

بررسی آلودگی زیست محیطی رسوبات آبراهه‌ای به عناصر سنگین در منطقه زرشوران - آغدره (شمال تکاب)

سیده پریسا موسوی^۱، میرعلی اصغر مختاری^۲، یونس خسروی^{۱*}، علی رفیعی^۳، رضا حسین زاده^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۲۴)

چکیده

در مطالعه حاضر توزیع آلودگی عناصر سنگین آرسنیک، آنتیموان، نیکل، مس، کادمیم، کبالت، بیسموت، سرب و روی در محیط رسوبات آبراهه‌ای در منطقه زرشوران- آغدره با استفاده از تکنیک‌های آماری و تلفیق هندسی حوزه آبریز هر نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، میزان آلودگی عناصر در ۱۵۴ نمونه رسوب آبراهه‌ای مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه‌های مربوط به توزیع فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از روش‌های تلفیق، روش تخمین پیکسلی، روش‌های آماری و زمین آماری برای عناصر تهیه شد. بررسی‌های فاکتور غنی‌شدگی نشان داد که بیشترین غنی‌شدگی مربوط به فلزات آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، کادمیم و سرب است، همچنین نتایج نشان داد که غلظت فلزهای روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیم و بیسموت در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای در مقایسه با میانگین جهانی بیشتر است. اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر داده‌ها موجب شد تا تعداد ۹ مؤلفه اصلی برای داده‌ها تعیین شود که پنج مؤلفه اول با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک و با درصد تجمعی بیش از ۸۵ درصد مشخص شدند. در مؤلفه اول عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، سرب و روی، در مؤلفه دوم کبالت، در مؤلفه سوم بیسموت، در مؤلفه چهارم مس و در مؤلفه پنجم نیکل، بیشترین مقادیر بارگذاری را به‌خود اختصاص داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، آلودگی زیست محیطی، فاکتور غنی‌شدگی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، زرشوران، آغدره، تکاب

۱. گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۲. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۳. گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۴. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: khosravi@znu.ac.ir

مقدمه

تخریب و آلودگی محیط زیست، ثمره جوامع صنعتی و یکی از پیامدهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. به طور کلی، هر نوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده محیط، به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آنها مختل شود و به طور مستقیم یا غیر مستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط زیست گفته می‌شود (۵). آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین به دلیل تأثیر سوء این مواد سمی بر ارگانیسم‌های زنده، تبدیل به مسئله‌ای جهانی شده است (۲۰). مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی است. از این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلودگی‌شان در خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد خاک مادری و منابع انسانی باشد و به عبارت دیگر، این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارد اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (۲۶). 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 (۱۹). رسوبات به عنوان یکی از مخازن نهایی طبیعی، می‌توانند فلزات سنگین را به محیط تخلیه کنند (۱۸). این مسئله اهمیت بررسی‌های زیست-محیطی رسوبات را مشخص می‌کند. با توجه به این مهم، این تحقیق با هدف بررسی آلودگی رسوبات آبراهه‌ای منطقه زرشوران-آغ‌دره، نسبت به عناصر سنگین آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، سرب، روی، مس، نیکل، کبالت و بیسموت انجام گرفت. از مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به تحقیقات اسماعیلی و مر (۱)، شهدادی و مسلم‌پور (۱۲)، شهبازی و همکاران (۱۱)، مدبری و مر (۱۳)، رحیم سوری و همکاران (۶)، شرفی و همکاران (۱۰) و شایسته‌فر و رضایی (۹) اشاره کرد. در این تحقیق سعی بر آن است تا با توجه به

وضعیت زمین‌شناسی و فعالیت‌های معدنی در منطقه زرشوران-آغ‌دره، میزان آلودگی رسوبات این منطقه را نسبت به برخی عناصر سنگین بررسی کرده و تأثیر عوامل طبیعی و احیاناً انسانی در ایجاد آلودگی تعیین شود.

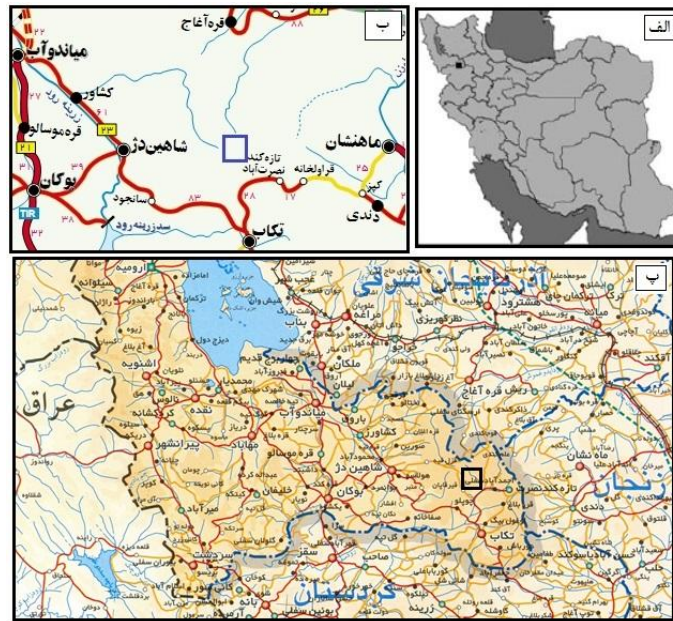
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه زرشوران-آغ‌دره در شمال تکاب واقع بوده و در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شمال تکاب و در اطراف معادن آرسنیک طلای زرشوران و آنتیموان-طلای آغ‌دره، قرار گرفته است (شکل ۱). به دلیل بالا بودن پتانسیل کانی‌سازی طلا، این منطقه از نظر معدنی بسیار مورد توجه است.

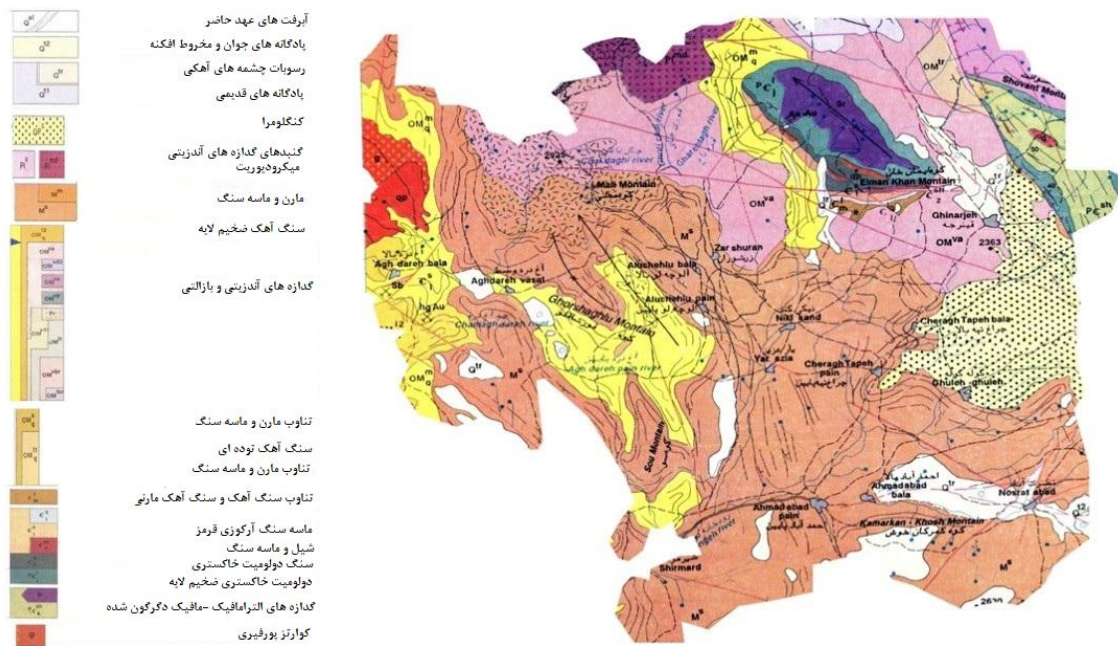
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه زرشوران-آغ‌دره، متشکل از سازندهای زمین‌شناسی مربوط به پرکامبرین، ترشیری و عهد حاضر شامل مجموعه سنگ‌های دگرگونی، آذرین و رسوبی است (شکل ۲) (۲). کهن‌ترین سنگ‌های شناخته‌شده در این منطقه شامل موسکویت شیست، کوارتز-کلریت-اپیدوت‌شیست، بیوتیت‌شیست و سنگ‌های اولترامافیک همراه با میان‌لایه‌های کوارتزیتی است که در زیر آهک و دولومیت‌های مرمری شده (مرمر جانگوتاران) رخنمون دارند. مجموعه آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن، گسترده‌ترین واحد سنگی در این منطقه بوده و شامل ردیف ضخیمی از برش و کنگلومرای آتشفشانی همراه با برش‌های هیالوکلاستی است. بخش عمده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی الیگومیوسن عبارت از گدازه‌های با ترکیب آندزیتی است. آخرین رخنمون فعالیت‌های آتشفشانی الیگومیوسن در این منطقه، گدازه‌های داسیتی و گاه به صورت ایگنمبریتی است. همچنین، رخنمون‌هایی از واحدهای مارنی و ماسه‌سنگی گچ‌دار مربوط به الیگومیوسن به همراه آهک‌های سازند قم در این مجموعه حضور دارند. بر روی واحدهای آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن، تناوبی از مارن و ماسه‌سنگ قرمز همراه با گچ



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان غربی، ب) موقعیت منطقه

مورد مطالعه در شمال تکاب و راه‌های دسترسی به آن و پ) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی و شمال تکاب



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان (۲)

در بخش‌های غربی منطقه نیز گرانت آغ‌دره قابل مشاهده است. از نظر کانه‌زایی، واحدهای مرمری پرکامبرین در معدن زرشوران و آهک‌های الیگومیوسن در معدن آغ‌دره، میزبان کانی‌زایی آرسنیک، آنتیموان و طلا هستند.

(رسوبات سازند قرمز بالایی) به‌طور ناهم‌شیب قرار گرفته است. در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، رخنمونی از یک توده نفوذی با ترکیب میکرودیوریتی و مربوط به پلیوسن (۲) رخنمون دارد که واحدهای سنگی میزبان را دگرسان کرده است.

روش پژوهش

در مرحله اول موقعیت نمونه‌های مورد نظر با توجه به وضعیت آبراهه‌های منطقه بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه پیش‌بینی و سپس براساس نقشه توپوگرافی با موقعیت نمونه‌های از پیش تعیین شده و دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS)، موقعیت نمونه‌ها را در منطقه پیدا کرده و ۱۵۴ نمونه رسوب آبراهه‌ای از عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری متشکل از حدود ۳۰۰-۲۰۰ گرم جزء ۸۰- مش برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده به‌منظور آنالیز به روش ICP-OES، در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز و غلظت عناصر تعیین شد. با توجه به شرایط خاص محیط رسوبات آبراهه‌ای، طبیعت‌برداری آن را در تحلیل‌ها مدنظر قرار داده و سعی شد مقادیر به‌دست آمده برای غلظت عناصر برای هر نمونه با روش تخمین پیکسلی به حوزه بالادست هر نمونه نسبت داده شود (۷ و ۲۳). به این منظور، برای تک‌تک نمونه‌ها، شکل حوزه آبریز براساس نقشه توپوگرافی رسم شد. با در نظر گرفتن دقت مورد نیاز، منطقه مورد مطالعه به ۳۲۶۵۵ پیکسل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر تقسیم شد. هر پیکسل براساس قرارگیری در حوزه آبریز هر نمونه برای هر عنصر یا هر متغیر جدید از قبیل فاکتور غنی‌شدگی، مقدار ضرایب مربوطه را دریافت کرد و در نهایت، تعداد مقادیر که در ابتدا برای ۱۵۴ نمونه بوده با ترکیب هندسه حوزه آبریز و ماهیت برداری رسوبات آبراهه‌ای، تبدیل به ۳۲۶۵۵ داده اطلاعاتی شد. در این روش، ضرایب اعمالی برای هر پیکسل کاملاً هندسی بود و تنها به موقعیت پیکسل مورد نظر با حوزه آبریز نمونه‌ها وابسته است و صرفاً جهت در نظر گرفتن توزیع برداری غلظت عناصر در محیط آبراهه‌ای است. این روش، نقاط ضعف موجود در روش‌هایی همچون وزن‌دهی عکس فاصله، کنتورینگ و روش‌های کریجینگ که هندسه حوزه آبریز را در نظر نمی‌گیرند، برطرف می‌کند، همچنین، در مراحل بعد قابلیت تلفیق با این روش‌ها را نیز دارد. نقشه موقعیت نقاط نمونه‌برداری در

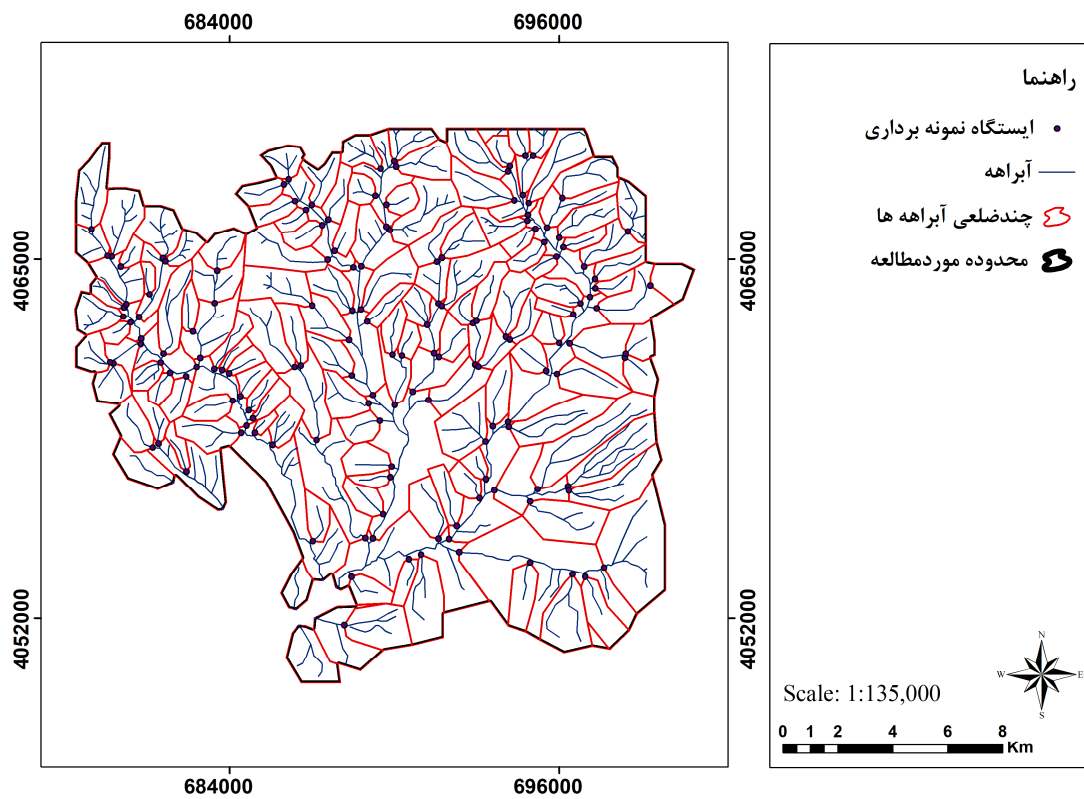
منطقه مورد مطالعه در شکل (۳) آورده شده است.

پردازش‌های آماری

پس از دریافت نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها، به‌منظور پردازش و تحلیل آماری داده‌ها و بررسی نرمال بودن داده‌ها، از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SPSS22 استفاده شد. نتایج به‌دست آمده مربوط به پردازش پارامترهای آماری میانگین، میانه، مد، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی، دامنه، حداقل و حداکثر غلظت برای ۹ عنصر در جدول (۱) نشان داده شده است. مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده برای هر عنصر با مقدار میانگین جهانی آن (متوسط پوسته) نشان می‌دهد که نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در منطقه مورد مطالعه از نظر محتوی عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، سرب، روی، بیسموت و مس بیشتر از میانگین پوسته و مقدار نیکل و کبالت کمتر از میانگین پوسته است (جدول ۱).

مطالعات آماری تک‌متغیره

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و سپس مطالعات آماری تک‌متغیره (محاسبه مشخصه‌های آماری) و مطالعات آماری چند متغیره (تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای) بر روی داده‌ها اعمال شد. با در نظر گرفتن سطح معنی‌دار ۰/۰۵ در آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف، هیچ‌کدام از عناصر توزیع نرمال نداشته (جدول ۲) و نیاز است قبل از هرگونه پردازش آماری، مقادیر عناصر نرمال شود. بر این اساس از روش لوگ نرمال برای نرمال‌سازی توزیع داده‌های خام غیر نرمال استفاده شد. روش لوگ نرمال به‌صورت یک روش توزیعی برای نرمال کردن تابع توزیع جوامعی که دارای چولگی در نمودار خود هستند، به‌کار می‌رود (۴). برای نرمال‌سازی داده‌های به‌دست آمده، لگاریتم همه داده‌ها در مبنای ۱۰ محاسبه شد که نتیجه آن در جدول (۳) نشان داده شده است. هیستوگرام توزیع مقادیر لوگ عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، کبالت، سرب، نیکل،



شکل ۳. نقشه موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه به همراه چند ضلعی‌های مربوط به حوزه آبریز هر نمونه

جدول ۱. پارامترهای آماری محاسبه شده برای عناصر آنالیز شده در منطقه مورد مطالعه

| عناصر سنگین | روی | مس | نیکل | سرب | کبالت | کادمیم | بیس‌موت | آنتیموان | آرسنیک |
|-----------------|-----------|--------|----------|----------|-------|--------|---------|----------|----------|
| تعداد نمونه | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ |
| * میانگین | ۱۷۰/۳۹ | ۳۰/۳۱ | ۵۰/۱۷ | ۷۰/۱۹ | ۱۵/۷۳ | ۰/۹۹ | ۰/۴۹ | ۲۲/۰۵ | ۱۳۹ |
| میانه | ۹۴/۴۹ | ۲۴/۶۹ | ۳۲/۴۹ | ۲۸/۹۲ | ۱۴/۹۲ | ۰/۴۷ | ۰/۳ | ۳ | ۵۵ |
| مد (نما) | ۲۲/۶۷ | ۷/۵ | ۸/۶۲ | ۵/۳ | ۳/۴ | ۰/۰۸ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۱۵ |
| انحراف از معیار | ۳۶۲/۵۲ | ۲۳/۷۳ | ۱۱۶/۹۸ | ۱۱۵/۵۵ | ۷/۳ | ۲/۵۴ | ۰/۷۳ | ۷۴/۱۹ | ۳۵۹/۰۸ |
| واریانس | ۱۳۱۴۲۱/۶۲ | ۵۶۳/۲۹ | ۱۳۶۸۳/۱۷ | ۱۳۳۵۰/۷۴ | ۵۳/۳۳ | ۶/۴۷ | ۰/۵۴ | ۵۵۰۴/۳۳ | ۱۲۸۹۳۷/۴ |
| چولگی | ۹/۳۸ | ۵/۲۵ | ۱۰/۷۶ | ۴/۱۲ | ۳/۵۶ | ۹/۵۵ | ۴/۶۷ | ۶/۳۸ | ۷/۷۹ |
| کشیدگی | ۱۰۱/۱۴ | ۳۸/۷۳ | ۱۲۵/۲۶ | ۲۱/۸۹ | ۲۵/۶۲ | ۱۰۴/۷۸ | ۲۴/۲۶ | ۴۳/۰۷ | ۷۳/۱۴ |
| دامنه | ۴۱۷۲/۹۱ | ۲۲۷/۵۷ | ۱۴۱۲/۰۷ | ۹۱۴/۶۷ | ۷۰/۵۱ | ۲۹/۴۴ | ۵/۴ | ۶۰۹/۵۵ | ۳۷۹۳ |
| حداقل | ۲۲/۶۷ | ۷/۵ | ۸/۶۲ | ۵/۳۳ | ۳/۳۹ | ۰/۰۸ | ۰/۱ | ۰/۴۵ | ۷ |
| حداکثر | ۴۱۹۵/۵۸ | ۲۳۵/۰۷ | ۱۴۲۰/۶۹ | ۹۲۰ | ۷۳/۹ | ۲۹/۵۱ | ۵/۵ | ۶۱۰ | ۳۸۰۰ |
| میانگین پوسته | ۶۵ | ۲۵ | ۵۶ | ۱۴/۸ | ۲۴ | ۰/۱ | ۰/۰۸۵ | ۰/۳ | ۱/۷ |

* داده‌های مربوط به میانگین پوسته از Wedepohl اقتباس شده است (۲۵).

جدول ۲. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی توزیع نرمال داده‌های عناصر سنگین مورد مطالعه در رسوبات آبراهه‌ای

| عناصر سنگین | روی | مس | نیکل | سرب | کبالت | کادمیم | بیسموت | آنتیموان | آرسنیک |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| تعداد نمونه | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ |
| پارامترهای میانگین | ۱۷۰/۳۹ | ۳۰/۳۱ | ۵۰/۱۷ | ۷۰/۱۹ | ۱۵/۷۳ | ۰/۹۹ | ۰/۴۹ | ۲۲/۰۵ | ۱۳۹ |
| نرمال او ۲ انحراف از معیار | ۳۶۲/۵۲ | ۲۳/۷۳ | ۱۱۶/۹۸ | ۱۱۵/۵۵ | ۷/۳ | ۲/۵۴ | ۰/۷۳ | ۷۴/۱۹ | ۳۵۹/۰۸ |
| بیشترین حد اختلاف | ۰/۳۴ | ۰/۲۵ | ۰/۳۶ | ۰/۲۹ | ۰/۱۲ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ |
| مطلق مثبت | ۰/۳۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۶ | ۰/۲۸ | ۰/۱۲ | ۰/۳۰ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۳۱ |
| منفی | -۰/۳۴ | -۰/۱۹ | -۰/۳۶ | -۰/۲۹ | -۰/۰۹ | -۰/۳۶ | -۰/۳ | -۰/۳۹ | -۰/۳۶ |
| آماره آزمون | ۰/۳۴ | ۰/۲۵ | ۰/۳۶ | ۰/۲۹ | ۰/۱۲ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ |

۱. توزیع آزمون نرمال است، ۲. محاسبه شده از داده‌ها

جدول ۳. پارامترهای محاسبه شده برای مقادیر لوگ عناصر مورد مطالعه

| عناصر سنگین | روی | مس | نیکل | سرب | کبالت | کادمیم | بیسموت | آنتیموان | آرسنیک |
|-----------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|----------|--------|
| تعداد | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ | ۱۵۴ |
| میانگین | ۲/۰۵ | ۱/۴۲ | ۱/۵۴ | ۱/۵۸ | ۱/۱۶ | -۰/۲۹ | -۰/۴۸ | ۰/۶۸ | ۱/۷۷ |
| میانه | ۰/۹۸ | ۱/۳۹ | ۱/۵۱ | ۱/۴۶ | ۱/۱۷ | -۰/۳۳ | -۰/۵۲ | ۰/۴۸ | ۱/۷۴ |
| مد (نما) | ۱/۳۶ | ۰/۸۸ | ۰/۹۴ | ۰/۷۳ | ۰/۵۳ | -۱/۱۲ | -۰/۵۲ | ۰/۱۸ | ۱/۱۸ |
| انحراف از معیار | ۰/۳۱ | ۰/۲۱ | ۰/۲۸ | ۰/۴۳ | ۰/۱۸ | ۰/۴۳ | ۰/۳۱ | ۰/۶۷ | ۰/۵۱ |
| واریانس | ۰/۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۸ | ۰/۱۸ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۱ | ۰/۴۵ | ۰/۲۶ |
| چولگی | ۱/۵۹ | ۰/۹۸ | ۱/۷ | ۰/۹۶ | -۰/۱۵ | ۰/۸۱ | ۱/۴۷ | ۰/۷۹ | ۰/۵۴ |
| کشیدگی | ۴/۷۷ | ۲/۸۳ | ۷/۵۵ | ۰/۶۱ | ۱/۸۹ | ۱/۴۱ | ۳/۱۵ | ۰/۲۳ | ۰/۵۶ |
| دامنه | ۲/۲۷ | ۱/۵ | ۲/۲۲ | ۲/۲۴ | ۱/۳۴ | ۲/۵۹ | ۰/۷۴ | ۳/۱۳ | ۲/۷۳ |
| حداقل | ۱/۳۶ | ۰/۸۸ | ۰/۹۴ | ۰/۷۳ | ۰/۵۳ | -۱/۱۲ | -۱ | -۰/۳۵ | ۰/۸۵ |
| حداکثر | ۳/۶۲ | ۲/۳۷ | ۳/۱۵ | ۲/۹۶ | ۱/۸۷ | ۱/۴۷ | ۰/۷۴ | ۲/۷۹ | ۳/۵۸ |

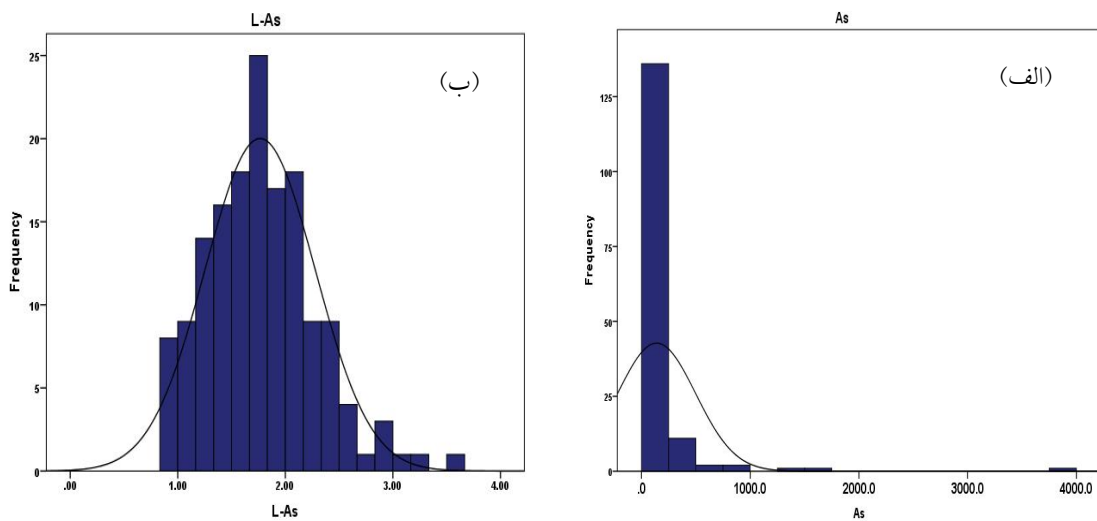
آرسنیک در دو حالت خام و نرمال شده نشان داده شده است (شکل ۵).

مطالعات آماری چند متغیره

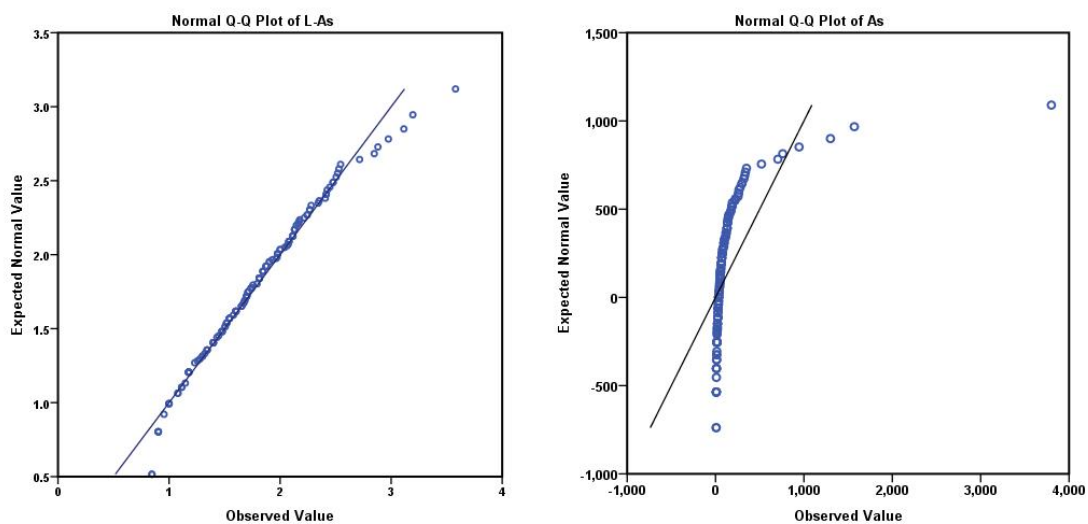
بررسی همبستگی عناصر مورد مطالعه

ضریب همبستگی از روش‌های آماری دو متغیره است که برای بررسی ارتباط بین دو متغیر به کار می‌رود. در بررسی‌های ژئوشیمیایی، بعضی از عناصر نسبت به یک سری شرایط

مس و روی چولگی نداشته و دارای توزیع نرمال و متقارن هستند ولی لوگ بیسموت تا حدودی چولگی داشته و کاملاً نرمال نشده است. هیستوگرام توزیع داده‌های خام آرسنیک و همچنین هیستوگرام توزیع داده‌های نرمال شده آرسنیک بعد از اعمال لگاریتم در شکل (۴) مشاهده می‌شود. همچنان که در تصویر مشخص است، در حالت لگاریتم، نمودار توزیع آرسنیک از حالت چولگی به حالت کاملاً متقارن درآمده است. همچنین در نمودار Q-Q، تفاوت‌های موجود در داده‌های



شکل ۴. الف) هیستوگرام توزیع داده‌های خام آرسنیک و ب) هیستوگرام توزیع داده‌های نرمال شده آرسنیک



شکل ۵. الف) نمودار Q-Q پلات داده‌های خام آرسنیک و ب) نمودار Q-Q پلات داده‌های نرمال شده آرسنیک

همبستگی بسیار قوی با کادمیم و آنتیموان و همبستگی قوی با سرب و روی نشان می‌دهد. همچنین، آنتیموان دارای همبستگی بسیار قوی با کادمیم و همبستگی قوی با سرب و روی است. کادمیم همبستگی بسیار قوی با روی و همبستگی قوی با سرب نشان می‌دهد. سرب و روی نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر هستند. کبالت و نیکل دارای همبستگی متوسط با یکدیگر بوده و مس و بیسموت نیز دارای همبستگی قوی با هم هستند. بر این اساس می‌توان عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم،

محیطی رفتار مشابهی دارند که می‌توان آنها را در علت‌های تقریباً واحد جستجو کرد. با شناخت ارتباط بین عناصر می‌توان به درک این شرایط، تفسیر محیط‌های ژئوشیمیایی، شناخت کانه‌زایی‌های احتمالی و در نهایت شناخت مناطق آنومال دست یافت (۴). به این منظور، همبستگی بین عناصر مورد مطالعه برای مقادیر لوگ عناصر محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. همچنان که در جدول (۴) مشخص است، عنصر آرسنیک

جدول ۴. جدول ماتریس همبستگی مربوط به لوگ عناصر

| روى | مس | نیکل | سرب | کبالت | کادمیم | بیس‌موت | آنتیموان | آرسنیک | آرسنیک |
|-----|------|------|------|-------|--------|---------|----------|--------|----------|
| | | | | | | | | ۱ | آرسنیک |
| | | | | | | | ۱ | ۰/۸۴ | آنتیموان |
| | | | | | | ۱ | ۰/۴۵ | ۰/۳۶ | بیس‌موت |
| | | | | | ۱ | ۰/۴۶ | ۰/۸۱ | ۰/۸۵ | کادمیم |
| | | | | ۱ | ۰/۲۸ | ۰/۱۵ | ۰/۰۱ | ۰/۱۹ | کبالت |
| | | | ۱ | ۰/۳۳ | ۰/۷۸ | ۰/۶۱ | ۰/۷۴ | ۰/۶۹ | سرب |
| | | ۱ | ۰/۴۴ | ۰/۵۴ | ۰/۵۰ | ۰/۱۴ | ۰/۲۶ | ۰/۴۲ | نیکل |
| | ۱ | ۰/۳۷ | ۰/۵۰ | ۰/۳۱ | ۰/۴۳ | ۰/۶۷ | ۰/۲۶ | ۰/۳ | مس |
| ۱ | ۰/۴۱ | ۰/۵۴ | ۰/۷۵ | ۰/۵۵ | ۰/۸۴ | ۰/۳۹ | ۰/۶۶ | ۰/۶۹ | روى |

جدول ۵. نتایج حاصل از اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر داده‌ها

| چرخش در مؤلفه‌های اصلی | | | مقادیر ویژه | | | مؤلفه |
|------------------------|----------------|------------|-------------|----------------|------------|-------|
| کل | واریانس (درصد) | درصد تجمعی | کل | واریانس (درصد) | درصد تجمعی | |
| ۳/۲۲ | ۳۵/۷۲ | ۳۵/۷۲ | ۵/۰۹ | ۵۶/۵۴ | ۵۶/۵۴ | ۱ |
| ۱/۲۴ | ۱۳/۷۴ | ۴۹/۴۶ | ۱/۳۷ | ۱۵/۲۷ | ۷۱/۸۱ | ۲ |
| ۱/۱۲ | ۱۲/۴۳ | ۶۱/۹۰ | ۱/۱۵ | ۱۲/۷۹ | ۸۴/۶۱ | ۳ |
| ۱/۰۸ | ۱۲/۰۲ | ۷۳/۹۱ | ۰/۵ | ۵/۵۴ | ۹۰/۱۴ | ۴ |
| ۱/۰۸ | ۱۲ | ۸۵/۹۲ | ۰/۲۹ | ۳/۲۷ | ۹۳/۴۲ | ۵ |
| ۰/۵۵ | ۶/۰۹ | ۹۲/۰۱ | ۰/۲۳ | ۲/۵۷ | ۹۵/۹۹ | ۶ |
| ۰/۴۸ | ۵/۲۹ | ۹۷/۳۰ | ۰/۱۸ | ۱/۹۹ | ۹۷/۹۸ | ۷ |
| ۰/۱۳ | ۱/۴۱ | ۹۸/۷۲ | ۰/۱۱ | ۱/۲۳ | ۹۹/۲۱ | ۸ |
| ۰/۱۲ | ۱/۲۸ | ۱۰۰ | ۰/۰۷ | ۰/۷۹ | ۱۰۰ | ۹ |

چرخش در مؤلفه‌های اصلی، پنج مؤلفه با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک و با درصد تجمعی بیش از ۸۵ درصد مشخص شد. در مؤلفه اول عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، سرب و روی، در مؤلفه دوم کبالت، در مؤلفه سوم بیسموت، در مؤلفه چهارم مس و در مؤلفه پنجم نیکل، بیشترین مقادیر بارگذاری را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۶).

تحلیل خوشه‌ای

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای می‌تواند گام مؤثری

سرب و روی را در یک گروه، مس و بیسموت را در یک گروه و کبالت و نیکل را در گروه سوم دسته‌بندی کرد که دارای ارتباط زایشی مشابهی هستند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی موجب شد تا تعداد نه مؤلفه اصلی مشخص شود که سه مؤلفه اصلی دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک هستند و ۸۴ درصد از تغییرپذیری جامعه آماری را نشان می‌دهند (جدول ۵). در مرحله بعد، با اعمال

جدول ۶. مؤلفه‌ها و بار عاملی عناصر در حالت چرخش

| ماتریس مؤلفه‌های در حالت چرخش | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|----------|
| ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | |
| -۰/۲۰ | -۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | ۰/۱۸ | ۰/۱۰ | ۰/۰۹ | ۰/۱۰ | ۰/۹۵ | آرسنیک |
| ۰/۲۷ | -۰/۰۵ | ۰/۱۰ | ۰/۱۸ | ۰/۰۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۱ | -۰/۰۸ | ۰/۹۱ | آنتیموان |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۱۳ | ۰/۰۰ | ۰/۳۵ | ۰/۸۹ | ۰/۰۵ | ۰/۲۵ | بیس‌موت |
| -۰/۰۲ | ۰/۳۴ | ۰/۲۷ | ۰/۱۵ | ۰/۲۴ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۲ | ۰/۸۱ | کادمیم |
| -۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۷ | ۰/۲۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۵ | ۰/۹۵ | ۰/۰۴ | کبالت |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۱۵ | ۰/۶۵ | ۰/۱۸ | ۰/۲۰ | ۰/۳۳ | ۰/۱۸ | ۰/۵۹ | سرب |
| ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۹۱ | ۰/۱۵ | ۰/۰۱ | ۰/۲۹ | ۰/۲۳ | نیکل |
| ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۹ | ۰/۱۶ | ۰/۹۰ | ۰/۳۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | مس |
| ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۵۹ | ۰/۱۹ | ۰/۲۱ | ۰/۱۶ | ۰/۱۲ | ۰/۴۰ | ۰/۶۱ | روی |

می‌شود. فاکتور غنی‌شدگی طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{M_x / Fe_x}{M_b / Fe_b} \quad [1]$$

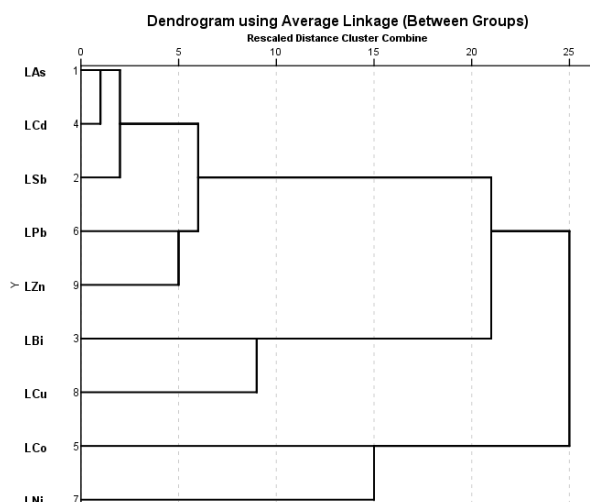
در این رابطه، M_x و M_b به ترتیب میزان فلز در نمونه مورد مطالعه و در نمونه استاندارد است (۱۷). عنصر مرجع می‌تواند Si، Fe و Al باشد که در بسیاری از مطالعات از عنصر آهن استفاده می‌شود (۲۱). در این مطالعه نیز از عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است. بر اساس شاخص غنی‌شدگی، پنج دسته آلودگی مشخص شده است که در جدول (۷) نمایش داده شده است (۲۷).

محاسبه فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مختلف در منطقه مورد مطالعه با توجه به جدول (۷) بیانگر این است که عنصر کبالت تهی تا کمی غنی شده، عناصر نیکل و مس نسبتاً غنی شده، روی غنی‌شدگی قابل توجه و آرسنیک، آنتیموان، سرب، کادمیم و بیسموت بیشترین غنی‌شدگی را در منطقه نشان می‌دهند. در شکل (۷)، نقشه‌های پهنه‌بندی براساس فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر آرسنیک، آنتیموان، سرب، کادمیم، بیسموت و روی آورده شده است. لازم به توضیح است که نقشه‌های ترسیمی براساس تخمین پیکلسی انجام شده بر روی فاکتور غنی‌شدگی است. برای تهیه نقشه‌های فاکتور غنی‌شدگی از

برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست‌محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (۲۴). در صورت نبود دسترسی به امکانات لازم، می‌توان از علم آنالیز خوشه‌ای برای منشأیابی عناصر سنگین در رسوبات استفاده کرد (۱۷). درخت خوشه‌ای، گزینه‌های هم‌وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگ‌تر ایجاد شود و شباهت‌های بین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی می‌کند (۱۶ و ۲۲). نتایج تحلیل خوشه‌ای حاکی از این است که آرسنیک با کادمیم و آنتیموان در یک شاخه قرار گرفته و سرب و روی هم در یک شاخه هستند. آرسنیک، کادمیم، آنتیموان، سرب و روی یک گروه را تشکیل داده و همبستگی ضعیفی بین این گروه با بیسموت، کبالت، مس و نیکل مشاهده می‌شود (شکل ۶). با توجه به شکل (۶)، نیکل و کبالت در یک گروه مجزا و مس و بیسموت نیز در گروه دیگر قرار می‌گیرند. به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده از همبستگی عناصر و تحلیل خوشه‌ای نشان می‌دهد که عناصر مورد مطالعه از سه منشأ مجزا حاصل شده‌اند.

فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی جهت ارزیابی آلودگی خاک و رسوبات (افزایش یا کاهش عناصر نسبت به مقدار استاندارد آنها) استفاده



شکل ۶. نمودار تحلیل خوشه‌ای (دندروگرام) عناصر

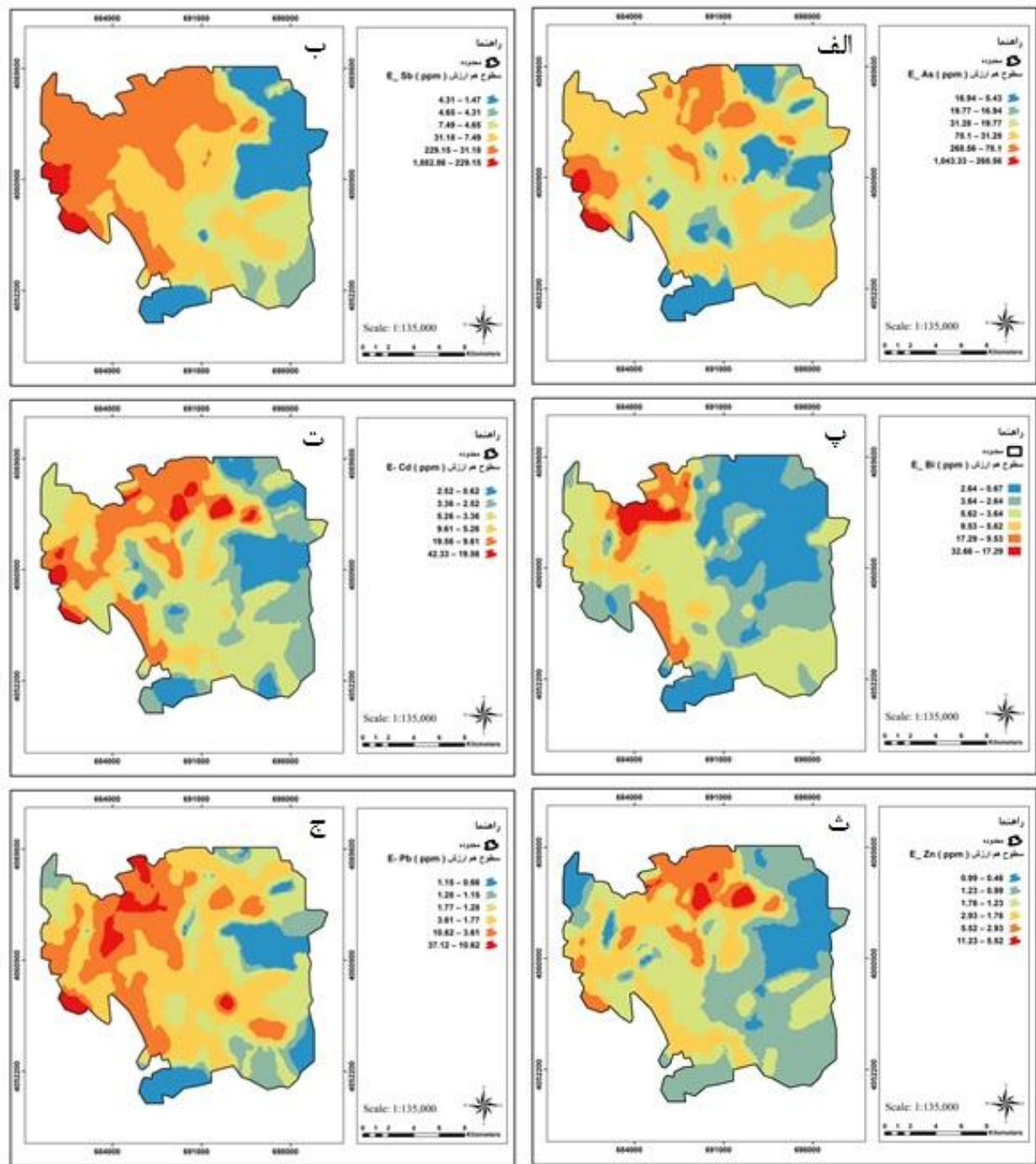
جدول ۷. دسته‌بندی مربوط به رده‌های آلودگی برای فاکتور غنی‌شدگی

| EF | سطح آلودگی |
|-------|--------------------|
| <۲ | تهی تا کمی غنی شده |
| ۲-۵ | نسبتاً غنی شده |
| ۵-۲۰ | غنی‌شدگی قابل توجه |
| ۲۰-۴۰ | شدیداً غنی شده |
| ۴۰< | بی‌نهایت غنی شده |

EF: فاکتور غنی‌شدگی

آنتیموان (شکل ۷-ب)، منطقه دارای غنی‌شدگی قابل توجه تا بی‌نهایت غنی شده است، به طوری که آبراهه‌های منشعب از معدن طلا- آنتیموان آغ‌دره، دارای بالاترین غنی‌شدگی بوده و بخش‌های شمال شرقی، شرقی و جنوبی محدوده، دارای پایین‌ترین غنی‌شدگی هستند. در نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی بیسموت (شکل ۷-پ)، بخش عمده منطقه نسبتاً غنی شده تا بدون غنی‌شدگی است. بخش‌های شمالی محدوده و منطبق بر پهنه دگرسانی موجود در شمال روستای آلوچه‌لو و توده میکرودیوریتی، دارای غنی‌شدگی شدید تا بی‌نهایت غنی شده است. این غنی‌شدگی در امتداد رودخانه زرشوران به بخش‌های جنوبی‌تر نیز کشیده شده است. براساس نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی برای کادمیم (شکل ۷-ت)، مشاهده می‌شود که بخش‌های شمال شرقی، شرق، جنوب شرقی، جنوبی و

روش میان‌یابی IDW استفاده شد. در این روش، برآورد مقادیر متغیر مورد نظر در یک نقطه مجهول، براساس وزن‌هایی است که به نقاط معلوم اطراف آن داده می‌شود و این وزن‌ها نیز تابع مقدار توان عکس فاصله است. در روش میان‌یابی IDW، برای دو پارامتر نقاط همسایگی و توان متغیر به ترتیب از مجموعه ۱۵ و ۱۰ نقطه و عدد دو برای توان استفاده شد. براساس جدول (۷) و نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک (شکل ۷-الف)، همه منطقه نسبت به عنصر آرسنیک دارای غنی‌شدگی قابل توجه تا بی‌نهایت غنی شده است. آبراهه‌های منشعب از معدن طلا- آرسنیک زرشوران و طلا- آنتیموان آغ‌دره دارای بالاترین غنی‌شدگی است. بخش‌های شمالی و شرقی محدوده منطبق بر واحدهای دگرگونه قدیمی و اولترامافیک، دارای پایین‌ترین غنی‌شدگی هستند. با توجه به نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی



شکل ۷. نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر: الف) آرسنیک، ب) آنتیموان، پ) بیسموت، ت) کادمیم، ث) روی و ج) سرب

غنی‌شدگی در امتداد رودخانه زرشوران به بخش‌های جنوبی‌تر نیز کشیده شده است. براساس نقشه توزیع فاکتور غنی‌شدگی روی (شکل ۷-ث)، مشاهده می‌شود که بخش عمده منطقه برای عنصر روی تهی شده تا نسبتاً غنی شده بوده و تنها در

مرکزی منطقه مورد مطالعه برای عنصر کادمیم نسبتاً غنی شده تا بدون غنی‌شدگی است. بخش‌های شمالی و غربی محدوده واقع در اطراف معادن طلا- آرسنیک زرشوران و طلا- آنتیموان آغ‌دره دارای غنی‌شدگی شدید تا بی‌نهایت غنی شده است. این

دوردست از معدن زرشوران در محیط اثبات شده است که با افزایش فاصله از معدن، میزان آلودگی عناصر به طور نمایی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تمرکز بالای عناصر آرسنیک، آنتیموان، جیوه و تیتانیوم در آب‌های این منطقه در مطالعات مدبری و مر (۱۳) تأیید شده است که آلودگی مزبور به کانه‌زایی آرسنیک-طلای زرشوران و محیط زمین‌شناسی این کانه‌زایی مرتبط دانسته شده است (۱۳). از طرف دیگر، رسوبات و آب رودخانه شاخه فرعی آغ‌دره از عناصر آرسنیک، آنتیموان و جیوه، به شدت آلوده گزارش شده است (۱۴). نتیجه مطالعات انجام شده توسط رحیم سوری و همکاران (۶)، منشأ این آلودگی‌ها را شیل‌های سیاه حاوی کانه‌زایی در معدن آنتیموان-طلای آغ‌دره بالا معرفی کرده است.

به‌طور کلی، تجزیه و تحلیل‌های به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای در پژوهش حاضر و بررسی ارتباط یا عدم ارتباط آنها با واحدهای زمین‌شناسی منطقه حاکی از این است که منشأ غلظت عناصر مورد مطالعه بیشتر طبیعی (زمین‌زاد) است و در ارتباط با کانی‌سازی‌ها، دگرسانی‌ها و واحدهای سنگی مستعد تمرکزهای بالای عناصر مزبور است، به این مفهوم که فرسایش سنگ‌های معدنی و فروشویی خاک، باعث افزایش غلظت فلزات سنگین و ورود آنها به آب‌ها شده و منجر به گسترش تمرکز عناصر یاد شده به بخش‌های جنوبی منطقه و دور از مراکز کانی‌سازی گشته است، لیکن به نظر می‌رسد، وجود فعالیت‌های معدنی در معادن طلا-آرسنیک زرشوران و طلا-آنتیموان آغ‌دره نیز در افزایش تمرکز عناصر آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی و کادمیم در رسوبات آبراهه‌ای این منطقه بی‌تأثیر نبوده است.

بخش شمالی منطقه و منطبق بر کانه‌زایی طلا-آرسنیک زرشوران و سنگ‌های اولترامافیک هسته طاق‌دیس زرشوران، غنی‌شدگی نسبتاً قابل توجه این عنصر را شاهد هستیم. در نقشه ترسیمی برای توزیع فاکتور غنی‌شدگی فلز سرب (شکل ۷-ج) مشاهده می‌شود که بخش عمده منطقه برای این عنصر تهی شده تا نسبتاً غنی شده است. آبراهه غربی معدن طلا-آرسنیک زرشوران، دگرسانی‌های واقع در شمال محدوده و مناطق اطراف معدن طلا-آنتیموان آغ‌دره، بیشترین غنی‌شدگی را داشته و در محدوده غنی‌شدگی قابل توجه تا شدیداً غنی شده قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

با مقایسه مقدار میانگین کل عناصر در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه زرشوران-آغ‌دره با میانگین جهانی این عناصر، مشخص شد که غلظت روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیم و بیسموت بیشتر از میانگین جهانی است. با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای مشاهده شد که عناصر آرسنیک، آنتیموان و کادمیم همبستگی بالایی داشته و به همراه سرب و روی بیشترین تغییرپذیری را در فاکتور یک ایجاد می‌کنند. با توجه به نقشه‌های توزیع فاکتور غنی‌شدگی، مشخص شد که قسمت‌های شمالی، شمال غرب و غرب منطقه بیشترین غنی‌شدگی را برای عناصر مورد مطالعه و به‌ویژه آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، بیسموت، سرب و روی داشته و در قسمت‌های جنوبی تمرکز غیر عادی عناصر مورد نظر وجود ندارد. نتیجه مطالعات رضایی (۸) حاکی از اینست که پراکندگی عناصر آلاینده (آرسنیک، آنتیموان و روی) تا نقاط نسبتاً

منابع مورد استفاده

- اسماعیلی، ک و ف. مر. ۱۳۹۰. بررسی غنی‌شدگی فلزات سنگین ناشی از کانسار مس سونگون در رسوبات آبراهه‌ای. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن ۱۷: ۳۹-۳۳.
- باباخانی، ع. ر. و ج. قلمقاش. ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۳. بنی‌اردلان، س. ۱۳۹۱. بررسی غلظت و توزیع فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن زرشوران در شهرستان تکاب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان.
۴. بهمنش، م. ۱۳۹۲. اکتشافات عمومی در منطقه عربشاه (مرحله دوم). سازمان صنعت و معدن و تجارت، استان آذربایجان غربی.
۵. دبیری، م. ۱۳۷۵. آلودگی محیط زیست. چاپ اول، نشر اتحاد. ایران.
۶. رحیم‌سوری، ی. ع. ا. یعقوب‌پور، س. مدبری و ص. علیپور. ۱۳۹۱. آزاد شدن عناصر بالقوه سمناک در طول هوازگی از شیل‌های سیاه محدوده معدن متروکه آنتیموان آغ‌دره بالا، تکاب، شمال باختر ایران، علوم‌زمین ۸۴: ۱۳۹-۱۴۸.
۷. رفیعی، ع. و ف. علی‌نیا. ۱۳۸۱. جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از طریق روش‌های فراکتالی و چندمتغیره. سومین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ۴۱-۲۹.
۸. رضایی، خ. ۱۳۸۰. بررسی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه زرشوران در رابطه با مسائل زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنکاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
۹. شایسته فر، م. و ع. رضایی. ۱۳۸۹. ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات معدن مس سرچشمه با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل آماری. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن ۱۱: ۳۴-۲۵.
۱۰. شرفی، ک. س. ا. مظاهری، ع. ر. عابدی و ق. م. زهانی. ۱۳۹۲. بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های محدوده معدن نیزه‌آب (درج). انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.
۱۱. شهبازی، ع. ع. سفیانیان، ن. میر غفاری و م. عین‌قلایی. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین‌انباتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). محیط زیست و توسعه ۵: ۳۸-۳۱.
۱۲. شهدادی، س. و م. مسلم‌پور. ۱۳۹۰. مطالعه آلودگی رسوبات جنوب شرق تهران به عناصر سمی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تعیین شاخص آلودگی. محیط‌شناسی ۶۰: ۱۴۸-۱۳۷.
۱۳. مدبری، س. و ف. مر. ۱۳۸۳. زمین‌شیمی زیست‌محیطی و نقش کانسار زرشوران در آلودگی منابع آب منطقه تکاب. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
۱۴. یعقوب‌پور، ع. و ی. رحیم‌سوری. ۱۳۸۸. ژئوشیمی زیست‌محیطی محدوده معدنی آغ‌دره- تکاب، یافتن منشأ عناصر آلاینده آرسنیک، آنتیموان و جیوه و بررسی تأثیر فعالیت معدنکاری و صنایع معدنی در ایجاد آلودگی آب، رسوبات و خاک منطقه. گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان حفاظت محیط زیست.
15. Abraham, G. M. S. and R. J. Parker, 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1-3): 227-238.
16. Anazawa, K., Y. Kaida, Y. Shinomura, T. Tomiyasu and H. Sakamoto. 2004. Heavy-metal distribution in river waters and sediments around a " firefly village", Shikoku, Japan: Application of multivariate analysis. *Analytical Sciences* 20(1): 79-84.
17. Devis, J. C. 1986. Statistics and data analysis in Geology. Wiley International, New York.
18. Hollert, H. 2003. A new sediment contact assay to assess particulate-bound pollutants using Zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Journal of Soils and Sediments* 3(3): 197-207.
19. Loska, K. and D. Wiechula. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere* 51: 723-733
20. MacFarlane, G. R. and M. D. Burchett. 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.). *Aquatic Botany* 68(1): 45-59.

21. Mucha, A. P., M. T. S. D. Vasconcelos and A. A. Bordalo. 2003. Macrobenthic community in the Doura estuary: relations with trace metals and natural sediment characteristics. *Environmental Pollution* 121: 169-180.
22. Nguyen, H. L., M. Leermakers, M. Elskens, F. De Ridder, T. H. Doan and W. Baeyens. 2005. Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between different compartments of Lake Balaton. *Science of the Total Environment* 341(1-3): 211-226.
23. Rafiee, A. 2005. Separating geochemical anomalies in stream sediment media by applying combination of fractal concentration-area model and multivariate analysis. *In: Proceeding of the 20th World Mining Congress, Iran*. PP: 461-470.
24. Shajan, K. P. 2001. Geochemistry of Bottom sediments from a River- Estuary- Shelf Mixing Zone on the tropical Southwest Coast of India. *Bulletin of Geological Survey of Japan* 52(8): 371- 382.
25. Wedepohl, K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(7): 1217-1232.
26. Yalcin, M. G., R. Battaloglu and S. Ilhan. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology* 53: 399-415.
27. Yongming, H. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China, *Science of the Total Environment* 355(1): 176-186.

Investigation of Environmental Pollution in Stream Sediments for Heavy Metals at Zarshuran- Aghdarreh Area (North of Takab, Iran)

S. P. Mousavi¹, M. A. Asghar Mokhtari², Y. Khosravi^{1*}, A. Rafiee³ and R. Hosseinzadeh⁴

(Received: September 5-2016 ; Accepted: July 15-2017)

Abstract

In this study, the distribution of heavy metals pollution including arsenic, antimony, nickel, copper, cadmium, cobalt, bismuth, lead and zinc in the stream sediments of Zarshuran- Aghdarreh area was investigated by using statistical techniques and the geometric integration of each sample basin. For this purpose, the degree of pollution in 154 stream sediment samples was analyzed and the distribution maps for enrichment factors were prepared by using a combination technique, pixel estimation, and statistical and geostatistical methods. The results of calculating the enrichment factors indicated that the higher enrichment was related to arsenic, antimony, bismuth, cadmium and lead. Furthermore, the concentration of zinc, copper, lead, arsenic, antimony, cadmium and bismuth in the stream sediment samples was higher than the global average. Application of the principal component analysis on the data led to the recognition of 9 main components for the dataset; the first 5 were components with eigen values greater than 1 and a cumulative percentage more than 85%. Arsenic, antimony, cadmium, lead and zinc in the first component, cobalt in the second component, bismuth in the third component, copper in the fourth component and nickel in the fifth component had the highest values.

Keywords: Heavy metals, Environmental pollution, Enrichment factor, Principal component analysis, Zarshuran, Aghdarreh, Takab

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3. Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

4. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: khosravi@znu.ac.ir