

## بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه بهمنشیر آبادان

فاطمه راست منش<sup>۱\*</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۲</sup> و معصومه طولابی<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول، استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز F.rastmanesh@scu.ac.ir

<sup>۲</sup> استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۶

### چکیده

در سال‌های اخیر آلودگی فلزی در محیط‌زیست آبی به علت سمیت، فراوانی و پایداری در محیط، توجه جهان را به خود جلب کرده است. این تحقیق به منظور تعیین غلظت، منشأ و سمیت فلزات سنگین (کروم (Cr)، مس (Cu)، روی (Zn)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، آرسنیک (As)، منگنز (Mn)، و آهن (Fe)) در رسوبات بستر رودخانه بهمنشیر انجام شده است. در این مطالعه تعداد ۱۴ نمونه رسوب سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری رسوبات کف بستر با نمونه‌گیر گرب برداشته شد. جهت تعیین غلظت فلزات سنگین از دستگاه ICP-OES استفاده شد. پارامترهای فیزیکی شیمیایی رسوبات (اسیدیته (pH) و مواد آلی) توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. به منظور ارزیابی آلودگی رسوبات به فلزات سنگین شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی، خطر بوم‌شناختی، و پتانسیل سمناکی حد محاسبه شد. نتایج، آلودگی متوسط رسوبات به فلزات نیکل و کروم؛ و سطح خطر کم رسوبات را نشان داد. تحلیل‌های آماری انجام شده نشان می‌دهد که فلزات مس، روی، سرب و کروم دارای منشأ انسانی؛ آرسنیک ناشی از منابع زمین‌زاد؛ و نیکل دارای هر دو منشأ انسانی و زمین‌زاد است.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، محیط‌زیست آبی، رسوبات رودخانه بهمنشیر.

### Investigation of enrichment, toxicity and ecological risk of heavy metals in Bahmanshir River surface sediments

F. Rastmanesh<sup>1\*</sup>, A.R. Zarasvandi<sup>2</sup> and M. Toolabi<sup>3</sup>

1\* - Corresponding Author, Assistant Professor, College of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2- Professor, College of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- M.Sc. Student of Environmental Geology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 7 November 2015

Accepted: 10 April 2016

### Abstract

In recent years, metal contamination in the aquatic environment has attracted global attention owing to its environmental toxicity, abundance and persistence. This study was carried out to determine the concentration, origin and toxicity of heavy metals (Fe, Mn, As, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr) in surface sediments of Bahmanshir River. 14 surface sediment samples (0-10 cm) were collected using a grab sampler. Concentration of heavy metals was measured using ICP-OES method. Physico-chemical parameters (pH, Organic Matter (OM)) of sediment were determined by standard methods. In order to assess sediment contamination to heavy metals, different indices, Enrichment Factor, Potential acute toxicity and Ecological risk were calculated. The results showed moderate contamination of sediment with metals of Ni and Cr<sup>6+</sup> and low risk level of sediments. The Statistical analysis showed that metals Pb, Zn, Cu, Cr may have originated from anthropogenic sources; As can originate from natural process and Ni seems to have both natural and anthropogenic sources.

**Keywords :** Heavy metals, Aquatic environment, Bahmanshir river sediments.

مؤثر باشد) فورسترن و سالومونز<sup>۱۱</sup>، ۱۹۸۰؛ فیدو و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۱۹۹۶). بسیاری از محققین دریافته‌اند که غلظت فلزات سنگین در رسوبات حساسیت بیشتری نسبت به مواد دیگر دارد (موتیا و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۲). حضور غلظت بالایی از فلزات سنگین به‌ویژه در رسوبات، می‌تواند نشانگر خوبی از آلودگی انسانی باشد. مطالعه زمین‌شیمیایی رسوبات سطحی و مغزه‌های رسوبی در ارزیابی آلودگی، تغییر شرایط آب و هوایی و انباشت و تحرک عناصر کمیاب در رسوبات محیط‌های آبگین کاربرد دارد (احمد و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۰). بنابراین آنالیز غلظت فلزات سنگین و توزیع آن‌ها در رسوبات امری ضروری است.

#### منطقه مورد مطالعه

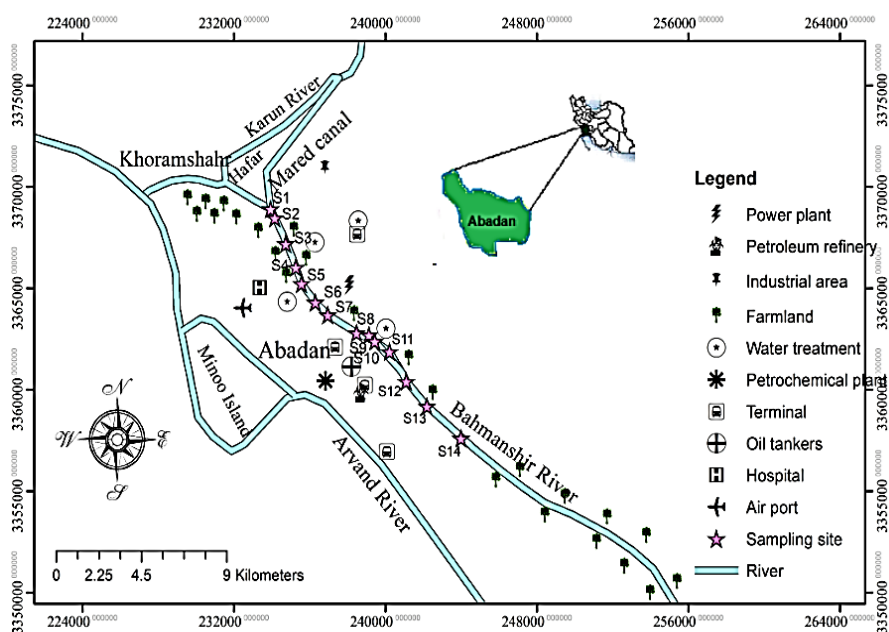
رودخانه بهمنشیر به طول ۸۰ کیلومتر در منتهی‌الیه جنوب غربی ایران واقع گردیده است. این رودخانه از انشعابات رودخانه کارون بوده که در حدفاصل جزیره آبادان و خرمشهر (محلی به نام حفار) منشعب شده است. رودخانه بهمنشیر تحت تأثیر الگوی جزر و مد خلیج فارس قرار دارد. جزر و مد در خلیج فارس از نیم‌روزانه تا روزانه متغیر است. جزر و مد رودخانه بهمنشیر حالت نیم‌روزانه دارد. عرض این رودخانه در حدود ۲۰۰ متر بوده و در نزدیکی دهانه به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۵). یکی از جدی‌ترین معضلات رودخانه بهمنشیر در طی سال‌های اخیر، گسترش ورود منابع آلاینده به آن است. منابع آلاینده رودخانه بهمنشیر شامل سه بخش کشاورزی، شهری و صنعتی است که عمده‌ترین آلودگی‌ها به‌وسیله زهکش‌ها و پساب‌های کشاورزی و خروجی فاضلاب شهری ایجاد می‌شود. به دلیل عدم وجود تأسیسات تصفیه فاضلاب می‌توان مهم‌ترین منبع آلاینده رودخانه بهمنشیر را خروجی فاضلاب شهری و مجاری روباز عنوان نمود. به‌طوری‌که هم‌اکنون فاضلاب انسانی شهرهای خرمشهر و آبادان و بخشی از روستاهای این دو شهر بدون تصفیه به رودخانه بهمنشیر وارد می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱). از آنجایی‌که ماهی‌های این رودخانه بخشی از غذای ساکنین این مناطق را تأمین می‌کند، مطالعه این رودخانه جهت رفع آلودگی‌ها و برای مدیریت بهتر آن امری ضروری است. هدف از این مطالعه ارزیابی آلودگی رسوبات رودخانه بهمنشیر به فلزات سنگین و تشخیص منابع احتمالی این فلزات و نیز تعیین درجه آلودگی رسوبات به فلزات سنگین است.

#### مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی فلزی در محیط‌زیست آبی به علت سمیت، فراوانی و پایداری در محیط، توجه جهان را به خود جلب کرده است (سین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ آرمیتاژ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷؛ یوان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). نیاز به درک بهتر رفتار محیط‌های شهری و نتایج زندگی در آن با این حقیقت که ۴۷ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند به‌خوبی توجیه می‌شود (میگوئل و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). یکی از مواردی که در بررسی آلودگی‌های محیط شهری مورد توجه زیادی قرار گرفته است، رودخانه‌های شهری است که فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها از منابع مختلف وارد آن‌ها می‌شوند (مر و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه به علت استقرار مناطق شهری و روستایی و تمرکز واحدهای صنعتی در اطراف رودخانه‌ها، این بوم سامانه‌ها به‌شدت در معرض ورود آلاینده‌های فلزی قرار دارند. سطح آلودگی فلزات سنگین در مناطق شهری معمولاً بیشتر از مناطق روستایی است (کواشیک و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹؛ محی‌الدین و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱) فلزات سنگینی که توسط منابع طبیعی و انسانی به درون سیستم رودخانه‌ای تخلیه شده‌اند در طول انتقال، بین فازهای آبی و رسوبات بستر توزیع می‌شوند (سین و همکاران، ۲۰۰۱). به دلیل جذب، هیدرولیز و ته‌نشینی، تنها بخش کوچکی از یون‌های فلزی آزاد به‌صورت حل‌شده در آب باقی می‌ماند و مقدار زیادی از آن‌ها در رسوبات نهشته می‌شوند (گوار و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). رسوبات رودخانه‌ای از حمل‌کننده‌های اصلی فلزات سنگین در محیط‌زیست آبی به شمار می‌روند، هم‌چنین ترکیبی از چندین گونه کانیایی و مواد آلی هستند که به‌عنوان مصرف‌گانه نهایی برای تخلیه فلزات سنگین به درون محیط‌زیست عمل می‌کنند (بتینتی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۳؛ عباس و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۹). فلزات سنگین از طریق نشست جوی، آب ریزهای فاضلاب، رودخانه‌های شهری و رواناب‌های صنعتی و کشاورزی وارد محیط‌زیست آبی شده، جذب می‌شوند و در رسوبات باقی می‌مانند؛ درنهایت نیز از طریق زنجیره غذایی وارد بدن موجودات می‌شوند (چنگ و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۳). خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند در شناسایی و تفسیر منبع آلودگی بسیار

- 1- Sin et al.
- 2- Armitage et al.
- 3- Yuan et al.
- 4- Miguel et al.
- 5- Kaushik et al.
- 6- Mohiuddin et al.
- 7- Guar et al.
- 8- Bettinentti et al.
- 9- Abbas et al
- 10- Cheng et al.

- 11-Forstner and Salomons
- 12- Fedo et al.
- 13- Mutia et al.
- 14-Ahmad et al .



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری شده از رسوبات رودخانه بهمنشیر

والکلی و بلاک<sup>۲</sup> اندازه گیری شد (تریودی و گل<sup>۳</sup>، ۱۹۸۴) لازم به ذکر است جهت ارزیابی دقت آنالیزهای شیمیایی نمونه های تکراری نیز به آزمایشگاه فرستاده شدند. شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه برداری شده را در طول رودخانه بهمنشیر نشان می دهد.

### ارزیابی آلودگی رسوبات به فلزات سنگین ضریب غنی شدگی (EF)<sup>۴</sup>

ضریب غنی شدگی بیانگر شدت تأثیر عوامل خارجی بر رسوبات است. رابطه ضریب غنی شدگی طبق معادله زیر است:

$$EF = \frac{\text{شیل (آلومینیوم/فلز)}}{\text{رسوب (آلومینیوم/فلز)}} \quad (1)$$

فلز (رسوب)، غلظت فلز در نمونه رسوب و فلز (شیل)، غلظت همان فلز در شیل میانگین می باشد. AI فلزی است که در اثر هوازدگی به راحتی در رسوبات قرار می گیرد. در این تحقیق عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر هنجار ساز جهت جداسازی آلودگی های انسانی و زمین زاد بکار برده شده است. آلومینیوم عنصری است که به فراوانی

### مواد و روش ها

#### نمونه برداری، آماده سازی و روش آنالیز نمونه ها

در این مطالعه تعداد ۱۴ نمونه رسوب سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متر در فصل بهار و در زمان مد با یک نمونه گیر گرب از بستر رودخانه جمع آوری شد. موقعیت نقاط نمونه برداری با دستگاه موقعیت یاب جهانی ثبت شد. نمونه های گرفته شده در کیسه های پلی اتیلن نگه داری شده و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. بعد از خشک شدن و کوبیدن در هاون چینی، نمونه های پودر شده از الک کوچک تر از ۶۳/۰ میکرون (جهت تعیین غلظت فلزات) و از الک کوچک تر از ۲ میلی متر (جهت تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی) عبور داده شدند. در نهایت نمونه ها جهت تعیین غلظت کل فلزات توسط دستگاه ICP-OES به آزمایشگاه زر آزمایش تهران و برای تعیین پارامترهای فیزیکی شیمیایی مواد آلی و اسیدینگی (pH) به آزمایشگاه زاگرس آبشناس شیراز ارسال گردیدند. جهت تعیین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه توسط دستگاه ICP-OES از روش هضم اسیدی با اسیدهای هیدروفلوریک اسید، سولفوریک اسید، نیتریک اسید و پرکلریک اسید استفاده شد (ساکان و همکاران<sup>۱</sup>، 2009). مقادیر اسیدیته نمونه ها توسط یک pH سنج با نسبت ۲:۱ رسوب به آب مقطر، و میزان مواد آلی توسط روش استاندارد

2- Walkley and Black

3 - Trivedi and Goel

4- Enrichment Factor

1- Sakan et al.

راست منش و همکاران: بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات...

### خطر بوم‌شناختی<sup>۱۰</sup>

فاکتور خطر بوم‌شناختی بالقوه توسط هاکانسون<sup>۱۱</sup> (۱۹۸۰)، بر اساس خصوصیات و رفتار زیست‌محیطی فلزات پیشنهاد شد. در این مطالعه برای ارزیابی پتانسیل خطرات بوم‌شناختی فلزات سنگین رودخانه بهمنشیر از این فاکتور که بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود استفاده شده است:

$$C_f^i = C_D^i / C_R^i E_r^i = T_r^i \times C_f^i RI = \sum E_r^i \quad (4)$$

که در اینجا  $C_D$  غلظت اندازه‌گیری شده فلز در رسوب،  $C_R^i$  غلظت زمینه فلز  $E_r^i$  مجموع همه عوامل خطر برای فلزات سنگین در رسوبات،  $E_r^i$  خطر بوم‌شناختی هر فلز و  $T_r^i$  فاکتور پاسخ سمناکی فلز  $i$  است که برای  $Zn=1, Pb=5, Cu=5, Cr=2, Ni=2, As=10$  است. هم‌چنین شاخص خطر بوم‌شناختی بالقوه برای فلزات سمی را می‌توان با استفاده از فرمول  $RI$  محاسبه کرد (هاکانسون، ۱۹۹۸). تفسیر مقادیر  $E_r^i$  و  $RI$  به‌صورت زیر انجام می‌شود:  $E_i > 40$  نشان‌دهنده شدت خطر کم،  $80 > E_i > 40$  خطر متوسط،  $160 > E_i > 80$  خطر زیاد،  $320 > E_i > 160$  خطر خیلی زیاد و  $E_i > 320$  خطر ناک است. هم‌چنین رده‌بندی  $RI$  به‌صورت زیر است:  $RI < 150$  نشان‌دهنده خطر کم،  $150 < RI < 300$  خطر متوسط،  $300 < RI < 600$  خطر زیاد و  $RI > 600$  خطر خیلی زیاد است.

### روش‌های آماری مورد استفاده برای تحلیل داده‌ها

جهت انجام تحلیل‌های آماری در این تحقیق ابتدا با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها تأیید شد، و سپس ضریب همبستگی، مؤلفه اصلی و آنالیز خوشه‌ای توسط نرم‌افزار اسپس پی اس اس نسخه ۱۶ انجام شد.

### نتایج و بحث

#### غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین  $Fe, Mn, As, Cu, Ni, Cr, Pb, Zn$  همراه مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی از جمله شیل میانگین، میانگین پوسترهای و رسوبات جهانی در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس جدول ارائه شده، میانگین غلظت کل این فلزات به ترتیب زیر کاهش یافته است:  $Fe > Mn > Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > As$  میانگین غلظت کل فلزات آهن، آرسنیک، منگنز، روی، سرب و مس از غلظت آن‌ها در شیل میانگین و رسوبات جهانی کمتر بود. هم‌چنین در مقایسه با

10- Ecological risk  
11- Hakanson

در پوسته حضور دارد و به‌ندرت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد (جیاوی و همکاران، ۲۰۱۴).

مقادیر  $EF$  کمتر از ۱/۵ نشان‌دهنده نقش عوامل طبیعی و فرایند هوازدگی، (ژانگ و لیو، ۲۰۰۲؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰۴) و  $EF$  بیشتر از ۱/۵ نشان‌دهنده سهم عوامل انسانی در غنی‌شدگی رسوبات به فلزات است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۴). تفسیر مقادیر  $EF$  به‌صورت زیر انجام می‌شود:

$EF \leq 2$  نشان‌دهنده غنی‌شدگی کم؛  $2 < EF \leq 5$  غنی‌شدگی متوسط؛  $5 < EF \leq 20$  غنی‌شدگی قابل توجه؛  $20 < EF \leq 40$  غنی‌شدگی خیلی بالا؛ و  $EF > 40$  غنی‌شدگی بسیار بالا است (بوات منراد و چسلت، ۱۹۷۹).

### پتانسیل سمناکی حاد<sup>۹</sup>

پتانسیل سمناکی حاد ( $\sum TU$ ) آلاینده‌ها در نمونه رسوب را می‌توان به‌صورت مجموع واحدهای سمی برآورد کرد که در آن واحد سمناکی  $TU^1$  (به‌صورت نسبت غلظت هر فلز به سطح  $PEL^2$  (سطح اثرات احتمالی) آن است.

$$TU = \text{سطح اثرات احتمالی} / \text{فلز} = \text{واحد سمناکی} \quad (2)$$

سطح اثرات احتمالی در واقع سطحی از استانداردهای کیفی رسوب کانادا است که جهت بیان وضعیت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین استفاده می‌شود و غلظت بیشتر از این سطح اثرات زیان‌آوری برای اکوسیستم به همراه دارد. مقادیر  $PEL$  برای فلزات مورد مطالعه به‌صورت زیر خواهد بود (جومی و ناندینی، ۲۰۰۹):

$$Pb=112, Ni=42.7, Cu=108, Cr=160, As=41.6, Zn=271$$

$\sum TU$  را می‌توان برای ارزیابی سمناکی حاد ترکیب چند فلز در نمونه رسوب مورد استفاده قرارداد (رابطه ۳). در صورتی که  $\sum TU < 4$  باشد نشان‌دهنده نبودن سمناکی و در صورتی که  $\sum TU > 6$  باشد نشان‌دهنده سمناکی حاد است (پدرسن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$\sum TU = TUPb + TUCu + TUZn + \dots \quad (3)$$

1- Jiawei *et al.*  
2 - Zhang and Liu  
3 - Feng *et al.*  
4- Buat-Menard and Chesselet  
5 - Potential acute Toxicity  
6 - Toxicity unit  
7- Probable Effects Level  
8 - Jumbe and Nandini  
9- Pedersen *et al.*

نسبت داده می‌شود. غلظت عناصر آهن و منگنز نیز به‌عنوان مهم‌ترین کلوئیدهای کنترل‌کننده تحرک فلزات سنگین حائز اهمیت است.

#### پارامترهای فیزیکی شیمیایی در نمونه‌های رسوب

جدول (۱) مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی نمونه‌های رسوب رودخانه بهم‌شیر را نشان می‌دهد که بر اساس آن گستره مقادیر pH بین (۷/۹۹-۸/۲۶) با میانگین (۸/۰۷) است. مقادیر pH یکی از شاخص‌های مهم کیفیت محیط‌زیست و درجه آلودگی در سیستم‌های آبی است. (سینگ و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۵). رودخانه بهم‌شیر در کل از نظر اسیدیته در محدوده کمی قلیایی قرار گرفته است، مقادیر pH در حلالیت فلزات سنگین در آب و رسوبات بسیار مؤثر است. در واقع با افزایش pH، جذب و ته‌نشینی فلزات در محیط بیشتر می‌شود و با کاهش آن پیوند بین فلزات ضعیف شده و این امر مانع نگهداری فلزات توسط رسوبات می‌گردد (بلزلی و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۴). در رودخانه‌هایی که pH آن‌ها در محدوده ۷/۸ تا ۸/۵ است تحرک فلزات در فاز رسوبی محدود است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج نشان می‌دهد که به علت مقادیر تقریباً یکسان pH در تمامی نمونه‌ها این عامل تأثیر چندانی در میزان غلظت فلزات سنگین نداشته است. مقدار مواد آلی یک مؤلفه مهم بزرگ در رسوبات است، داشتن میزان متوسطی از مواد آلی در ایستگاه‌ها منجر به تجمع میزان متوسطی از فلزات سنگین در آن‌ها می‌شود. بنابراین مواد آلی ظرفیت نگهداری ویژه‌ای برای فلزات سنگین دارند (الیت و گاروود<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۱). گستره مواد آلی در این مطالعه بین (۴/۳-۱/۱۲) با میانگین (۲/۰۲) است. همان‌طور که جدول (۲) نشان می‌دهد ایستگاه شماره ۸ بیشترین درصد مواد آلی را داشته است، که احتمالاً به علت استفاده کشاورزان از کودهای شیمیایی و وجود فاضلاب‌های خانگی و شهری و یا قرار گرفتن این ایستگاه در نزدیک نیروگاه برق و یا رسوبات آلوده به نفت مخازن نفت باشد.

میانگین پوسته‌ای میانگین غلظت کل همه این فلزات به‌جز آرسنیک کمتر بود. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت کل نیکل و کروم در مقایسه با شیل میانگین، رسوبات جهانی و میانگین پوسته‌ای بیشتر است. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس این روند بیشترین غلظت فلزات روی، مس و سرب مربوط به ایستگاه ۸ است؛ بیشترین مقدار کروم مربوط به ایستگاه‌های ۸، ۱۲ و ۱۴، و بیشترین مقدار نیکل مربوط به ایستگاه‌های ۸، ۵ و ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه است. بیشترین مقدار فلز آرسنیک نیز متعلق به ایستگاه ۵ است. غلظت بالای نیکل ممکن است به علت سوختن سوخت‌های فسیلی (رومیک و رومیک<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳) در نیروگاه برق، منابع طبیعی، فاضلاب خانگی و شهری (هاوایی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷)، تخلیه پساب تصفیه‌خانه‌ها، پساب مجتمع صنعتی، مخازن نفت (عبدالله پور مونیخ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲)، وجود تعمیرات لنج و استفاده از رنگ‌های ضدزنگ برای کشتی‌ها و تخلیه مخازن نگهداری روغن و مواد سوختی باشد؛ همچنین غلظت بالای کروم احتمالاً ناشی از فاضلاب شهری، خانگی و کشاورزی (نیرمانجو و سوچاتا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳) و پساب مجتمع صنعتی و تعمیرات لنج در نواحی پایین‌دست رودخانه است. منبع اصلی سرب در محیط شهری می‌تواند بنزین سرب‌دار، رواناب شهری (موکای و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴؛ شیکازونو و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲) گسیل ترافیک (کارتال و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۶) و باتری‌ها و حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها (دیکسیت و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۵) باشد. سرب رایج‌ترین فلز سنگین موجود در فاضلاب است (آکپور و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴) و می‌تواند تشکیل گونه‌های کم‌تحرک را بدهد و سرانجام در رسوبات کف بستر نهشته شود (لاکسن و هریسون<sup>۱۰</sup>، ۱۹۸۳) استفاده از کودهای مایع و مواد کمپوست شده (پاراماسیوام و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۵) و فاضلاب‌های تصفیه نشده (سرمه و لاگروست<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۲) نیز می‌تواند منبع مهمی برای فلز روی باشد. غلظت بالای مس در ایستگاه ۸ نیز به دفع پسماندها در حاشیه رودخانه، پساب شهری و زهاب کشاورزی (وو و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۸) و فعالیت صنعتی (شپرد و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۰)

- 1- Romic and Romic
- 2- Hawa Bibi *et al.*
- 3- Abdolapur Monikh *et al.*
- 4- Nair Manju, and Sujatha
- 5- Mukai *et al.*
- 6- Shikazono *et al.*
- 7-Kartal *et al.*
- 8- Dixit *et al.*
- 9 -Akpor *et al.*
- 10- Laxen and Harrison
- 11- Paramasivam *et al.*
- 12- Sorme and Lagerkvist
- 13- Wu *et al.*
- 14- Sheppard *et al.*

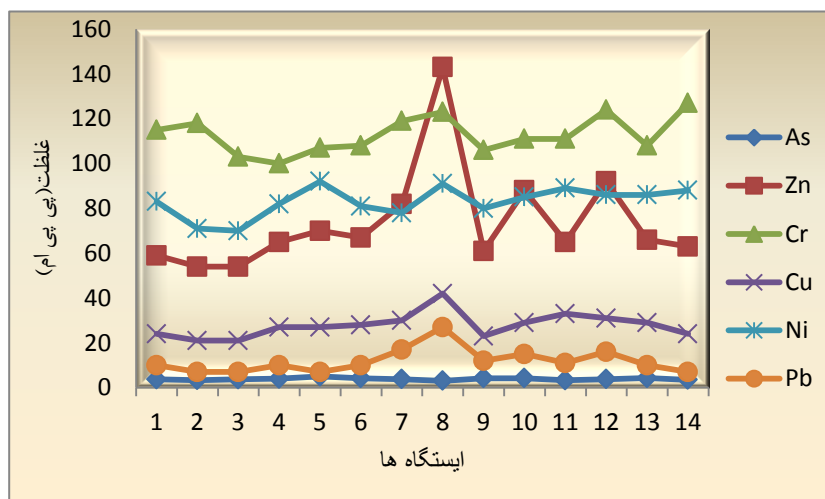
- 15- Singh *et al.*
- 16- Belzile *et al*
- 17- Elith and Garwood

راست منش و همکاران: بررسی غنی شدگی، سمناسکی و خطر بوم‌شناختی فلزات...

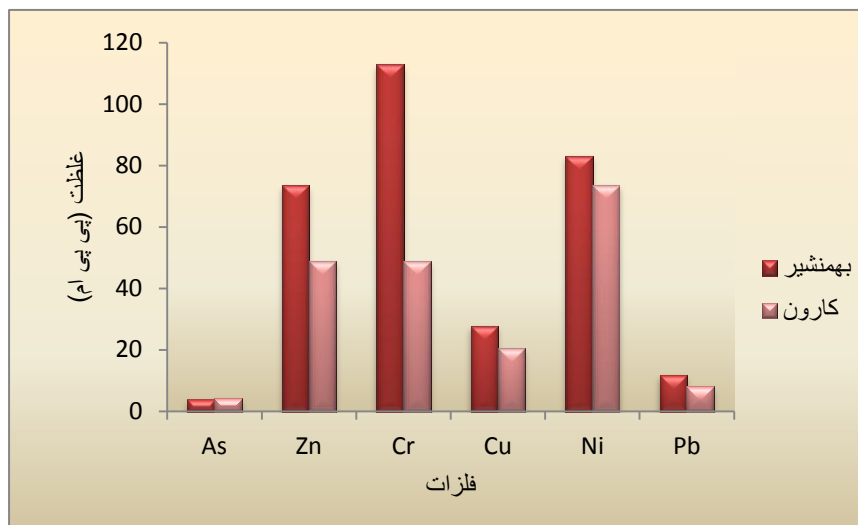
جدول ۱- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین (پی پی ام) و پارامترهای فیزیکی شیمیایی در نمونه‌های رسوب رودخانه بهمنشیر و مقایسه آن‌ها با مقادیر استاندارد جهانی و سایر رودخانه‌ها

اسیدیتته	ماده آلی (%)	نیکل	روی	سرب	کروم	مس	آرسنیک	منگنز	آهن	
۸/۰۷	۲/۰۲	۸۳	۷۳/۵	۱۱/۸	۱۱۲/۸	۲۷/۷	۳/۸	۵۱۸/۶	۲۳۷۸۱	میانگین
۸/۲۶	۴/۳	۹۲	۱۴۳	۲۷	۱۲۷	۴۲	۵	۵۹۷	۲۵۸۵۱	بیشینه
۷/۹۹	۱/۱۲	۷۰	۵۴	۷	۱۰۰	۲۱	۳/۱	۴۷۶	۲۰۵۹۵	کمینه
-	-	۶۸	۹۵	۲۰	۹۰	۴۵	۱۳	۸۵۰	۴۷۰۰۰	شیل
-	-	۸۰	۷۵	۱۴	۱۰۰	۵۰	۱/۵	۹۵۰	۴۱۰۰۰	میانگین <sup>۱</sup>
-	-	۵۲	۹۵	۱۹	۷۲	۳۳	۷/۷	۷۷۰	۴۱۰۰۰	پوسته ای <sup>۲</sup>
-	-	۳۷	۶۷/۶۶	۰/۵۹	۰/۴۷	۱۴/۱۴	-	-	-	یوفرات
-	-	۰	-	-	-	-	-	-	-	اعراق <sup>۳</sup>
-	-	۲۷	۹۳/۰۱	۴/۳	۳۸/۹	۱۱/۲	-	-	-	کاوری/هند <sup>۴</sup>
-	-	۲۶	-	۶۰	۹۸	۳۱	۱/۹۳	-	-	بنگ شی
-	-	۶۶	۴۸/۸۹	۸/۰۹	۴۸/۷۹	۲۰/۴۵	۴/۲۵	-	-	اینگلادش <sup>۵</sup>
-	-	۷۳	-	-	-	-	-	-	-	کارون/ایران <sup>۶</sup>
-	-	۹۰	۱۳۳/۵۳	۲۴/۶۵	۸۱/۴۸	۱۰۷/۹۸	۶/۶۷	-	-	زاینده رود
-	-	۴۹	-	-	-	-	-	-	-	ایران <sup>۷</sup>

1) Turekian and Wedelpohl, 1961; 2) Bowen, 1979; 3) Hassan et al. 2010; 4) Raju et al. 2012; 5) Rahman et al. 2014; 6) Keshavarzi et al. 2015; 7) Rastegari Mehr, 2012.



شکل ۲- روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده



شکل ۳- مقایسه غلظت فلزات سنگین در رودخانه بهمنشیر و کارون

خانگی، رواناب‌های کشاورزی، وجود تصفیه‌خانه، مخازن نفت در اطراف این ایستگاه و یا وجود مواد آلی فراوان در این ایستگاه باشد.

#### پتانسیل سمناکی حاد

نتایج محاسبه واحد سمناکی برای فلزات مطالعه شده در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان سمناکی برای فلزات  $Pb, Ni, Zn, Cu$  مربوط به ایستگاه ۸ است و سمناکی  $Cr$  نیز تقریباً در تمام ایستگاه‌ها وجود دارد که علت آن را می‌توان ورود پساب فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی به سراسر رودخانه نسبت داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که نیکل، کروم و روی سموم اصلی و سرب آلاینده جزئی رسوبات رودخانه است (اقبال و شاه، ۲۰۱۱). مقادیر محاسبه شده برای  $\sum TU$  نیز نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها، ایستگاه ۸ دارای بیشترین میزان سمناکی است. این ایستگاه به دلیل قرار گرفتن در نزدیک منابع آلاینده متعدد (قبلاً ذکر شده است) به عنوان سمی‌ترین ایستگاه شناخته شده است.

#### خطر بوم‌شناختی

پتانسیل خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین جهت فهم بهتر آلودگی ناشی از فلزات سنگین مورد مطالعه است. جدول (۴) مقادیر  $ER$  و  $RI$  محاسبه شده را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر  $ER$  برای همه فلزات سنگین در همه مکان‌ها کمتر از ۴۰ بوده و در نتیجه در رده کم‌خطر قرار گرفته است، و مقادیر  $RI$  در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۱۵۰ است. این نشان‌دهنده سطح خطر کم آلودگی ناشی از فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهمنشیر است. بیشترین مقدار  $RI$  مربوط به ایستگاه شماره ۸ است.

#### ضریب غنی‌شدگی

از غلظت فلزات در رسوبات به همراه مقادیر مرجع زمینه برای ارزیابی غنی‌شدگی فلزات استفاده شده است (تونا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷) مقادیر  $EF$  فلزات بر اساس مقادیر شیل میانگین محاسبه، و نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که جدول (۲) نشان می‌دهد ضریب غنی‌شدگی برای فلز  $As$  در تمام ایستگاه‌ها بر اساس توصیف (ژانگ و لیو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲؛ فنگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). مقداری کوچک‌تر از ۱/۵ داشته و این نشان‌دهنده طبیعی بودن منشأ این فلز است و بر اساس رده‌بندی (بوات منراد و چسلت<sup>۴</sup>، ۱۹۷۹) در رده غنی‌شدگی کم ( $EF < 2$ ) قرار می‌گیرد؛  $EF$  برای فلز  $Cu$  در تمام ایستگاه‌ها کوچک‌تر از ۱/۵ است و تنها در ایستگاه‌های ۱۲، ۱۰، ۸، ۷ این مقدار بیشتر از ۱/۵ است بنابراین منشأ این فلز می‌تواند انسانی بیان شود. بر اساس رده‌بندی معرفی شده، فلز مس، تنها در ایستگاه ۸ در رده غنی‌شدگی متوسط ( $2 < EF < 5$ ) قرار می‌گیرد؛  $EF$  برای فلزات  $Zn$  و  $Pb$  در اکثر ایستگاه‌ها کوچک‌تر از ۲ بوده و دارای غنی‌شدگی کم می‌باشند و تنها ایستگاه‌های ۱۲، ۱۰، ۸، ۷ در رده غنی‌شدگی متوسط قرار می‌گیرند. مقادیر  $EF$  برای فلزات  $Ni$  و  $Cr$  نیز در تمامی ایستگاه‌ها در رده غنی‌شدگی متوسط قرار می‌گیرند و در تمام ایستگاه‌ها دارای منشأ کاملاً انسانی می‌باشند. بر اساس این شاخص بیشترین میزان غنی‌شدگی برای اکثر فلزات مطالعه شده مربوط به ایستگاه ۸ است و علت این امر می‌تواند ورود فاضلاب‌های شهری و

- 1 - Tuna *et al.*
- 2 - Zhang and Liu
- 3- Feng *et al.*
- 4- Buat-Menard and Chesselet

راست منش و همکاران: بررسی غنی شدگی، سمناسی و خطر بوم‌شناختی فلزات...

جدول ۲- مقادیر ضریب غنی شدگی برای فلزات موردنظر در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	کروم	سرب	نیکل	مس	روی	آرسنیک
S1	۲/۹۳	۱/۱۵	۲/۸	۱/۲۲	۱/۴۲	۰/۶۶
S2	۳/۱۶	۰/۸۴	۲/۵۱	۱/۱۲	۱/۳۷	۰/۶۴
S3	۲/۸۲	۰/۸۶	۲/۵۳	۱/۱۵	۱/۴۰	۰/۷۱
S4	۲/۱۸	۰/۹۸	۲/۳۶	۱/۱۷	۱/۳۴	۰/۶۰
S5	۲/۳۶	۰/۶۹	۲/۶	۱/۱۹	۱/۴۶	۰/۷۷
S6	۲/۶۰	۱/۰۸	۲/۵۸	۱/۳۴	۱/۴۹	۰/۷۱
S7	۲/۹۶	۱/۹۰	۲/۵۷	۱/۵۱	۱/۹۳	۰/۶۶
S8	۳/۰۲	۲/۹۹	۲/۹۶	۲/۰۶	۳/۳۳	۰/۵۳
S9	۲/۶۵	۱/۳۵	۲/۶۵	۱/۱۵	۱/۴۴	۰/۷۴
S10	۲/۶۵	۱/۶۱	۲/۶۹	۱/۵۳	۱/۹۹	۰/۷
S11	۲/۶۸	۱/۱۹	۲/۸۵	۱/۴۶	۱/۴۹	۰/۵۶
S12	۲/۹۳	۱/۷۰	۲/۶۹	۱/۵۹	۲/۰۶	۰/۶۳
S13	۲/۳۵	۰/۹۸	۲/۴۸	۱/۲۶	۱/۳۶	۰/۶۵
S14	۲/۷۳	۰/۶۷	۲/۵۱	۱/۰۳	۱/۲۸	۰/۵۳

جدول ۳- مقادیر پتانسیل سمناسی حاد برای فلزات موردنظر در منطقه مطالعه شده

ایستگاه	سرب	نیکل	مس	کروم	روی	آرسنیک	$\sum TU$
S1	۰/۰۸	۱/۹۳	۰/۲۲	۰/۷۱	۰/۲۱	۰/۰۸	۳/۲۳
S2	۰/۰۶	۱/۶۵	۰/۱۹	۰/۷۳	۰/۱۹	۰/۰۸	۲/۹
S3	۰/۰۶	۱/۶۳	۰/۱۹	۰/۶۴	۰/۱۹	۰/۰۸	۲/۷۹
S4	۰/۰۸	۱/۹۲	۰/۲۵	۰/۶۲	۰/۲۳	۰/۰۹	۳/۱۹
S5	۰/۰۶	۲/۱	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۲۵	۰/۱۲	۳/۴۴
S6	۰/۰۸	۱/۸۹	۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۲۵	۰/۱	۳/۲۴
S7	۰/۱۵	۱/۸۲	۰/۲۷	۰/۷۴	۰/۳۰	۰/۰۹	۳/۳۷
S8	۰/۲۴	۲/۱۲	۰/۳۸	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۰۷	۴/۰۹
S9	۰/۱	۱/۸۶	۰/۲۱	۰/۶۶	۰/۲۲	۰/۱	۳/۱۵
S10	۰/۱۳	۱/۹۸	۰/۲۶	۰/۶۹	۰/۳۲	۰/۱	۳/۴۶
S11	۰/۰۹	۲/۰۷	۰/۳	۰/۶۹	۰/۲۳	۰/۰۷	۳/۴۵
S12	۰/۱۴	۲/۰۷	۰/۲۸	۰/۷۷	۰/۳۳	۰/۰۹	۳/۶۸
S13	۰/۰۸	۲/۰۷	۰/۲۶	۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۱	۳/۴۲
S14	۰/۰۶	۲/۰۵	۰/۲۲	۰/۷۹	۰/۲۳	۰/۰۸	۴



جدول ۴- مقادیر ضریب خطر بوم‌شناختی برای فلزات سنگین در رسوبات منطقه مطالعه شده

RI	ER						ایستگاه
	آرسنیک	روی	کروم	مس	نیکل	سرب	
۱۸/۶	۲/۸	۰/۷۹	۲/۵۴	۲/۶۵	۷/۳	۲/۵	S1
۱۶/۲۳	۲/۶	۰/۷۲	۲/۶۲	۲/۳	۶/۳۴	۱/۷۵	S2
۱۵/۹۷	۲/۸	۰/۷۲	۲/۲۸	۲/۳	۶/۱۲	۱/۷۵	S3
۱۳/۸	۳	۰/۶۸	۲/۲۲	۳	۲/۴	۲/۵	S4
۱۹/۹۵	۳/۸	۰/۹۴	۲/۳۶	۳	۸/۱	۱/۷۵	S5
۱۹/۲۴	۳/۲	/۹	۲/۴	۳/۱	۷/۱۴	۲/۵	S6
۲۱/۰۳	۲/۹	۱/۱	۲/۶۴	۳/۳	۶/۸۴	۴/۲۵	S7
۲۶/۳۲	۲/۳	۱/۹۲	۲/۷۲	۴/۶۵	۷/۹۸	۶/۷۵	S8
۱۸/۹۳	۳/۲	۰/۸۲	۲/۳۴	۲/۵۵	۷/۰۲	۳	S9
۲۰/۰۴	۳/۲	۱/۱۸	۲/۴۶	۳/۲	۷/۵	۲/۷۵	S10
۲۰/۰۳	۲/۵	۰/۸۷	۲/۴۶	۳/۶۵	۷/۸	۲/۷۵	S11
۲۱/۸۴	۲/۹	۱/۳۴	۲/۷۴	۳/۴	۷/۵۶	۴	S12
۱۹/۸۵	۳/۳	۰/۸۹	۲/۴	۳/۲	۷/۵۶	۲/۵	S13
۱۸/۴	۲/۶	۰/۸۴	۲/۸۲	۲/۶۵	۷/۷۴	۱/۷۵	S14

### تحلیل‌های آماری

#### ضریب همبستگی پیرسون

ضریب همبستگی در واقع ارتباط احتمالی بین فلزات مانند منشا مشترک، توزیع واحد و رفتار مشابه را بیان می‌کند. (دیوپ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). در این تحقیق جهت تعیین همبستگی داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. جدول ۵ مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکی شیمیایی مطالعه شده در رسوبات رودخانه بهمنشیر را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که فلزات مس، روی و سرب با یکدیگر همبستگی مثبت قوی دارند و همبستگی این فلزات با کروم متوسط است. این همبستگی‌ها نشان از مشابه بودن عوامل حاکم بر رفتار شیمیایی این فلزات و یا منشا مشترک این فلزات است. آرسنیک، نیکل و منگنز نیز دارای همبستگی مثبت می‌باشند اما همبستگی آرسنیک با بقیه فلزات منفی است، که ممکن است نشان‌دهنده متفاوت بودن منشأ و رفتار ژئوشیمیایی آرسنیک با بقیه فلزات باشد. از طرفی، آهن با تمام فلزات دارای همبستگی مثبتی است، مخصوصاً با نیکل، مس و روی دارای همبستگی بسیار قوی‌تری است. فلزاتی مانند آرسنیک، منگنز و نیکل نیز همبستگی مثبتی با آهن دارند، این امر می‌تواند نشان‌دهنده وابستگی فلزاتی مانند آرسنیک و نیکل به اکسیدهای آهن و منگنز باشد. (شاکری و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). همبستگی بالایی عناصر موجود در رسوب را می‌توان ناشی از چند

عامل دانست که عبارتند از: جذب سطحی در کانی‌های رسی و مواد آلی، حضور عناصر در ساختار کانی‌ها به‌ویژه رس‌ها، جذب عناصر توسط اکسیدها و هیدرو اکسیدهای آهن و منگنز (سام، ۱۳۹۰). در این بین مواد آلی با بیش‌تر فلزات مخصوصاً با آهن، سرب، روی و مس رابطه مثبت قوی و با کروم و نیکل همبستگی متوسط دارد و تنها با آرسنیک و منگنز دارای همبستگی منفی است و این می‌تواند نشان دهد که مواد آلی، جاذب مناسبی برای آرسنیک نبوده و آرسنیک ممکن است به دلیل همبستگی مثبت با آهن و منگنز جذب اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز شده باشد. فولکوله شدن مواد آلی منجر به افزایش جذب سطحی فلزات خواهد شد. (فرناندز و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). همبستگی بین فلزات و مواد آلی نشان‌دهنده تأثیر حضور مواد آلی در تجمع فلزات سنگین و تمایل فلزات برای تشکیل کمپلکس با این ترکیبات در رسوبات رودخانه بهمنشیر است. مقادیر pH نیز دارای همبستگی منفی با تمام فلزات است و این نشان می‌دهد که افزایش pH با کاهش تحرک فلزات همراه است (بردل<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴). در واقع کاهش مقدار pH رقابت بین فلزات و یون‌های هیدروژن را برای مکان‌های پیوندی افزایش خواهد داد و ممکن است با حل شدن کمپلکس‌های فلزی، یون‌های فلزی به درون رسوبات آزاد شوند (الیث و کاروود<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱).

3- Fernandes *et al.*

4- Bradl

5- Elith and Garwood

1- Diop *et al.*2- Shakeri *et al.*

راست منش و همکاران: بررسی غنی شدگی، سمناسی و خطر بوم‌شناختی فلزات...

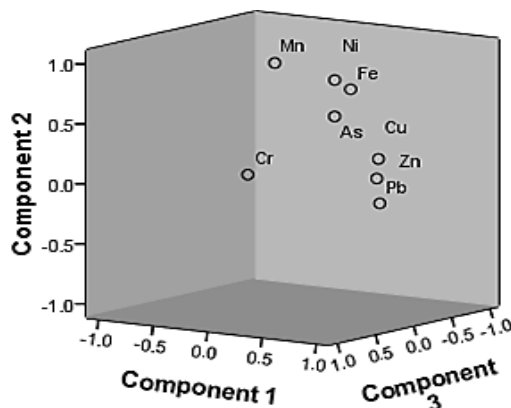
### تحلیل مؤلفه اصلی

تحلیل مؤلفه اصلی جهت تشخیص منابع آلودگی و آنالیز ارتباط بین فلزات مطالعه شده به کاررفته است. جدول (۶) ماتریکس مؤلفه‌های چرخشی برای فلزات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سه مؤلفه اصلی با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک برای ۹۱/۶۰ درصد از واریانس کل محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که منابع فلزات سنگین را می‌توان در سه گروه قرارداد: فلزات Zn, Cu, Pb با بیشترین عامل وزنی (۴۹/۶۲ درصد از واریانس کل) در مؤلفه اول قرار گرفته و فلزات Fe, Ni, Mn (با ۳۰/۲۹ درصد از واریانس کل) در مؤلفه دوم و As, Cr (با ۱۱/۶۸ درصد از واریانس کل) در مؤلفه سوم قرار گرفته است. مؤلفه اول که شامل Zn, Cu, Pb است احتمالاً دارای یک منبع مشترک انسانی (ترافیک، کشتیرانی، نشت مخازن نفت، فاضلاب‌های شهری، روستایی، کشاورزی و صنعتی) است، مؤلفه دوم که شامل فلزات Fe, Mn, Ni است به دلیل همبستگی بالای نیکل با آهن، این فلز دارای منشأ زمین زاد است ولی از آنجا که نیکل با فلزاتی مانند سرب، روی و مس دارای همبستگی مثبت است و

غنی‌شدگی نیز برای این فلز بزرگ‌تر از ۱/۵ است، همان‌طور که جدول (۶) نشان می‌دهد، فلز نیکل در مؤلفه اول نیز حضور دارد بنابراین می‌توان منشأ دوم (انسانی) نیز برای آن تعریف کرد. مؤلفه سوم شامل As و Cr است، از آنجایی که Cr دارای همبستگی مثبتی با مس، سرب، روی و نیکل است می‌توان انتظار داشت که دارای منشأ انسانی (فاضلاب شهری، کشاورزی، صنعتی، تصفیه‌خانه‌ها و تردد قایق‌ها در حاشیه رودخانه) است شواهد این امر غنی‌شدگی بیشتر از ۱/۵، و بالا بودن میانگین غلظت کل کروم نسبت به میانگین شیل است. آرسنیک نیز به دلیل همبستگی منفی با عناصر انسانی مؤلفه اول و غنی‌شدگی کمتر از ۱/۵ و پایین بودن میانگین غلظت کل آن نسبت به میانگین شیل دارای منشأ زمین زاد است. در واقع این دو عنصر دارای منشأ و رفتار ژئوشیمیایی متفاوتی می‌باشند و قرار گرفتن آن دو در یک مؤلفه این‌گونه توجیه می‌شود که این مؤلفه یک مؤلفه ترکیبی است. شکل (۴) نیز مؤلفه‌های رسم شده در فضای سه‌بعدی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین فلزات موردنظر و پارامترهای فیزیکی شیمیایی در رسوبات رودخانه بهمنشیر

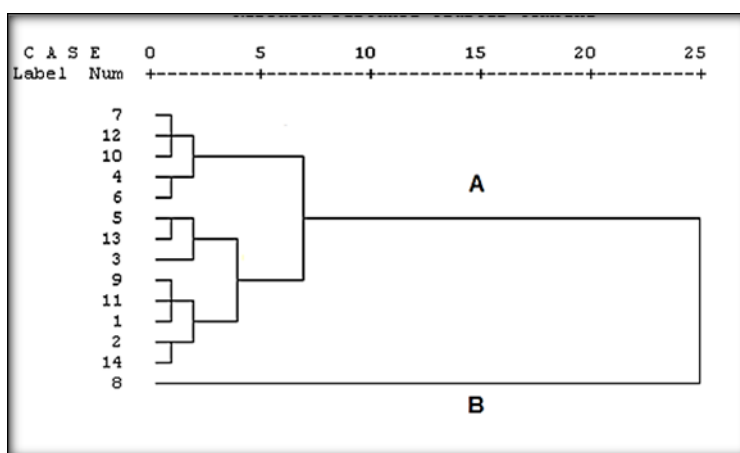
ماده آلی	اسیدپتته	سرب	نیکل	منگنز	مس	کروم	روی	آرسنیک	آهن
آهن	۱								۱
آرسنیک	۰/۱۸۶							۱	۰/۱۸۶
روی	۰/۵۷۴*	-۰/۲۸۱					۱		۰/۵۷۴*
کروم	۰/۱۶۳	-۰/۵۵*	۰/۴۶۱			۱			۰/۱۶۳
مس	۰/۷۰۵**	-۰/۲۷۰	۰/۸۸۳**	۰/۳۲۵					۰/۷۰۵**
منگنز	۰/۵۲۱	-۰/۵۱۹	-۰/۱۹۲	-۰/۱۱۷	-۰/۰۴۲				۰/۵۲۱
نیکل	۰/۸۹۴**	-۰/۱۶۱	۰/۴۹۲	۰/۲۵۳	۰/۶۴۶*	۰/۶۱۷*			۰/۸۹۴**
سرب	۰/۴۴۲	-۰/۳۶۰	۰/۹۴۰**	۰/۴۱۷	۰/۸۴۸**	-۰/۴۰۰	۰/۳۴۰		۰/۴۴۲
اسیدپتته	-۰/۴۲۳	-۰/۰۱۳	-۰/۲۱۴	-۰/۱۰۵	-۰/۳۰۱	-۰/۳۵۸	-۰/۵۳۲	۱	-۰/۴۲۳
ماده آلی	۰/۵۸۱*	-۰/۰۹۰	۰/۹۳۷**	۰/۳۱۴	۰/۸۳۷**	-۰/۱۷۲	۰/۴۹۳	۰/۸۶۳**	-۰/۲۶۶



شکل ۴- مؤلفه‌های رسم شده در فضای سه‌بعدی

## جدول ۶- ماتریکس مؤلفه‌های چرخشی

مؤلفه			
۱	۲	۳	
۰/۵۶۴	۰/۷۷۷	-۰/۰۴۸	آهن
-۰/۲۰۱	۰/۲۸۵	-۰/۷۸۶	آرسنیک
۰/۹۳۰	۰/۱۱۵	۰/۲۴۱	روی
۰/۲۰۳	۰/۱۴۴	۰/۹۰۷	کروم
۰/۹۱۱	۰/۲۶۹	۰/۱۶۵	مس
-۰/۲۹۷	۰/۹۰۷	-۰/۱۷۹	منگنز
۰/۴۳۰	۰/۸۶۶	۰/۰۷۵	نیکل
۰/۹۵۲	-۰/۰۹۱	۰/۲۲۵	سرب



شکل ۵- آنالیز خوشه‌ای برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در رسوبات رودخانه بهمنشیر

## نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه اطلاعات ارزشمندی از رودخانه بهمنشیر را نشان می‌دهد. با توجه به مطالب گفته‌شده، محتوای فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهمنشیر به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری روستایی، کشاورزی و صنعتی به درون آن به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. پساب حاصل از فعالیت پالایشگاه نفت و پتروشیمی آبادان مستقیماً به رودخانه ارونند می‌ریزد (سواری و همکاران، ۱۳۸۲)؛ بنابراین مهم‌ترین منابع آلاینده رودخانه بهمنشیر فاضلاب‌های شهری و روستایی، کشاورزی، صنعتی، استفاده از قایق‌های موتوری، کشتیرانی در حاشیه رودخانه، ورود روغن‌موتورها به درون رودخانه و تعمیرات لنج است. شاخص غنی‌شدگی منشأ فلزات سرب، روی، مس، نیکل و کروم را انسانی و منشأ آرسنیک را زمین زاد معرفی می‌کند؛ واحد سمناکی بیشترین مقدار سمناکی را برای فلزاتی مانند سرب، روی، نیکل و مس در ایستگاه ۸ (زیر پل سلیج) نشان می‌دهد و  $\sum TU$  برای این ایستگاه ۴/۰۹ است؛ مقادیر خطر بوم‌شناختی نیز برای ایستگاه ۸ (با مقدار ۲۶/۳۲) نسبت به سایر

## تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای برای گروه‌بندی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده انجام‌شده و دندروگرام حاصل در شکل (۵) نشان داده‌شده است. تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی بر اساس داده‌های نرمال و با استفاده از روش ارتباط میانگین انجام‌شده است. بر اساس این آنالیز، ایستگاه‌ها در فاصله ۲۵ در دو گروه خوشه‌بندی شده‌اند. گروه A بیشتر شامل ایستگاه‌هایی است که کم‌وبیش تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری، کشاورزی، تعمیرات لنج و ورود فاضلاب‌های صنعتی شهرک صنعتی آبادان و آب‌های واردشده از رودخانه کارون از بالادست رودخانه قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم تنها ایستگاه ۸ در یک گروه جداگانه (خوشه B) قرار گرفته که علت آن می‌تواند متفاوت بودن شدت آلودگی این ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های دیگر به دلیل ورود فاضلاب شهری بیش‌ازحد به این ایستگاه، و قرار گرفتن آن در نزدیک نیروگاه برق، مخازن نفت، ترمینال و تصفیه‌خانه باشد.

راست منش و همکاران: بررسی غنی شدگی، سمناک و خطر بوم‌شناختی فلزات...

علت همبستگی زیاد بین فلزات، منابع آلاینده تقریباً مشترک در تمام ایستگاه‌ها است.

ایستگاه‌ها دارای بیشترین سطح خطر است. تحلیل‌های آماری نیز نشان می‌دهد به دلیل همبستگی مثبت بین فلزات سرب، روی، مس و کروم این عناصر دارای منشأ مشترک انسانی، و فلزات آهن، نیکل، منگنز و آرسنیک نیز به‌عنوان عناصر زمین زاد معرفی شده‌اند، همچنین نیکل دارای هردو منشأ زمین زاد و انسانی است و احتمالاً

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

### منابع

- ۱- سام، م. ۱۳۹۰. بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در رسوبات دریاچه مهارلو از دیدگاه زیست‌محیطی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، ۳۰۰ص.
- ۲- سواری، الف، لاهیجان زاده، الف.ر. و م. مهدیه. ۱۳۸۲. اندازه‌گیری فلزات سنگین وانادیوم و سرب در فاضلاب خروجی پالایشگاه نفت آبادان و تأثیر آن بر رودخانه اروند، مجله آب و فاضلاب، (۴۶): ۲۰-۱۴
- ۳- مر، ف.، رستگاری مهر، م.، و ب. کشاورزی. ۱۳۹۰. بررسی غلظت عناصر کادمیوم، کروم، نیکل و سرب در رسوبات بخشی از رودخانه زاینده‌رود (شعاع ۵۰ کیلومتری از مرکز شهر اصفهان)، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۳ و ۲۴ آذر ماه، تهران، دانشگاه تربیت معلم.
- ۴- موسوی، ح.، اشتری لرکی، الف.، و الف. آیتی زاده. ۱۳۸۵. بررسی مکانیزم فرسایش و انتقال رسوب رودخانه بهمنشیر، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۲۴ تا ۲۶ بهمن ماه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- ۵- موسوی، ز.، کشکولی، ح.، اسلامیان، س. و م. عبدالحسینی. ۱۳۹۱. بررسی عوامل آلودگی رودخانه بهمنشیر و راهکارهای مقابله با آن، همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب، ۹ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۱، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- 6- Abbas, F., Norli, I. A., Aness, A., and E. Azharmat, 2009. Analysis of heavy metal concentrations in sediments of selected estuaries of Malaysia—A statistical assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 153 (1-4), 179-185.
- 7- Abdolapur Monikh, F., Safahieh .A., Savari, A., and A. Doraghi, 2012. Heavy metal concentration in sediment, benthic, benthopelagic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persian Gulf). *Environmental Monitoring and Assessment*. 185: 215-222.
- 8- Ahmad, M. K., Islam, S. , Rahman, M. S. , Haque, M. R. and M. M. Islam, 2010. Heavy Metals in Water, Sediment and Some Fishes of Buriganga River, Bangladesh, *International Journal of Environmental Research*, 4(2):321-33.
- 9- Akpor, OB., Ohiobor, GO., and T.D Olaolu, 2014. Heavy metal pollutants in wastewater effluents: sources, effects and remediation. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 2(4):37-43.
- 10- Armitage, P.D. Bowes, M.J. and H.M. Vincent, 2007. Long-term changes in macroinvertebrate communities of a heavy metal polluted stream: the River Nent (Cumbria, UK) after 28 years. *River Research and Applications*. 23, 997-1015.
- 11- Belzile, N., Chen, Y.W., Gunn, J.M., and S.S. Dixit, 2004. Sediment trace metal profiles in lakes of Killarney Park, Canada: From regional to continental influence. *Environmental Pollution*, 130: 239-48.
- 12- Bettinetti, R., Giarei, C., and A. Provini., 2003. A chemical analysis and sediment toxicity bioassays to assess the contamination of River Lambro (Northern Italy). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. (45)1: 72-78.

- 13-Bowen, H.J.M. 1979. Environmental Chemistry of the Element. Academic Press. London. 217p.
- 14-Bradl, H.B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277,1-18.
- 15-Buat-Menard, P., and R. Chesselet, 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, 399-411.
- 16-Cheng, Z., Man, Y.B., Nie, X.P., and M.H. Wong, 2013. Trophic relationships and health risk assessments of trace metals in the aquaculture pond ecosystem of Pearl River Delta, China. *Chemosphere*, 90, 2142-2148.
- 17-Diop. Ch., Dewaelé, D., Cazier, F., Diouf,A., and B. Ouddane, 2015. Assessment of trace metals contamination level, bioavailability and toxicity in sediments from Dakar coast and Saint Louis estuary in Senegal, West Africa. *Chemosphere*, 138:980-7.
- 18-Dixit, R., Deepti Malaviya, W., Pandiyan,K., Singh, U.B., Sahu,A., Shukla ,R., Singh, B.P., Rai, J.P Sharma, P.K., Lade, H., and D Paul.,2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7: 2189-2212.
- 19-Elith, M., and S. Garwood, 2001. Investigation into the levels of heavy metals within Manly Dam Catchment. In: *Freshwater ecology report 2001*. Sydney: Department of Environmental Sciences, University of Technology.
- 20-Fedo. C.M., A. Eriksson. K.A., and E.J. Krogstad. 1996, Geochemistry of shales from the Archean Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source-area weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(10): 1751-1763
- 21-Feng, H., Han, X., Zhang, W. and L. Yu, 2004. A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 910-915.
- 22-Fernandes ,L., Nayak, GN., Ilangoan, D., and DV. Borole, 2011. Accumulation of sediment, organic matter and tracemetals with space and time, in a creek along Mumbai coast, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91:388-399.
- 23-Forstner, U., and W. Salomons, 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part1: Assessment of sources and intensities, *Environmental Technology Letters*, 1: 494-505.
- 24-Gaur, V.K., Gupta, S.K., Pandey, S.D., Gopal, K., and V. Misra,2005. Distribution of heavy metals in sediment and water of River Gomti, *Environmental Monitoring and Assessment*. 102: 419-433.
- 25-Hakanson, L. 1980.An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8):975-1001.
- 26-Hassan, F., Saleh, M., and J. Salman, 2010. A Study of Phys-icochemical Parameters and Nine Heavy Metals in the Euphrates River, Iraq. *E-Journal of Chemistry*, 7(3): 685-692.
- 27-Hawa Bibi, M., Ahmed, F., and H. Ishiga, 2007. Assessment of metal concentrations in lake sediments of southwest Japan based on sediment quality guidelines. *Environmental Geology*, 52: 625-639.
- 28-Igbal, J., and M.H. Shah, 2011. Distribution, correlation and risk assessment of selected metals in urban soils from Islamabad, Pakistan. *Journal of Hazardous Material*, 192: 887-898

- 29-Jiawei, W., Ruimin, L., Peipei, Zh., Wenwen, Y., Zhenyao, Sh., and F. Chenghong, 2014. Spatial variation, environmental assessment and source identification of heavy metals in sediments of the Yangtze River Estuary, *Marine Pollution Bulletin*, 87: 364–373.
- 30-Jumbe, A.S., Nandini, Am. 2009. Heavy Metals Analysis and Sediment Quality Values in Urban Lakes, *Journal of Environmental Sciences*, 5 (6) : 678–687.
- 31-Kartal, S., Aydın, Z., and S. Tokalioglu, 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*, 132: 80–89.
- 32-Kaushik, A. , Kansal, A., Meena, S., Kumari, S., and C.P. Kaushik, 2009. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1): 265–270
- 33-Keshavarzi, B., Mokhtarzadeh,Z., Moore,F., Rastegari Mehr, M., Lahijanzadeh, A., Rostami, S., and H. Kaabi, 2015. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Karoon River, Khuzestan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23):19077-92.
- 34-Laxen, D.P., and R.M. Harrison, 1983. Physico-chemical speciation of selected metals in the treated effluent of a lead-acid battery manufacturer and in the receiving river. *Water Resources*, 17(1):71–80.
- 35-Miguel, E., Charlesworthb, S. , Ordóñezc, A., and E. Seijas, 2005. Geochemical fingerprints and controls in the sediments of an urban river: River Manzanares, Madrid (Spain), *Science of The Total Environment*, 340( 1–3): 137–148
- 36-Mohiuddin K. M. , Ogawa,Y. , Zakir, H. M., Otomo, K., and N. Shikazon, 2011. Heavy metals contamination in water and sediments of an urban river in a developing country, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8(4): 723–736
- 37-Mukai, H., Tanaka, A., Fujii, T., and M. Nakao, 1994. Lead isotope ratios of airborne particulate matter as tracers of long-range transport of air pollutants around Japan. *Journal of Geophysical Research*, 99: 3717–3726.
- 38-Mutia, T.M., Virani, M.Z., Moturi, W.N., Muyela, B., Mavura, W.J., and J.O. Lalah, 2012. Copper, lead and cadmium concentrations in surface water, sediment and fish, C. Carpio, samples from Lake Naivasha: effect of recent anthropogenic activities. *Environmental Earth Sciences*, 67: 1121–1130.
- 39-Nair Manju, P., and C. H. Sujatha, 2013. Environmental Geochemistry of Core Sediment in the Cochin Estuary (CE), India, *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(4):65-69.
- 40-Paramasivam, K., Ramasamy, V., and G. Suresh, 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*, 137: 397–407.
- 41-Pedersen, F., Bjornestad, E., Andersen, H.V., Kjolholt, J. and Poll, C.1998. Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of biotests, *water science and Technology*, 37,233-240.
- 42-Rahman, M.S., Saha, N., and A.H. Molla. 2014. Potential ecological risk assessment of heavy metal contamination in sediment and water body around Dhaka export processing zone, Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*, 71: 2293–2308.
- 43-Raju, K.V., Somashekar, R.,and K. Prakash, 2012. Heavy Metal Status of Sediment in River Cauvery, Karnataka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184 (1): 361-373.

- 44-Rastegari Mehr, M. 2012. Environmental geochemistry of heavy metals in water and sediments of a stretch of Zayanderood River (within 50 km of Isfahan city center). M.S. thesis in earth sciences. Shiraz University.
- 45-Romic, M., D. Romic, 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area, *Environmental Geology*, 43:795–805.
- 46-Sakan, S. M., Dordevic, D. S., Manojlovic, D. D., and P. S. Predrag, 2009. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*, 90:3382–3390.
- 47-Shakeri, A., Moore, F., and S. Modabberi, 2009. Heavy metal contamination and distribution in the Shiraz industrial complex zone Soil, South Shiraz, Iran. *World Applied Sciences Journal*, 6 (3): 413-425.
- 48-Sheppard, C., Al-Husiani, M., Al-Jamali, F., Al-Yamani, F., and R. Baldwin, 2010. The Gulf: A young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 13-38.
- 49-Shikazono, N., Tatewaki, K., Mohiuddin, K.M., Nakano, T., and H.M. Zakir, 2012. Sources, spatial variation and speciation of heavy metals in sediments of the Tamagawa River in Central Japan. *Environmental Geochemistry and Health*, 34: 13–26.
- 50-Sin, S.N., Chua, H., Lo, W., and L.M. Ng, 2001. Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong. *Environment International*, 26: 297–301.
- 51-Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K., and A. Malik, 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti River sediments—a tributary of the Ganges. *Indian Journal of Hydrology*, 312: 14–27.
- 52-Singh, M., Müller, G., and I. Singh, 2003. Geogenic distribution and baseline concentration of heavy metals in sediments of the Ganges River, India. *Journal of Geochemical Exploration*, 80(1): 1–17.
- 53-Sorme, L., and R. Lagerkvist, 2002. Sources of trace metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment*, 298 (1- 3):131-145
- 54-Trivedi, R.K., and P.K. Goel, 1984. *Chemical and Biological Methods for Water Pollution Studies*, Environmental Publications, Karad, India, p. 248.
- 55-Tuna, A.L., Yilmaz, F., Demirak, A., and N. Ozdemir, 2007. Sources and distribution of trace metals in the Saricay Stream basin of southwestern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125:47–57.
- 56-Turekian, K. K., and K. H. Wedelpohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth Crust. *Geological Society American Bulletin*, 72(2): 175-192.
- 57-Wu, YF., Liu, CQ., and C.L. Tu, 2008. Atmospheric deposition of metals in TSP of Guiyang, PR China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(5):465–468.
- 58-Yuan, G.L., Liu, C., Chen, L., and Z. Yang, 2011. Inputting history of heavy metals into the inland lake recorded in sediment profiles: Poyang Lake in China. *Journal of Hazardous Materials*, 185: 336–345.
- 59-Zhang, J., and C.L. Liu, 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China – weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54: 1051–1070.