روی محور ۱ می‌باشند. فلزات Pb و Cd بر روی محور ۲ تقریباً در یک نقطه قرار گرفته‌اند که

جدول ۹- نتایج حاصل از آنالیز ضریب هم‌بستگی پیرسون مربوط به نمونه‌های رسوب

Table 9. Results of the Pearson correlation coefficient for sediment samples.

ضریب هم‌بستگی پیرسون		ایستگاه
محور ۲	محور ۱	
۰/۰۹۲	-۰/۹۹۶	۱A
-۰/۲۳۲	-۰/۸۶۲	۲A
-۰/۱۵۷	-۰/۹۸۷	۳A
-۰/۵۲۱	-۰/۸۵۲	۴A
-۰/۴۷۶	-۰/۸۷۷	۱B
-۰/۵۳۷	-۰/۸۴۳	۲B
-۰/۵۳۶	-۰/۸۴۳	۳B

۰/۶۲۴-	۰/۸۷۰-	۴B
۰/۵۱۴	۰/۸۵۸-	۱C
۰/۳۷۹-	۰/۹۲۴-	۲C
۰/۴۱۳	۰/۹۰۹-	۳C
۰/۲۶۶	۰/۹۶۴-	۴C
۰/۴۶۱	۰/۸۸۷-	۱D
۰/۰۳۰-	۰/۹۹۸-	۲D
۰/۵۲۲	۰/۸۳۲-	۳D
۰/۲۶۳	۰/۹۶۴-	۴D

ملاحظه‌ای کم‌تر از میانگین مقادیر زمینه برآورد شد. منابع فلزات سنگین از طریق سه منبع اصلی آنالیز هم‌بستگی، PCA و مقادیر EF قابل شناسایی می‌باشند. بر این اساس با توجه به نتایج، میزان غنی‌شدگی رودخانه از فلزات مورد مطالعه به شرح زیر کاهش یافته بود: $Pb < Zn < Cd < As$ و شاخص PERI درجه خطر کم را برای فلزات Pb ، As و Zn نشان داد، اما فلز Cd برای ایستگاه‌های A_1 ، C_2 و D_3 (تحت تاثیر تردد جاده-ای و منطقه تحت تاثیر پساب صنعتی و شهری) دارای خطر اکولوژیک متوسط بود. براساس نتایج حاصل از آنالیز هم‌بستگی، PCA و مقادیر EF، غلظت As بیش‌تر تحت تاثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه قرار دارد، میانگین مقادیر EF برای عنصر As ، برابر با $۰/۹۹$ است و مقدار میانگین EF برای فلز As نزدیک به ۱ می‌باشد، که نشان می‌دهد این فلز به طور طبیعی در محل وجود دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که آلودگی As در منطقه مورد مطالعه منشأ طبیعی دارد. گروه دوم عناصر شامل Pb ، Cd و Zn دارای منشأ انسانی (کشاورزی، حمل و نقل و فاضلاب مناطق مسکونی) می‌باشند. میانگین غلظت این سه عنصر بیش‌تر از مقادیر پس‌زمینه بودند و میانگین مقادیر EF برای عناصر Pb ، Cd و Zn به ترتیب برابر با $۳/۲۵$ ، $۱/۶۶$ و $۲/۴۱$ برآورد شد. براساس نتایج هر چهار منطقه نمونه‌برداری به یک اندازه در غلظت Pb و Cd تأثیر داشته است. محل قرار گرفتن Zn نسبت به محور ۲ آزمون PCA نشان می‌دهد که مناطق تحت تاثیر فاضلاب‌های مسکونی بیش‌ترین تأثیر را بر میزان غلظت آن داشته است.

همان‌طور که جدول (۹) نشان می‌دهد محور ۱ با تمام نقاط نمونه‌گیری دارای هم‌بستگی منفی است و محور ۲ با نقاط نمونه‌برداری از رسوب مناطق نزدیک جاده و مناطق دارای زمین‌های دیم و سکونت‌گاه‌های روستایی هم‌بستگی منفی دارد. این میزان هم‌بستگی منفی برای نقاط B بیش‌تر از A است. هم‌چنین محور ۲ با نقاط C و D که تحت تاثیر فاضلاب مناطق مسکونی است، هم‌بستگی مثبت دارد که تقریباً با توجه به ضریب‌های هم‌بستگی آن می‌توان گفت این میزان هم‌بستگی منفی در هر دو منطقه C و D با هم یکسان است. با توجه به محل قرار گرفتن فلزات سنگین نسبت به محورهای ۱ و ۲ در شکل (۲) و هم‌چنین هم‌بستگی نقاط نمونه‌برداری با محورهای ۱ و ۲ در جدول (۹) می‌توان گفت که میزان غلظت As بیش‌تر تحت تاثیر منطقه B (تحت تاثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه) است که دارای زمین کشاورزی دیم و سکونت‌گاه‌های روستایی می‌باشد. غلظت Pb و Cd در میانه محور ۲ قرار گرفته و می‌توان گفت هر چهار منطقه نمونه‌برداری به یک اندازه در غلظت آن‌ها تأثیر داشته است. محل قرار گرفتن Zn نسبت به محور ۲ آزمون PCA نشان می‌دهد که مناطق تحت تاثیر فاضلاب‌های مسکونی بیش‌ترین تأثیر را در میزان غلظت Zn داشته است.

جمع بندی

در این مطالعه ارزیابی خطر اکولوژیک و شناسایی منابع سرب، آرسنیک، کادمیوم و روی درآب و رسوبات سطحی رودخانه قشلاق سنندج مورد بررسی قرار گرفت. میانگین غلظت یک گروه از عناصر شامل Pb ، Cd و Zn بیش‌تر از مقادیر زمینه (شاهد) بودند، در صورتی که میانگین غلظت As به طور قابل

- heavy metals in the river estuarine sediments-A case study:Mahanadi basin, India. Journal of Hazardous Materials, Vol. 186(2), pp. 1837-1846.*
7. Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O., Zourarah, B., 2015. *Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecological Indicators, Vol. 48 ,pp. 616-626.*
 8. Islam, MS., Ahmed, MK., Raknuzzaman, M., Mamun, MH, Islam, MK., 2015. *Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. Ecological Indicators, Vol. 48 ,pp. 282-291.*
 9. Paramasivam, K., Ramasamy, V., Suresh, G., 2015. *Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai river, Tamilnadu, India. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, Vol. 137, pp. 397-40.*
 10. Shi, H., Sun, Y., Zhao, X., Qu, B., 2013. *Influence on sorption property of pb by fractal and site energy distribution about sediment of Yellow River. Procedia Environmental Sciences, Vol. 18, pp. 464-471.*
 11. Shanbehzadeh, S., Dastjerdi, M. V., Hassanzadeh, A. and Kiyanzadeh, T., 2013. *Investigation of Heavy Metals in water and sediment on Massjed soleymanTembi river before and after of wastewater entrance. scintific research journal of health system research, Vol. 9 (10). (In Persian)*
- ### Reference
1. Horowitz, A. J., Elrick, K. A., 1988. *Interpretation of bed sediment trace metal data: methods for dealing with the grain size effect. Chemical and biological characterization of sludges, sediments dredge spoils, and drilling muds. ASTM STP, Vol. 976 , pp. 114-128.*
 2. Yang, L., Shen, J., Zhang, Z., Sun, Q., Yuxin, Z., 2003. *Distribution and ecological risk assessment for heavy metals in superficial sediments of Nansihu Lake. Journal of Lake Sciences, Vol. 15 , pp. 252-256.*
 3. Yang, Y., Chen, F., Zhang, L., Liu, J., Wu, S., Kang, M., 2012. *Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf. Marine Pollution Bulletin, Vol. 64(9),pp. 1947-1955.*
 4. Staley, C., Johnson, D., Gould, T. J., Wang, P., Phillips, J., Cotner, J. B., Sadowsky, M. J., 2015. *Frequencies of heavy metal resistance are associated with land cover type in the upper Mississippi river. Science of The Total Environment, Vol. 511 ,pp. 461-468.*
 5. Rahman, M. A., Hogan, B., Duncan, E., Doyle, C., Krasso, R., Rahman, M. M., Naidu, R., Lim, R. P., Maher, W. and Hassler, C., 2014. *Toxicity of arsenic species to three freshwater organisms and biotransformation of inorganic arsenic by freshwater phytoplankton (Chlorella sp. CE-35). Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 106, 126-135.*
 6. Sundaray, S.K., Nayak, B.B., Lin, S., Bhatta, D., 2011. *Geochemical speciation and risk assessment of*

19. Reza, R., Singh, G., 2010. *Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. Journal of Environmental Science & Technology, Vol. 7(4), pp 785-792.*
20. Abdullah, E. J., 2013 *Evaluation of Surface Water Quality Indices for Heavy Metals of Diyala River-Iraq Journal of Natural Sciences Research, Vol. 3 (8), 63-69.*
21. Jongman, RHG., Ter. Break, CJF., Van Tongeren, OFR., 1987. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Center Fire Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.*
22. Selvaraj, K., Mohan, V.R., Szefer, P., 2004. *Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. Marine Pollution Bulletin, Vol. 49(3), pp. 174-185.*
23. Sakan, S.M., Djordjevic, D.S., Manojlovic, D.D., Predrag, P.S., 2009. *Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. Journal of Environmental Management, Vol. 90(11), pp. 3382-3390.*
24. Mohiuddin, K.M., Otomo, K., Ogawa, Y., Shikazono, N., 2012. *Seasonal and spatial distribution of trace elements in the water and sediments of the Tsurumi River in Japan. Environmental monitoring and assessment, Vol. 184(1), pp. 265-279.*
25. Mukai, H., Tanaka, A., Fujii, T., Nakao, M., 1994. *Lead isotope ratios of airborne particulate matter as tracers of long-range transport of air pollutants around Japan. Journal of*
12. Majnoni, F., Alipour, H., Hassanpour, M., Banagar, G., Ajorlo, M., 2015. *Assessment of Cd, Cr and Pb Pollution in Sediment and Water of Gheshlagh River, Iran, in September 2013. Iranian Journal of Toxicology, Vol. 9 ,pp. 1264- 1270.*
13. JafariSalim, B., Bidhendi, G. N., Salemi, A., Taheryioun, M. & Ardestani, M., 2009. *Water quality assessment of gheshlagh river using water quality indices. Environmental Sciences, Vol.6 (4), 19-28. [In Persian]*
14. usEPA, United States Environmental Protection Agency method study 3050B. *Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2). 1996.*
15. Huang, P., Li, T.G., Li, A.C., Yu, X. K., Hu, N. J., 2014. *Distribution, enrichment and sources of heavy metals in surface sediments of the North Yellow Sea. Continental Shelf Research, Vol. 73, pp. 1-13*
16. Kartal, Ş., Aydın, Z., Tokaloğlu, Ş., 2006. *Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. Journal of Hazardous Materials, Vol. 132(1) ,pp. 80-89.*
17. Hakanson, L., 1980. *An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. Water Research, Vol. 14(8) ,pp. 975-1001.*
18. Wang, Y., Yang, L., Kong, L., Liu, E., Wang, L., Zhu, J., 2015. *Spatial distribution, ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediments from Dongping Lake, Shandong, East China. CATENA, Vol. 125 ,pp.200-205.*

- fluoride concentrations of shallow groundwater from the town of Shahai in the Hetao basin, Inner Mongolia. Applied Geochemistry, Vol. 27, pp. 2187-2196.*
29. Martín, J.A.R., Arias, M.L., Corbí, J.M.G., 2006. *Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geochemical methods to study spatial variations. Environmental Pollution, Vol. 144(3), pp. 1001-1012.*
30. Zhou, J., Ma, D., Pan, J., Nie, W., Wu, K., 2008. *Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in Yangzhong, China. Environmental Geology, Vol. 54, pp. 373-380.*
- Geophysical Research, Vol. 99, pp. 3717-3726.*
26. Shikazono, N., Tatewaki, K., Mohiuddin, K.M., Nakano, T., Zakir, H.M., 2012. *Sources, spatial variation and speciation of heavy metals in sediments of the Tamagawa River in Central Japan. Environmental geochemistry and health, Vol. 34(1), pp. 13-26.*
27. Rajaei, Q., Hasanpour, M. and Mehdinejad, M. H., 2012. *Heavy Metals Concentration (Zinc, Lead, Chrome and Cadmium) in Water and Sediments of Gorgan Gulf and Estuarine Gorganroud River, Iran. Scientific Research Journal of Health System Research, Vol. 8, 748-756. (In Persian)*
28. Guo, H., Zhang, Y., Xing, L., Jia, Y., 2012. *Spatial variation in arsenic and*