

ارزیابی خطر آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه

مژگان دهقانی^{۱*}، حسین پیرخرافی^۲، راضیه لک^۳ و فرخ اسدزاده^۴

۱- دانشجوی دکترا زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران

۴- دانشیار گروه علوم و خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول: Mo.dehghani2020@gmail.com *

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۶

دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۰

چکیده

در این پژوهش به منظور بررسی آلودگی رسوبات سطحی رودخانه‌های غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه، ۲۰ نمونه سطحی از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری رسوبات برداشته شد. پس از عبور نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری، مقدار کل فلزات سنگین به دست آمد. سپس شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})، شاخص غنی‌شدگی (EF) و شاخص آلودگی (PI) فلزات محاسبه شدند. بر اساس نتایج حاصل، شاخص زمین‌انباشت نیکل، کبالت، کروم، آرسنیک و کادمیوم در همه رسوبات در محدوده ریسک خیلی‌زیاد ($1 < I_{geo} < 2$) یا زیاد ($I_{geo} > 2$) قرار می‌گیرند. ضریب غنی‌شدگی نیکل در رسوبات باراندوزچای و گذارچای در محدوده آلودگی فوق‌العاده زیاد ($EF > 40$) و در رودخانه‌های شهرچای، مه‌بادچای، نازلوچای و سیمینه‌رود در بازه آلودگی خیلی‌زیاد است. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک در تمام رسوبات، آلودگی خیلی‌زیاد ($EF < 40 < 20$) را نشان می‌دهد. شاخص غنی‌شدگی در مورد کادمیوم، مس، کبالت و کروم تقریباً در تمام رودخانه‌ها گواه آلودگی زیاد و در مورد روی مبین آلودگی متوسط تا زیاد است. آرسنیک بیشترین میانگین شاخص آلودگی را رسوبات نازلوچای نشان می‌دهد. ماتریس همبستگی آماری، بیشترین میزان همبستگی را بین کبالت و کروم با نیکل نشان می‌دهد که دلیل آن، منشأ زمین‌زاد مشترک آن‌ها و همبستگی معنادار نیکل با مسه مبین منشأ طبیعی این عنصر در نظر گرفته می‌شود. همبستگی روی با ماده آلی و رس معنی‌دار و احتمالاً به دلیل جذب روی توسط رس و ماده آلی است. بین آرسنیک با کادمیوم معناداری رابطه وجود دارد. آنالیز مولفه‌های اصلی حاکی از وجود ۴ منشأ برای فلزات سنگین مورد مطالعه است که ۴ مولفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از ۱، بیش از ۸۵ درصد از واریانس داده‌ها را تعیین می‌کنند. در مولفه اول فلزات نیکل و کروم به همراه مسه دارای بیشترین وزن هستند. روی، مس و pH در مولفه دوم قرار می‌گیرند، کادمیوم و آرسنیک در مولفه سوم و ماده آلی و سرب در مولفه چهارم دارای بیشترین وزن هستند.

واژه‌های کلیدی: رسوبات، رودخانه، شاخص‌های آلودگی، فلزات سنگین

۱- پیشگفتار

همکاران، ۲۰۱۱؛ راجشکومار و همکاران، ۲۰۱۸؛ ال‌گیدومی و همکاران، ۲۰۱۹). محیط‌های آبی نظیر رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها معمولاً مقصد نهایی پساب‌های تصفیه شده و یا نسبتاً تصفیه شده ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی هستند که منجر به تجمع فلزات سنگین در این محیط‌ها می‌شوند و این مشکل در سال‌های اخیر به ویژه در کشورهای در حال توسعه نمود یافته است. رسوبات رودخانه‌ای به عنوان یکی از اجزاء اصلی محیط‌های آبی، می‌توانند به عنوان منبع و یا مخزن فلزات سنگین عمل نمایند به این ترتیب که بخش قابل توجهی از فلزات سنگین پس از ورود به رودخانه‌های

در سال‌های اخیر رشد سریع جمعیت جهان و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی موجب رها شدن مقادیر زیادی از مواد شیمیایی خطرناک به خصوص فلزات سنگین در رودخانه‌های جهان شده است (ربوتنجاک و همکاران، ۲۰۱۲؛ سو و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسلام و همکاران، ۲۰۱۴). آلودگی فلزات سنگین به دلیل فراوانی آن‌ها، عدم قابلیت تجزیه زیستی، سمیت زیست‌محیطی و خطرات ناشی از آن‌ها برای سلامتی انسان، از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود (سین و همکاران، ۲۰۰۱؛ آرمیتاژ و همکاران، ۲۰۰۷؛ یوان و

بسیار زیادی داشته و این استان از قطب‌های تولید کشاورزی در کشور محسوب می‌گردد. فعالیت‌های کشاورزی به‌ویژه در مقیاس گسترده سبب شده تا مقادیر قابل توجهی از کودهای شیمیایی و حیوانی، آفت‌کش‌ها و سموم در باغ‌ها و مزارع این استان مورد استفاده قرار گیرند که باقی‌مانده این کودها و سموم می‌توانند از خاک شسته شده و وارد بسترهای آبی شوند. همچنین در سال‌های اخیر فاضلاب‌های شهری در کنار پساب‌های صنعتی بعضاً بدون تصفیه و یا تصفیه‌ی نسبی وارد رودخانه‌های استان می‌شوند که به نوبه‌ی خود می‌توانند عاملی در افزایش غلظت فلزات سنگین و آلودگی رسوبات در این رودخانه‌ها محسوب شوند.

رودخانه‌های نازلوچای، شهرچای، باراندوز چای، گذارچای، مهابادچای و زرینه‌رود از مهم‌ترین رودخانه‌های استان هستند. که تامین کننده بخش وسیعی از نیاز شرب و صنعت و کشاورزی استان می‌باشند. این رودخانه‌ها در بخش غربی دریاچه ارومیه واقع شده و به این دریاچه ختم می‌شوند. مطالعات قبلی به بررسی وضعیت آلودگی رسوبات برخی از این رودخانه‌ها پرداخته‌اند. از جمله مطالعه موسوی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه زرشوران-آغدره در شمال تکاب پرداختند. مطالعه ایشان نشان داد که بیشترین غنی‌شدگی مربوط به آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، کادمیوم و سرب است و همچنین غلظت فلزات روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیوم و بیسموت در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای بیشتر از میانگین جهانی است. مطالعه لاهیجانی و همکاران (۱۳۹۹) که به مطالعه فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه و سد مهاباد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب، روی، مس، آرسنیک و منگنز در نمونه‌های پایین‌دست سد مهاباد به طور مشهودی بالاتر است و همچنین شرایط فیزیکوشیمیایی برای تحرک عناصر در رودخانه و سد مهاباد فراهم می‌باشد. همان‌گونه که ذکر شد در سال‌های اخیر گزارش‌های متعددی از تخلیه پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی به این رودخانه‌ها دریافت شده که این امر در کنار افزایش استفاده از کودها و سموم شیمیایی نگرانی‌ها در خصوص آلودگی رسوبات این رودخانه‌ها به فلزات سنگین را تشدید نموده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی

توسط رسوبات محیط جذب و نگهداری می‌شوند اما با تغییر شرایط فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی محیط، فلزات سنگین جذب شده توسط این رسوبات می‌توانند آزاد شده و آلودگی ثانویه را در محیط ایجاد نمایند. در این خصوص مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که احتمال دارد فلزاتی مانند سرب و جیوه در رسوبات توسط فرآیندهای زیستی- شیمیایی متحرک شده و موجب تجمع در بافت‌های بدن موجودات زنده شوند (کلدرمن و عثمان، ۲۰۰۷؛ کانکالوس و همکاران، ۲۰۱۸). تجمع فلزات سنگین در رودخانه‌ها می‌تواند به طور مستقیم موجودات آبی را تهدید نموده و از طریق آن‌ها وارد چرخه غذایی شده و در ادامه سلامت انسان را نیز دچار آسیب نماید (علی و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو ارزیابی و درک صحیح از میزان تجمع و توزیع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای بسیار مهم است. آگاهی از میزان تجمع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای به تشخیص، درک و پیش‌بینی آلودگی کمک می‌کند.

پژوهش‌های زیادی در نقاط مختلف جهان و ایران در مورد آلودگی رسوبات رودخانه‌ای به فلزات سنگین انجام شده است که نتایج آن‌ها بسیار متنوع و قابل توجه است. برای مثال می‌توان به غنی‌شدگی سرب و کادمیوم در رسوبات پایین‌دست رودخانه گنگ (پاندی و سین، ۲۰۱۷) و بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین کروم، آرسنیک و نیکل نسبت به مقدار زمینه در حوضه راتو در چین (وی و همکاران، ۲۰۱۹) و آلودگی رسوبات رودخانه ییما در چین به کادمیوم، سرب، نیکل و روی (گوآن و همکاران، ۲۰۱۸) اشاره نمود. مغزی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی رسوبات رودخانه بابل‌رود نشان دادند که رسوبات این رودخانه تحت تاثیر آلودگی شدید کادمیوم و آلودگی کم تا متوسط کبالت و سرب قرار دارند. پژوهشی مشابه در رودخانه سرباز هرمزگان وجود بار آلودگی مس، سرب، روی و کادمیوم در این رودخانه را نشان داده است (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی دیگر قشلاقی و رستمی (۱۳۹۵) نشان دادند که رسوبات رودخانه سیاه‌رود نسبت به سرب و کادمیم آلودگی متوسط و نسبت به سایر فلزات آلودگی کم نشان می‌دهند. بررسی رسوبات رودخانه شور بندرعباس نیز حاکی از وجود مقادیر بیش از حد مجاز نیکل در رسوبات آن است (بهادر و مرادی، ۱۳۹۶). استان آذربایجان غربی از مناطقی است که فعالیت‌های کشاورزی در آن گسترش

مانری به همراه کنگلومرا نیز در اطراف مناطق آهکی (سازند روته) به چشم می‌خورند که در واقع نهشته‌های سازند قم هستند. در حوضه آبریز سیمینه‌رود در جنوب دریاچه، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و فیلیت غلبه دارد. در بخش‌های غربی حوضه آبریز رودخانه‌های گذارچای و باراندوز چای، سازند کهر بیرون‌زدگی دارد که با ضخامت زیادی از شیل و اسلیت‌های سبز به‌همراه ماسه‌سنگ خاکستری تشکیل شده است. در حوضه آبریز شهرچای، کنگلومرا همراه با مارن ژئوپس‌دار گسترش قابل‌توجهی دارد. در قسمت‌های مرزی ایران، در مجاورت همین بخش کنگلومرا و مارن ژئوپس‌دار، می‌توان، گستره‌ای از جنس کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و فیلیت را مشاهده کرد. در کوه‌های ساحل جنوبی دریاچه ارومیه تماس پرکامبرین بالایی با سنگ‌های پرکامبرین را گرانیته لوکوکرات دوران به عهده می‌گیرد. سازند مهاباد از سنگ‌های اسیدی و آواری-آتشفشانی و به طور متناوب از شیل و آهک نازک لایه تشکیل شده است (شهرابی، ۱۳۷۱).

غلظت فلزات سنگین و درجه آلودگی ناشی از آن‌ها برای ارزیابی کیفیت رسوبات این رودخانه‌ها است.

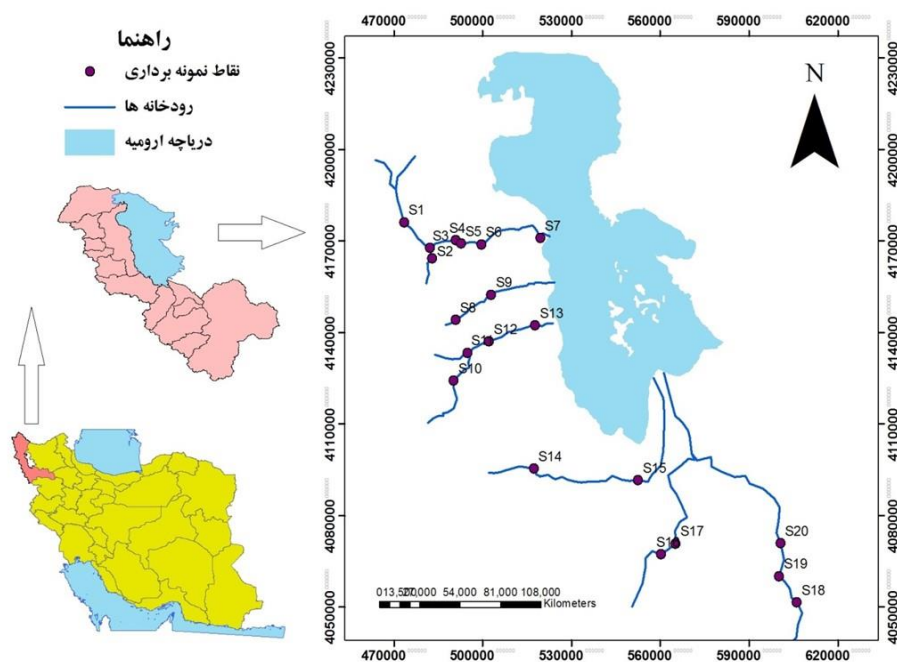
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل بخش جنوبی و جنوب‌غربی دریاچه ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی است که حوضه آبریز رودخانه‌های نالوچای، شهرچای، باراندوز چای، گذارچای، مهابادچای و سیمینه‌رود را در بر می‌گیرد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری بر روی شکل ۱ مشخص گردیده است.

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به این شکل می‌توان مشاهده کرد که در بخش‌های جنوب غرب دریاچه سازندهای آهکی گسترش تقریباً زیادی دارند و همان نهشته‌های سازند روته می‌باشند. همچنین در همین بخش از منطقه آهک‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

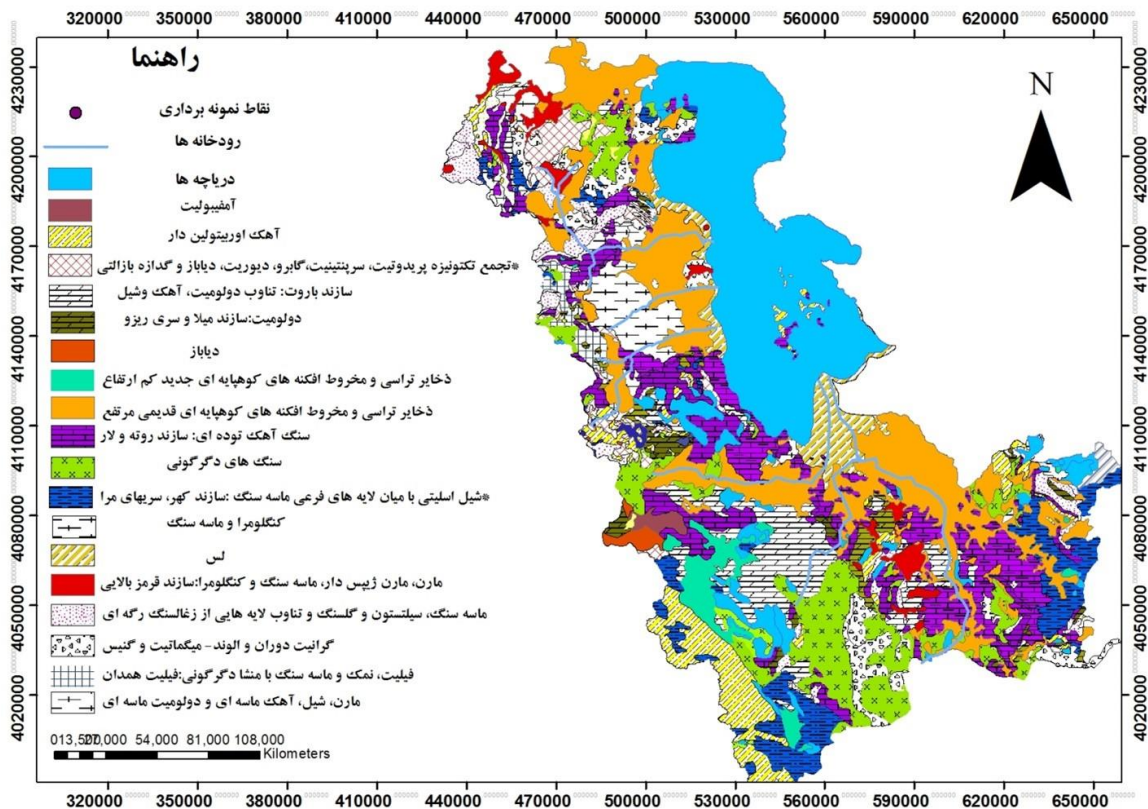
(۳ نمونه) انجام شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری بر روی شکل ۱ مشخص گردیده است. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، خشک شده و سپس با استفاده از آسیاب سرامیکی پودر گردیده و از الک با قطر منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. مقدار کل فلزات

۲-۳- نمونه‌برداری و آنالیز فیزیکی و شیمیایی

برای انجام این تحقیق، ابتدا نمونه‌برداری از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری رسوبات سطحی ۶ رودخانه نالوچای (۷ نمونه)، شهرچای (۲ نمونه)، باراندوز چای (۴ نمونه)، گذارچای (۲ نمونه)، مهابادچای (۲ نمونه) و سیمینه‌رود

۲-۴- تعیین شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین
 در این مطالعه شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین از جمله: شاخص غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})، و شاخص آلودگی (PI) محاسبه شدند که فرمول‌های مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. در این مطالعه متوسط غلظت عناصر در پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه (رادنیم و همکاران، ۲۰۱۳) و زیرکونیوم به‌عنوان عنصر زمینه در نظر گرفته شد.

سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه زرآما زنگان اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها به روش‌های زیر تعیین شد:
 بافت نمونه‌های رسوب با استفاده از روش هیدرومتری مشخص گردید (گی و باوذر، ۱۹۸۶). pH و EC در عصاره اشباع تعیین شدند (کوروین و یموتو، ۲۰۱۷) و ماده آلی با روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری گردید (آورامیدیس و همکاران، ۲۰۱۵؛ زو و همکاران، ۲۰۱۶). تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه

جدول ۱. شاخص‌های آلودگی رسوب

ردیف	نام شاخص	فرمول
۱	ضریب غنی‌شدگی (EF)	$EF = (M/Sc)_{sample} / (M/Sc)_{Background}$
۲	شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})	$I_{geo} = \log_2 [C_n / 1.5B_n]$
۳	شاخص آلودگی (PI)	$PI_i = C_i / B_i$

M : غلظت فلز مورد نظر و Sc : غلظت فلز هدف در ترکیب زمینه
 C_n : غلظت کل هر فلز در خاک و B_n : غلظت زمینه برای هر فلز
 C_i : غلظت فلز در محیط و B_i : مقدار زمینه همان فلز

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص‌های آلودگی

دسته آلودگی یا ریسک بالقوه					نام شاخص
۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (زیاد)	۴ (بسیار زیاد)	۵ (فوق العاده زیاد)	
$EF < 2$	$2 < EF < 5$	$5 < EF < 20$	$20 < EF < 40$	$EF > 40$	ضریب غنی‌شدگی (EF)
$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} < 1$	$1 < I_{geo} < 2$	$I_{geo} > 2$	-	شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})
$PI \leq 1$	$1 < PI \leq 3$	$3 < PI \leq 6$	$6 \leq PI$	-	شاخص آلودگی (PI)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات

جدول ۳ آماره‌های توصیفی مربوط به ویژگی‌های فیزیکی رسوبات را نشان می‌دهد. از میان اجزاء رسوب، بیشترین و کمترین میانگین به ترتیب مربوط به سیلت و ماده آلی است. از میان پارامترهای فیزیکی، بیشترین و کمترین انحراف معیار (SD) به ترتیب مربوط به ماسه و pH می‌باشد. ماسه و ماده آلی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار ضریب تغییرات (CV) را دارند. شکل ۳ مثلث بافت رسوب نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. بیشتر نمونه‌ها در محدوده لوم سیلتی و لوم شنی واقع شده‌اند و تعداد کمتری از آن‌ها در محدوده لوم، لوم رسی و لوم سیلتی-رسی و یک نمونه نیز در محدوده سیلت-رس قرار گرفته است. مطالعه اسدزاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد که رسوبات بستر رودخانه زولاچای در هر سه ناحیه بالادست، اواسط و پایین‌دست در دو کلاس بافتی لوم شنی و یا شن لومی قرار دارد که بیانگر فراوانی ذرات شن و سپس سیلت در نمونه‌های رسوب بستر است. مطالعات موسوی‌حرمی (۱۳۹۳) بیانگر ارتباط بین اندازه ذرات رسوب با فاصله از بالادست رودخانه بوده و بر کاهش اندازه ذرات رسوب با افزایش فاصله از بالادست رودخانه دلالت دارد. در مطالعه حاضر فراوانی سیلت نسبت به ماسه و رس بیشتر است. در نتیجه فاصله پیموده شده توسط رسوبات از منشا فاصله متوسطی است.

۳-۲- مقادیر فلزات سنگین

غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول و همین‌طور براساس شکل ۴ در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، بیشترین غلظت در همه نمونه‌ها مربوط به نیکل است که بازه تغییرات غلظت میانگین وسیعی از حدود ۱۰۰ تا ۴۵۰ ppm دارا می‌باشد و بیشترین غلظت آن در رسوبات رودخانه باراندوزچای و در درجه بعدی در رسوبات گذارچای به چشم می‌خورد؛ پس از نیکل، غلظت کروم نیز در رسوبات همین دو رودخانه (گذارچای و باراندوزچای) بالا بوده و بازه تغییرات میانگین آن از کمتر از ۱۰۰ تا حدود ۲۵۰ ppm است. غلظت روی در رده سوم قرار گرفته و به طور مشهودی بیش از سایر فلزات سنگین مورد مطالعه بوده و بیشترین میزان میانگین آن در رسوبات سیمینه‌رود مشاهده

می‌گردد. بازه تغییرات مس از حدود ۳۰ تا حدود ۵۰ ppm می‌باشد و بیشترین غلظت میانگین آن در رسوبات گذارچای و سپس سیمینه‌رود و باراندوزچای به چشم می‌خورد. بازه تغییرات میانگین غلظت کبالت از حدود ۲۰ تا ۳۵ ppm بوده و بیشترین میزان آن در رسوبات باراندوزچای و سپس گذارچای دیده می‌شود. بازه تغییرات میانگین غلظت آرسنیک از حدود ۱۲ در رودخانه شهرچای تا حدود ۲۲ ppm در رسوبات رودخانه نازلوچای است. سرب دارای بازه تغییرات میانگین کمی در میان فلزات مورد مطالعه است که بیشترین میزان غلظت میانگین مربوط به رودخانه سیمینه‌رود و کمترین آن مربوط به مهابادچای و باراندوزچای است. کمترین غلظت فلزات سنگین، از میان فلزات مورد مطالعه به کادمیوم اختصاص دارد که تغییرات میانگین آن از کمتر از ۰/۱ ppm در رسوبات رودخانه شهرچای تا حدود ۰/۴ ppm در رسوبات سیمینه‌رود متغیر است. بر این اساس می‌توان روند زیر را برای غلظت میانگین رسوبات در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه در نظر گرفت: $Cd > Pb > As > Co > Cu > Zn > Cr > Ni$. از لحاظ مقایسه غلظت فلزات سنگین با استانداردها، در این مطالعه غلظت متوسط پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته شد که در مطالعات مختلف بر روی فلزات سنگین نیز از آن استفاده شده است (لوسکا و دانوتا، ۲۰۰۳؛ اولیوارس ریومونت و همکاران، ۲۰۰۵؛ سین و همکاران، ۲۰۰۵؛ اسلام و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) سنگ‌های پریدوتیتی و دیگر سنگ‌های فوق‌بازی در سرشاخه‌های اکثر رودخانه‌های مورد مطالعه به چشم می‌خورند که این سنگ‌ها منشا اصلی غلظت بالای عناصر سنگین به خصوص نیکل و کروم در نظر گرفته می‌شوند؛ همچنین گسترش سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی در منطقه و هوازدگی آن‌ها می‌تولند عناصر سنگین موجود در ترکیب سنگ را آزاد نماید که بخشی به صورت محلول در آب در آمده و بخشی به صورت بار بستر حمل می‌شود که بخش محلول در آب نیز با تغییر شرایط اکسایش-کاهش می‌تواند دوباره از طریق جذب سطحی به رسوبات اضافه گردد.

مطالعه انجام شده توسط سیفالاسلام و همکاران (۲۰۱۵) بر روی رسوبات یک رودخانه شهری در بنگلادش نشان داد که روند کاهش غلظت فلزات سنگین در رسوبات

بیشترین انحراف معیار (۱۵۰/۳۷ ppm) مربوط به نیکل و کمترین غلظت (۰/۰۸ ppm) و کمترین مقدار میانگین (۰/۲۸) و کمترین انحراف معیار (۰/۱۴) مربوط به کادمیوم می‌باشد. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به سرب (۱۱۵/۸۲) و کمترین ضریب تغییرات مربوط به روی است.

رودخانه‌ای بدین ترتیب است: $Cr > Ni > Cu > Pb > As > Cd$ که تا حدودی با مطالعه کنونی ما همخوانی دارد (صیفاالاسلام و همکاران، ۲۰۱۵). جدول ۵ آماره‌های توصیفی عناصر مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، بیشترین غلظت (ppm) ۵۹۷ و بیشترین مقدار میانگین (ppm) ۱۴۹/۱۵ و

جدول ۳. آماره‌های توصیفی پارامترهای فیزیکی مورد مطالعه

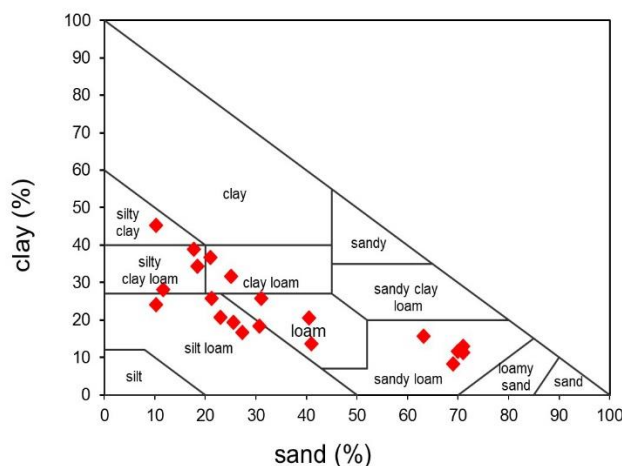
پارامتر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
ماسه		۳۴/۹۵	۷۱	۱۰/۲	۲۱/۷۵	۶۲/۲۴
سیلت		۴۲/۰۸	۶۵/۶۶	۱۶/۱	۱۵/۱۳	۳۵/۹۷
رس	(%)	۲۲/۹۸	۴۵/۲۹	۸/۲۲	۱۰/۲۵	۴۴/۶۲
ماده آلی		۱/۹۱	۳/۷۲	۰/۸۵	۰/۹۳	۴۸/۹۴
pH	-	۷/۴۶	۷/۷۲	۷/۲۳	۰/۱۴	۱/۹۲
EC	dSm ⁻¹	۰/۴۷	۱/۰۵	۰/۲۴	۰/۲۱	۴۴/۳۷

جدول ۴. مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه

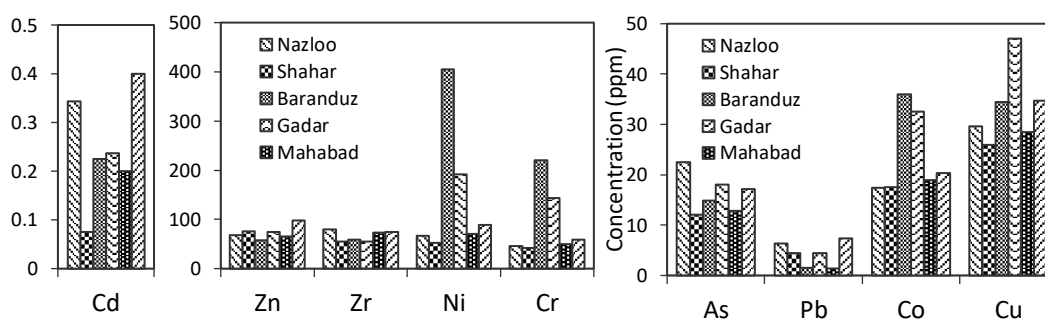
شماره نمونه	رودخانه	As	Ni	Zn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Zr
۱	نازلوچای	۱۷/۱۰	۳۷/۰۰	۵۳/۰۰	۰/۴۰	۳/۰۰	۱۳/۰۰	۲۸/۰۰	۱۹/۰۰	۷۶/۰۰
۲	نازلوچای	۸/۵۰	۵۰/۰۰	۹۴/۰۰	۰/۲۰	۶/۰۰	۱۸/۰۰	۳۷/۰۰	۲۷/۰۰	۷۴/۰۰
۳	نازلوچای	۱۷/۵۰	۵۴/۰۰	۸۲/۰۰	۰/۴۰	۳/۰۰	۱۸/۰۰	۴۳/۰۰	۳۱/۰۰	۶۶/۰۰
۴	نازلوچای	۶/۲۰	۸۳/۰۰	۸۲/۰۰	۰/۳۰	۷/۰۰	۱۸/۰۰	۵۶/۰۰	۴۲/۰۰	۸۲/۰۰
۵	نازلوچای	۱۹/۴۰	۹۶/۰۰	۶۸/۰۰	۰/۳۰	۴/۰۰	۱۷/۰۰	۴۹/۰۰	۲۷/۰۰	۸۲/۰۰
۶	نازلوچای	۳۰/۱۰	۶۱/۰۰	۵۵/۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۱۷/۰۰	۴۴/۰۰	۲۵/۰۰	۷۲/۰۰
۷	نازلوچای	۵۳/۳۰	۵۲/۰۰	۵۴/۰۰	۰/۵۰	۵/۰۰	۱۷/۰۰	۴۰/۰۰	۲۴/۰۰	۸۳/۰۰
۸	شهرچای	۱۷/۳۰	۵۲/۰۰	۵۷/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۰	۱۶/۰۰	۴۲/۰۰	۲۴/۰۰	۸۰/۰۰
۹	شهرچای	۱۳/۵۰	۷۰/۰۰	۷۷/۰۰	۰/۳۰	۲۴/۰۰	۱۹/۰۰	۴۸/۰۰	۳۴/۰۰	۸۹/۰۰
۱۰	باراندوزچای	۱۳/۵۰	۴۸/۰۰	۷۶/۰۰	۰/۰۸	۵/۰۰	۲۰/۰۰	۴۷/۰۰	۲۵/۰۰	۴۰/۰۰
۱۱	باراندوزچای	۱۰/۷۰	۵۶/۰۰	۷۶/۰۰	۰/۰۸	۴/۰۰	۱۵/۰۰	۳۷/۰۰	۲۷/۰۰	۷۰/۰۰
۱۲	باراندوزچای	۲۰/۰۰	۵۹۷/۰۰	۶۸/۰۰	۰/۳۰	۴/۰۰	۵۱/۰۰	۳۱۷/۰۰	۴۸/۰۰	۶۶/۰۰
۱۳	باراندوزچای	۱۴/۰۰	۴۴۱/۰۰	۶۲/۰۰	۰/۲۰	۰/۷۵	۳۸/۰۰	۲۰۲/۰۰	۳۶/۰۰	۵۴/۰۰
۱۴	گذارچای	۱۷/۳۰	۳۵۵/۰۰	۵۶/۰۰	۰/۲۰	۰/۷۵	۳۲/۰۰	۲۱۳/۰۰	۳۱/۰۰	۶۰/۰۰
۱۵	گذارچای	۸/۱۰	۲۲۸/۰۰	۴۳/۰۰	۰/۲۰	۰/۷۵	۲۳/۰۰	۱۵۱/۰۰	۲۳/۰۰	۵۳/۰۰
۱۶	مهابادچای	۵/۷۰	۱۷۶/۰۰	۷۹/۰۰	۰/۰۸	۶/۰۰	۳۳/۰۰	۱۶۷/۰۰	۴۰/۰۰	۵۳/۰۰
۱۷	مهابادچای	۳۰/۴۰	۲۰۶/۰۰	۷۰/۰۰	۰/۴۰	۳/۰۰	۳۲/۰۰	۱۲۱/۰۰	۵۴/۰۰	۵۸/۰۰
۱۸	سیمینهرود	۱۳/۳۰	۷۵/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۲۰	۲/۰۰	۱۹/۰۰	۵۴/۰۰	۳۰/۰۰	۸۱/۰۰
۱۹	سیمینهرود	۱۲/۳۰	۶۷/۰۰	۵۷/۰۰	۰/۲۰	۰/۷۵	۱۹/۰۰	۵۴/۰۰	۳۰/۰۰	۸۱/۰۰
۲۰	سیمینهرود	۱۳/۸۰	۸۷/۰۰	۸۸/۰۰	۰/۴۰	۲/۰۰	۱۹/۰۰	۵۷/۰۰	۳۱/۰۰	۷۲/۰۰

جدول ۵. آماره‌های توصیفی پارامترهای شیمیایی مورد مطالعه

عنصر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
As		۱۷	۵۳/۳	۵/۷	۱۰/۷۲	۶۰/۵۴
Ni		۱۴۹/۱۵	۵۹۷	۴۸	۱۵۰/۳۷	۱۰۰/۸۲
Zn		۷۱/۵۵	۱۰۶	۴۳	۱۵/۹	۲۲/۲۲
Cd		۰/۲۸	۰/۵	۰/۰۸	۰/۱۴	۵۰/۶۹
Pb	ppm	۴/۶۹	۲۴	۰/۷۵	۵/۴۲	۱۱۵/۵۴
Co		۲۳/۲۵	۵۱	۱۵	۹/۲۴	۳۹/۷۶
Cr		۹۲/۶	۳۱۷	۳۷	۷۷/۵۷	۸۳/۷۶
Cu		۳۲/۶	۵۴	۲۷	۸/۴۲	۲۵/۸۳



شکل ۳. مثلث بافت رسوب



شکل ۴. میانگین تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌های مختلف

باراندوزچای و گذارچای به ترتیب بزرگی در محدوده ریسک بسیار زیاد قرار می‌گیرند و تنها رسوبات رودخانه‌های شهرچای و مهباد چای از نظر این شاخص در محدوده ریسک زیاد قرار دارند. در مورد Zn، شاخص زمین‌انباشت در رسوبات همه رودخانه‌ها در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرد و تنها در مورد رسوبات سیمینه‌رود در محدوده آلودگی متوسط قرار دارد. فلز کادمیوم از نظر شاخص زمین‌انباشت، در رسوبات رودخانه‌های سیمینه‌رود و نازلوچای در محدوده آلودگی زیاد، رسوبات رودخانه‌های باراندوزچای، مهباد چای و گذارچای به ترتیب بزرگی در محدوده آلودگی متوسط و رسوبات شهرچای در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرند. فلز سنگین سرب از نظر شاخص زمین‌انباشت در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرد و نگرانی خاصی در مورد آن وجود ندارد. کبالت از نظر این شاخص در رسوبات رودخانه‌های باراندوزچای و گذارچای در محدوده آلودگی زیاد، در رسوبات رودخانه‌های سیمینه‌رود و مهبادچای در محدوده آلودگی متوسط و در رسوبات رودخانه‌های

۳-۳- شاخص‌های آلودگی

الف) شاخص زمین‌انباشت: نمودار تغییرات شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}) برای رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس بازه‌های ارائه شده در جدول ۳، شاخص زمین‌انباشت کمتر یا مساوی ۱، به معنی آلودگی یا ریسک کم، بازه شاخص زمین‌انباشت بین صفر و ۱ به معنی آلودگی یا ریسک متوسط، بازه ۱ تا ۲ آلودگی یا ریسک زیاد و بازه ضریب زمین‌انباشت بیش از ۲ به معنی آلودگی و ریسک زیاد است. با توجه به شکل ۵ بیشترین میزان شاخص زمین‌انباشت مربوط به فلز سنگین نیکل در رودخانه باراندوزچای و سپس گذارچای است که در بازه آلودگی و ریسک خیلی زیاد قرار می‌گیرند. شاخص زمین‌انباشت رسوبات رودخانه‌های نازلوچای، سیمینه‌رود و مهبادچای در بازه ۰ و ۱ قرار می‌گیرند که دارای آلودگی زیاد می‌باشد و تنها رسوبات رودخانه شهرچای از نظر شاخص زمین‌انباشت در محدوده آلودگی متوسط هستند. بر روی شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد که شاخص زمین‌انباشت آرسنیک در رسوبات رودخانه‌های نازلوچای، سیمینه‌رود،

غنی‌شدگی در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده آلودگی زیاد قرار دارد. ترتیب اهمیت ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه نیز بدین صورت می‌باشد:

$Ni > As > Cr > Cd > Cu > Co > Zn > Pb$.

ج) شاخص آلودگی (PI): شاخص آلودگی از تقسیم غلظت فلز مورد مطالعه بر غلظت زمینه آن به دست می‌آید که فرمول آن در جدول ۲ آورده شده است. شکل ۷ میانگین تغییرات شاخص آلودگی در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. کمترین میزان شاخص مربوط به سرب (کمتر از ۰/۵) و بیشترین میزان آن مربوط به نیکل (بیش از ۲۰) است. از میان فلزات سنگین مورد مطالعه، نیکل در رسوبات رودخانه باراندوزچای بیشترین شاخص آلودگی را دارا می‌باشد و در رسوبات گذارچای در رده بعدی واقع شده است. آرسنیک بیشترین میانگین شاخص آلودگی را رسوبات نازلو چای نشان می‌دهد و شاخص غنی‌شدگی شبه فلز آرسنیک در رسوبات سایر رودخانه‌ها نیز بالا است. کروم از نظر شاخص آلودگی در رده سوم قرار می‌گیرد که بیشترین ضریب آلودگی آن در رودخانه باراندوزچای و سپس گذارچای به چشم می‌خورد. شاخص آلودگی کادمیوم، مس و کبالت در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند و سرب و روی نیز به ترتیب کمترین شاخص آلودگی را در میان فلزات و رسوبات رودخانه‌های مختلف مورد مطالعه دارا می‌باشند. رده‌بندی شاخص آلودگی در میان فلزات و رسوبات رودخانه‌ای مورد مطالعه بدین ترتیب است:

$Ni > As > Cr > Cd > Co > Cu > Zn > Pb$

بر اساس مطالعه سه شاخص بالا، می‌توان میزان ریسک فلزات در رسوبات رودخانه‌های منطقه را بدین ترتیب طبقه‌بندی نمود: $Ni > As > Cd > Cr > Co > Cu > Zn > Pb$. مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۱۸) بر روی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی اطراف دریاچه ارومیه نشان داد که ترتیب بزرگی شاخص‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص آلودگی فلزات سنگین چنین است: $Pb > Cu > Ni > Zn > Cd > As$ که حاکی از آلودگی جزئی خاک‌ها بوده و با مطالعه حاضر همخوانی ندارد و می‌تواند بیانگر منشا متفاوت این فلزات در خاک‌ها و رسوبات رودخانه‌ای باشد، زیرا رسوبات رودخانه‌ای به دلیل منشا گرفتن از مناطق بالادست می‌توانند غلظت عناصر متفاوتی داشته

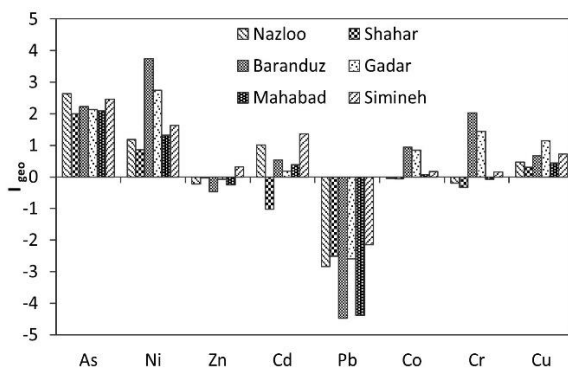
شهرچای و نازلوچای در محدوده آلودگی کم قرار دارد. شاخص زمین‌انباشت فلز سنگین کروم در رودخانه‌های باراندوزچای و گذارچای به ترتیب در محدوده آلودگی بسیار زیاد و زیاد قرار دارد، در رسوبات سیمینه‌رود در محدوده آلودگی متوسط و در سایر رودخانه‌ها در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرد. شاخص زمین‌انباشت مس در رسوبات گذارچای در محدوده آلودگی زیاد و در رسوبات سایر رودخانه‌ها در محدوده آلودگی متوسط قرار دارد. به طور کلی می‌توان ترتیب شاخص زمین‌انباشت فلزات مورد مطالعه را در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه بدین ترتیب تصور نمود:

$Ni > As > Cr > Cd > Cu > Co > Zn > Pb$.

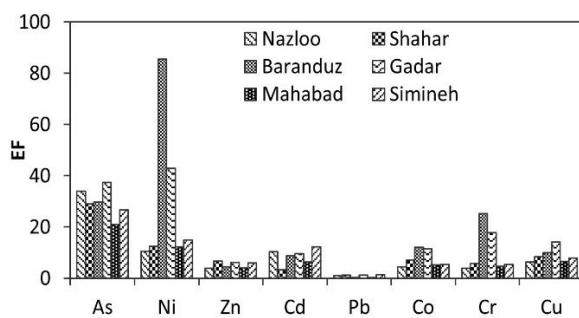
ب) ضریب غنی‌شدگی (EF): شکل ۶ تغییرات ضریب غنی‌شدگی در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳، ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۱ به معنی آلودگی کم، بین ۲ و ۵ به معنی آلودگی متوسط، ضریب غنی‌شدگی بین ۵ تا ۲۰ به معنی آلودگی زیاد، بین ۲۰ تا ۴۰، آلودگی بسیار زیاد و شاخص غنی‌شدگی بیش از ۴۰ آلودگی فوق‌العاده زیاد را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشان می‌دهد که نیکل دارای بیشترین بازه تغییرات شاخص غنی‌شدگی به ترتیب در رسوبات رودخانه باراندوزچای و گذارچای است که در محدوده آلودگی فوق‌العاده زیاد قرار می‌گیرند و ضریب غنی‌شدگی در رسوبات ۴ رودخانه دیگر در محدوده آلودگی زیاد قرار دارد. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک، در رسوبات هر ۶ رودخانه مورد مطالعه در بازه آلودگی بسیار زیاد قرار می‌گیرد. فلز روی از نظر ضریب غنی‌شدگی در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی متوسط تا زیاد واقع شده است. ضریب غنی‌شدگی کادمیوم در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی زیاد قرار دارد به جز رسوبات شهرچای که در محدوده آلودگی متوسط واقع شده است. ضریب غنی‌شدگی سرب در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده آلودگی کم قرار دارد. کبالت از نظر ضریب غنی‌شدگی در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده آلودگی زیاد قرار می‌گیرد. ضریب غنی‌شدگی کروم در رسوبات رودخانه باراندوزچای در محدوده آلودگی بسیار زیاد و در رسوبات سایر رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی زیاد می‌باشد. فلز مس نیز از نظر ضریب

عناصر متغیر بوده است؛ همان‌گونه که در مطالعه عابدینی و همکاران (۱۳۹۱) بر روی نهشته‌های لاتریتی واقع در جنوب منطقه مورد مطالعه حاضر، فرآیندهای جذب سطحی توسط رس‌ها، رویش و تمرکز توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی و اختلاف در پایداری کانی‌ها در برابر هوازدگی به عنوان عوامل اصلی کنترل کننده توزیع عناصر جزئی در کانسنگ‌ها در نظر گرفته شده است.

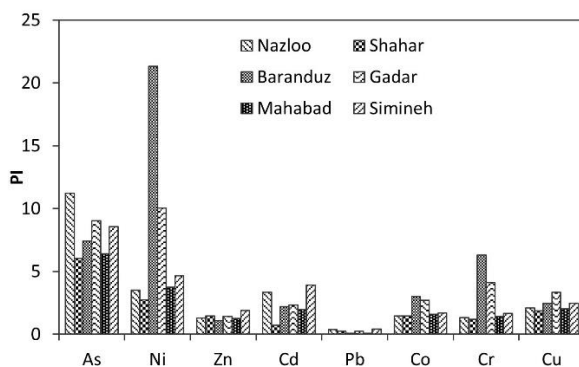
باشند (محمدی و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین افزوده شدن فاضلاب شهری و صنعتی تصفیه نشده و دیگر آلاینده‌های انسان‌زاد به آب رودخانه‌ها می‌تواند عامل غنی‌شدگی فلزات سنگین باشد (خادس و همکاران، ۲۰۰۸؛ ونوگوپال و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به شکل ۳، متغیر بودن غلظت عناصر در پوسته زمین و حد مجاز هر عنصر در رسوبات و موقعیت هر نمونه نسبت به منطقه منشا و همین‌طور وجود سنگ‌های منشا متفاوت موجب شده است که غلظت



شکل ۵. میانگین شاخص زمین‌انباشت فلزات سنگین مورد مطالعه



شکل ۶. میانگین ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین مورد مطالعه



شکل ۷. میانگین تغییرات شاخص آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه

طبیعی یا انسان‌زاد است (جادون و همکاران، ۲۰۲۰؛ وونگدالا و همکاران، ۲۰۱۹). خاک‌ها و رسوبات حاصل از سنگ‌های میزبان فوق‌بازی (افیولیت‌ها)، مقادیر زیادی از آلودگی فلزات سنگین هستند (محمدی و همکاران،

د) همبستگی آماری بین پارامترهای مورد مطالعه: با توجه به جدول ماتریس همبستگی آماری، بیشترین میزان همبستگی بین کبالت و کروم با نیکل دیده می‌شود (جدول ۶). منشا فلزات سنگین در اکوسیستم خاک از منابع

اکسایش- کاهش، دما و pH محیط رسوب می‌کنند که این امر اغلب در مصب رودخانه‌ها یا محل به‌هم‌پیوستن شاخه‌های رودخانه به هم، با ترکیب شدن آب‌های شور و شیرین اتفاق می‌افتد که موجب رسوب فلزات سنگین به صورت چسبیده به مواد معلق می‌شود (ایبای، ۲۰۱۶). با مشاهده ترتیب نمونه‌های رسوب برداشته شده از هر رودخانه از بالادست به سمت دریاچه، در مورد نمونه‌های نازلوچای از نمونه شماره ۱ تا ۵ به ترتیب افزایش غلظت نیکل، کروم و مس مشهود است. در مورد رودخانه باراندوزچای نیز در ۴ نمونه از بالادست به سمت پایین دست غلظت نیکل در نمونه‌ها افزایش نشان می‌دهد.

در مطالعات زمین‌شناسی زیست‌محیطی، معمولاً همراهی و همبستگی بالای عناصر با یکدیگر نشانه منشا مشترک آن‌هاست (یالسین و همکاران، ۲۰۰۷). کبالت و کروم با سیلت رابطه مثبت معنی‌دار دارند (به ترتیب $r=0.68$, $p<0.01$ و $r=0.65$, $p<0.01$) که نشان می‌دهد بخش اعظم این دو فلز در تماس با سیلت با بوده و در مقایسه با نیکل، احتمال رسوب این فلزات از حالت محلول بیشتر است. همبستگی روی با ماده آلی و رس معنی‌دار است (به ترتیب $r=0.53$, $p<0.05$ و $r=0.45$, $p<0.05$). در نتیجه به نظر می‌رسد بخش اعظم روی موجود در رسوبات همراه با ماده آلی رسوب کرده و احتمال منشا انسان‌زاد آن بیشتر است. روی با pH همبستگی منفی معنی‌دار ($r=-0.77$, $p<0.01$) و با EC همبستگی مثبت معنی‌دار ($r=0.74$, $p<0.01$) دارد. آرسنیک و کادمیوم نیز دارای همبستگی معنی‌دار هستند ($r=0.67$, $p<0.01$) و احتمال دارد هر دو از منشا انسان‌زاد باشند. فعالیت‌های کشاورزی گسترده در استان آذربایجان غربی و استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها و فاضلاب کشاورزی را می‌توان از دلایل این افزایش غلظت در نظر گرفت که در مطالعات زیادی به این منشا اشاره شده است (مانند: ساکان و همکاران، ۲۰۱۵؛ پاندی و سین، ۲۰۱۷). در جدول ۷ می‌توان مشاهده نمود که پارامترهای مورد مطالعه در ۴ مولفه قرار گرفته‌اند که در مجموع ۸۵ درصد از واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند. در مولفه اول فلزات نیکل و کروم به همراه ماسه دارای بیشترین ضرایب هستند که بیانگر منشا طبیعی این دو عنصر است. روی و مس به همراه pH در مولفه دوم قرار گرفته‌اند که بیانگر وابستگی غلظت این دو عنصر به تغییرات pH است. روی و مس در سنگ‌ها معمولاً با هم یافت می‌شوند و منشا این دو عنصر

۲۰۱۹). افیولیت‌ها و سنگ‌های فوق بازی از جمله پریدوتیت‌ها در غرب دریاچه ارومیه گسترش قابل‌توجهی دارند. پریدوتیت‌ها از جمله سنگ‌های آذرین درونی هستند و سنگ‌های آذرین درونی در شرایط دما و فشار سطح زمین ناپایدار می‌باشند و در اثر هوازدگی به سرعت عناصر و فلزات سنگین موجود در خود را آزاد می‌کنند. از سوی دیگر کروم، نیکل و کبالت از جمله عناصر فرعی سازگار در ساختار کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و اورتوپیروکسن در سنگ‌های فوق بازی هستند. بنابراین می‌توان هوازدگی پریدوتیت‌ها و دیگر سنگ‌های فوق‌بازی موجود در منطقه را به عنوان دلیل اصلی افزایش غلظت کبالت و کروم در نظر گرفت که هوازدگی این سنگ‌ها موجب غنی‌شدگی عناصر مزبور در رسوبات آبراهه‌ای و در نهایت در رسوبات رودخانه‌ای شده است. از سوی دیگر معدنکاری (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵) و مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و ورود فاضلاب‌های شهری به رودخانه‌ها از جمله منابع انسان‌زاد آلودگی‌های فلزی هستند. همان‌طور که در مطالعه لاهیجانی و همکاران (۱۳۹۹) مشخص گردید غلظت برخی فلزات سنگین در نمونه پایین‌دست تصفیه خانه فاضلاب در رسوبات مهابادچای بیشتر از نمونه‌های دیگر است. با توجه به گسترش فعالیت‌های کشاورزی در سال‌های اخیر و استفاده از کودها و سموم مختلف در باغات و زمین‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های کشاورزی به رودخانه‌ها نیز می‌تواند از دلایل دیگر افزایش غلظت این عناصر باشد.

با توجه به جدول ضرایب همبستگی، از آنجا که همبستگی نیکل با ذرات ماسه معنی‌دار است ($r=0.66$, $p<0.01$)، فرض اول ما یعنی منشا طبیعی آلودگی منطقی‌تر به نظر می‌رسد. مطالعه انجام شده بر روی ترکیب عناصر فرعی و نادر نهشته لاتریتی داش‌آغ (واقع در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه حاضر) نشان داد که نیکل به مقدار قابل توجه و کبالت در مقادیر کمتری در سنگ‌های این بخش از منطقه وجود دارد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۱) که مویده منشا طبیعی این دو عنصر در منطقه می‌باشد. از سوی دیگر بخشی از فلزات سنگین در منشا پس از هوازدگی سنگ‌ها یا در مسیر حرکت آب‌ها به صورت محلول در آب در می‌آیند و آلاینده‌های انسان‌زاد نیز اغلب به شکل محلول در آب وارد منابع آبی می‌شوند و فلزات به حالت محلول از هر دو انسان‌زاد و طبیعی با مناسب شدن شرایط

حاضر همخوانی دارد. ماده آلی و سرب نیز در مولفه چهارم واقع شده‌اند؛ بنابراین بخش اعظم سرب موجود در رسوبات به صورت کلوئیدی و در پیوند با ماده آلی می‌باشد که احتمال منشا انسان‌زاد این عنصر نیز زیاد است، زیرا ماده آلی به خودی خود آلوده نیست و آلودگی موجود در آب جذب ماده آلی شده و به صورت کلوئیدی رسوب نموده است.

می‌تواند طبیعی یا انسان‌زاد باشد که از حالت محلول رسوب کرده‌اند. در مولفه سوم، کادمیوم و آرسنیک قرار گرفته‌اند که قرارگیری آن‌ها در یک مولفه بیانگر منشا مشترک آن‌هاست. در مطالعه انجام شده توسط علی‌محمدی و قدیمی (۱۴۰۰) نیز همبستگی کادمیوم و آرسنیک در معدن زرشوران تکاب (واقع در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه حاضر) نشان داده شد که با مطالعه

جدول ۶. ماتریس همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه

Variable	OM	pH	EC	Sand	Silt	Clay	As	Ni	Zn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu
OM	1.00													
pH	-0.73**	1.00												
EC	0.54*	-0.50	1.00											
Sand	-0.35	0.31	0.48*	1.00										
Silt	0.44*	-0.22	0.38	-0.91**	1.00									
Clay	0.10	-0.32	0.44*	-0.78**	0.45*	1.00								
As	-0.31	0.27	-0.02	-0.39	0.41	0.23	1.00							
Ni	-0.34	0.36	-0.36	0.66**	0.65**	-0.45*	-0.06	1.00						
Zn	0.53*	-0.77**	0.74**	-0.26	0.06	0.45*	-0.22	-0.26	1.00					
Cd	0.11	-0.01	0.52*	-0.57**	0.52*	0.45*	0.67**	-0.11	0.20	1.00				
Pb	-0.05	-0.29	0.22	-0.23	0.08	0.39	-0.08	-0.22	0.48*	0.12	1.00			
Co	-0.31	0.24	-0.35	0.64**	0.68**	-0.35	-0.05	0.94**	0.11	0.10	0.13	1.00		
Cr	-0.34	0.37	-0.39	0.71**	0.70**	-0.47*	-0.12	0.97**	0.26	0.18	0.21	0.96**	1.00	
Cu	-0.03	-0.16	0.09	0.10	-0.33	0.26	-0.05	0.49*	0.39	0.18	0.21	0.66**	0.50*	1.00

جدول ۷. آنالیز مولفه‌های اصلی پارامترهای مورد مطالعه در تحقیق

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
OM	0.227	-0.234	-0.253	-0.509
pH	-0.227	0.372	0.217	0.103
EC	0.281	-0.265	0.059	-0.218
Sand	-0.369	-0.083	-0.211	0.002
Silt	0.341	0.201	0.118	-0.207
Clay	0.280	-0.120	0.273	0.302
As	0.078	0.258	0.509	-0.091
Ni	-0.353	-0.177	0.205	-0.174
Zn	0.213	-0.477	-0.046	0.055
Cd	0.193	-0.009	0.515	-0.239
Pb	0.133	-0.226	0.063	0.644
Co	-0.336	-0.261	0.230	-0.111
Cr	-0.366	-0.184	0.170	-0.138
Cu	-0.097	-0.443	0.315	0.065
Eigenvalue	5.757	2.762	2.224	1.231
Proportion	0.411	0.197	0.159	0.088
Cumulative (%)	41.1	60.8	76.7	85.5

۴- نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از مطالعه شاخص زمین‌انباشت، فلزات سنگین نیکل، کبالت و کروم در رسوبات رودخانه باراندوزچای و گذارچای در بازه آلودگی و ریسک خیلی زیاد و در رسوبات نازلوچای، سیمینه‌رود و مهابادچای در محدوده ریسک زیاد قرار می‌گیرند. شبه فلز آرسنیک در رسوبات رودخانه‌های نازلوچای، سیمینه‌رود، باراندوزچای و گذارچای در محدوده ریسک بسیار زیاد قرار می‌گیرند و تنها رسوبات رودخانه‌های شهرچای و مهاباد چای از نظر این شاخص در محدوده ریسک زیاد قرار دارند. کادمیوم در رسوبات سیمینه‌رود و نازلوچای در محدوده آلودگی زیاد و در رسوبات رودخانه‌های باراندوزچای، مهابادچای و گذارچای به ترتیب بزرگی در محدوده آلودگی متوسط قرار دارند. تنها سرب از نظر شاخص زمین‌انباشت در محدوده ریسک کم قرار دارد.

ضریب غنی‌شدگی نیکل در رسوبات باراندوزچای و گذارچای در محدوده آلودگی فوق‌العاده زیاد و در رسوبات رودخانه دیگر در محدوده آلودگی زیاد قرار دارد. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک، در رسوبات هر ۶ رودخانه مورد مطالعه در بازه آلودگی بسیار زیاد قرار می‌گیرد. روی از نظر ضریب غنی‌شدگی در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی متوسط تا زیاد واقع شده است. ضریب غنی‌شدگی کادمیوم، مس و کبالت تقریباً در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی زیاد قرار دارد. ضریب غنی‌شدگی کروم در رسوبات رودخانه باراندوزچای در محدوده آلودگی بسیار زیاد و در رسوبات سایر رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه آلودگی زیاد می‌باشد. ضریب غنی‌شدگی سرب در رسوبات تمام رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده آلودگی کم قرار دارد. شاخص آلودگی نیکل در رسوبات رودخانه باراندوزچای بیشترین شاخص آلودگی را دارا می‌باشد و در رسوبات گذارچای در رده بعدی واقع شده است. آرسنیک بیشترین میانگین شاخص آلودگی را رسوبات نازلوچای نشان می‌دهد و شاخص آلودگی این شبه فلز در رسوبات سایر رودخانه‌ها نیز بالا است. کروم از نظر شاخص آلودگی در رده سوم قرار می‌گیرد که بیشترین شاخص آلودگی آن در رودخانه باراندوزچای و سپس گذارچای به چشم می‌خورد. شاخص آلودگی کادمیوم، مس و کبالت در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه در رده‌های بعدی

قرار می‌گیرند و سرب و روی نیز به ترتیب کمترین شاخص آلودگی را در میان فلزات و رسوبات رودخانه‌های مختلف مورد مطالعه دارا می‌باشند. بر اساس مطالعه سه شاخص بالا، می‌توان میزان ریسک فلزات در رسوبات رودخانه‌های منطقه را بدین ترتیب طبقه‌بندی نمود: $Ni > As > Cd > Cr > Co > Cu > Zn > Pb$.

در ماتریس همبستگی آماری، بیشترین میزان همبستگی بین کبالت و کروم با نیکل دیده می‌شود که دلیل آن را می‌توان منشا زمین‌زاد مشترک این فلزات دانست که با توجه به گسترش افیولیت‌ها در غرب دریاچه ارومیه و هوازگی آن‌ها، یکی از دلایل این افزایش غلظت، هوازگی این سنگ‌ها در نظر گرفته می‌شود گرچه معدنکاری، فعالیت‌های صنعتی، مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و فاضلاب شهری نیز می‌توانند در غلظت بالای این فلزات در رسوبات رودخانه‌ای منطقه نقش داشته باشند، اما از آنجا که همبستگی نیکل با ماسه معنی‌دار است، منشا طبیعی این عنصر محتمل‌تر به نظر می‌رسد. همبستگی روی با ماده آلی و رس معنی‌دار است و بیانگر جذب آلاینده‌های موجود در آب توسط رس و ماده آلی است. رابطه آرسنیک و کادمیوم معنادار نیز است و احتمال منشا انسان‌زاد این عناصر بیشتر است.

آنالیز مولفه‌های اصلی حاکی از وجود ۴ منشا برای فلزات سنگین مورد مطالعه است. در مولفه اول فلزات نیکل و کروم به همراه ماسه دارای بیشترین ضرایب هستند که بیانگر منشا طبیعی این دو عنصر است. روی و مس به همراه pH در مولفه دوم قرار گرفته‌اند که حاکی از وابستگی غلظت این دو عنصر به تغییرات pH است؛ منشا این دو عنصر می‌تواند طبیعی یا انسان‌زاد باشد که از حالت محلول رسوب کرده‌اند. در مولفه سوم، کادمیوم و آرسنیک قرار گرفته‌اند که قرارگیری آن‌ها در یک مولفه بیانگر منشا مشترک آن‌هاست. در مولفه چهارم نیز ماده آلی و سرب واقع شده‌اند؛ بنابراین بخش اعظم سرب موجود در رسوبات به صورت کلوئیدی و در پیوند با ماده آلی می‌باشد که احتمال منشا انسان‌زاد این عنصر نیز زیاد است.

منابع

باقری، ح.، شارمد، ت.، خیرآبادی، و.، درویش بسطامی، ک.، باقری، ز (۱۳۹۰) سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین

- نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۲، شماره ۲، ص ۱۲۷-۱۴۱.
- Abbaszadeh, M., Mahdavi, R. and Rezai, M (2019) Assessment of sedimentation process in flood water spreading system using IRS (P5) and supervised classification algorithms (case study: Dahandar plain, Minab city, south of Iran). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100269 p.
- Ali, H., Khan, E. and Ilahi, I (2019) Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry, murch*, 5: 2019.
- Armitage, P. D., Bowes, M. J., Vincent, H. M (2007) Long-term changes in macroinvertebrate communities of a heavy metal polluted stream: the River Nent (Cumbria, UK) after 28 years. *River Res. Appl*, 23: 997-1015.
- Avramidis, P., Nikolaou, K. and Bekiari, V (2015) Total organic carbon and total nitrogen in sediments and soils: a comparison of the wet oxidation-titration method with the combustion-infrared method. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4(1): 425-430.
- Bhattacharya, A., Routh, J., Jacks, G (2006) Environmental Assessment of Abandoned Mine Tailings in Adak, Västerbotten District (Northern Sweden). *Applied Geochemistry*, 21: 1760-1780.
- Chen, H. Y., Teng, Y. G., Li, J., Wu, J., Wang, J. S (2016) Source apportionment of trace metals in river sediments: a comparison of three methods. *Environ. Pollut*, 211: 28-37.
- Chen, L., Zhou, S., Shi, Y., Wang, C., Li, B., Li, Y., Wu, S (2018) Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River watershed of the Lake Tai region and their potential health risks when ingested. *Sci. Total Environ*, 615: 141-149.
- Chen, M., Li, F., Tao, M., Hu, L., Shi, Y. and Liu, Y (2019 b) Distribution and ecological risks of heavy metals in river sediments and overlying water in typical mining areas of China. *Marine pollution bulletin*, 146: 893-899.
- Chen, R., Chen, H., Song, L., Yao, Z., Meng, F. and Teng, Y (2019a) Characterization and source apportionment of heavy metals in the sediments of Lake Tai (China) and its surrounding soils. *Science of The Total Environment*, 694, 133819 p.
- Cheng, H., Li, M., Zhao, C., Li, K., Peng, M., Qin, A., Cheng, X (2014) Overview of tracemetals in the urban soil of 31metropolises in China. *J. Geochem. Explor*, 139: 31-52.
- Cheng, J. L., Shi, Z., Zhu, Y. W (2007) Assessment and Mapping of Environmental Quality in در رسوبات رودخانه گرگان‌رود، نشریه اقیانوس‌شناسی، سال دوم، شماره ۵، ص ۳۹-۳۵.
- Zn, Ni) بهادر، م و مرادی، ع (۱۳۹۶) آلودگی فلزات سنگین (Pb و Zn) در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس، فصلنامه اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال نهم، شماره ۳۱، ص ۵۶-۴۷.
- دررویشی‌خاتونی، ج، محمدی، ع (۱۳۹۰) گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه فاز III: پالئوکلیماتولوژی، پالئواکولوژی و پالئوژئوگرافی، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۰ ص.
- دررویشی‌خاتونی، ج، نریمی‌سا، س، محمدی، ع، صالحی پومیلانی، ع (۱۳۹۰) سهم زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از آب رودخانه‌ها و تامین آب مورد نیاز جهت حفظ سطح تراز بهینه، با بررسی اثرات طرح‌های توسعه بر روی دریاچه ارومیه، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، ارومیه.
- رضایی، ر، حساری، ب (۱۳۹۵) مکان‌یابی اولیه باغات مستعد تولید سیب ارگانیک در شهرستان ارومیه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۱۶۸-۱۵۳.
- شهرکی، م، محمودی‌قرایی، م.ح، موسوی‌حرمی، ر، احمدی، ع (۱۳۹۴) ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه سرپاز در جنوب خاور ایران به منظور تعیین منشأ رسوب‌ها و تاثیر آن بر آلودگی‌های زیست‌محیطی، نشریه علوم زمین، سال ۲۵، شماره ۹۷، ص ۲۳۷ تا ۲۵۰.
- عابدینی، ع، مرادی، ش، علیزاده، ا (۱۳۹۱) فاکتورهای کنترل کننده توزیع عناصر اصلی، فرعی، جزئی و نادر خاکی در نهشته لاتریتی داش‌آغ، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی، شمال غرب ایران، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۵۹-۳۸.
- علی‌محمدی، ر، قدیمی، ف (۱۴۰۰) پیش‌بینی عیار طلا در معدن زرشوران تکاب با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۵، شماره ۲۹، ص ۱ تا ۱۴.
- لاهیجانی، ا، رستگاری‌مهر، م، شاکری، ع، یگانه‌فر، م (۱۳۹۹) مطالعه فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه و سد مهاباد و ارزیابی خطر مصرف ماهی‌های خوراکی منطقه، مجله سلامت و محیط‌زیست، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۴۹ تا ۶۴.
- موسوی‌حرمی، ر (۱۳۹۳) رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۶ ص.
- موسوی، س. پ، مختاری، م. ا، خسروی، س، حسین‌زاده، ر (۱۳۹۵) بررسی آلودگی زیست‌محیطی رسوبات آبراه‌ای به عناصر سنگین در منطقه زرشوران- آغدره (شمال تکاب)،

- of trace metals in surface sediments of the dam reservoir, *The International Journal of Engineering and Science*, 3 (1): 23–32.
- Mohammadi, A., Hajizadeh, Y., Taghipour, H., Mosleh Arani, A., Mokhtari, M and Fallahzadeh, H (2018) Assessment of metals in agricultural soil of surrounding areas of Urmia Lake, northwest Iran: A preliminary ecological risk assessment and source identification, *Human and Ecological Risk Assessment: an International journal*, 24(8): 2070-2087.
- Muhammad, S., Ullah, R., Jadoon, I. A (2019) Heavy metals contamination in soil and food and their evaluation for risk assessment in the Zhob and Loralai valleys, Baluchistan province, Pakistan. *Microchem*, 149: 103971.
- Pandey, J. and Singh, R (2017) Heavy metals in sediments of Ganga River: up-and downstream urban influences. *Applied Water Science*, 7(4): 1669-1678.
- Rajeshkumar, S., Liu, Y., Zhang, X., Ravikumar, B., Bai, G., Li, X (2018) Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Lake Tai in China. *Chemosphere*, 191: 626–638.
- Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D. and Turekian, K. K (2003) Composition of the continental crust. *The crust*, 3: 1-64.
- Saiful Islama, M, Kawser Ahmedc, M, Raknuzzamanb, M, Habibullah -Al- Mamunb, M, Kamrul Islam, M (2015) Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, *Ecological Indicators*, 48: 282–291.
- Siegle, F. R (2002) *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 226 p.
- Sin, S. N., Chua, H., Lo, W., Ng, L. M (2001) Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong. *Environ. Int*, 26: 297–301.
- Singh, K. P., Mohan, D., Singh, V. K. and Malik, A (2005) “Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India,” *Journal of Hydrology*, 312 (1-4): 14–27.
- Srebotnjak, T., Carr, G., de Sherbinin, A., Rickwood, C (2012) A global water quality index and hot-deck imputation of missing data. *Ecol. Indic*, 17: 108–119.
- Su, S., Xiao, R., Mi, X., Xu, X., Zhang, Z., Wu, J (2013) Spatial determinants of hazardous chemicals in surface water of Qiantang River, China. *Ecol. Indic*, 24: 375–381.
- Venugopal, T., Giridharan, L., Jayaprakash, M., Velmurugan, P. M (2009) A comprehensive geochemical evaluation of the water quality of River Adyar, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 82: 211–217.
- Agricultural Soils of Zhejiang Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19: 50–54.
- Eby, G. N (2016) *Principles of Environmental Geochemistry* (pp. 514). Waveland Press.
- El Gaidoumi, A., Tanji, K., Chaouni Benabdallah, A., Taleb, A. and Kherbeche, A (2019) Characterization and Quantification of Heavy Metals in Oued Sebou Sediments. *The Scientific World Journal*, jun, 26: 2019.
- Gee, G. W. & J. W. Bauder (1986) Particle size analysis. In: Klute A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. USA, 383-411.
- Gonçalves, R. A., Oliveira, D. F., Ferreira, P. H. G., Rezende, C. E., Almeida, P., de Lacerda, L. D., Godoy, J. M (2018) Decadal and spatial variation of Hg concentrations in sediments of a multi-stressor impacted estuary. *Mar. Pollut. Bull*, 135: 1158–1163.
- Guan, J., Wang, J., Pan, H., Yang, C., Qu, J., Lu, N. and Yuan, X (2018) Heavy metals in Yinma River sediment in a major Phaeozems zone, Northeast China: Distribution, chemical fraction, contamination assessment and source apportionment. *Scientific reports*, 8(1): 1-11.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. and Islam, M. K (2015) Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological indicators*, 48: 282-291.
- Islam, M. S., Han, S., Masunaga, S (2014) Assessment of trace metal contamination in water and sediment of some rivers in Bangladesh. *J. Water Environ. Technol*, 12: 109–121.
- Jadoon, S., Muhammad, S., Hilal, Z., Ali, M., Khan, S., Khattak, N. U (2020) Spatial distribution of potentially toxic elements in urban soils of Abbottabad city, (N Pakistan): Evaluation for potential risk. *Microchem. J*. 104489.
- Kelderman, P., Osman, A. A (2007) Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (The Netherlands). *Water Res*, 41: 4251–4261.
- Kettler, T. A., Doran, J. W. and Gilbert, T. L (2001) Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. *Soil Science Society of America Journal*, 65(3): 849-852.
- Khadse, G. K., Patni, P. M., Kelkar, P. S., Devotta, S (2008) Qualitative evaluation of Kanhan river and its tributaries flowing over central Indian plateau. *Environ. Monit. Assess*, 147: 83–92.
- Meknes, S. C., Abrid, D. A., Hmaid, El., Abdallaoui, A. and Essahlaoui, A (2014) Study

- Vongdala, N., Tran, H. D., Xuan, T. D., Teschke, R., Khanh, T. D (2019) Heavy metal accumulation in water, soil, and plants of municipal solid waste landfill in Vientiane, Laos. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16 (1): 22.
- Wei, J., Duan, M., Li, Y., Nwankwegu, A. S., Ji, Y. and Zhang, J (2019) Concentration and pollution assessment of heavy metals within surface sediments of the Raohe Basin, China. *Scientific Reports*, 9(1): 1-7.
- Xue, K., Yuan, M. M., Shi, Z. J., Qin, Y., Deng, Y., Cheng, L., Wu, L., He, Z., Van Nostrand, J. D., Bracho, R. and Natali, S (2016) Tundra soil carbon is vulnerable to rapid microbial decomposition under climate warming. *Nature Climate Change*, 6(6): 595.
- Yalcin, M. G., Battaloglu, R., and Ilhan, S (2007) Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental geology*, 2: 399-415.
- Yang, L., Wang, L., Wang, Y (2015) Geochemical speciation and pollution assessment of heavy metals in surface sediments from Nans Lake, China. *Environmental Monitoring & Assessment*, 5 (10): 187-261.
- Yuan, G. L., Liu, C., Chen, L., Yang, Z (2011) Inputting history of heavy metals into the inland lake recorded in sediment profiles: Poyang Lake in China. *J. Hazard Mater*, 185: 336-345.

Assessment risk of heavy metal contamination in the surface sediments of Urmia Lake's west and southwest rivers

M. Dehghani^{1*}, H. Pirkharrati², R. Lak³ and F. Asadzadeh⁴

1- Ph. D. student, of in environmental geology, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Urmia University, Urmia, Iran

3- Assoc. Prof., of Earth Sciences Research Institute, Organization of Geology and Mineral Exploration, Iran

4- Assoc. Prof., Dept., of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

* Mo.dehghani2020@gmail.com

Received: 2021/6/31 Accepted: 2021/10/30

Abstract

In this study, in order to investigate the contamination of surface sediments in west and southwest rivers of Lake Urmia, 20 surface samples were taken from a depth of 0-10 cm. After passing the samples through a 2 mm sieve, the total amount of heavy metals was obtained by ICP-OES. Then the geo-accumulation index (I_{geo}), enrichment index (EF) and pollution index (PI) of metals was calculated. Based on the results, geo-accumulation indices of nickel, cobalt, chromium, arsenic and cadmium in all sediments are in the risk range of extremely high ($1 < I_{geo} < 2$) or high ($I_{geo} > 2$). Nickel enrichment coefficient in Barandozchai and Gadarchai sediments is extremely high ($EF > 40$) and in Shahrchai, Mahabadchai, Nazluchai and Simineh rivers in very high pollution range ($20 < EF < 40$). Arsenic enrichment coefficient in all sediments shows very high pollution. The enrichment index for cadmium, copper, cobalt and chromium indicates high pollution in almost all rivers and it is moderate to high for zinc. Arsenic shows the highest average for contamination index in Nazluchai deposits. Statistical correlation matrix shows the highest correlation between cobalt and chromium with nickel because of their common geogenic origin and the significant correlation between nickel and sand indicates the natural origin of the element. The correlation between zinc and organic matter and clay is significant and probably due to zinc uptake by clay and organic matter. There is a significant relationship between arsenic and cadmium. Principal component analysis indicates 4 sources for the studied heavy metals, the first 4 components with specific values higher than 1, determine more than 85% of data variance. In the first component, nickel and chromium along with sand have the highest weight. Zinc and copper are in second component along with pH, cadmium and arsenic in third component and organic matter and lead in fourth component have the highest weight.

Keywords: Sediments, River, Pollution indices, Heavy metals