



ارزیابی آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای

محمدصادق موحد^۱، مهیار یوسفی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲- دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر، ملایر

(دریافت ۱۳۹۷/۱۱/۲۰، پذیرش ۱۳۹۸/۰۲/۲۴)

چکیده

فعالیت‌های اکتشاف و استخراج مواد معدنی ممکن است باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط‌های اطراف شود. در این مناطق، رودخانه‌ها و آب‌های سطحی دارای پتانسیل بالایی برای گسترش این نوع آلودگی‌اند. از آنجا که آلودگی فلزات سنگین دارای اثرات جبران‌ناپذیری برای محیط زیست و جانداران به ویژه خود انسان است، باید منابع اصلی آلودگی شناسایی و گسترش آن را کنترل کرد، بنابراین بررسی رسوبات آبراهه‌ها، به عنوان مهم‌ترین عامل در انتقال و پراکندگی آلاینده‌های فلزی، اهمیت زیادی دارد. بدین منظور در مطالعه حاضر برای ارزیابی کیفیت رسوبات و بررسی آلودگی ناشی از پراکنش فلزات سنگین، از نتایج آنالیز عناصر As و Pb ، Cd ، Zn ، Cu ، Ni ، Co ، Cr در ۹۱۱ ایستگاه واقع در منطقه بافت، استان کرمان استفاده شده است. وضعیت آلودگی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای با استفاده از شاخص‌های انباشت ژئوشیمیایی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، خطر زیست‌محیطی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج مطالعه وجود آلودگی متوسط تا نسبتاً شدید را برای فلزات سرب، روی، نیکل، کروم، کادمیوم و آرسنیک در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری اثبات کرده است. بررسی مناطق بالادست نقاط آلوده نشان داد که منابع آلودگی عمدتاً مرتبط با فعالیت‌های معدنی و انسانی بوده اما در برخی از موارد آلودگی به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه انجام گرفته است. در نتیجه با توجه به اثرات مخرب ناشی از نزدیکی منابع آلودگی فلزات سنگین به زیستگاه‌های جانداران و اثرگذاری آن منابع بر حوضه آبریز و آبخیز شهرستان‌های بافت، ارزوییه و رابر، توصیه می‌شود تا نظارت مستمر از سطح آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی برای اصلاح و تصفیه آلودگی انجام گیرد.

کلمات کلیدی

محیط زیست معدنی، فلزات سنگین، رسوبات آبراهه‌ای، فعالیت‌های معدنی، منطقه بافت کرمان.

۱- مقدمه

As و Pb, Cd, Zn, Cu, Ni برای ارزیابی میزان آلودگی رسوبات بر اساس روش‌های شاخص بار آلودگی^۱، شاخص خطر زیست‌محیطی^۲، شاخص انباشت ژئوشیمیایی^۳، ضریب آلودگی^۴ و درجه آلودگی اصلاح شده^۵ استفاده شده و در نهایت مناطق آلوده شناسایی و معادن گسترش‌دهنده این آلودگی‌ها نیز مشخص شده‌اند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان کرمان، شهرستان بافت واقع شده است. این منطقه بین ادامه رشته کوه‌های زاگرس و امتداد ارتفاعات فلات مرکزی ایران قرار دارد. منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً شدید و آبراهه‌های فراوان است. در این مطالعه داده‌های نمونه‌برداری از ۹۱۱ ایستگاه رسوب آبراهه‌ها که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه شده، استفاده شده است. بررسی آلودگی‌های ناشی از معادن و اندیس‌های شناخته شده منطقه یکی از اهداف است.

۲-۲- شاخص‌های آلودگی محیط زیست

روش‌های متفاوتی برای تخمین درجه غنی‌شدگی و تمرکز عناصر سنگین در محیط‌های ژئوشیمیایی ارائه شده است که هر یک از روش‌ها مطابق جدول ۱ مقیاس و طبقه‌بندی متفاوتی برای تبدیل مقادیر کمی غلظت‌ها به حالت توصیفی ارائه کرده‌اند.

جدول ۱: طبقه‌بندی میزان آلودگی در شاخص‌های CF ، mC_d و I_{geo}

شاخص	درجه آلودگی	مقدار شاخص
CF	آلودگی بسیار شدید	≤ 6
	آلودگی شدید	۳ تا ۶
	آلودگی متوسط	۱ تا ۳
	بدون آلودگی	≤ 1
mC_d	درجه خیلی شدید آلودگی	> 32
	درجه شدید آلودگی	۱۶ تا ۳۲
	درجه خیلی بالای آلودگی	۸ تا ۱۶
	درجه بالای آلودگی	۴ تا ۸
	درجه متوسط آلودگی	۲ تا ۴
	درجه پایین آلودگی	۱٫۵ تا ۲
I_{geo}	درجه خیلی پایین آلودگی	≤ 1.5
	آلودگی بسیار شدید	> 5

بی‌توجهی به نقش تخریبی فعالیت‌های معدنی بر محیط زیست، موجب گسترش آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های اطراف شده است و چرخه محیط زیست در این نواحی تحت تاثیر این آلودگی‌ها قرار می‌گیرد. در دهه‌های اخیر توجه به مسایل محیط زیستی افزایش یافته و این مسایل در طراحی و اجرای عملیات اکتشاف و استخراج مواد معدنی گنجانده شده است [۱]. فلزات سنگین به دلیل سمی بودن و پایداری آن‌ها در طبیعت، از آلاینده‌های مهم و خطرناک محیط زیست به شمار می‌آیند که در این خصوص معادن فلزی و فعالیت‌های معدنکاری یکی از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های بومی و محلی‌اند. همچنین پساب خروجی کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی که در رودها و رودخانه‌ها جریان می‌یابد می‌تواند فلزهای سنگین بالقوه سمی را حمل کند [۲]. بر اساس فرآیندهای هیدرودینامیکی و زیست ژئوشیمیایی و شرایط زیست‌محیطی رودخانه‌ها (پتانسیل ردکس، pH، شوری و دما)، رسوبات رودخانه‌ای به عنوان مصرف‌گاه مهم فلزات سنگین در سامانه‌های آبی شناخته شده‌اند. این فلزات همچنین می‌توانند با تغییر در شیمی رسوبات، فلزات و آلاینده‌ها را به آب روی رسوب خود انتقال داده و با تحرک دوباره آلاینده‌ها در محیط، به عنوان منبع آلودگی عمل کنند [۳]. از طرف دیگر فلزات سنگین باقی مانده در رسوبات آلوده در موجودات آبرزی و گیاهان، تجمع یافته و در نتیجه به زنجیره غذایی راه پیدا می‌کند و در نهایت ممکن است حیات موجودات زنده و محیط‌های زیست جانوری و گیاهی را به خطر اندازد [۴]. در این خصوص از شاخص‌های تعیین آلودگی برای ارزیابی تاثیر فعالیت‌های انسانی روی کیفیت رسوبات استفاده شده است [۵-۹، ۱۱]. در این بین شاخص‌هایی که اثر زمینه ژئوشیمیایی را در ارزیابی در نظر می‌گیرند، دارای دقت بالاتری در سنجش میزان آلودگی‌اند زیرا زمینه ژئوشیمیایی عناصر موجب تداخل در تجزیه و تحلیل شاخص‌های آلودگی می‌شود و بنابراین روش‌هایی که اثر زمینه را در محاسبات در نظر می‌گیرند، می‌توانند با از بین بردن خطاها در شناسایی منابع بالقوه آلودگی در مناطق دارای رسوب کمک کنند [۱۰]. هدف از مطالعه حاضر، استفاده از شاخص‌های آلودگی رسوب برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در منطقه بافت، استان کرمان است. به این منظور از داده‌های رسوبات آبراهه‌ای در منطقه فوق و بررسی توزیع فضایی عناصر جزئی Cr، Co،

است که در آن نمونه آلودگی وجود ندارد [۱۴-۱۸،۱].

۲-۲-۳- شاخص انباشت ژئوشیمیایی

شاخص انباشت ژئوشیمیایی توسط مولر در ۱۹۶۹ بیان شد و آن را اندیس مولر نیز می‌نامند، مطابق رابطه ۴ برای ارزیابی آلودگی تک عنصری در ایستگاه‌های نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_x}{1.5B_x} \right) \quad (4)$$

که در آن:

I_{geo} : مقدار شاخص انباشت ژئوشیمیایی

C_x : مقدار غلظت عنصر در نمونه رسوب

B_x : ارزش زمینه ژئوشیمیایی است.

ضریب ۱.۵ برای کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی رسوبات نسبت داده می‌شود، منظور شده است [۱۹-۲۲،۹،۷،۶،۱].

۲-۲-۴- شاخص خطر زیست‌محیطی

شاخص خطر زیست‌محیطی برای ارزیابی آلودگی چند عنصری در نمونه با توجه به ضریب سمیت، غلظت و مقدار زمینه عنصر مورد بررسی در آن نمونه است و بر اساس رابطه ۵ محاسبه شده است.

$$RI = \sum_{i=1}^n \left(T_i \frac{C_i}{B_i} \right) \quad (5)$$

که در آن:

RI : مقدار شاخص خطر محیط‌زیستی

n : تعداد عناصر مورد بررسی

C_i : مقدار غلظت عنصر i

B_i : مقدار زمینه آن عنصر

T_i : ضریبی برای سمیت هر عنصر (Cu=Ni=Pb=5, Cr=2, As=1, Cd=30)

است [۱۸،۸،۵،۱].

۳- بحث و نتایج

۱-۳- پارامترهای آماری

بررسی تغییرات غلظت عناصر کروم، نیکل، مس، روی، کادمیوم، سرب و آرسنیک موجود در رسوبات آبراهه‌ای در منطقه بافت مطابق جدول ۲ نشان از درجه بالایی از چولگی به

۲-۲-۱- ضریب آلودگی و شاخص درجه آلودگی اصلاح شده

شاخص ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده برای بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به عناصر مورد بررسی به کار برده شده است [۱۲،۱۱]. برای بررسی آلودگی یک عنصر در یک نمونه مشخص از منطقه مورد مطالعه، طبق رابطه ۱ از روش ضریب آلودگی که توسط هاکنسون ارائه شده [۱۳]، استفاده شده است.

$$CF = \frac{C_{Element}}{C_{Background}} \quad (1)$$

که در آن:

CF : ضریب آلودگی

$C_{Element}$: غلظت فلز مورد بررسی در نمونه

$C_{Background}$: غلظت زمینه (به عنوان مرجع) است.

هاکنسون در سال ۱۹۸۰ شاخص درجه آلودگی را ارائه کرد که پس از مدتی اصلاح و طبق رابطه ۲ بیان شده است [۱۲،۱۱].

$$mC_d = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{n} \quad (2)$$

که در آن:

mC_d : درجه آلودگی اصلاح شده

n : تعداد عناصر مورد مطالعه و فاکتور آلودگی عنصر i است.

بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده می‌توان میزان آلودگی ناحیه را نسبت به چند عنصر ارزیابی کرد.

۲-۲-۲- شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی آلودگی ناشی از عناصر مورد بررسی در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده است.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 CF_2 CF_3 \dots CF_n} \quad (3)$$

که در آن:

PLI : شاخص بار آلودگی

n : تعداد عناصر

CF : مطابق رابطه ۱ برای پایش و ارزیابی هر عنصر مورد

بررسی محاسبه می‌شود.

ارزیابی آلودگی آن بدین صورت است که $PLI > 1$

نشان‌دهنده وجود آلودگی در نمونه است و $PLI < 1$ بدین معنی

بر اساس شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی و انباشت ژئوشیمیایی در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان گستردگی و مرز هاله‌های آلودگی هر عنصر بر اساس شاخص ضریب آلودگی در شکل ۲ نشان داده شده است.

مقادیر غلظت آرسنیک در منطقه ۲۰ تا ۷۴۳ میلی‌گرم/کیلوگرم است. کمترین میزان ضریب آلودگی نمونه‌ها ۰/۰۵ و بیشترین آن ۳۰/۲۰ است. مقادیر غلظت کروم در منطقه در محدوده وسیع ۲۴ تا ۸۵۱۰ میلی‌گرم/کیلوگرم قرار دارد و دامنه ضریب آلودگی عناصر کروم در محدوده ۰/۱۰ تا ۲۵/۰۴ میلی‌گرم/کیلوگرم قرار دارد. غلظت نیکل در بازه ۹/۶۰ تا ۱۲۲۵ و ضریب آلودگی آن‌ها بین ۰/۱۱ تا ۱۴/۵۶ است. غلظت عنصر کادمیوم در بازه غلظت از ۰/۱۱ تا ۱۴/۵۶ و شاخص ضریب آلودگی آن در دامنه ۰/۲۱ تا ۲۱۱/۰۵ قرار دارد. غلظت عنصر مس در بازه ۳/۴ تا ۳۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شاخص ضریب آلودگی این عنصر در بازه ۰/۰۴ تا ۴/۰۴ است. غلظت عناصر سرب و روی به ترتیب در بازه‌های ۳/۴ تا ۱۰۰۰۰ و ۴۵ (mg/kg) تا ۵۶۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار دارد. شاخص ضریب آلودگی سرب در بازه ۰/۱۸ تا ۵۳۱/۹۰ و ضریب آلودگی روی در بازه ۰/۳۸ تا ۴۷ است.

برای بررسی مجموع آلودگی عناصر Cr، Co، Ni، Cu، Zn، Cd، Pb و As در هر ایستگاه نمونه‌برداری، شاخص خطر زیست‌محیطی به کار برده شد، ۱۰ ایستگاه بر اساس شاخص خطر زیست‌محیطی دارای آلودگی بودند، جدول ۴ وضعیت این ایستگاه‌ها بر اساس شاخص‌های تجمعی را نشان می‌دهد. شکل ۳ نمایانگر وضعیت آلودگی منطقه و موقعیت نمونه‌های آلوده بر اساس شاخص خطر زیست‌محیطی است.

راست، توزیع پراکنده و غیرنرمال برای تمامی عناصر دارد. در مطالعه حاضر زمینه ژئوشیمیایی به روش انحراف مطلق میانه محاسبه شد زیرا با توجه به توزیع پراکنده و غیرنرمال عناصر مورد بررسی، روش انحراف مطلق میانه روش قابل اعتمادی است [۲۳]. در شکل ۱ نقشه‌های توزیع ژئوشیمیایی عناصر مورد بررسی نشان داده شده است.

۳-۲- بررسی آلودگی

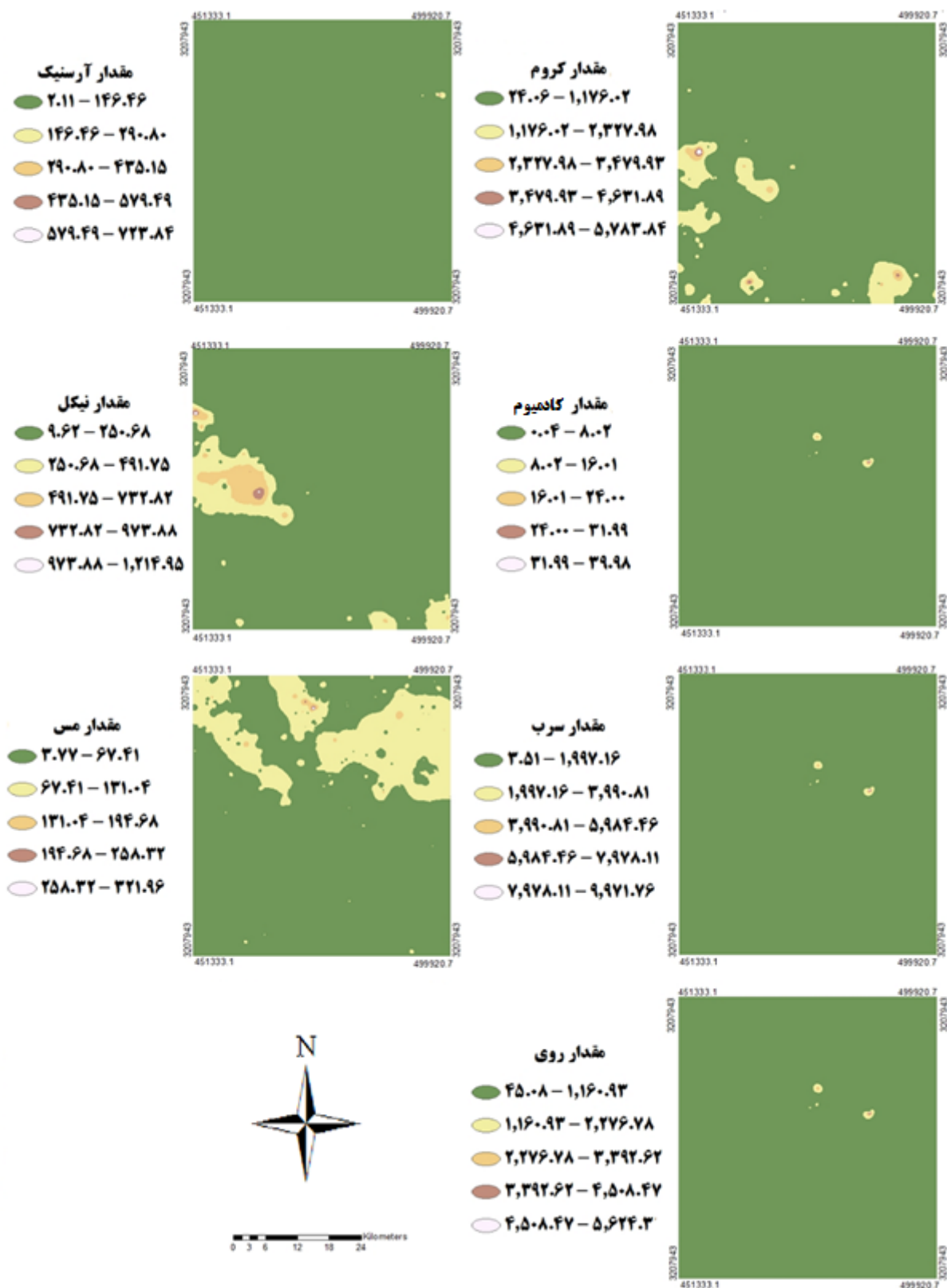
تغییرات غلظت عناصر بسیار به شرایط و ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مرتبط است، دگرسانی و حمل و نقل، فرآیندهایی است که هر یک نقش مهمی در تحرک و رسوب‌گذاری مواد در امتداد حوضه هیدروگرافی دارند. افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه می‌تواند حاصل از ته‌نشست فلزات مواد حمل یافته باشد [۲۴].

ضرایب همبستگی میان شاخص ضریب آلودگی عناصر سنگین با آزمون همبستگی پیرسون برای تفسیر آماری رابطه آلودگی عناصر سنگین با یکدیگر و منشایابی آن‌ها استفاده شد و نتایج به شرح زیر است همبستگی Pb-Zn برابر ۰/۹۸۸، همبستگی Cd-Pb برابر ۰/۹۹۵، همبستگی Cd-Zn برابر ۰/۹۸۶ و همبستگی Ni-Cr برابر ۰/۵۳۱ است که نشان از ارتباط مثبتی میان عناصر Pb-Zn-Cd و Ni-Cr وجود دارد که این امر می‌تواند نشان از آلودگی با منبع یکسان باشد.

با توجه به مشخص کردن زمینه برای هر عنصر با به کارگیری شاخص‌های آلودگی رسوب، سطح آلودگی هر عنصر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تعداد نمونه‌های آلوده هر عنصر

جدول ۲: بررسی آماری غلظت عناصر کروم، نیکل، مس، روی، کادمیوم، سرب و آرسنیک

پارامترهای آماری	روی	سرب	آرسنیک	مس	کروم	نیکل	کادمیوم
تعداد نمونه	۹۱۱	۹۱۱	۹۱۱	۹۱۱	۹۱۱	۹۱۱	۹۱۱
میانگین (mg/kg)	۱۱۲/۴۷۰	۴۵/۴۹۰	۱۹/۳۶۳	۵۷/۳۳۷	۳۳۰/۶۲۰	۸۳/۵۸۵	۰/۲۸۵
میانه (mg/kg)	۸۸/۰۰	۱۲/۶۰۰	۱۳/۰۰۰	۵۴/۹۰۰	۱۲۴/۰۰۰	۴۸/۱۰۰	۰/۱۳۰
واریانس (mg/kg)	۵۱۲۰۰	۱۵۸۹۰۰	۸۵۵/۰۴۱	۶۹۴/۱۵۳	۲۷۲۱۰۰	۱۵۴۴۰	۲/۴۹۳
ماکزیمم (mg/kg)	۵۴۶۰	۱۰۰۰۰	۷۴۳	۳۳۱	۸۵۱۰	۱۲۲۵	۴۰/۱۰۰
مینیمم (mg/kg)	۴۵	۳/۴۰۰	۱/۲۰۰	۳/۴۰۰	۲۴	۱۲۲۵	۰/۰۴۰۰
انحراف از معیار	۲۲۶/۲۶۵	۳۹۸/۶۶۹	۲۹/۲۴۱	۲۶/۳۴۷	۵۲۱/۵۸۵	۱۲۴/۲۶۹	۱/۱۵۹
غلظت زمینه (mg/kg)	۱۲۰	۱۸/۸	۲۴/۶	۸۱/۹	۲۳۲	۸۴/۱	۰/۱۹



شکل ۱: نقشه توزیع ژئوشیمیایی عناصر Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb و As در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: نتایج بررسی آلودگی عناصر Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd و Pb بر اساس شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی و انباشت ژئوشیمیایی

شاخص آلودگی / عنصر							شاخص ضریب آلودگی	تعداد نمونه‌ها با سطح آلودگی	
آرسنیک	کروم	نیکل	کادمیوم	مس	سرب	روی			
بسیار شدید	۲	۳۹	۲۴	۱۶	۰	۱۳			۵
شدید	۱۲	۸۹	۳۸	۳۶	۱	۲۳			۵
متوسط	۱۷۸	۱۵۳	۱۰۹	۱۶۲	۱۱۳	۱۸۰	۱۶۲		
پایین	۷۱۹	۶۳۰	۷۴۰	۷۰۷	۷۹۷	۶۹۵	۷۳۹		
شاخص آلودگی / عنصر							شاخص انباشت ژئوشیمیایی	تعداد نمونه‌ها با سطح آلودگی	
آرسنیک	کروم	نیکل	کادمیوم	مس	سرب	روی			
آلودگی بسیار شدید	۰	۰	۰	۳	۰	۷			۰
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۱	۱	۰	۲	۰	۳			۱
آلودگی شدید	۰	۵	۱	۳	۰	۱			۳
آلودگی متوسط تا شدید	۱	۰	۲۳	۸	۰	۲			۱
آلودگی متوسط	۱۲	۳۳	۳۸	۲۶	۱	۲۳			۵
آلوده تا آلودگی متوسط	۹۵	۸۹	۵۱	۸۷	۲۳	۶۳	۴۰		
کاملاً غیرآلوده	۸۰۲	۷۸۳	۷۹۹	۷۸۲	۸۸۷	۸۱۲	۸۶۱		

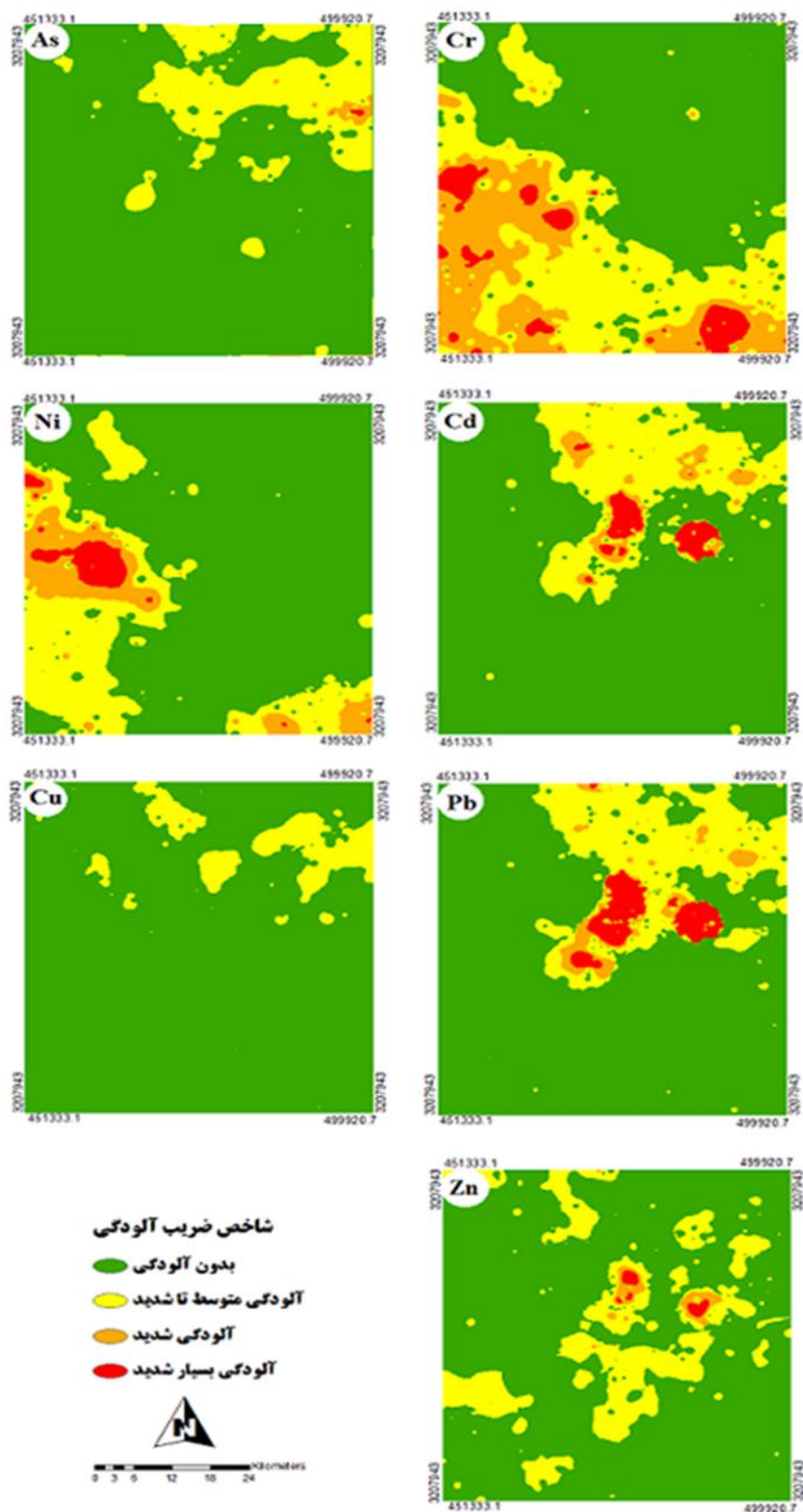
جدول ۴: بررسی ایستگاه‌های آلوده بر اساس شاخص‌های آلودگی خطر زیست‌محیطی، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی

نمونه	وضعیت آلودگی بر اساس شاخص خطر محیط‌زیستی				شاخص درجه آلودگی		شاخص بار آلودگی	
	RI	سطح آلودگی	mCd	سطح آلودگی	PLI	سطح آلودگی		
Ba468	۹۰۸۶/۲۵	آلودگی بسیار شدید	۱۱۳/۷۴	درجه خیلی شدید آلودگی	۸/۷۷	آلوده		
Ba469	۴۳۲۵/۴۵	آلودگی بسیار شدید	۵۴/۲۶	درجه خیلی شدید آلودگی	۵/۳۱	آلوده		
Ba472	۳۱۵۱/۴۹	آلودگی بسیار شدید	۴۰/۶۹	درجه خیلی شدید آلودگی	۴/۴۳	آلوده		
Ba475	۲۰۰۴/۴۶	آلودگی بسیار شدید	۲۶/۲۰	درجه شدید آلودگی	۳/۵۲	آلوده		
Ba470	۱۱۷۵/۸۵	آلودگی بسیار شدید	۱۵/۲۵	درجه خیلی بالای آلودگی	۲/۶۹	آلوده		
Ba108	۸۲۱/۹۷	آلودگی بسیار شدید	۱۱/۵۷	درجه خیلی بالای آلودگی	۲/۳۷	آلوده		
Ba495	۷۲۸/۵۵	آلودگی بسیار شدید	۱۰/۳	درجه خیلی بالای آلودگی	۲/۲۸	آلوده		
Ba808	۶۵۱/۹۷	آلودگی شدید	۹/۴۱	درجه خیلی بالای آلودگی	۲/۱۸	آلوده		
Ba473	۳۸۷/۹۳	آلودگی شدید	۵/۸۶	درجه بالای آلودگی	۱/۸۱	آلوده		
Ba40	۳۰۷/۸۱	آلودگی شدید	۲/۵۶	درجه متوسط آلودگی	۱/۵۱	آلوده		

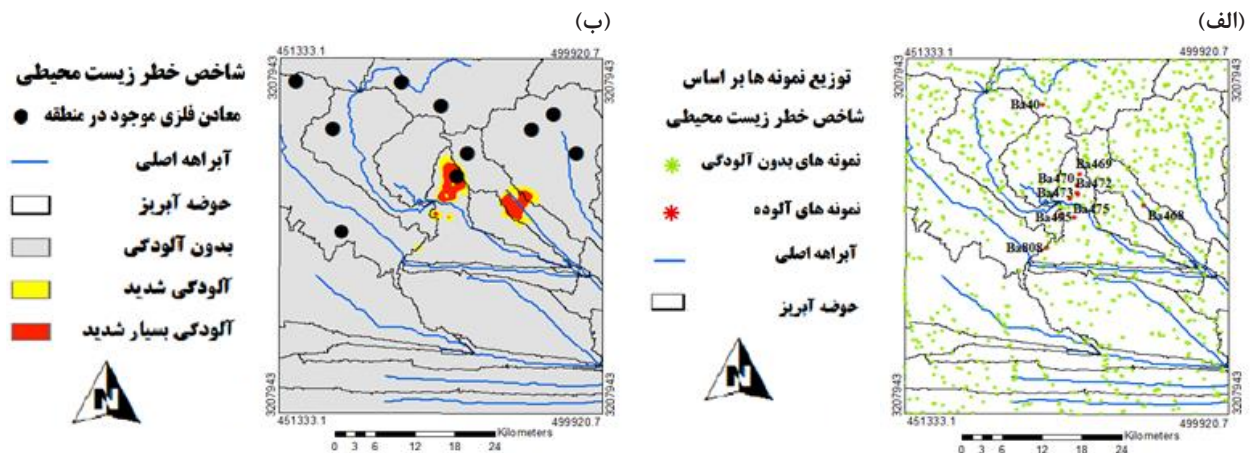
۳-۳- لزوم بررسی‌های تفصیلی

کرد. بنابراین در مناطق وسیع بهتر است ابتدا با مطالعه رسوبات آبراه‌های (به عنوان مثال مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که داده‌های آن تقریباً برای تمام کشور قبلاً برداشت شده)، محدوده‌های معدنی که موجب آلودگی شده‌اند را شناسایی کرد و سپس با تمرکز روی محدوده‌های آلوده که از نظر وسعت کوچکترند، از طریق بررسی آب‌ها و گیاهان نسبت به سنجش شدت و کیفیت آلودگی‌ها اقدام کرد. در منطقه مورد مطالعه در مقاله حاضر نیز روش‌های مورد استفاده توانسته‌اند، محدوده آلوده را به خوبی مشخص کنند. بنابراین در مرحله بعد مطالعات می‌توانند به طور تفصیلی بر روی این مناطق شناسایی شده متمرکز شوند.

در مناطق وسیعی که در آن‌ها معادن به صورت پراکنده وجود دارند، بررسی‌های تفصیلی شامل نمونه‌برداری از آب‌ها برای اندازه‌گیری PH و EH و همچنین بررسی گیاهان، بسیار هزینه‌بر خواهد بود زیرا در مناطق وسیع لازم است تعداد نمونه‌های زیادی برداشت شود تا بتوان کل منطقه را تحت پوشش مناسب قرار داد. علاوه بر این نمونه‌برداری از آب‌ها و گیاهان فرآیندی مشکل‌تر و حساس‌تر است زیرا در همه مناطق آب و گیاه وجود ندارد اما هر نمونه رسوب دارای سطح تاثیر وسیع‌تر است و رسوبات را می‌توان حتی در مناطق خشک (آبراه‌های فصلی) نیز جستجو



شکل ۲: میزان گستردگی و مرز هاله‌های آلودگی عناصر در منطقه برحسب شاخص ضریب آلودگی



شکل ۳: (الف) توزیع نمونه بر اساس شاخص خطر زیست محیطی، (ب) مرزبندی و تفکیک هاله‌های آلودگی بر اساس شاخص خطر زیست محیطی

۴- نتیجه‌گیری

محل از منطقه مورد مطالعه مشاهده کرد. با توجه به محل وجود این آلودگی‌ها، نتیجه می‌شود که عوامل انسانی در این آلودگی‌ها نقش بسزایی دارند که مهم‌ترین آن‌ها فعالیت‌های معدنی در منطقه است زیرا طبق مطالعات انجام شده تمرکز این آلودگی‌ها در اطراف معادن در ناحیه بافت است با توجه به شواهد آلودگی‌ها در جهت باد غالب (بادهای موسمی که وزش آن‌ها از جنوب غربی به طرف شمال شرقی و مشرق است) گسترش یافته است. با توجه به در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی، در مناطق اطراف معدن کروم شرایط بسیار مناسبی برای گسترش وسیع آلودگی‌های ناشی از فعالیت این معدن وجود دارد. در نتیجه با توجه به موارد یاد شده می‌توان منشأ آلودگی عناصر کروم و نیکل را انسانی و ناشی از فعالیت معدن کروم واقع در منطقه بافت دانست. با توجه به ضریب آلودگی بالای کروم و نیکل در این منطقه و نزدیکی آن به آب‌های جاری و زیستگاه‌های بومی لازم است در فرآیند استخراج و فرآوری این معدن کنترل بیشتری انجام گیرد.

در بررسی انجام شده از آلودگی عناصر Pb-Zn-Cd آلودگی بسیار شدید این عناصر در چند ایستگاه نمونه‌برداری به اثبات رسید، تمرکز این آلودگی‌ها در منطقه‌ای به نام شاه‌کوه وجود دارد که خود توده عظیم باتولیتی است که از جمله معادن آن معدن مس لاله‌زار، معدن سرب قنات مروان و معدن آهن تلخه‌چار است که با توجه به رخنمون‌ها و جبهه کارهای این معادن می‌توان نتیجه گرفت که این معادن نقش بسزایی در گسترش آلودگی ناشی از عناصر Pb-Zn-Cd در منطقه دارند. با توجه به آلودگی زیستی بسیار بالای شاه‌کوه و نظر به

ورود عناصر سنگین به خاک و پایدار شدن آن‌ها در محیط ممکن است در دوره‌های طولانی باعث تغییر کیفیت خاک شود. اگرچه برخی از فلزات سنگین جزو مواد مغذی برای گیاهان محسوب می‌شوند اما غلظت بیش از حد آن‌ها در خاک کشاورزی به دلیل تاثیر بر کیفیت محصولات و ورود بیش از حد عناصر سنگین به چرخه غذایی و آب‌های آشامیدنی و زیرزمینی نگران‌کننده است و ممکن است خطرات جبران‌ناپذیری برای جانوران به ویژه انسان ایجاد کند [۲۵]. در این راستا اثر نامطلوب فلزات سنگین به ویژه آرسنیک، جیوه، سرب و کادمیوم بر انسان به خوبی شناخته شده است، بنابراین وجود آن‌ها در درازمدت باعث اختلالات شدید در عملکرد طبیعی سیستم‌ها و ارگانیزم‌های محل تجمع عناصر می‌شود [۲۶]. در نتیجه مشخص کردن هاله آلودگی عناصر سمی، برای شناسایی و کنترل منابع آن‌ها حایز اهمیت است. با توجه به مطالعاتی که بر روی رسوبات آبراهه‌های منطقه بافت انجام شد، مشخص شد که آلودگی زیستی در سطوح پایین تا بسیار شدید وجود دارد که دارای منابع محلی‌اند. در به وجود آمدن این آلودگی‌ها هر دو عامل انسانی و طبیعی نقش موثری دارند. در تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی آلودگی‌های ناشی از کروم و نیکل مشخص شد که در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری غلظت عناصر کروم و نیکل بسیار بالاتر از مقدار زمینه ژئوشیمیایی و در حد آلودگی بسیار شدید است. همچنین با توجه به توزیع فضایی آلودگی ناشی از این عناصر و شاخص‌های آلودگی آن‌ها، می‌توان تمرکز آلودگی را در چند

جدول ۵: سمیت بالقوه عناصر سنگین در محیط خاکی [۲۵]

توضیحات	پتانسیل سمی بودن برای		عنصر
	حیوانات	گیاهان	
سرطان‌زا، سمی برای گیاهان < ۵۰ (mg/kg)	بلی	بلی	نیکل
Cr ⁶⁺ بسیار سمی و سرطان‌زا	بلی	بلی	کروم
سم انباشته شده	بلی	بلی	سرب
سمی > ۲۰۰ (mg/kg)	-	-	روی
بیماری Itai-tai، سرطان‌زا	بلی	بلی	کادمیوم

"Use of sequential leaching, mineralogy, morphology and multivariate statistical technique for quantifying metal pollution in highly polluted aquatic sediments—A case study: Brahmani and Nandira Rivers, India". Journal of Hazardous Materials, 163(2-3): 632-644.

- [5] Zhifeng, Y., Wang, Y., Shen, Z., Niu, J., and Tang, Z. (2009). "Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China". Journal of Hazardous Materials, 166(2-3): 1186-1194.
- [6] Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S., and Shikazono, N. (2010). "Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river". International Journal of Environmental Science & Technology, 7(1): 17-28.
- [7] Olubunmi, F. E., and Olorunsola, O. E. (2010). "Evaluation of the status of heavy metal pollution of sediment of Agbabu bitumen deposit area, Nigeria". European Journal of Scientific Research, 41(3): 373-382.
- [8] Kabir, Md Imran, LEE Hosik, KIM Geonha, and JUN Taesung. (2011). "Correlation assessment and monitoring of the potential pollutants in the surface sediments of Pyeongchang River, Korea". International Journal of Sediment Research, 26(2): 152-162.
- [9] Jiang, J., Wang, J., Liu, S., Lin, C., He, M., and Liu, X. (2013). "Background, baseline, normalization, and contamination of heavy metals in the Liao River Watershed sediments of China". Journal of Asian Earth Sciences, 73: 87-94.
- [10] Maftei, E. A., Iancu, O. G., and Buzgar, N. (2014). "Assessment of minor elements contamination in Bistrița River sediments (upstream of Izvorul Muntelui Lake, Romania) with the implication of mining activity". Journal of Geochemical Exploration, 145: 25-34.
- [11] 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". Environmental

اینکه این منطقه یک «زیستگاه حساس» محسوب می‌شود و می‌تواند حوضه آبریز و آبخیز شهرستان‌های بافت، ارزوییه و رابر را تحت تاثیر قرار دهد، لازم است هر چه سریع‌تر نسبت به کنترل فعالیت‌های معادن آن منطقه تجدیدنظر انجام گیرد. در نهایت با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط زمین‌شناسی بسیار مستعد آلودگی است و توپوگرافی شدید موجود در آن به گسترش هاله‌های آلودگی سرعت می‌بخشد و نیز با توجه به نزدیکی منابع آلودگی به زیستگاه‌های جانداران و تاثیر مخرب هاله‌های آلودگی بر جانوران و گیاهان (جدول ۵)، توصیه می‌شود تا نظارت مستمر از سطح آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی و ارزیابی اثرات آن بر محیط زیست و زندگی مردم محلی، برای اطلاع‌رسانی به سازمان‌های مربوط و همچنین آغاز فرآیند اصلاح و تصفیه آلودگی ناشی از فلزات سنگین برای سازگاری آن با محیط زیست و کاهش آلودگی آب و خاک مورد استفاده جانداران انجام گیرد.

۵- مراجع

- [1] Wijaya, A. R., Ricky, A., Ouchi, A. K., Tanaka, K., Cohen, M. D., Sirirattanachai, S., Shinjo, R., and Ohde, S. (2013). "Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas, Bangkok". Journal of Geochemical Exploration, 126: 45-54.
- [2] Gupta, A. K., Gupta, S. K., and Patil, R. S. (2005). "Statistical analyses of coastal water quality for a port and harbour region in India". Environmental Monitoring and Assessment, 102(1-3): 179-200.
- [3] Adams, W. J., Kimerle, R. A., and Barnett Jr, J. W. (1992). "Sediment quality and aquatic life assessment". Environmental Science & Technology, 26(10): 1864-1875.
- [4] Rath, P., Panda, U. C., Bhatta, D., and Sahu, K. C. (2009).

- pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)*". Environmental Pollution, 132(3): 413-426.
- [21] Moore, F., Forghani, G., and Qishlaqi, A. (2009). "Assessment of heavy metal contamination in water and surface sediments of the Maharlu Saline Lake, SW Iran". Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 33(1): 43-55.
- [22] Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H., and Yu, L. (2009). "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes". Environmental Pollution, 157(5): 1533-1543.
- [23] Reimann, C., Filzmoser, P., and Garrett, R. G. (2005). "Background and threshold: critical comparison of methods of determination". Science of the Total Environment, 346(1-3): 1-16.
- [24] Förstner, U., and Calmano, W. (1998). "Characterisation of dredged materials". Water Science and Technology, 38(11): 149-157.
- [25] Senesil, G. S., Baldassarre, G., Senesi, N., and Radina, B. (1999). "Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health". Chemosphere, 39(2): 343-377.
- [26] Nriagu, J. O. (1988). "A silent epidemic of environmental metal poisoning?". Environmental Pollution, 50(1-2): 139-161.
- Monitoring and Assessment, 136(1-3): 227-238.
- [12] Shakery, A., Moor, F., and Razikordmahalleh, L. (2010). "Distribution of soil heavy metal contamination around industrial complex zone, Shiraz, Iran". 19 th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, 51-54.
- [13] Hakanson, L. (1980). "An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach". Water Research, 14(8): 975-1001.
- [14] Weissmannová, H. D., and Pavlovský, J. (2017). "Indices of soil contamination by heavy metals—methodology of calculation for pollution assessment (minireview)". Environmental Monitoring and Assessment, 189(12): 616.
- [15] Chen, C. W., Chen, C. F., and Dong, C. D. (2012). "Copper contamination in the sediments of Salt River Mouth, Taiwan". Energy Procedia, 16: 901-906.
- [16] Ghani, S. A., Zokm, G. E., Shobier, A., Othman, T., and Shreadah, M. (2013). "Metal pollution in surface sediments of Abu-Qir bay and Eastern harbour of Alexandria, Egypt". The Egyptian Journal of Aquatic Research, 39(1): 1-12.
- [17] Kalender, L., and Uçar, S. Ç. (2013). "Assessment of metal contamination in sediments in the tributaries of the Euphrates River, using pollution indices and the determination of the pollution source, Turkey". Journal of Geochemical Exploration, 134: 73-84.
- [18] Lim, D. I., Choi, J. W., Shin H. H., Jeong, D. H., and Jung, H. S. (2013). "Toxicological impact assessment of heavy metal contamination on macrobenthic communities in southern coastal sediments of Korea". Marine Pollution Bulletin, 73(1): 362-368.
- [19] Muller, G. (1969). "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River". Geojournal, 2: 108-118.
- [20] Audry, S., Schäfer, J., Blanc, G., and Jouanneau, J. M. (2004). "Fifty-year sedimentary record of heavy metal

¹ Pollution load index

² Ecological risk index

³ Geo-accumulation index

⁴ Contamination factor

⁵ Modify contamination degree



DOI: 10.30479/jmre.2019.10097.1227

Assessment of Contaminations Caused by Mining Activities Using Stream Sediment Geochemical Studies

Movahhed M.¹, Yousefi M.^{2*}

1- M.SC Student, Faculty of Mining, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran
movahed1995@gmail.com

2- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran
m.yousefi.eng@gmail.com

(Received: 09 Feb. 2019, Accepted: 14 May 2019)

Abstract: Exploration and exploitation of mineral deposits could increase heavy metal contents in the environment around the deposits. In mining areas, water flow facilitates dispersion of the metal contamination. Thus, due to the toxic effect of heavy metals on environment and human, it is important to recognize sources of the contamination for the possible fixing of such problems. In this study to investigate the contaminations caused by heavy metals, element contents of Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in 911 stream sediment samples, which were taken from Baft area, Kerman province, were used. Pollution load index, Ecological risk index, Geo-accumulation index, Contamination Factor, and Modify Contamination Degree were applied to delineate contaminated areas. Outcome demonstrated that there are moderate to intense contamination of Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, and As in some parts of the area. Inspection of upstream of the contaminated samples illustrated that sources of the contamination are mainly mining and anthropogenic activities. Due to the proximity of the pollution sources to residential areas and its negative effect on the catchment watershed and basins, continuous monitoring of the pollution, caused by mineral activity, is recommended to modulate the negative influence of the contamination.

Keywords: Mining environment, Heavy metals, Stream sediments, Mineral activities, Baft area.

INTRODUCTION

Neglecting the destructive effects of mining activities on the environment results in the exhumation of heavy metals in the environment cycle in such areas [1]. The pollutants in addition to environmental degradation is a threat to the health of animals and humans [2]. In this regard, mining of minerals in rock formations that are rich in trace elements exposes them to the outer environment, where they get into contact with oxygen and water, accelerating their movement into rivers and streams. In areas where streams are available, these pollutants may appear several kilometers downstream [3]. Therefore, in assessing the contamination of the area and determining the extent of its pollution holes, the geochemical studies of the stream sediments play a key role.

In this study, in order to assess the quality of sediments caused by mining activities in Baft area,

Kerman province, and to evaluate the pollution of Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, and As metals, single and integrated sediment quality indices such as pollution load index, ecological risk index, geo-accumulation index, contamination factor, and modify contamination degree as well as Pearson correlation matrix were used. Finally, the contaminated areas were identified and the relationship between pollution and geological factors and anthropogenic activities was investigated.

METHODS

Study area

The study area, 1:100,000 scale Baft quadrangle map, is situated in the southern part of the Urumieh-Dokhtar Volcanic Belt of Iran, which is a magmatic arc. In this paper a dataset of 911 stream sediment samples was applied.

Pollution indices

Pollution load index (PLI) was calculated for all analyzed elements using the following equation:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 CF_2 CF_3 \dots CF_n} \quad (1)$$

where, n is the number of elements and $CF = C_{\text{element}} / C_{\text{background}}$. Contaminant factor (CF) is used for monitoring and evaluating pollution for a single element. Contamination assessment is made as follows: if $PLI > 1$ = polluted and PLI value < 1 = unpolluted [4].

The geo-accumulation index (I_{geo}) was calculated using the formula:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_x}{1.5 B_x} \right) \quad (2)$$

where C_x is the concentration of the element in sediment, B_x is the geochemical background value, and 1.5 is a correction factor due to changes that may occur in lithology [3].

Ecological risk index (RI) was calculated using the formula:

$$RI = \sum_{m=1}^n T_m \frac{C_m}{C_b} \quad (3)$$

where, n is the number of element contents (in this situation have been taken into account 7 elements: Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd and As) and T_m is the response coefficient for the toxicity of each element (Cd=30, As=10, Cr = 2, Zn = 1, and 5 for Pb, Cu and Ni) [4]. The results are interpreted as follows: $RI < 300$ low to moderate; between 300 and 600 high; and $RI > 600$ extremely high. C_m is the m minor element content in the sample and C_b represents the background value of the element m [1].

FINDINGS AND ARGUMENT

Statistical Parameters

Analysis of the statistical parameters of Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and As in the study area showed that the elements have often highly skewed and abnormal distributions. Since the elements in the sediment have different mineralogical and lithology properties, the Median Absolute Deviation (MAD) method was used to determine the background of each element [4].

Pollution assessment

The concentration of the elements are very relevant to the geological settings and characteristics of the region under study. Alteration and transportation are processes that play important role in the mobility and sedimentation of the materials along the hydrographic basin. Increasing the concentration of heavy metals in the river sediments could be due to the deposited metals of the materials being carried.

Correlation coefficients between the Contamination Factor index and Pearson correlation test were used to statistically interpret the relationship between heavy metal contamination and their origin. The results

showed that the correlation between Pb – Zn, Cd – Pb, Cd-Zn, and the Ni-Cr is, respectively, 0.98, 0.99, 0.98, and 0.53, indicating a positive relationship between Pb-Zn-Cd and Ni-Cr elements, perhaps because of the same pollution source. In this paper, contamination level of each element was analyzed by the contribution of the determined background values for each of the elements using the sediment pollution indices. To assess the total pollution of Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and As in each sample, the environmental risk index was used. Accordingly, ten samples were recognized contaminated based on the environmental risk index. Figure 1 shows the contaminated areas and the location of contaminated specimens based on the environmental risk indicator.

Recommend to detailed reviews

The methods proposed and applied in this paper accurately determined contaminated areas. Therefore, further investigation can be focused on these identified areas in detail, including higher sampling density of the waters to measure PH and EH, as well as taking the plant samples to identify and treat the main sources of pollution.

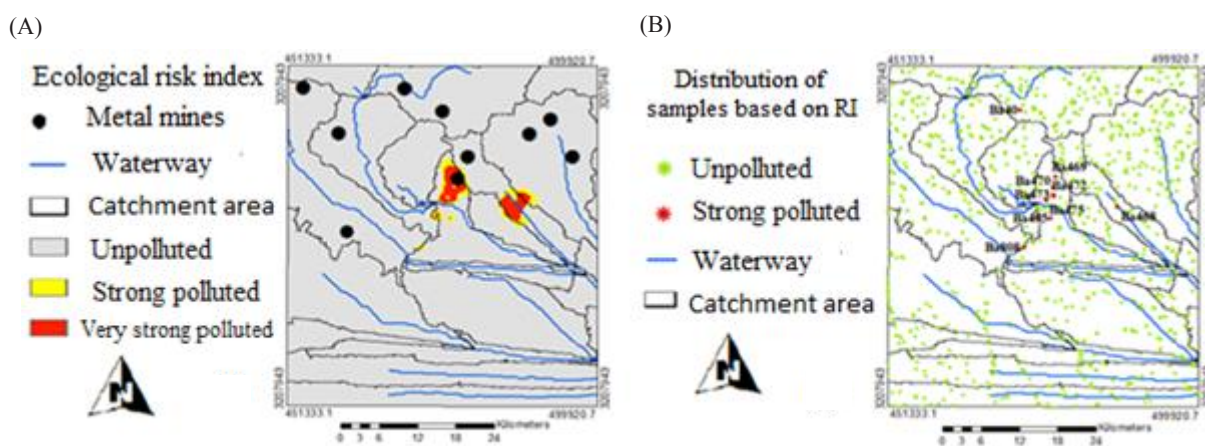


Figure 1. A: Separation of pollution holes based on Ecological risk index, B: Distribution of the sample based on the Ecological risk index

CONCLUSIONS

Entering heavy metals into soils and their ensuing stabilization in the environment result in changes in the quality of the soils during times. Although some heavy metals are nutrients for plants, their excessive content in agricultural soil may be irreversible dangers for animals and human being that is due to their adverse impact on the quality of products such as food, drinking water and subsoil waterways.

Topographical relief in and around the chromium mine in the study area of this paper provides wide spread of pollution caused by the mine activity. As a result, due to the landscape, the reason for the chromium and nickel contamination is anthropogenic factor. Due to the high contamination rate of chromium and nickel in this area and its proximity to current water and native habitats, it is necessary to control the extraction and processing processes of ore deposits in a more-safe way.

This study found that Pb-Zn-Cd elements cause very severe contamination. The contamination of these elements in several sampling sites has been proven. Concentrations of these elements are in a region known as Shahkouh, which itself is a massive Batolithic massif, including Laleh Zaar copper mine, Qanat Marwan lead mine and Talkhechaar iron mine. Due to the outcrops and face of the ore in these mines, it can be concluded that these mines play a very significant role in the spread of contamination in the region. High pollution in the Shah Kouh mining area that can affect the catchments and watersheds of Baft, Orzuiyeh and Rabor makes it necessary to continuous monitoring of the pollution to modulate the negative influence of the contamination.

REFERENCES

- [1] Wijaya, A. R., Ricky, A., Ouchi, A. K., Tanaka, K., Cohen, M. D., Sirirattanachai, S., Shinjo, R., and Ohde, S. (2013). "Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas, Bangkok". *Journal of Geochemical Exploration*, 126: 45-54.
- [2] Rath, P., Panda, U. C., Bhatta, D., and Sahu, K. C. (2009). "Use of sequential leaching, mineralogy, morphology and multivariate statistical technique for quantifying metal pollution in highly polluted aquatic sediments—A case study: Brahmani and Nandira Rivers, India". *Journal of Hazardous Materials*, 163(2-3): 632-644.
- [3] Omwene, P. I., Öncel, M. S., Çelen, M., and Kobya, M. (2018). "Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey)". *Chemosphere*, 208: 782-792.
- [4] Reimann, C., Filzmoser, P., and Garrett, R. G. (2005). "Background and threshold: critical comparison of methods of determination". *Science of the Total Environment*, 346(1-3): 1-16.