

آلودگی، برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی صورت پذیرد.

واژگان کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، زشک - ابرده، غنی‌شدگی، ریسک بوم‌شناختی.

مقدمه

تخریب و آلودگی محیط‌زیست، ثمره جوامع صنعتی و یکی از پیامدهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. به‌طورکلی، هر نوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل‌دهنده محیط، به‌طوری‌که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن‌ها مختل شود و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط‌زیست گفته می‌شود [۱۲]. فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مجموعه مخازن طبیعی و در نهایت ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برخوردار هستند. رسوبات به‌عنوان یکی از مخازن نهایی طبیعی، می‌توانند فلزات سنگین را به محیط تخلیه کنند [۱۴]. این مسئله اهمیت بررسی‌های زیست‌محیطی رسوبات را مشخص می‌کند. به‌طور طبیعی حضور برخی از فلزات به‌منظور انجام فعالیت‌های زیستی موجودات زنده ضروری هستند، اما انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف منجر به افزایش غلظت این عناصر در سطوح خطرناک در محیط‌زیست برای موجودات زنده شده است [۴۴]. این آلاینده‌ها به دلیل ویژگی‌هایی چون عدم تجزیه زیستی، قابلیت انباشت زیستی و نیز پتانسیل بزرگ‌نمایی زیستی در سطوح بالای زنجیره‌های غذایی، می‌تواند موجودات زنده را به‌شدت تهدید نماید [۳۸].

فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل ثبات و پایداری‌شان در خاک و هم‌چنین ایجاد آلودگی‌های محیط زیستی، شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳]. معمولاً رسوبات به‌عنوان بزرگ‌ترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاه خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت باقی بمانند به شمار می‌روند [۱۹]. عمده در مورد فلزات سنگین به علت منابع گسترده انتشار آن‌ها، سمیت و پایداری آن‌ها است. بعضی از فلزات سنگین مثل آرسنیک، کادمیوم، سرب و کروم بسیار سمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت گیاهان، جانوران و انسان می‌شوند [۲۷، ۱۳، ۲۱، ۴۱، ۳۲، ۴۷ و ۵۳]. گرچه این عناصر سنگین به‌طور طبیعی در خاک وجود دارد اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است

تحلیل آلودگی رسوبات به عناصر سنگین در حوضه زشک - ابرده، استان خراسان رضوی

محمد معتمدی راد^{*}، محمد رضا یوسفی روشن^۲ تاریخ

دریافت ۱۴۰۲/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۲/۲۲
 DOR: 20.1001.1.26454777.1402.11.40.3.2

چکیده

آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین یکی از مسائل و تهدیدات انسانی و محیطی اجتناب‌ناپذیری است که جوامع بشری با آن روبرو است. پژوهش حاضر به ارزیابی میزان آلودگی رسوب‌های حوزه آبریز زشک - ابرده به ۱۱ عنصر سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، وانادیوم و آلومینیوم) پرداخته است. برای سنجش آلودگی از عامل‌هایی نظیر غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی، زمین انباشتگی و ریسک بوم‌شناختی استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه عامل غنی‌شدگی و ضریب آلودگی حاکی از آن است که عناصر موردبررسی، بدون غنی‌شدگی و یا غنی‌شدگی اندکی در منطقه دارند. با توجه به عامل آلودگی اصلاح‌شده نیز می‌توان گفت همه مقادیر زیر ۱/۵ بوده و در رده بدون آلودگی تا آلودگی کم قرار می‌گیرند. ضریب بار آلودگی نیز نشان از این دارد که نمونه‌ها در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند. نتایج عامل زمین انباشتگی بیان‌گر این است که تمامی عناصر مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی دارای مقادیر کم‌تر از صفر است که در طبقه بدون آلودگی قرار می‌گیرند. با توجه به ضریب پتانسیل ریسک بوم‌شناسی حوضه دارای پتانسیل ریسک کم است. مقدار عامل ریسک بوم‌شناسی ۸۷/۱۳ به دست آمد که بر این اساس می‌توان گفت که وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم می‌باشد. با توجه به این که منطقه مطالعاتی از مناطق هدف گردشگری است و فعالیت‌های انسانی می‌تواند باعث افزایش غلظت عناصر در رسوبات شود، باید برای کنترل

۱- گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران، ایمیل: m.motamedirad@cfu.ac.ir

۲- گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

منجر به تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در خاک شود [۵۶]. نقش فعالیت‌های انسانی در تولید فلزات سنگین را می‌توان در فعالیت‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی، فعالیت‌های معدنی، فاضلاب شهری و روستایی، پسماندهای جامد صنعتی و خانگی جست‌وجو کرد [۱۷].

با توجه به اهمیت موضوع و تأثیر بر سلامتی، تعیین میزان این فلزات در محیط‌های خاکی موردتوجه بسیاری از محققین و پژوهش‌گران قرار گرفته است. برای نمونه، سوبوترا و تاندا [۵۲] علاوه بر اندازه‌گیری غلظت سرب و کادیوم در خاک‌های اطراف جاده غلظت این دو فلز را در سنگ بستری مناطق نیز اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت بالای سرب و کادمیوم در نمونه‌های خاک منطقه تنها ناشی از سوخت‌های فسیلی بوده و سازندهای زمین‌شناختی منطقه نقشی در این رابطه ندارند. اسکریبیک^۲ و همکاران [۵۱] آلودگی خاک مناطق شمال صربستان منطقه نووی و بخشی از بوسنی و هرزگوین را بررسی کردند و اشاره نمودند که آلودگی خاک به نیکل و کروم حاصل فعالیت‌های انسانی و کشاورزی است. هم‌چنین آن‌ها نشان دادند که کاهش معناداری از محتوای عناصر به‌ویژه در مورد عناصری چون سرب، نیکل و کروم با افزایش فاصله از لبه جاده برحسب استانداردهای موجود وجود دارد. در مطالعه‌ای که کادوم^۳ و همکاران [۲۸] به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم و قلع در رسوبات سطحی رودخانه لنگات مالزی پرداختند. سنجش عامل‌های زمین‌انباشت مولر، ضریب غنی‌شدگی، عامل بار آلودگی و ضریب آلودگی نشان داد رسوبات منطقه دارای غنی‌شدگی شدید نسبت به قلع و غنی‌شدگی متوسط نسبت به کادمیوم است. کاندا^۴ و همکاران [۲۹] به ارزیابی ریسک پتانسیل رودخانه شاموا^۵ زیمبابوه پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد با توجه به عامل‌های استاندارد آلودگی، محدوده مورد مطالعه دارای آلودگی عناصر سنگین نیستند. خلیفه و گاد^۶ [۳۰] آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین در جنوب غرب دلتای نیل در مصر را با عامل‌های مختلف غنی‌شدگی بار آلودگی زمین‌انباشتی و ... بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که شهرنشینی شدید، فعالیت‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی مهم‌ترین منابع آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه بود. الصاق^۷ و همکاران [۱۵] به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین (جیوه) در رسوبات ساحلی بندرعباس، خلیج فارس، پرداخته و از عامل‌های ضریب غنی‌شدگی، عامل انباشتی زمین، عامل آلودگی و عامل خطر سمیت استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که میزان آلودگی ناشی از جیوه در رسوبات، شدید بوده و منشأ حضور جیوه در منطقه آنتروپوژنیک

(انسان‌زاد) است. گوپال^۸ و همکاران [۲۰] به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی ساحل ودارانیام^۹، جنوب هند برای فلزاتی مانند کروم، مس، منگنز، آهن و نیکل پرداختند. آنان برای ارزیابی آلودگی‌های طبیعی و انسانی و هم‌چنین شناخت کیفیت رسوب از عامل‌های مختلف از جمله عامل زمین‌انباشتی، غنی‌شدگی، عامل بار آلودگی و ضریب آلودگی استفاده نمودند. نتیجه عامل غنی‌شدگی نشان می‌دهد که فلزات سنگین عمدتاً از منشأ انسان‌زاد بوده هم‌چنین نتیجه گرفتند که همبستگی مثبت بالایی بین فلزات سنگین وجود دارد که نشان‌دهنده منشأ مشابهی است.

در ایران نیز بزی [۹] در پژوهشی با عنوان تعیین سطح آلودگی رسوبات سطحی خلیج چابهار به فلزات سنگین که با روش نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج آن نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بیش‌تر از آب است و در فصول مختلف غلظت رسوبات تغییر می‌یابد. خسروی و همکاران [۳۱] با عنوان بررسی آلودگی محیط زیستی رسوبات آبراه‌ای به عناصر سنگین در منطقه زرشوران-آغدره (شمال تکاب) که با تلفیق روش‌های آماری نمونه‌گیری صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزهای روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیم و بیسموت در این آبریز از میانگین جهانی بیش‌تر است. غضبان و زارع اقبال خوش [۱۸] در پژوهشی با عنوان بررسی منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی (شمال ایران) که با روش مغزه‌گیری صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که غلظت عناصر در تالاب بیش از سواحل دریای خزر و میانگین جهانی آن است. باقری و همکاران [۸] در پژوهشی با عنوان سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه گرگان‌رود که با روش پلاسمای القایی صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که به‌طور عمده این فلزات از منابع طبیعی فرسایش تأمین شده‌اند. مکرم و نگهبان [۳۷] در ارزیابی ریسک بوم‌شناختی رسوبات در عناصر سنگین جاده حاشیه فسا-داراب در محیط GIS با استفاده از عامل محاسبه مولر و عامل آلودگی، عامل ریسک بوم‌شناختی، عامل بار آلودگی و پهنه‌بندی به روش کریجینگ نشان دادند که روی نیکل و سرب در جنوب منطقه، کادمیوم در شمال و مس در بخش‌هایی از شمال مرکز و جنوب بیش‌ترین مقدار را داشتند. انصاریا و همکاران [۷] در پژوهشی با عنوان ارزیابی و سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب گندمان که با روش نمونه‌برداری از ۲۴ نقطه صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که رسوبات تالاب از نظر عنصر کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط تا زیاد قرار داشته ولی از نظر عناصر سرب، مس و روی در طبقه غیر آلوده قرار می‌گیرند.

بر اساس جمع‌بندی مرور منابع و به دلیل اهمیت آلودگی رسوبات و انتقال آن به گیاهان، حیوانات و انسان‌ها و تأثیر آن در سلامتی و عدم مطالعه آلودگی رسوبات در حوضه زشک- ابرده و هم‌چنین

1. Sobotra and Tanda
2. Skrbic
3. Kadhum
4. Kanda
5. Shamva
6. Khalifa and Gad
7. Elshah

8. Gopal
9. Vedaranyam

قرار گرفتن حوضه به عنوان منطقه هدف گردشگری و در نتیجه تأثیر بر سلامت ساکنین و گردشگران، این حوزه آبخیز جهت بررسی و ارزیابی میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

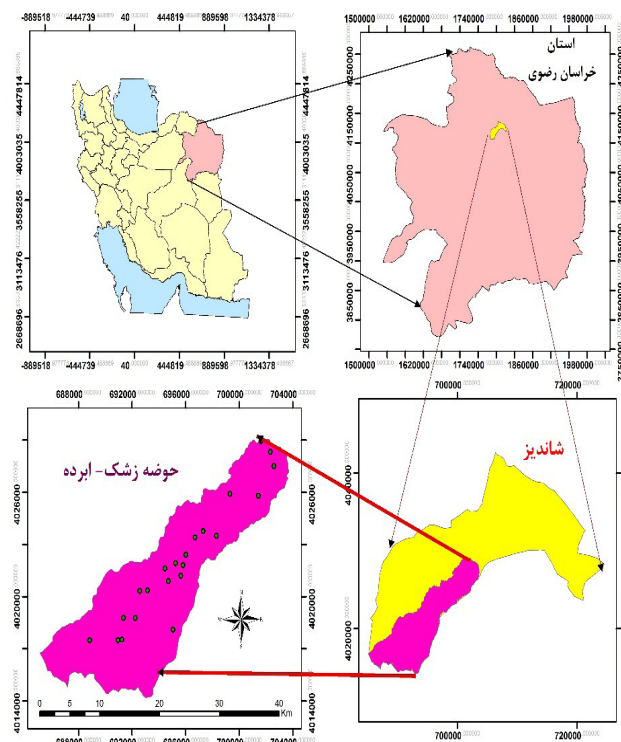
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زشک - ابرده با مساحتی در حدود ۹۲/۲۷ کیلومترمربع در طول جغرافیایی " ۳۹° ۴' تا ۵۹° ۱۳' ۱۶" و ۵۹° عرض جغرافیایی " ۱۶' ۱۵" تا ۳۶° ۲۳' ۱۲" محدوده شهرستان طرهبه - شاندیز، بخش شاندیز واقع شده است. از روستاهای داخل حوضه می‌توان به دو روستای زشک و حیطه اشاره کرد که تقریباً در مرکز آن واقع شده‌اند. این حوضه دارای یک خروجی است که بر روی روستای ابرده قرار دارد. این حوضه بخش کوچکی از حوزه آبریز کشف رود بوده و کل رواناب آن از خروجی که در بالادست روستای ابرده علیا واقع شده خارج می‌شود. راه دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالت‌شده - شاندیز بوده که پس از طی مسافتی حدوداً ۲۵ کیلومتر از مشهد می‌توان به خروجی حوضه رسید. لازم به ذکر است که راه دسترسی تا روستای زشک آسفالت‌شده بوده و کلیه راه‌های موجود در حوضه خاکی است. حوضه مذکور به لحاظ تقسیمات ایالات ساختاری زمین‌شناسی در زون بینالود قرار دارد و از ۳ واحد سنگی دوران دوم و سوم (دوره تریاس، ژوراسیک) شامل ماسه‌سنگ و شیل (St)، شیل و فیلیت و ماسه‌سنگ دگرگون‌شده

به همراه رگه‌های متعدد کوارتز شیری‌رنگ (qs)، شیل و فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگون‌شده، کوارتزیت (TR3j1) با سن تریاس و نهشته‌های آبرفتی کواترن شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی (Qt¹)، پادگانه‌های آبرفتی جوان (Qt²) و نهشته‌های رودخانه‌ای (Q^{al}) تشکیل شده است (جدول ۱). نیروهای تکتونیکی در زون بینالود از شدت زیادی برخوردار بوده و موجب ایجاد انواع گسل‌ها و رانده‌ها در منطقه شده‌اند و این عوارض تکتونیکی به نوبه خود ساختمان‌های زمین‌شناسی مانند چین‌های موجود در این منطقه را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهم‌ریختگی طبقات برخی از واحدهای زمین‌شناختی شده‌اند. شکل ۱ موقعیت حوزه آبریز زشک - ابرده و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده و شکل ۲ واحدهای زمین‌شناسی حوضه مطالعه را نشان می‌دهد.

روش‌ها

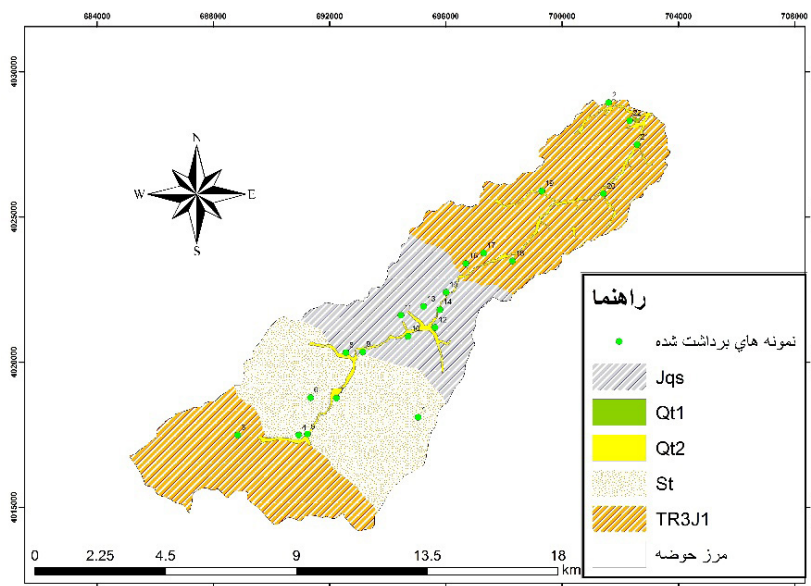
ابتدا مرز حوضه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Google Earth تعیین شد. همچنین اطلاعات مورد نیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای جمع‌آوری بررسی‌های کارشناسی لازم بر روی آن‌ها صورت گرفت. در این پژوهش، از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به نام طرهبه که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است به عنوان نقشه پایه استفاده شد. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری مربوط به حوزه آبخیز زشک - ابرده



شکل ۱: موقعیت حوزه آبریز زشک - ابرده و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده

جدول ۱: مساحت و درصد گسترش واحدهای زمین‌شناسی

دوران	دوره	واحد	لیتولوژی	مساحت (هکتار)	در صد گسترش
سنوزوئیک	کواترنری	Qt ²	پادگانه‌های آبرفتی جوان	۲۵۷/۴	۲/۷۹
		Qt ¹	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	۲/۴	۰/۰۳
		TR3 J1	شیل و ماسه‌سنگ دگرگون‌شده فیلیتی	۴۷۴۱/۱	۵۱/۳۷
مزوزوئیک	ژوراسیک	qs	شیل و فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگون‌شده به همراه رگه‌های متعدد کوارتز شیری	۱۷۱۳/۷	۱۸/۵۵
		St	ماسه‌سنگ و شیل	۲۵۱۳/۲	۲۷/۲۶



شکل ۲: واحد زمین‌شناسی حوضه

جدول ۲: طبقه‌بندی عامل غنی‌شدگی [۱۱].

شدت غنی‌شدگی	بدون غنی‌شدگی	اندک	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید	بی‌نهایت شدید
عامل غنی‌شدگی EF	کم‌تر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۲۵ تا ۵۰	بیش‌تر از ۵۰

و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولیدشده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. به‌منظور بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود. ضریب پیرسون مبتنی بر کوواریانس و انحراف معیارهای دو متغیر است. جهت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوضه مورد مطالعه ۲۲ نمونه رسوب (از سطح تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) منطقه در خردادماه و در یک نوبت و جهت پوشش وسیع از منطقه به‌صورت تصادفی برداشت و مورد آنالیز ICP-MS^۱ قرارگرفته است. طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) نوعی طیف‌سنجی جرمی است که برای ارزیابی و شناسایی فلزها

در ۵ برگ نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ قرارگرفته که به نام‌های شان‌دیز-طرقبه- گل‌گان- کنگ و دریاچه چشمه سبز بوده که از آن‌ها استفاده گردید. خطوط منحنی میزان و آبراهه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید و اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج شد.

برای تعیین پهنه آلودگی احتمالی از درون‌یابی به روش IDW استفاده شده است. در روش فوق برآورد بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنا برعکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیش‌تری نسبت به نقاط دورتر داده می‌شود و بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه برآورد، شباهت بیش‌تری به آن نقاط دورتر دارند [۲۵ و ۴۹]. قابل‌ذکر است این روش مهم‌ترین

1. Inductively coupled plasma mass spectrometry

و برخی نافلزها تا غلظت‌هایی به اندکی بخش در 10^{10} ppq^۱ کارایی دارد. سپس غلظت ۱۱ عنصر سنگین از ۲۲ نمونه آزمایش شامل As (آرسنیک)، Cd (کادمیوم)، Co (کبالت)، Cr (کروم)، Cu (مس)، Fe (آهن)، Mo (مولیبدن)، Ni (نیکل)، Pb (سرب)، V (وانادیم) و Al (آلومینیوم) مورد بررسی قرار گرفت. برای سنجش آلودگی از عامل‌هایی نظیر عامل غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی و عامل ریسک اکولوژیک (بوم‌شناختی) استفاده شد که در ادامه به ارزیابی ژئوشیمیایی اشاره می‌شود.

معرفی عامل‌های ژئوشیمیایی مورد مطالعه عامل غنی‌شدگی (EF)^۲

تمایز فلزات با منشأ انسان‌زاد از فلزاتی که از هوازدهی طبیعی سنگ‌ها حاصل شده‌اند، بخش ضروری هر مطالعه ژئوشیمی محیط‌زیستی است. عامل غنی‌شدگی جهت ارزیابی آلودگی خاک و رسوبات (افزایش یا کاهش عناصر نسبت به مقدار استاندارد آن‌ها) استفاده می‌شود و یکی از روش‌های متداول برای تعیین منشأ آلاینده‌ها و بیان‌گر میزان تأثیر عامل خارجی بر رسوبات منطقه است [۴۳]. این روش، روش مناسبی جهت تعیین منشأ لیتوژنیک و آنتروپوژنیک آلودگی‌ها است [۴]. به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی (انسان‌زاد) می‌باشد [۳۳]. بر اساس این عامل می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید. در این پژوهش عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مبنا انتخاب شده است. معمولاً آلومینیوم به عنوان فلز مبنا شناخته می‌شود [۱۶]. ضریب غنی‌شدگی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$EF = \frac{C_{x1} \text{ sample}}{C_{ref1}} \div \frac{C_{x2} \text{ background}}{C_{ref2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه EF، عامل غنی‌شدگی، C_{x1} غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref1} غلظت عنصر مبنا (Al)، C_{x2} غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)، C_{ref2} غلظت عنصر مبنا (Al) در محیط مبنا (پوسته زمین) است. اگر مقدار غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ اثر انسان‌زاد تلقی می‌شود [۲۴]. هم‌چنین بر اساس نظریه دیگری اگر غنی‌شدگی عناصر کم‌تر از ۱۰ باشد بیانگر منشأ لیتوژنیک و بیش‌تر از ۱۰ بیانگر منشأ آنتروپوژنیک است [۴۵]. جدول ۲ هفت طبقه را که برای شدت میزان عامل غنی‌شدگی مشخص شده است را نشان می‌دهد [۱۱].

ضریب آلودگی^۳ (CF) و درجه آلودگی اصلاح‌شده^۴ (mCd)
به منظور بیان آلودگی محیط نسبت به عنصری خاص، می‌توان از ضریب آلودگی (CF) استفاده کرد [۱]. جهت تعیین آلاینده‌های خاک

و عناصر سنگین از ضریب آلودگی استفاده می‌شود. بر اساس این عامل می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد و در نهایت جهت شناسایی پتانسیل خطر اکولوژیکی منبع مورد مطالعه استفاده می‌شود [۶].

این عامل از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت‌شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید [۱ و ۵]. در این رابطه، CF نشان‌دهنده ضریب آلودگی و C_{sample} غلظت عنصر مورد بررسی و $C_{background}$ غلظت عنصر در شیل جهانی است. جدول ۳ طبقه‌بندی ضریب آلودگی بر اساس مطالعات هاکانسون (۱۹۸۰) را نشان می‌دهد [۲۳].

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۳: طبقه‌بندی ضریب آلودگی [۲۳].

CF	کم‌تر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶
مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا

درجه آلودگی (mCd) اصلاح‌شده بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد [۲]. جدول ۴ رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح‌شده را نشان می‌دهد.
رابطه (۳) $mCd = -\Sigma Cf / n$
n تعداد عناصر آنالیز شده و Cf ضریب آلودگی است.

جدول ۴: رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح‌شده [۱].

درجه آلودگی	mCd
بدون آلودگی تا آلودگی کم	$1/5 > mCd$
درجه آلودگی کم	$1/5 < mCd \leq 2$
درجه آلودگی متوسط	$2 < mCd \leq 4$
درجه آلودگی بالا	$4 < mCd \leq 8$
درجه آلودگی خیلی بالا	$8 < mCd \leq 16$
درجه آلودگی به شدت بالا	$16 < mCd \leq 32$
درجه آلودگی بی‌نهایت	$32 < mCd$

ضریب بار آلودگی^۵ (PLI)

عامل بار آلودگی از دیگر پارامترهای مهم در ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک به شمار می‌رود. عامل بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات مورد نظر محاسبه می‌شود [۵۵].

عامل بار آلودگی خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات مورد بررسی را نشان می‌دهد. این عامل بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع (cf) به دست می‌آید. این عامل انتگرالی مهم در بررسی میزان آلودگی در مناطق آلوده است. اگر غلظت PLI

1. parts per quadrillion
2. Enrichment factor
3. Contamination factor
4. Modify Contamination Degree

به عدد یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است. درحالی‌که PLI بالاتر از یک، آلودگی خاک و کم‌تر از یک عدم آلودگی را نشان می‌دهد [۴۶، ۴۸ و ۵]. ضریب بار آلودگی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود [۳۵]:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

عامل زمین انباشتگی (Igeo)

این روش از روش‌های رایج ارزیابی آلودگی رسوبات است. عامل زمین انباشتگی برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار می‌رود. در این روش نسبت لگاریتم غلظت عناصر فلزی در رسوبات ریزدانه عهد حاضر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیمی‌تر سنجیده می‌شود [۳۶]. مولر عامل زمین انباشتگی را از اواخر دهه ۱۹۶۹ معرفی کرد و از آن زمان تاکنون به‌طور گسترده برای مطالعه روی فلزات سنگین استفاده شده و به‌عنوان اندیس مولر شناسایی گردید [۴۰]. این عامل با مقایسه غلظت‌های موجود یا غلظت‌های قبل از صنعتی شدن برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده می‌شود. این اندیس بیانگر آلودگی محیط در مقادیر بالا (۵ و ۶) و محیط فاقد آلودگی در مقادیر پایین (نزدیک به ۱) است [۴۶]. عامل مذکور طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

در عامل زمین انباشتگی C_n غلظت عنصر در نمونه و B_n غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. در این عامل ضریب ۱/۵ عامل تصحیح ماتریس زمینه ناشی از اثرات لیتولوژی است [۱۱ و ۳۷]. این عامل دارای ۷ گروه است که از غیر آلوده تا به‌شدت آلوده طبقه‌بندی شده است [۳۴، ۲۲، ۴۲ و ۳۹] (جدول ۵).

جدول ۵: طبقه‌بندی عامل زمین انباشتگی [۳۴].

شدت آلودگی	Igeo
بدون آلودگی	کم‌تر از صفر
بدون آلودگی تا متوسط	بین صفر تا ۱
متوسط	بین ۱ تا ۲
متوسط تا شدید	بین ۲ تا ۳
شدید	بین ۳ تا ۴
شدید تا بی‌نهایت	بین ۴ تا ۵
بی‌نهایت	بیش‌تر از ۵

عامل ریسک بوم‌شناختی^۲ (RI)

عامل ریسک بوم‌شناختی (RI) اولین بار توسط هاگانسون در سال ۱۹۸۰ به‌منظور ارزیابی ریسک آلودگی رسوبات و خاک

1. Geoaccumulation Index

2. Ecological Risk index

به‌وسیله فلزات سنگین استفاده شد [۵۰]. این عامل اساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی به‌وسیله محققان مختلفی هم‌چون وانگ^۳ و همکاران به کار گرفته شده است [۳۷]. برای محاسبه این عامل ابتدا ضریب آلودگی (CF) را که توسط رابطه ۲ که در قبل نمایش داده شده است محاسبه می‌شود. سپس از طریق رابطه (۶) مقدار Er محاسبه می‌شود. در این رابطه Er مقدار ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر و Tr میزان سمیت پیشنهادشده از سوی هاگانسون است. سپس از طریق رابطه (۷) عامل ریسک بوم‌شناختی (RI) محاسبه می‌شود:

$$Er = Tr.CF \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$RI = \sum_{i=1}^m Er \quad \text{رابطه (۷)}$$

ضریب سمیت (Tr) عناصر کبالت، مس، نیکل و سرب برابر با ۵ و عناصر آرسنیک، کادمیوم، مولیبدن، کروم و وانادیوم به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰، ۱۵، ۲ و ۲ بیان شده است. جدول ۶ طبقه‌بندی پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (Er) و عامل ریسک بوم‌شناختی (RI) را نشان می‌دهد.

جدول ۶: طبقه‌بندی پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (Er) و عامل ریسک بوم‌شناختی (RI) [۲۳]

مقدار	کم	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد	خیلی زیاد
RI	کم‌تر از ۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	بیش‌تر از ۶۰۰	
Er	کم‌تر از ۴۰	۴۰-۸۰	۸۰-۱۶۰	۱۶۰-۳۲۰	بیش‌تر از ۳۲۰

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوبی حوزه آبریز مورد مطالعه در جدول ۷ نشان داده شده است. بررسی میانگین غلظت عنصر سنگین در رسوبات حوزه آبریز زشک-ابره نشان داد، غلظت عناصر نیکل، مولیبدن، مس و وانادیوم کم‌تر و غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، آهن، سرب و آلومینیوم بیش‌تر از شیل جهانی است. با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه متشکل از واحدهای سنگی رسوبی است، لذا میزان غلظت عناصر سنگین در سنگ‌های رسوبی در جدول ۸ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از محاسبه عامل غنی‌شدگی حاکی از آن است که عناصر مولیبدن، نیکل، وانادیوم و مس بدون غنی‌شدگی و عناصر کادمیوم، سرب، کروم، آرسنیک، کبالت و آهن غنی‌شدگی اندکی در منطقه دارند. به‌نحوی که کادمیوم و سرب با میانگین ۱/۴۳ و ۱/۳۳ نسبت به عناصر اشاره شده غنی‌شدگی بیش‌تری دارد (جدول ۹). بیش‌ترین مقادیر کادمیوم مربوط به نمونه‌های ۵ و ۳ به ترتیب

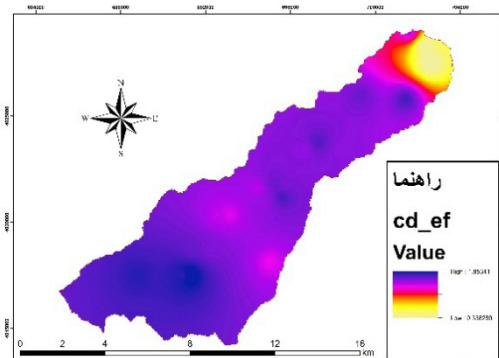
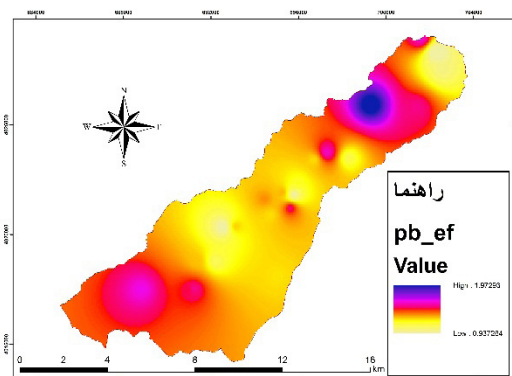
3. Wang

خروجی حوضه و عنصر سرب در مرکز و خروجی حوضه کم‌تر است. همچنین منشأ آلودگی در منطقه مطالعاتی لیتوژنیک (زمین‌زاد) مشخص شد. شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی عامل غنی‌شدگی کادمیوم و سرب و شکل ۴ نمودار عامل غنی‌شدگی عناصر در رسوبات حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

برابر با ۱/۸۵ و ۱/۷۰ و کم‌ترین میزان آن در نمونه‌های ۲۲ و ۲۱ برابر با ۰/۴۳ و ۰/۳۳ است. سرب نیز در نمونه‌های ۱۹ (۱/۹۷) و ۳ (۱/۶۱) بیش‌ترین مقادیر و نمونه ۲۲ (۰/۹۳) و ۸ (۰/۹۸) کم‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. ترسیم نقشه پهنه‌بندی غنی‌شدگی نشان می‌دهد، عنصر کادمیوم در سمت شمال شرق و در محدوده

جدول ۷: میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوزه آبریز (منبع نگارندگان) و میزان غلظت آن در شیل جهانی [۵۴] برحسب ppm

Al	V	Pb	Ni	Mo	Fe	Cu	Cr	Co	Cd	As	نمونه
۸۵۰۰۰	۱۱۷/۳	۲۶/۹۷	۶۵/۳۳	۰/۹۸۳۲	۵۹۰۰۰	۴۴/۰۴	۱۲۹/۹	۱۹/۶۶	۰/۴۲۵۹	۱۳/۲	M1
۹۹۰۰۰	۱۵۷/۷	۳۹/۲۵	۵۷/۰۸	۰/۹۷۰۹	۶۴۰۰۰	۴۴/۶۷	۱۲۲/۸	۱۹/۹۷	۰/۵۱۷۶	۱۶/۹۵	M2
۹۳۰۰۰	۱۳۴/۸	۳۷/۳۹	۵۷/۷	۱/۰۹	۶۵۰۰۰	۵۲/۴۴	۱۱۰/۷	۲۲/۶۵	۰/۵۹۴۸	۱۶/۲۶	M3
۹۰۰۰۰	۱۲۸/۴	۳۲/۷۶	۶۲/۸۲	۰/۹۹۳۸	۶۰۰۰۰	۵۲/۹۷	۱۱۴/۷	۲۸/۳۱	۰/۵۷۰۹	۱۵/۹۶	M4
۹۴۰۰۰	۱۳۶/۸	۳۵/۶۸	۵۸/۸۶	۱/۱۳۱	۶۵۰۰۰	۵۵	۱۱۳/۴	۲۴/۰۵	۰/۶۵۳۹	۱۷/۴۶	M5
۸۴۰۰۰	۱۲۲/۳	۲۷/۳۸	۵۸/۰۴	۰/۹۰۱۶	۵۸۰۰۰	۴۳/۸۹	۱۱۲/۷	۱۸/۹۷	۰/۴۹۵۷	۱۱/۵۱	M6
۸۶۰۰۰	۱۲۲/۹	۲۴/۷	۵۷/۰۴	۰/۹۳۳۷	۵۸۰۰۰	۴۷/۰۴	۱۰۵/۸	۲۱/۹۳	۰/۴۹۱۹	۱۴/۳۵	M7
۸۴۰۰۰	۱۱۹/۸	۲۰/۵۷	۵۲/۳۲	۰/۸۵۱۳	۵۸۰۰۰	۴۰/۷۷	۱۱۳/۹	۱۷/۳۵	۰/۴۳۸۱	۱۲/۰۸	M8
۷۸۰۰۰	۱۰۸/۶	۲۵/۰۷	۵۰/۳	۰/۷۰۲۱	۵۴۰۰۰	۳۸/۴۶	۹۸/۶۵	۱۸/۸۱	۰/۳۹۴۵	۱۰/۱۵	M9
۷۷۰۰۰	۱۰۹/۵	۲۴/۵۵	۴۹/۳۷	۰/۷۹۸۵	۵۴۰۰۰	۳۸/۴۳	۹۵/۰۶	۱۹/۶۱	۰/۴۲۴۹	۱۴/۵۷	M10
۷۹۰۰۰	۱۱۳/۲	۲۶/۷۴	۵۱/۲۸	۰/۸۵۱	۵۴۰۰۰	۴۱/۲۶	۹۹/۴۸	۲۰/۱۲	۰/۴۱۴۵	۱۳/۵۱	M11
۸۵۰۰۰	۱۲۹	۳۱/۶۹	۶۲/۵۲	۱/۰۲۲	۵۹۰۰۰	۴۴/۸۹	۱۲۷/۲	۲۰/۹۹	۰/۵۲۳۹	۱۳/۱۵	M12
۷۶۰۰۰	۱۱۱/۳	۲۴/۹۹	۵۴/۳۸	۰/۸۵۴۴	۵۲۰۰۰	۴۱/۹۸	۱۰۴	۱۸/۵۲	۰/۴۴۸	۱۲/۰۲	M13
۷۸۰۰۰	۱۱۶/۳	۱۹/۸۳	۶۲/۷۵	۰/۸۲۵۸	۵۴۰۰۰	۴۰/۹۳	۱۱۴/۳	۲۰/۴۹	۰/۴۵۰۵	۱۲/۸۶	M14
۷۸۰۰۰	۱۱۰/۸	۲۳/۹۱	۵۴/۰۶	۰/۹۱۷۲	۵۳۰۰۰	۴۱/۷۱	۱۰۱/۸	۲۰/۳۷	۰/۴۴۱۲	۱۶/۹۹	M15
۷۶۰۰۰	۱۰۹/۳	۲۴/۲۵	۵۸/۲۷	۰/۸۶۳	۵۱۰۰۰	۴۲	۱۰۹/۴	۱۹/۰۸	۰/۴۲۱	۱۱/۳۵	M16
۷۲۰۰۰	۱۰۶/۵	۲۸/۳۳	۶۰/۷۴	۰/۸۱۱	۵۲۰۰۰	۴۱/۹۳	۱۲۳/۸	۱۷/۲۵	۰/۴۳۸۴	۱۳/۴۷	M17
۸۱۰۰۰	۱۱۶/۳	۲۳/۶۷	۵۲/۱۱	۰/۸۸۲۱	۵۵۰۰۰	۴۰/۰۸	۱۱۲/۵	۱۷/۷	۰/۴۵۳۹	۱۲/۷۲	M18
۸۹۰۰۰	۱۴۰/۱	۴۳/۹۱	۶۹/۲۲	۱/۲۰۵	۵۹۰۰۰	۶۵/۴۳	۱۱۳/۱	۴۹/۴۹	۰/۵۲۴۲	۲۹/۴	M19
۸۴۰۰۰	۱۳۴/۵	۳۱/۷۹	۶۷/۹۹	۰/۸۹۴۸	۵۶۰۰۰	۴۲/۰۲	۱۲۹/۸	۱۹/۶۴	۰/۵۱۶۲	۱۳/۱۶	M20
۷۹۰۰۰	۱۴۳/۸	۲۱/۳۴	۱۰۴/۱	۰/۵۲۶۶	۵۴۰۰۰	۴۳/۷۱	۲۴۲/۲	۱۹/۸۳	۰/۱	۱۵/۷	M21
۶۲۰۰۰	۹۹/۰۱	۱۴/۵۲	۵۵/۹۱	۰/۶۱۰۳	۴۴۰۰۰	۳۲/۸۶	۹۸/۴۴	۱۴/۵۳	۰/۱	۱۱/۴۲	M22
۸۲۲۲۷/۲۷	۱۲۲/۱۹	۲۷/۷۰	۶۰/۱۰	۰/۸۹	۵۶۲۷۲/۳	۴۴/۳۹	۱۱۷/۸۹	۲۱/۳۳	۰/۴۵	۱۴/۴۷	میانگین
۸۰۰۰۰	۱۳۰	۲۰	۶۸	۲/۶	۴۷۲۰۰	۴۵	۱۰۰	۱۹	۰/۳	۱۳	شیل جهانی



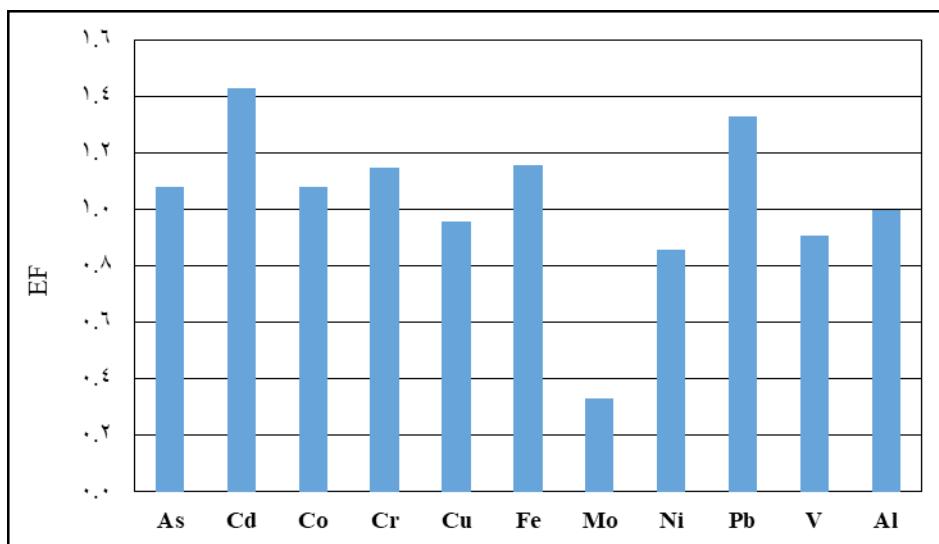
شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی عامل غنی‌شدگی کادمیوم و سرب در حوزه آبریز زشک-ابرده

آلودگی کم قرار می‌گیرند (شکل ۶). ضریب بار آلودگی (PLI) نیز نشان از این دارد که نمونه‌ها در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند (شکل ۷). بیش‌ترین مقادیر این عامل مربوط به نمونه شماره ۱۹ (۱/۳۵) که در لیتولوژی TR3J1 (شیل، ماسه‌سنگ دگرگون‌شده فیلیتی و سریست) و نمونه شماره ۵ (۱/۱۷) در Qt2 (پادگانه آبرفتی جوان که رسوبات آن از سازند St (ماسه‌سنگ و شیل کلریتی) تخریب، حمل و رسوب‌گذاری شده است) و کم‌ترین مقادیر نیز مربوط به نمونه شماره ۲۲ (۰/۶۷) در لیتولوژی TR3J1 (شیل، ماسه‌سنگ دگرگون‌شده فیلیتی و سریست) است (جدول ۱۱).

نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد، عناصر مس، مولیبدن، نیکل، وانادیوم و آلومینیوم آلودگی پایین و عناصر آرسنیک کادمیوم، کبالت، سرب، کروم و آهن عناصر کادمیوم و سرب آلودگی متوسطی داشته به طوری که در بین عناصر، عنصرهای کادمیوم و سرب به ترتیب با میانگین ضریب آلودگی ۱/۴۹ و ۱/۳۸ مقادیر بیش‌تری را به خود اختصاص دادند (آلودگی متوسط). نتایج حاصله از بررسی ضریب آلودگی در جهت تصدیق عامل غنی‌شدگی است (جدول ۹ و شکل ۵). بیش‌ترین درجه آلودگی اصلاح‌شده مربوط به نمونه ۱۹ (۱/۴۸) و کم‌ترین مربوط به نمونه ۲۲ (۰/۷۲) است (جدول ۱۰). با توجه به این عامل همه مقادیر زیر ۱/۵ بوده و در رده بدون آلودگی تا

جدول ۸: محدوده عناصر مختلف در ماسه سنگ‌ها، شیل‌ها و رسوبات کربناته [۲۶]

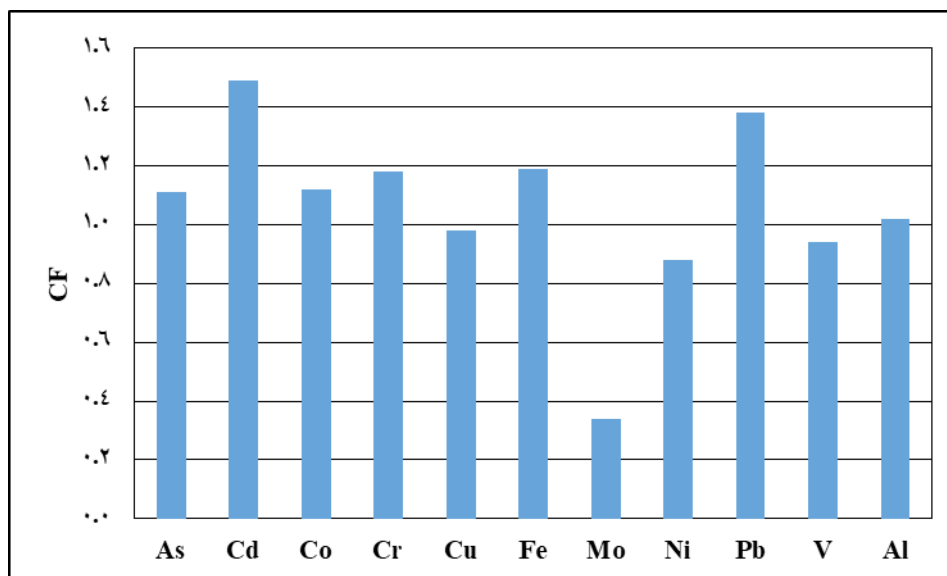
عنصر	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Pb	Pb	Ni	V
نوع سنگ	(%)	ppm	ppm	ppm	ppm	(%)	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm
ماسه سنگ	۲/۵-۴/۳	۱-۱/۲	۰/۳-۱۰	۲۰-۴۰	۵-۳۰	۱-۳	۰/۲-۰/۸	۵-۱۰	۵-۲۰	۱۰-۶۰	
شیل	۷/۸-۸/۸	۵-۱۳	۱۱-۲۰	۶۰-۱۰۰	۴۰	۴/۳-۴/۸	۰/۷-۲/۶	۱۸-۲۵	۵۰-۷۰	۱۰۰-۱۳۰	
آهک، دولومیت	۰/۴۳-۱/۳	۱-۲/۴	۰/۱-۳	۵-۱۶	۲-۱۰	۰/۴-۱	۰/۱۶-۰/۴	۳-۱۰	۷-۲۰	۱۰-۴۵	



شکل ۴: نمودار عامل غنی‌شدگی عناصر در رسوبات حوضه

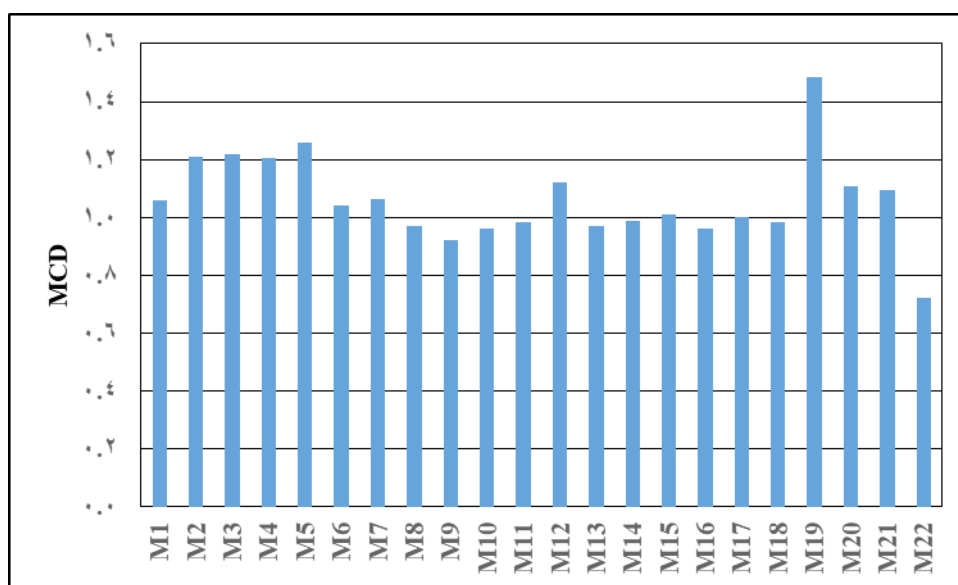
جدول ۹: عامل غنی‌شدگی و ضریب آلودگی عناصر در رسوبات حوزه آبریز

نمونه	Al	V	Pb	Ni	Mo	Fe	Cu	Cr	Co	Cd	As
EF	۱	۰/۹۱	۱/۳۳	۰/۸۶	۰/۳۳	۱/۱۶	۰/۹۶	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۴۳	۱/۰۸
CF	۱/۰۲	۰/۹۴	۱/۳۸	۰/۸۸	۰/۳۴	۱/۱۹	۰/۹۸	۱/۱۸	۱/۱۲	۱/۴۹	۱/۱۱



جدول ۱۰: نتایج حاصل از بررسی درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) در رسوبات حوزه آبریز زشک-ابرده

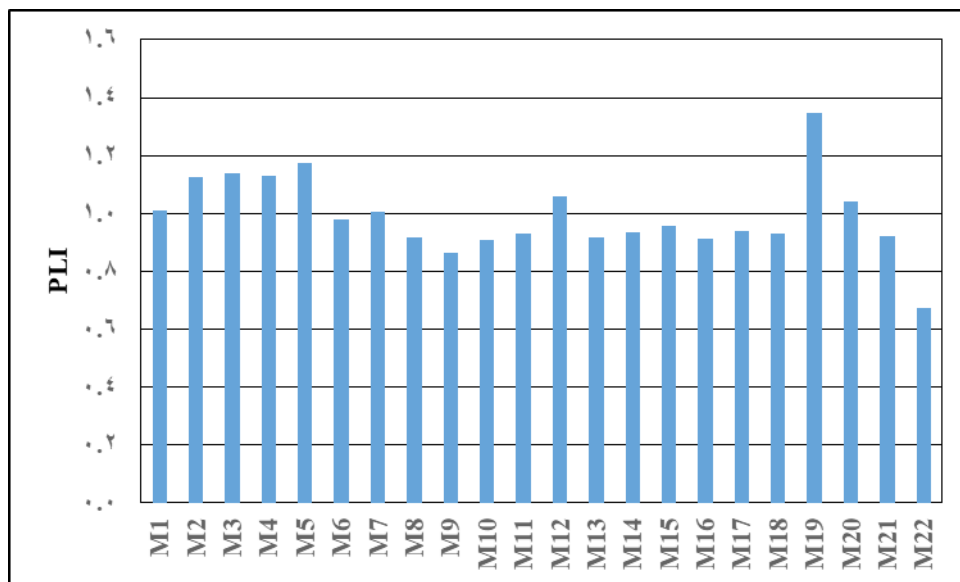
نمونه	MCD	نمونه	MCD	نمونه	MCD	نمونه	MCD
M1	۱/۰۶	M7	۱/۰۶	M13	۰/۹۷	M19	۱/۴۸
M2	۱/۲۱	M8	۰/۹۷	M14	۰/۹۹	M20	۱/۱۱
M3	۱/۲۲	M9	۰/۹۲	M15	۱/۰۱	M21	۱/۰۹
M4	۱/۲۱	M10	۰/۹۶	M16	۰/۹۶	M22	۰/۷۲
M5	۱/۲۶	M11	۰/۹۸	M17	۱/۰۰		
M6	۱/۰۴	M12	۱/۱۲	M18	۰/۹۸		



شکل ۶: نمودار درجه آلودگی اصلاح شده در رسوبات حوزه

جدول ۱۱: نتایج حاصل از بررسی ضریب بار آلودگی (PLI) در رسوبات حوضه زشک-ابرده

نمونه	PLI	نمونه	PLI	نمونه	PLI	نمونه	PLI
M1	۱/۰۱	M7	۱/۰۱	M13	۰/۹۲	M19	۱/۳۵
M2	۱/۱۲	M8	۰/۹۲	M14	۰/۹۴	M20	۱/۰۴
M3	۱/۱۴	M9	۰/۸۶	M15	۰/۹۶	M21	۰/۹۲
M4	۱/۱۳	M10	۰/۹۱	M16	۰/۹۱	M22	۰/۶۷
M5	۱/۱۷	M11	۰/۹۳	M17	۰/۹۴		
M6	۰/۹۸	M12	۱/۰۶	M18	۰/۹۳		



شکل ۷: نمودار میزان ضریب بار آلودگی در رسوبات حوضه

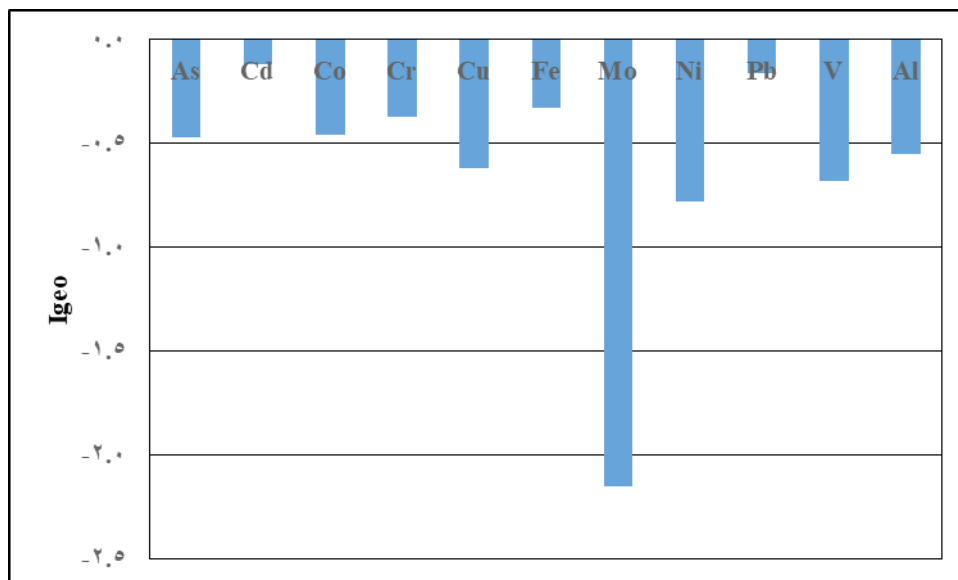
جدول ۱۲: تعیین عامل زمین انباشت نمونه‌های رسوب در حوضه مطالعاتی

عناصر	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
Igeo	-۰/۴۷	-۰/۱۲	-۰/۴۶	-۰/۳۷	-۰/۶۲	-۰/۳۳	-۲/۱۵	-۰/۷۸	-۰/۱۶	-۰/۶۸	-۰/۵۵

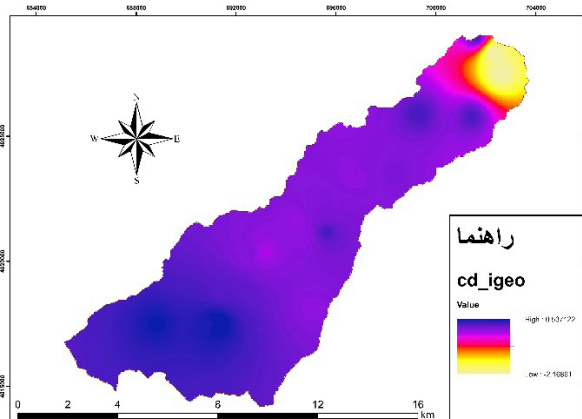
غرب حوضه در سازندهای St و TR3J1 و سرب نیز به‌طور پراکنده و به‌ویژه در شمال حوضه در سازند TR3J1 از غلظت بالایی برخوردار است (شکل ۹ و ۱۰).

بر اساس محاسبات صورت گرفته (جدول ۱۳) ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک همه عناصر مورد مطالعه کم‌تر از ۴۰ بوده که بر اساس جدول ۶ می‌توان گفت که حوضه دارای پتانسیل ریسک کم است. بر اساس نتایج حاصل از E_r ، مقدار عامل ریسک اکولوژیک حوزه آبریز زشک- ابرده به دست آمد. میانگین ضریب فوق برابر ۸۷/۱۳ به دست آمد. بر اساس میانگین ضریب حاصل شده و بر اساس طبقه‌بندی هاگانسون (جدول ۶) می‌توان گفت که وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم است (شکل ۱۱).

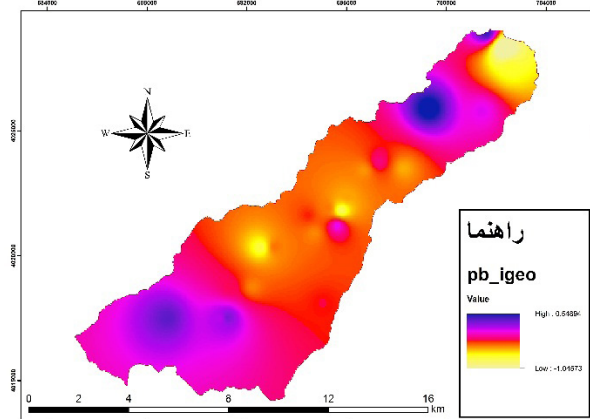
نتایج عامل زمین انباشتگی بیان‌گر این است که تمامی عناصر مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی دارای مقادیر کم‌تر از صفر است که بر اساس جدول ۵ در طبقه بدون آلودگی قرار می‌گیرند. شایان‌ذکر است که بیش‌ترین مقادیر مربوط به کادمیوم و سرب بوده که به ترتیب برابر با ۰/۱۲- و ۰/۱۶- است. از طرفی کم‌ترین مقادیر مربوط به عناصر مولیبدن (۲/۱۵-) و نیکل (۰/۷۸-) بودند. نمونه ۵ (۰/۵۳۹) بیش‌ترین و نمونه‌های ۲۱ و ۲۲ (۲/۱۷-) کم‌ترین مقادیر کادمیوم و نمونه ۱۹ (۰/۵۵) بیش‌ترین و نمونه ۲۲ (۱/۰۴) کم‌ترین مقادیر عنصر سرب را به خود اختصاص دادند. جدول ۱۲ مقادیر زمین انباشت و شکل ۸ نمودار زمین انباشت نمونه‌های رسوب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد، میزان غلظت کادمیوم در سراسر حوضه به‌ویژه جنوب و جنوب



شکل ۸: نمودار عامل زمین انباشتگی در رسوبات حوضه مطالعاتی



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی ضریب زمین انباشتگی سرب



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی ضریب زمین انباشتگی کادمیوم

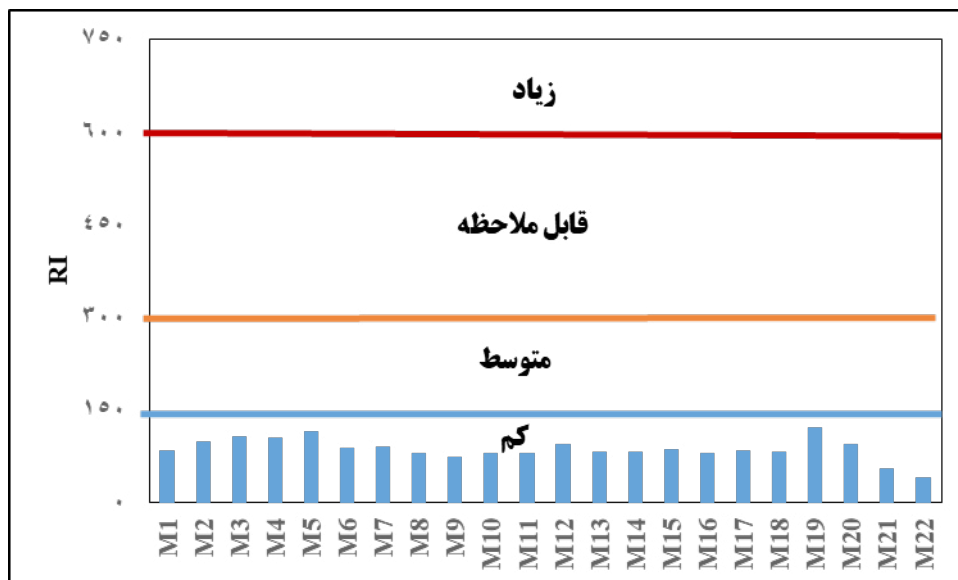
جدول ۱۳: عامل ریسک بوم‌شناختی ارزیابی شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه

RI	Er_V	Er_Pb	Er_Ni	Er_Mo	Er_Cu	Er_Cr	Er_Co	Er_Cd	Er_As	عناصر
۸۷/۱۳	۱/۸۸	۶/۹۲	۴/۴۲	۵/۱۴	۴/۹۳	۲/۳۶	۵۱/۶۱	۴۴/۷۳	۱۱/۱۳	میانگین

و بالعکس کاهش آن، کاهش عنصر دیگر را در پی داشته است. در حوضه مورد مطالعه کادمیوم و سرب رده اول را در رابطه با محاسبه عامل‌های مختلف را به خود اختصاص داده که در ضریب همبستگی هم مشاهده می‌شود که همبستگی بالایی (۰/۷۱) بین این دو عنصر وجود دارد.

قابل ذکر است که پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جوان منطقه مورد مطالعه از نظر فرسایش پذیری در رده زیاد و واحد فیلیتی، شیلی، ماسه‌سنگی، کوارتزی که بخش وسیعی از منطقه را در بر می‌گیرد، شدیداً تحت تأثیر عوامل تکتونیکی و دگرگونی قرار گرفته و در رده متوسط تا زیاد قرار دارند. بر مبنای خصوصیات لیتولوژیکی و بررسی‌های صحرایی، قسمت عمده سطح حوزه آبخیز را واحدهای

نتایج حاصل از ضریب پیرسون (جدول ۱۴) نشان داد عنصر آلومینیوم با آهن (۰/۹۷)، با وانادیوم (۰/۸۳)، با سرب (۰/۷۹)، با مولیبدن (۰/۷۴) همبستگی قوی برقرار کرده است و نیکل با کروم (۰/۹۴)، کبالت و آرسنیک (۰/۹۱)، مس و آرسنیک (۰/۸۳) و مس و کبالت (۰/۸۸) همبستگی قوی دارند. از طرفی سرب با کادمیوم (۰/۷۱) همبستگی دارد. سرب با مس (۰/۸۲)، با مولیبدن (۰/۸۱)، با آهن (۰/۷۶) همبستگی قوی دارد. هم‌چنین وانادیوم با آهن و سرب به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۱ همبستگی برقرار کرده است. از طرفی کروم با کادمیوم (۰/۴۵-) و کبالت (۰/۰۲-) همبستگی معکوس ضعیفی برقرار کرده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برخی عناصر همبستگی قوی باهم داشته و افزایش یک عنصر افزایش عنصر دیگر



شکل ۱۱: نمودار عامل ریسک بوم‌شناختی (RI فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه (محور افقی: کد نقاط نمونه برداری و محور عمودی: مقادیر عامل RI)

جدول ۱۴: مقادیر ضریب همبستگی بین میزان غلظت عناصر مورد استفاده در حوضه مطالعاتی

As										
As	1	Cd								
Cd	۰/۲۹	1	Co							
Co	۰/۹۱	۰/۳۶	1	Cr						
Cr	۰/۱۰	-۰/۴۵	-۰/۰۲	1	Cu					
Cu	۰/۸۳	۰/۵۹	۰/۸۸	۰/۰۷	1	Fe				
Fe	۰/۴۱	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۰۶	۰/۶۸	1	Mo			
Mo	۰/۵۹	۰/۸۷	۰/۶۲	-۰/۳۶	۰/۷۹	۰/۷۴	1	Ni		
Ni	۰/۲۸	-۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۹۴	۰/۲۵	۰/۰۴	-۰/۲۳	1	Pb	
Pb	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۶۸	-۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۰۶	1	V
V	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۷۶	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۷۱	1
Al	۰/۴۷	۰/۷۳	۰/۴۳	۰/۰۷	۰/۷۰	۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۰۷	۰/۷۹	۰/۸۳
										1

ماسه سنگ دگرگون شده فیلیتی و سربسیت حاوی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین مانند کادمیوم و سرب می باشد. این فلزات سنگین برای سازندهای رسوبی معمولاً به صورت قطعات کوچکی درون ماتریس سنگی قرار دارند و با توجه به شرایط شیمیایی و فیزیکی منطقه شکل گیری سازند، میزان آن‌ها متفاوت است. در مورد سازند شیل، نیز می توان گفت که این سازند حاوی مقادیر بالایی از کادمیوم و سرب می باشد. به عنوان مثال، در برخی مناطق، میزان کادمیوم در سنگ‌های شیل به ۱۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم می رسد که میزان نسبتاً بالایی است. همچنین، مقادیر سرب در سازند شیل نیز معمولاً بیش تر از حد مجاز مصرف انسان است. در منطقه مورد مطالعه اگرچه عناصر کادمیوم و سرب بالاترین مقادیر را با توجه به محاسبه شاخص های مختلف به خود اختصاص داده اند اما مقادیر این عناصر در حدی نبوده که بتواند برای انسان، گیاهان و جانوران مضر باشد و سلامتی آن‌ها را به خطر بیندازد.

سنگی با درجه تراوایی کم تا متوسط تشکیل می دهد که این امر با توجه به شیب زیاد حوضه، امکان وقوع سیل با شدت بالا و جایجایی رسوبات را تشدید می کند و در نتیجه در رسوب گذاری و انتقال عناصر به ویژه عناصر سنگین مؤثر است.

همان طور که نتایج محاسبه شاخص ها نشان می دهد بیش ترین مقادیر عناصر سنگین به ویژه کادمیوم و سرب در سازند TR3J1 (شیل، ماسه سنگ دگرگون شده فیلیتی و سربسیت) می باشد. در این سازند، سنگ های مختلفی از جمله سنگ ماسه، سنگ شیل، سنگ آهک، سنگ مرمر، سنگ سیلیسی، سنگ ولکانیکی و ... وجود دارند. این سنگ ها به صورت دگرگون شده با عوارض زیادی همراه هستند و شامل مواد تریتیک و کانی هایی مانند کوارتز، فلدسپات، بیوتیت، گارنت و زئولیت هستند. به طور کلی این سازند یک سازند پیچیده و متنوع است که شامل مواد چندگانه ای از جمله سنگ های رسی، شیلی، آهکی و ولکانیکی است. معمولاً در سازند شیل،

در بررسی زیست‌محیطی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ششتمد در شمال‌شرق ایران [۴۶] و هم‌چنین در بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب چغاخور [۶] با استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی، زمین‌انباشتگی، ضریب آلودگی و شاخص بار آلودگی مؤید این مطلب است که آلودگی فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه، همانند حوضه زشک-برده زمین زاد و عمدتاً ناشی از سازندهای زمین‌شناسی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

جهت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات، ۲۲ نمونه رسوب مورد بررسی قرار گرفت که برای سنجش آلودگی از عامل‌هایی نظیر عامل غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی و عامل ریسک بوم‌شناختی استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه عامل غنی‌شدگی حاکی از آن است که عناصر مولیبدن، نیکل، وانادیوم و مس بدون غنی‌شدگی و عناصر کادمیوم، سرب، کروم، آرسنیک، کبالت و آهن غنی‌شدگی اندکی در منطقه دارند. به‌نحوی که کادمیوم و سرب با میانگین $1/43$ و $1/33$ نسبت به عناصر اشاره‌شده غنی‌شدگی بیش‌تری دارد. از آنجاکه عامل غنی‌شدگی برای عناصر مورد مطالعه کم‌تر از 10 به‌دست‌آمده است، لذا منشأ عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت، وانادیوم، مس، مولیبدن و آهن در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود آمده است. قابل‌ذکر است بر اساس عامل غنی‌شدگی، سرب و کادمیوم غنی‌شدگی اندکی در منطقه ایجاد کرده و باقی عناصر بدون غنی‌شدگی هستند. گر چه نمی‌توان تأثیر عوامل انسانی را در میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین نادیده گرفت ولی با توجه به بررسی‌ها و محاسبات و ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده به‌وسیله عامل‌های آلودگی، تأثیر عوامل انسانی در حوضه مورد مطالعه کم‌تر بوده و منشأ عناصر مورد مطالعه در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود آمده است. نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد عناصر آرسنیک کادمیوم، کبالت، سرب، کروم و آهن عناصر کادمیوم و سرب آلودگی متوسطی داشته به‌طوری‌که در بین عناصر، عنصرهای کادمیوم و سرب به ترتیب با میانگین ضریب آلودگی $1/49$ و $1/38$ مقادیر بیش‌تری را به خود اختصاص دادند (آلودگی متوسط) و عناصر مس، مولیبدن، نیکل، وانادیوم و آلومینیوم آلودگی پایین را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین می‌توان گفت نتایج حاصله از بررسی ضریب آلودگی در جهت تصدیق عامل غنی‌شدگی است. با توجه به عامل آلودگی اصلاح‌شده نیز می‌توان گفت همه مقادیر زیر $1/5$ بوده و در رده بدون آلودگی تا آلودگی کم قرار می‌گیرند. ضریب بار آلودگی (PLI) نیز حاکی از این است که نمونه‌ها در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند. عامل زمین‌انباشتگی نیز نشان می‌دهد که با توجه به این‌که تمامی عناصر مورد مطالعه در منطقه

مطالعاتی دارای مقادیر کم‌تر از صفر است، در طبقه بدون آلودگی قرار می‌گیرند. البته بیش‌ترین مقادیر مربوط به کادمیوم و سرب است. با توجه به ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک که در آن‌همه عناصر مورد مطالعه کم‌تر از 40 بوده می‌توان گفت حوضه دارای پتانسیل ریسک کم می‌باشد. میانگین ضریب مقدار عامل ریسک اکولوژیک نیز محاسبه و برابر $87/13$ به دست آمد. بر اساس میانگین ضریب حاصل‌شده که بر این اساس می‌توان گفت که وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم می‌باشد. همان‌طور که بررسی عامل‌ها نشان می‌دهد در حوضه مورد مطالعه کادمیوم و سرب رده اول را در رابطه با محاسبه عامل‌های مختلف را به خود اختصاص داده که در ضریب همبستگی هم مشاهده شد که همبستگی بالایی ($0/71$) بین این دو عنصر وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان بر اساس محاسبات انجام‌شده اذعان نمود که حوضه مورد مطالعه بدون آلودگی و یا آلودگی بسیار پایین است و با این وضعیت برای سلامتی انسان خطرناک نیست. از طرفی می‌توان اذعان نمود با توجه به بررسی‌های میدانی انجام‌شده، موارد خاصی نظیر گندهای نمکی و یا معادن در حال بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی وجود ندارد. با این حال از دیدگاه زمین‌شناسی پتانسیل‌هایی نظیر وجود پتانسیل‌های معدنی مانند زغال‌سنگ، سیلیس و امکان بهره‌برداری از عوارض طبیعت‌گردی و زمین‌گردشگری موجود در حوضه مانند وجود چشمه‌های نسبتاً پر آب و دره‌ها و طبیعت زیبای در این منطقه وجود دارند که به نحوی می‌تواند در میزان آلودگی این حوضه مؤثر واقع شود که باید برنامه‌ریزی و مدیریت لازم صورت پذیرد.

در پایان باید متذکر شد کادمیوم و سرب دو فلز سنگین هستند که به دلیل وجود طولانی‌مدت در محیط‌زیست و سمی بودن برای انسان و موجودات دیگر، مشکلات محیط‌زیستی را ایجاد می‌کنند. افزایش غلظت این فلزات در رسوبات ممکن است به دلیل متعددی نظیر زمین‌شناسی، فعالیت‌های صنعتی و شهری، آلودگی هوا (این فلزات با ذرات معلق در هوا مخلوط می‌شوند و پس از رسیدن به زمین، به‌صورت رسوبات در خاک و آب شهری و صنعتی جمع می‌شوند)، تخلیه پسماندها و .. باشد که در منطقه مورد مطالعه این پژوهش منشأ اصلی عامل لیتوژنیک (زمین زاد) شناسایی شد. می‌توان گفت اگرچه میزان غلظت این عناصر در حوضه مورد مطالعه کم است ولی با توجه به این‌که منطقه مطالعاتی از مناطق هدف گردشگری است و فعالیت‌های انسانی می‌تواند باعث افزایش غلظت عناصر در رسوبات شود، باید برای کنترل آلودگی و حفظ محیط‌زیست، اقدامات لازم از جمله کنترل آلودگی هوا، آب و دفن ایمن پسماندها انجام شود. لذا حفظ وضعیت موجود و جلوگیری از تخریب و ایجاد آلودگی مهم‌ترین وظیفه مدیران خواهد بود. از طرفی کنترل آلودگی رسوبات، نیازمند تلاش همه‌جانبه در سطح شهر، کشور و حتی در سطح جهانی است. به همین دلیل، توجه به این موضوع ضروری است و باید از تلاش‌های بیش‌تری برای کاهش آلودگی و حفظ محیط‌زیست استفاده شود.

metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar, Journal of Health and Environment, Scientific Research Quarterly of Iran Environmental Health Scientific Association, 8(1): 45-56. (in Persian).

10. Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils, As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn, in Swiss forest soils", Sci. Total Environ. 249 :257-280..

11. Chen, C., Kao, C., Chen, F. and Dong, D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, Chemosphere, 66: 1431-1440.

12. Dabiri, M. 1996. Environmental pollution, first edition, Etihad publishing, Iran. (in Persian).

13. Dahrazma, B., Azarpaykan, A & Sayyarreh, A. 2015. Assessment of Heavy Metals Contaminated in The soil of Ay Ghalasi Abandoned lead Zink-Mine Area, southeast, Takab, engineering geology and environment, 24(94):129-138. (in Persian)..

14. Devis, J. C. 1986. Statistics and data analysis in Geology. Wiley International, New York.

15. Elsagh, A., Jalilian, H.R., Ghaderi Aslshabestari, M.R. 2021. Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Mercury pollution and environmental geochemical indices, Marine Pollution Bulletin. 167(112314): 1-8

16. Geravand, M., Ghasemi, H & Hafezi Moghaddas, N. 2012. Geochemical and environmental evaluation of heavy metals in soils from Gogan's schist rocks, journal of earth sciences, 22(86):35-46. (in Persian).

17. Ghadimi, F. 2020. Assessing the heavy metal contamination in sediments of Mighan playa using pollution indices, Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan, consecutive 8(1):19-37. (in Persian).

18. Ghazban, F, and Zare Khosh Eghbal. M. 2010, Investigating the origin of heavy metal contamination in Anzali lagoon sediments (Northern Iran), Journal of Environmental Studies, 37(57): 45-56. (in Persian).

19. Gognou C, Fisher NS. 1997. The bioavailability of sediment bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54(1):147-56.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۵۱۰۰۱/۲۲۶۷/۱۰۰ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ می باشد که با حمایت مالی دانشگاه فرهنگیان کشور انجام گرفته است.

منابع

1. Abraham, G.M.S., and Parker, R.J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, Environ Monit Assess 136: 227-238.

2. Abraham, G.M.S., 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary, Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Abraham, Ghada M. S.. Identifier: Thesis (PhD--Geology)--University of Auckland.

3. Abyat, H., Ansari, M. R., Zanganeh, N and Abyat, A. 2019, Assessment of Heavy Metals in Hooralazim Wetland Sediments by Calculation of Pollution Index, Iran Water and Soil Research, Volume 51:2481 -2470. (in Persian)..

4. Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. and Stanzione, D. 2005. Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naples city Por, Chemosphere, 61: 800-809.

5. Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J. and Akaho, H. 2008. Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana, Environmental Monitoring Assessment 141, 165- 175.

6. Ali Beigi, H., Mirzai, R., Zamani A., and Mahmoodi, R. 2017. Checking density of heavy metals in surface sediment of Choghakhor lagoon, career 43(1):149-161 (in Persian).

7. Ansarinia, M., Sadeghinia, M., Ghanei, M.J., Iran Menesh, Y. 2021. evaluation and measurement of heavy metal pollution in the sediments of Gandaman wetland, Wetland Ecobiology Scientific Journal - Islamic Azad University, Ahvaz branch, 47: 35-50. (in Persian).

8. Bagheri, H., Sharmed, T., Khairabadi, V., Darvish Bastami, K and Bagheri, Z. 2013. Tracing and Assessment of Heavy Metals in Gorganrud Sediments. , Oceanography, second year, Spring,: 35-39. (in Persian).

9. Bazi, A. 2014. Determining the level of heavy

- R. 2016., Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution in surface sediments of the Langat River Basin in Selangor Malaysia. *Mar Pollut Bull*;101:391-6.
29. Kanda, A., Ncube, F. and Takura, R. 2017. Potential ecological risk assessment of a stream in Shamva, Zimbabwe. *Environment, Earth and Ecology*, 1(1): 67-80.
30. Khalifa, M., & Gad, A., 2018. Assessment of heavy metals contamination in agricultural soil of southwestern Nile Delta, Egypt. *Soil Sediment Contam.* 27(7):619-642.
31. Khosravi M, Bahramifar N, Ghasempour M. 2011. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) Contamination in Sediment of Three Sites Anzali Wetland.. *Eco-biology of the lagoon*, 4(2):2.
32. Li, M.S., Luo, Y.P. and Su, Z.Y. 2007. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China, *Environmental Pollution*, 147: 168-175..
33. Li, Y.; Zhou, H.; Gao, B. & Xu, D. 2021. Improved enrichment factor model for correcting and predicting the evaluation of heavy metals in sediments. *Science of The Total Environment*, 755(1): 142437.
34. Luoping, Z., Huan, F., Tong, O., Rongyuan, L. and Weiqi, C. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China, *Mar Pollut Bull* 54: 974-982..
35. Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E. 2007. Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1399-1405.
36. Mirzaei, M., Solgi, e. 2014. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River, *Journal of Research Environmental Health*, 1(4): 251-265. (in Persian).
37. Mokaram, M & Negahban, S.2020. Evaluation of ecological heavy elements risk in roadside sediments in GIS environment, *Journal of Geography and Environmental Hazards*,33:17-43.(in Persian).
38. Mortazavi, S and Hatami Manesh, M. 2018. Determination of Heavy Metals Pollution Load Index in Sediments and Aquatic Plant (*Nasturtium microphyllum*) in Bashar River, Yasuj, *Journal of Environmental Health*
20. Gopal, V., Krishnamurthy, R. R., Vignesh, R., Sabari Nathan, C., Anshu, R., Kalaivanan, R., Mohana, P., ochyil Magesh, N., Manikanda Bharath, K., Zacharie Ekoa Bessa, A., Abdelrahman, K., Abioui, M. 2023. Assessment of heavy metal contamination in the surface sediments of the Vedaranyam coast, Southern India, [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science"](https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science) \o "Go to Regional Studies in Marine Science on ScienceDirect" Regional Studies in Marine Science [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science/vol/65/suppl/C"](https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science/vol/65/suppl/C) \o "Go to table of contents for this volume/issue" 65 , 103081
21. Gu, J.G., Lin, Q.Q., Hu, R., Zhuge, Y.P. and Zhou, Q.X. 2005. Translation behavior of heavy metals in soil-plant system - a case study of Qingchengzi Pb-Zn mine in Liaoning province, *Journal of Agro-Environment Science*, 4:634-637.
22. Habes, G. and Nigem, Y., 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan, *Chemosphere*, 65: 2114-2121..
23. Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research* 14: 975-1001..
24. Hernandez, L., Probst, A. and Probst, J.L., 2003. Heavy metal distribution in some French forest soil, evidence for atmospheric contamination, *Science of the Total Environment*, 312:195-219.
25. Jamei, M. 2009. Evaluation of introspection methods in regional estimation of reference evaporation and transference and comparison with the available results from satellite images in the central and northern plains of Khuzestan. MSc in Agricultural Meteorology, Islamic Azad University. Tehran Science and Research Branch, Iran, : 102. (In Persian)
26. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants: CRC Press, Boca Raton: 413
27. Kabirifard, H., Sheikhejad, E & Masumi, M.2012. Assessment of the amount of heavy metals pollution {iron, zinc, lead and nickel} in surface waters, cultivated soil and veggie in Pishva City, *marine science and technology research* :1-12. (in Persian).
28. Kadhum, S.A., Ishak, M.Y., Zulkifli, S.Z., Hashim,

49. Shi, X., 2010. Selection of bandwidth type and adjustment side in kernel density estimation over inhomogeneous backgrounds. *International Journal of Geographical Information Science*, 24: 643-660.
50. Siahati Ardakani, Gh. R., mirsanjari, M.M., Azimzadeh, H.R & Salagi, E. 2016, Ecological Risk Assessment Of Heavy Metals In Topsoil Around Major Industries Of Ardakan City, TOLOO E BEHDASHT, School of Public Health, Yazd Shahid Sadoughi Univ Med Sci, 17(72): 95-110. (in Persian).
51. Skrbic, B. and Mladenovic, N., 2010. Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide, *Chemosphere*, 80:1360-1369..
52. Sobotra, K., & Tanda, F. 2006. Evaluation of Pb and Cd concentrations in soils and bedrocks. *Environ Pollut*. 12: 457-460..
53. Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis their potential use as fertilizer, *Journal of Environmental Quality*, 6: 225-231..
54. Turekian, K. K., and Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust", *Bulletin of Geological Society of America*. 72 :175-92.
55. Vafabakhsh, K. and Kharghany, K. 2000. Effects of treated Municipal wastewater on quality and yield of cucumber and carrot, *Agricultural resource recycling Symp*, Isfahan, Khorasgan Azad University, Agricultural College, Iran. (in Persian).
56. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2): 399-415.
57. Ye C., Li S., Zhang Y., Zhang Q. 2011. "Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China", *Journal Hazard*. 191:366-372.
- Engineering, Winter, 5(2) 172-157. (in Persian)..
39. Muller, G. 1969. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *Geo Journal*, 2(3): 108-118.
40. Muller, G. 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungenseit 1971, *Umschau*, 79(24):778-783..
41. Nasralla, M.M. 1984. Lead in Jaddah urban dust, *Environment Pollution Series B, Chemical and Physical* 8(2):133-141.
42. Nikolaidis, Ch., Zafiriadis, I., Mathioudakis, V. and Constantinidis, Th. 2010. Heavy metal pollution Associated with an abandoned Lead-Zinc mine in the Kirki Region, NE Greece, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 85(3): 307-312.
43. PoorKhabaz, H.R., Javanmardi, S., Yousefnia, H., Asalemi, M., Macroni, S & Aghdar, H. 2016. Environmental Evaluation of Heavy Metals Contamination in Soils around the Cement Factory in Behbahan City, *Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(3). (in Persian).
44. Rajeshkumar S, Li X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicol*. 5: 288-295.
45. Rey, R., Fierros, D., Barral, M., 2009, Normalization strategies for river bed sediments: a graphical approach. *Microchemical Journal* 91(2): 253-265.
46. Salavati, M., Yousefi Mesradashti, Z. 2021. Evaluation of Geochemical Pollution From The Perspective of Environmental Geology In Pole- Rud Stream Sediment -East Of Guilan. *Environmental Research*, 12(24):149-158. (in Persian).
47. Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66: 258-266..
48. Shayestefar, M.R., & Rezai, A. 2013. The study of environmental behavior and the investigation of heavy metals distribution in the soils of the Sarcheshmeh copper mine area of Kerman, *Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)* (8)18:13-21. (in Persian).



Abstract

Analyzing the Sediment Pollution by Heavy Metals in Zoshk-Abardeh Basin, Razavi Khorasan ProvinceM. Motamedi Rad^{1*} and M. R. Yousefi Roshan²

Received: 2023/04/07 Accepted: 2023/05/12

Environmental pollution with heavy metals is one of the inevitable human and environmental issues and threats that human societies are facing. The present research has evaluated the pollution level of Zoshk-Abardeh catchment basin with 11 heavy elements (Arsenic, Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Iron, Molybden, Nickel, Lead, Vanadium and Aluminum). In this research, indicators such as enrichment factor, contamination factor, modified contamination degree, pollution load index, Geoaccumulation index and ecological risk index were used to measure pollution. The results of the calculation of the enrichment factor and contamination factor indicate that the studied elements have no enrichment or little enrichment in the region. According to the modified contamination degree, it can be said that all values are below 1.5 and are in the category of no pollution to low pollution. The pollution load index also shows that the samples in the study area do not show any specific pollution. The results of the Geoaccumulation index indicate that all the studied elements in the study area have values less than zero, which are in the non-polluted class. According to the coefficient of ecological risk potential, the basin has a low risk potential. The value of the ecological risk index was 87.13 that it can be said the ecological risk status of sediments in the studied area is low due to heavy elements. Considering that the study area is one of the target areas for tourism and human activities can increase the concentration of elements in sediments, protective and management planning should be done to control pollution.

Keywords: Pollution, Heavy metals, Zoshk-Abardeh, Enrichment, Ecological risk

1. Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran, Correspond Author, Email: m.motamedirad@cfu.ac.ir

2. Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran.