

## تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در مناطق معدنی با استفاده از شاخص‌های فرسایش و رسوب

محمدصادق موحد<sup>۱</sup>، سید حسن طباطبایی<sup>۲</sup>، مهیار یوسفی<sup>۳</sup>

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

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

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

(دریافت ۱۳۹۸/۰۶/۳۰، پذیرش ۱۳۹۸/۱۱/۲۳)

### چکیده

فلزات سنگین به دلیل سمی بودن و پایداری در طبیعت، از آلاینده‌های خطرناک محیط زیست هستند. این فلزات می‌توانند با تغییر در خواص شیمیایی رسوبات، فلزات و آلاینده‌ها را به آب روی رسوب خود انتقال دهند و با تحرک دوباره آنها در محیط، به‌عنوان منبع آلودگی عمل کنند. در این خصوص معادن فلزی و فعالیت‌های معدنی یکی از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های محلی هستند. در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی سطوح آلودگی فلزات سنگین (Mn و Pb، Zn، Cr، Ni، Cu) از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ خوی استفاده شده است. از آنجاکه داده‌های رسوب آبراه‌های، معرف مواد بالادست خود هستند، برای تحلیل بهتر آلودگی از روش حوضه آبریز نمونه (SCB) استفاده و براساس آن، غلظت زمینه محلی ناشی از لیتولوژی به روش میانگین وزن دار محاسبه و به‌عنوان زمینه در شاخص‌های کیفیت رسوب مانند شاخص ضریب آلودگی و شاخص خطر زیست‌محیطی استفاده شد. عناصر نیز برای مشارکت در شاخص‌های مرکب کیفیت رسوبات، با روش‌های آماری چند متغیره مانند ماتریس همبستگی پیرسون، آنالیز فاکتوری و خوشه‌بندی سلسله مراتبی مورد بررسی قرار گرفتند. مطالعه حوضه‌های آلوده نشان داد که منابع آلودگی بیشتر به دلیل خصوصیات زمین‌شناسی منطقه بوده اما در برخی موارد فعالیت‌های معدنی و انسانی در گسترش آلودگی بسیار موثر بوده‌اند. در گام بعدی برای رتبه‌بندی مناطق آلوده، دبی رسوب مربوط به هر حوضه محاسبه و با توجه به سطح آلودگی رسوب، پتانسیل تولید حجمی و دبی رسوب، ۱۲۷ حوضه آلوده Cr و Ni به روش تاپسیس رتبه‌بندی شدند.

### کلمات کلیدی

ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ خوی، رسوبات آبراه‌های، حوضه آبریز نمونه، روش پتانسیل فرسایش، رتبه‌بندی مناطق آلوده.

## ۱- مقدمه

همراه هستند، می‌شود. سپس با استفاده از شاخص‌های خطر زیست‌محیطی<sup>۱</sup>، انباشت جغرافیایی<sup>۲</sup>، ضریب آلودگی<sup>۳</sup> و ضریب غنی‌شدگی<sup>۴</sup> حوضه‌های آلوده، مشخص و با روش‌های آماری چندمتغیره مانند ماتریس همبستگی پیرسون، آنالیز فاکتوری و خوشه‌بندی (کلاستر) سلسله مراتبی، تغییرات عناصر نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هدف از این بررسی‌ها، شناسایی عناصر دارای رفتار مشابه در محیط و استفاده از آن‌ها در شاخص‌های مرکب کیفیت رسوبات است. در حوضه‌های دارای پتانسیل آلودگی، با هدف ارزیابی قدرت گسترش آلودگی، میزان فرسایش خاک و دبی رسوب حوضه‌های آلوده به روش پتانسیل فرسایش<sup>۵</sup> (EPM) محاسبه شد. سپس با روش تاپسیس، پتانسیل گسترش آلودگی هر حوضه با توجه به میزان آلودگی رسوب، مقدار رسوب‌دهی سالانه و پتانسیل تولید حجمی<sup>۶</sup> حوضه‌ها مشخص شد. در نهایت حوضه‌های آلوده برای صحت‌سنجی، مطالعه، کنترل و درمان آلودگی، اولویت‌بندی و معادن و نقاط حاوی فلز در حوضه‌های دارای آلودگی نیز مشخص شدند.

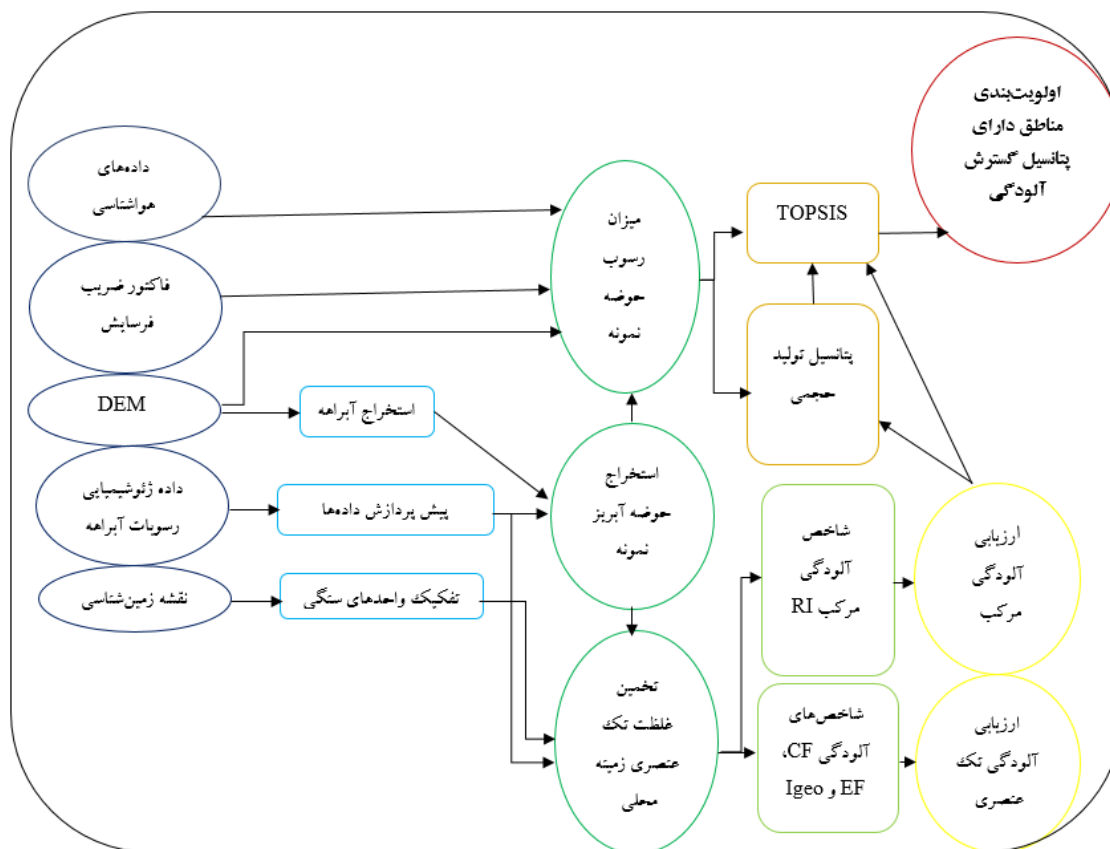
## ۲- روش تحقیق

در این بخش پردازش‌های انجام‌شده، بیان می‌شود. شکل ۱ نمودار پردازش داده‌ها را نشان می‌دهد.

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی در محدوده ورقه یک‌صد هزار خوی در طول‌های  $30^{\circ}$  تا  $44^{\circ}$  و عرض‌های  $38^{\circ}$  تا  $39^{\circ}$  شمالی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه شامل زیر حوضه‌های آبریز خوی، قره ضیاء‌الدین، سیه‌چشمه و پل‌دشت است. از نظر تکتونیکی این منطقه بین بلوک‌های البرز-آذربایجان در شمال شرق و صفحه غرب قرار گرفته است و طبق واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران، بخشی از پهنه رنگین البرز-آذربایجان محسوب می‌شود. تشکیلات غالب زمین‌شناسی در منطقه شامل سنگ‌های فوق‌بازی شامل پریدوتیت، هارزبورژیت و دونیت، سنگ‌های بازی شامل گدازه‌های بازالتی، سنگ‌های آهکی اوربیتولین‌دار و سنگ‌های دگرگونی هستند. این مجموعه سنگی در دوران کرتاسه بالا تا پالیوسن، بر اثر نزدیک شدن بلوک ایران و عربستان و اثر گسل‌های راندگی بالاآمده مجموعه افیولیتی در سطح زمین ظاهر شده است [۶]. زون‌های افیولیتی-

فعالیت‌های انسان در طبیعت مانند معدنکاری، کشاورزی و صنایع علاوه بر فرآیندهای ژئوشیمیایی، تولید آلاینده‌های فلزات سنگین را تسریع کرده و باعث ورود آلودگی به آبراهه‌ها شده است. فلزات سنگین و دیگر عناصر کمیاب در مناطقی که به شبکه آبراهه دسترسی دارند، از محل‌های اولیه تا چند کیلومتری پایین دست منتقل می‌شوند. از این رو مطالعه رسوبات آبراهه‌ها در برنامه‌های نظارت بر محیط‌زیست، برای نشان دادن تأثیرات فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت فلزات سنگین به کار برده می‌شود [۱]. فلزات سنگین، معرفی از آلودگی فضای زیست‌محیطی و فعالیت‌های بشری است؛ بنابراین ارزیابی آلودگی رسوبات آبراهه به درک وضعیت آلودگی منطقه منجر می‌شود [۲]. رفتار فلز در آبراهه به محتوای رسوب، اجزای رسوب معلق و خواص هیدروشیمیایی آن وابسته است [۳]. فلزات سنگین با حضور طولانی مدت در محیط و به تبع آن تغییرات بلندمدت کیفیت خاک، می‌توانند باعث پایداری عناصر و افزایش غلظت آن‌ها در طول زمان شوند و نه تنها بر کیفیت محصولات کشاورزی تأثیر بگذارند بلکه با ورود به زنجیره غذایی یا آب‌های زیرزمینی، منابع آب آشامیدنی را آلوده کنند و در نهایت منجر به اختلال در سلامتی انسان‌ها و حیوانات شوند [۴]. تاکنون برای ارزیابی میزان فلزات سنگین در خاک و رسوب، از روش‌های مختلفی استفاده شده است. به‌طور کلی، ارزیابی آلودگی رسوبات آبراهه‌ای بر اساس مقایسه با استانداردهای تعیین‌شده و یا مقایسه با زمینه زیست‌محیطی منطقه صورت می‌پذیرد [۵]. شاخص‌هایی که اثرات ژئوشیمیایی را در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین، مدنظر قرار می‌دهند، دارای دقت بالاتری در سنجش میزان آلودگی هستند. و این بدان علت است که زمینه زیست‌محیطی (زمینه عنصر در یک وضعیت طبیعی و غیرآلوده) در بیشتر مناطق محاسبه نشده است و استفاده از یک غلظت پایه برای تمام خاک‌های جهان ممکن نیست. این مطالعه باهدف ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین و عناصر اصلی (Zn, Cr, Ni, Cu, Mn و Pb)، در منطقه خوی، استان آذربایجان غربی صورت گرفته و با استفاده از روش‌های استخراج حوضه آبریز نمونه و تخمین غلظت زمینه تک عنصری، زمینه مرتبط با هر نمونه در هر حوضه، به روش میانگین وزن‌دار مشخص شده است. این امر باعث ایفای نقش لیتولوژی در تعیین زمینه و به تبع آن، حذف اثرات آنومالی کاذب که معمولاً با تغییر لیتولوژی



شکل ۱: نمودار مراحل پردازش‌های انجام‌شده در مطالعه

برای رسم حوضه آبریز نمونه در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

### ۲-۳- تخمین غلظت زمینه با در نظر گرفتن لیتولوژی در حوضه آبریز نمونه

برای تخمین غلظت زمینه با در نظر گرفتن لیتولوژی، می‌توان از روش‌های رگرسیون و میانگین وزن دار استفاده کرد. چون تحقیقات قبلی نشان داده است که روش میانگین وزن دار نتایج بهتری نسبت به روش‌های رگرسیون دارد [۸، ۹]، در این مطالعه نیز از روش میانگین وزن دار استفاده شد. به این منظور با استفاده از نقشه رقومی سنگ‌شناسی منطقه و حوضه‌های آبریز استخراج‌شده، مساحت کل واحدهای سنگی منطقه و سطح قرارگرفته در حوضه آبریز برای هر نمونه، در محیط برنامه ArcGIS محاسبه شد و غلظت وزن دار واحد سنگی، براساس معادله ۱ به دست آمد.

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (1)$$

دگرگونی فرخ‌یاشار-قرل‌دانش با رویکردهای متاسوماتیک و سنگ‌های اولترامافیک و مجموعه‌ای از کانی‌سازی کرومیت، گرافیت و مس همراه با زون رسوبی آورین-هندوان که تحت تاثیر نفوذ ساب ولکانی کوه آورین قرار گرفته است، در این منطقه به چشم می‌خورند [۷]. در این مطالعه برای نیل به اهداف مورد نظر، از ۱۰۰۶ نمونه رسوب آبراهه‌ای که توسط سازمان زمین‌شناسی برداشت و به روش ICP-OES آنالیز شده بود؛ استفاده شد. نقشه ضریب شدت فرسایش خاک منطقه نیز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی و داده‌های هواشناسی منطقه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است.

### ۲-۲- ترسیم حوضه آبریز نمونه

حوضه آبریز نمونه، سطحی از قسمت بالادست نمونه است که آب‌های سطحی منطقه از سمت آن نمونه خارج می‌شوند. به منظور رسم حوضه آبریز، مدل ارتفاع رقومی منطقه تهیه و سپس با توجه به موقعیت فضایی نمونه‌ها، پردازش‌های لازم

که در آن:

$M_j$ : غلظت وزن دار واحد لیتولوژی زام

$X_{ij}$ : مساحت لیتولوژی زام در حوضه آبریز زام

$Y_i$ : غلظت نمونه مرتبط با حوضه زام است.

پس از محاسبه  $M_j$  هر واحد سنگی، زمینه محلی در حوضه

آبریز ( $\bar{Y}_i$ ) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد [۱۰].

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{j=1}^m M_j X_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} \quad (2)$$

## ۲-۵- فرسایش

فرسایش خاک، تهدیدی برای سلامت بشر، فرایندی پیچیده همراه با اثرات مخرب و متعدد زیست‌محیطی و یکی از دلایل مهم تخریب اراضی محسوب می‌شود [۱۴، ۱۵]. امروزه مدل‌های ریاضی متنوعی برای تخمین میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز وجود دارد که هر کدام با توجه به شرایط محیطی، دسترسی به داده‌های محیط و شرایط اقتصادی، کاربرد خاص خود را دارند. در تحقیق حاضر با استفاده از مدل فرسایش EPM، میزان فرسایش و تولید رسوب در ناحیه مورد مطالعه بررسی شده است. به این منظور ابتدا ضریب شدت فرسایش از رابطه ۷ و سپس، مقدار رسوب حمل شده، محاسبه می‌شود.

$$Z = Y * X_a (\Psi + I^{0.5}) \quad (7)$$

که در آن:

$Z$ : مقدار ضریب شدت فرسایش

$\Psi$ : ضریب فرسایش حوضه آبخیز

$X_a$ : ضریب استفاده از زمین

$Y$ : ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش

$I$ : شیب متوسط حوضه در منطقه مورد مطالعه است.

## ۲-۵-۱- فرسایش ویژه

مقدار فرسایش ویژه، بیانگر میزان فرسایش یک حوضه در طول یک سال است و از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$W_{SP} = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5} \quad (8)$$

که در آن:

$W_{SP}$ : مقدار فرسایش برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع

در سال

$H$ : متوسط بارندگی سالیانه حوضه برحسب میلی‌متر

$Z$ : شدت فرسایش

$\pi$ : عدد پی

$T$ : ضریب درجه حرارت نیز از رابطه  $T = (t/10 + 0.1)^{0.5}$

## ۲-۴- شاخص‌های آلودگی محیط زیست

تا به حال روش‌های متفاوتی برای تخمین تمرکز عناصر سنگین در محیط‌های ژئوشیمیایی معرفی شده‌است؛ به‌طور مثال، شاخص ضریب آلودگی (CF) مطابق معادله ۳ توسط هاکنسون ارائه شده است [۱۱]. شاخص انباشت جغرافیایی (Igeo) که آن را اندیس مولر نیز می‌نامند، مطابق معادله ۴ برای ارزیابی آلودگی استفاده شده است. در این فرمول، ضریب ۱٫۵ با هدف کمینه‌کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که بیشتر به تغییرات سنگ‌شناسی رسوبات نسبت داده می‌شود، منظور شده است [۱۲]. شاخص غنی‌شدگی (EF)، مطابق معادله ۵ برای پیش‌بینی آلودگی برمبنای سایر عناصر موجود در رسوبات به‌کار برده می‌شود. در این شاخص غلظت فلز مورد نظر نسبت به یک فلز که توزیع مناسب‌تری دارد، نرمال می‌شود [۱۳]. شاخص خطر زیست‌محیطی (RI) نیز براساس معادله ۶ و برای ارزیابی هاله‌های مرکب آلودگی چندعنصری با توجه به غلظت و ضریب سمیت هر عنصر ( $Ni=6, Cr=2$ ), ( $Cu=Pb=5, Zn=Mn=1$ ) و مقدار زمینه زیست‌محیطی عناصر مورد بررسی به‌کار می‌رود [۱۱].

$$CF = \frac{C_x}{B_x} \quad (3)$$

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

$$EF = \left( \frac{C_x}{B_x} \right) / \left( \frac{C_R}{B_R} \right) \quad (5)$$

$$RI = \sum_{x=1}^n \left( T_x \frac{C_x}{B_x} \right) \quad (6)$$

در معادله‌های بالا:

$C_x$ : مقدار غلظت عنصر در نمونه رسوب

محاسبه شده است؛  $t$ : متوسط درجه حرارت سالانه حوضه بر حسب سانتی‌گراد).

رسوب ویژه در مساحت هر حوضه ضرب می‌شود (رابطه ۱۲).

$$G_S = G_{SP} * F \quad (12)$$

### ۲-۵-۲- رسوب‌دهی

معمولاً تمامی خاک فرسایش یافته، از حوضه خارج نمی‌شود و ممکن است مقداری از آن در خود حوضه، ترسیب یابد. به همین دلیل ضریب رسوب‌دهی از معادله ۹ تعریف می‌شود.

$$RU = \frac{4(P * D)^{0.5}}{L + 10} \quad (9)$$

که در آن:

RU: ضریب رسوب‌دهی حوضه

P: محیط حوضه بر حسب کیلومتر

L: طول حوضه و یا طول‌ترین آبراه موجود در حوضه

D: اختلاف ارتفاع هر حوضه را نشان می‌دهد که مطابق

رابطه ۱۰ از تفاضل ارتفاع متوسط حوضه و نقطه خروجی آن به دست می‌آید.

$$D = (D_{av} - D_0) \quad (10)$$

که در آن:

$D_{av}$ : ارتفاع متوسط حوضه

$D_0$ : ارتفاع نقطه خروجی است.

برای محاسبه دبی رسوب ویژه باید مطابق با معادله ۱۱، مقدار فرسایش ویژه در ضریب رسوب‌دهی ضرب شود.

$$G_{SP} = W_{SP} * RU \quad (11)$$

که در آن:

$G_{SP}$ : دبی رسوب ویژه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع

در سال است.

برای محاسبه دبی کل حوضه آبریز در سال، مقدار دبی

که در آن:

$G_S$ : دبی رسوب کل حوضه بر حسب مترمکعب در سال  
F: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع است  
[۱۷، ۱۶].

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- معیارهای آماری

برای پردازش داده‌ها قبل از هر اقدام باید داده‌های خام مورد بررسی قرار گیرند تا در صورت نیاز تغییراتی بر روی آن‌ها صورت گیرد. جدول ۱، نشان‌دهنده معیارهای آماری داده‌های خام عناصر مورد بررسی است. داده‌ها در این مطالعه پس از نرمال‌سازی با روش دورفل، مورد بررسی قرار گرفتند و مقادیر خارج از رده آن‌ها تعدیل شدند [۱۸].

#### ۳-۲- مشخص کردن زمینه فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

مقدار زمینه زیست‌محیطی (BV)، غلظت طبیعی عنصر در یک وضعیت طبیعی غیراشباع است و در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی مهم است. به علت ارتباط غلظت عناصر با ویژگی‌های جغرافیایی، فیزیکی، شیمیایی، فرآیندهای بیولوژیکی و فعالیت‌های انسانی، محاسبه یک غلظت پایه جهانی برای تمام خاک‌ها امکان‌پذیر نیست. مقدار زمینه غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه نیز در دسترس نیست و در بیشتر تحقیقات از داده‌های فراوانی متوسط پوستره یا کمترین میانگین غلظت سالانه عناصر به عنوان مقادیر مرجع استفاده کرده‌اند. در مطالعه حاضر برای مشخص کردن زمینه

جدول ۱: معیارهای آماری عناصر مورد مطالعه

پارامترهای آماری	میانگین (میلی‌گرم/کیلوگرم)	چولگی	انحراف از معیار	حداقل (میلی‌گرم/کیلوگرم)	حداکثر (میلی‌گرم/کیلوگرم)
روی	۸۶٫۶۸	۶٫۶۵	۶۴٫۸۶	۸٫۷۵	۱۰۰
سرب	۱۷٫۱۶	۲۴٫۴۴	۶۸٫۸۱	۳٫۰۴	۲۰۰۰
منگنز	۲۷۷۰٫۷۲	۱۴٫۱۲	۸٫۶۷	۶۰۰	۱۶۹۰۰۰
مس	۶۶٫۸۱	۸٫۵۶	۴۳٫۷۸	۶	۸۹۸
کروم	۴۸۲٫۲۵	۲٫۳۰	۴۲۹٫۸۴	۳۴	۲۰۰۰
نیکل	۳۱۶٫۵۱	۲٫۶۴	۴۷۴٫۰۱	۳	۲۰۰۰



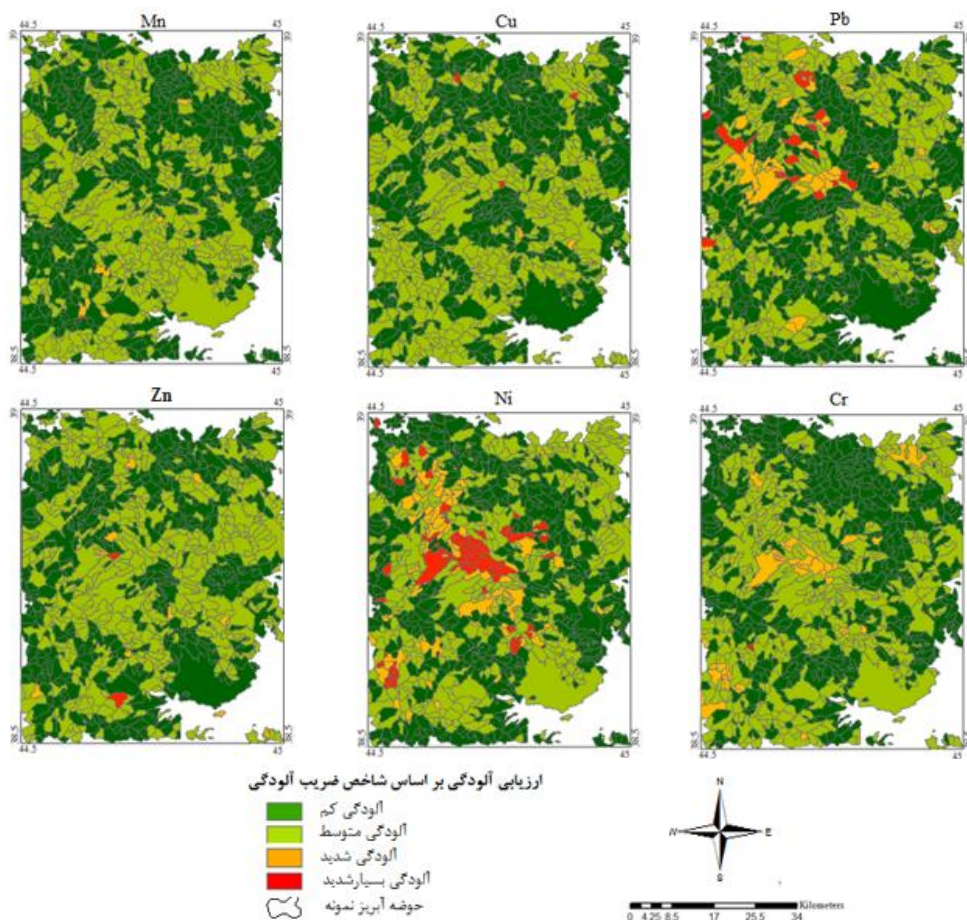
## ۳-۳- بررسی آلودگی تک‌عنصری

در مطالعه حاضر برای مشخص کردن زمینه زیست‌محیطی نمونه‌ها از روش میانگین‌گیری وزن‌دار غلظت عناصر در سنگ‌های واقع در حوضه آبریز هر نمونه، استفاده شده است. شاخص‌های تک‌عنصری انباشت جغرافیایی، ضریب آلودگی (شکل ۲) و غنی‌شدگی برای بارزسازی آلودگی تک‌عنصری در منطقه به‌کار رفته‌اند. جدول ۳، وضعیت عناصر براساس این شاخص‌ها را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. جدول ۴، مقدارمیانگین عناصر در حوضه‌هایی که توسط شاخص غنی‌شدگی، آلوده نشان داده شده‌اند در مقایسه با مقدار متوسط جهانی [۵] و استاندارد ملی منابع خاک ایران [۲۰] نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است عمده آلودگی منطقه، مربوط به عناصر کروم و نیکل است.

زیست‌محیطی نمونه‌ها ابتدا با رسم حوضه آبریز نمونه و تعیین لیتولوژی‌های موثر در حوضه‌ها، زمینه زیست‌محیطی با استفاده از روش میانگین وزن‌دار محاسبه شد. این امر باعث ایفای نقش لیتولوژی در تعیین زمینه و به‌دنبال آن، حذف مغایرت‌های ژئوشیمیایی که معمولاً با تغییر لیتولوژی همراه هستند، می‌شود [۱۹]. جدول ۲، مقدار متوسط عناصر استخراج شده از حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: میانگین عناصر سنگین در زمینه حوضه‌های آبریز نمونه

عنصر	میانگین غلظت زمینه حوضه‌های آبریز (ppm)
Cu	۵۹,۲۲
Ni	۱۵۳,۵۳
Cr	۳۸۴,۹۲
Zn	۷۴,۳۹
Pb	۹,۸۰
Mn	۲۰,۳۴



شکل ۲: نقشه ارزیابی آلودگی عناصر Cu, Ni, Cr, Zn, Pb و Mn براساس شاخص ضریب آلودگی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: نتایج بررسی آلودگی عناصر Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb و As براساس شاخص‌های ضریب آلودگی، ضریب غنی‌شدگی و انباشت جغرافیایی

مقدار شاخص آلودگی / عنصر								تعداد نمونه‌ها با سطح آلودگی	شاخص ضریب آلودگی
سرب	مس	نیکل	کروم	روی	منگنز	بسیار شدید	$CF < 6$		
۲۶	۳	۶۴	۴	۳	۱	شدید	$3 < CF < 6$		
۴۲	۴	۸۷	۴۹	۱۲	۸	متوسط	$1 < CF < 3$		
۴۱۵	۵۲۶	۳۸۱	۴۲۸	۵۲۱	۵۰۵	پایین	$CF \leq 1$		
۵۲۳	۴۷۳	۴۷۰	۵۲۵	۴۷۰	۴۹۲				
مقدار شاخص آلودگی / عنصر								تعداد نمونه‌ها با سطح آلودگی	شاخص انباشت جغرافیایی
سرب	مس	نیکل	کروم	روی	منگنز	آلودگی بسیار شدید	$I_{geo} < 5$		
۱	۰	۰	۰	۰	۰	آلودگی شدید تا بسیار شدید <td><math>4 &lt; I_{geo} &lt; 5</math></td>	$4 < I_{geo} < 5$		
۳	۰	۱	۰	۰	۰	آلودگی شدید <td><math>3 &lt; I_{geo} &lt; 4</math></td>	$3 < I_{geo} < 4$		
۶	۱	۶	۰	۲	۰	آلودگی متوسط تا شدید <td><math>2 &lt; I_{geo} &lt; 3</math></td>	$2 < I_{geo} < 3$		
۱۶	۲	۵۷	۴	۱	۱	آلودگی متوسط <td><math>1 &lt; I_{geo} &lt; 2</math></td>	$1 < I_{geo} < 2$		
۴۲	۴	۸۷	۴۹	۱۲	۸	آلوده تا آلودگی متوسط <td><math>0 &lt; I_{geo} &lt; 1</math></td>	$0 < I_{geo} < 1$		
۱۶۸	۱۴۹	۲۱۰	۱۸۳	۲۰۴	۲۴	کاملاً غیر آلوده <td><math>I_{geo} \leq .</math></td>	$I_{geo} \leq .$		
۷۷۰	۸۵۰	۶۲۵	۷۷۰	۷۸۷	۹۷۳				
مقدار شاخص آلودگی / عنصر								تعداد نمونه‌ها با سطح آلودگی	شاخص غنی شدگی
سرب	مس	نیکل	کروم	روی	منگنز	غنی‌شدگی شدید	$EF > 40$		
۰	۰	۰	۰	۰	۰	غنی‌شدگی بسیار بالا <td><math>20 &gt; EF &gt; 40</math></td>	$20 > EF > 40$		
۳	۱	۱	۰	۰	۰	غنی‌شدگی قابل توجه <td><math>5 &gt; EF &gt; 20</math></td>	$5 > EF > 20$		
۳۰	۴	۶۸	۵	۷	۴	غنی‌شدگی متوسط <td><math>2 &gt; EF &gt; 5</math></td>	$2 > EF > 5$		
۱۱۳	۴۱	۱۸۷	۹۲	۷۵	۱۳	غنی‌شدگی کم <td><math>2 &gt; EF</math></td>	$2 > EF$		
۸۶۰	۹۶۰	۷۵۰	۹۰۹	۹۲۵	۹۸۹				

### ۳-۳-۱- آلودگی منگنز

بررسی‌ها نشان داد نمونه‌ای که براساس شاخص ضریب آلودگی در طبقه آلودگی زیاد قرار گرفته است، در جنوب غربی ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ (شکل ۲) قرار دارد و روستای حصار در حوضه آبریز این نمونه قرار گرفته است. با توجه به وجود

کشاورزی در این حوضه، احتمال می‌رود مقادیر بالای منگنز ناشی از استفاده کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی باشد، زیرا بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده در برنامه‌های کشاورزی، حاوی منگنز هستند [۲۱].

جدول ۴: مقدار میانگین عناصر در حوضه‌های آلوده (بر اساس شاخص ضریب آلودگی) در مقایسه با استاندارد ملی منابع خاک

عناصر	میانگین مقدار فلزات سنگین در حوضه های آلوده بر اساس ارزیابی شاخص ضریب آلودگی (ppm)	مقادیر استاندارد ملی آلاینده‌ها در خاک‌های بازی (ppm)						مقادیر استاندارد ملی آلاینده‌ها در خاک‌های اسیدی (ppm)	
		کشاورزی و مسکونی	صنعتی	تجاری و	کشاورزی	جنگل و مرتع	مسیکونی		
Ni	۱۲۰۶	۵۰	۳۰۰	۵۰	۱۵۵	۶۰۰	۱۱۰	۵۳۰	۵۰
Cr(+۳)	۱۸۸۷	۱۱۰	۳۵۰	۱۱۰	۱۶۵	۵۰۰	۱۱۰	۵۳۵	۰.۴
Cr(+۶)									۶۴
Cu	۳۸۱	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۰۰	۱۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۶۳
Pb	۱۱۳	۵۰	۲۰۰	۵۰	۸۰	۷۰۰	۷۵	۲۹۰	۳۰۰
Zn	۳۹۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰

### ۳-۳-۲- آلودگی مس

آبراهه‌ای قرار گرفته‌اند که به دلیل تراکم بالای گسل‌ها در این منطقه، می‌تواند نشان از پتانسیل کانی‌سازی سرب و روی با تیپ کانی‌سازی رگه‌ای یا جان‌شینی باشد. در بخش شمالی نقشه (شکل ۲) به دلیل وجود توده‌های نفوذی گرانیت دانه‌درشت تا میکروگرانیت و لیتولوژی گنایس، کنگلومرا و کوارتز مونوزودیوریت و طیف عناصر آبراهه‌ای  $Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Sc, Ba, Y, Ga$  و شاخه‌ای از گسل ایشگه‌سو، احتمال کانی‌سازی سرب و روی وجود دارد. در شمال غرب ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ در نزدیکی منطقه علی شیخ، سنگ‌آهک و کنگلومرا سنگ‌های زیرین را تشکیل داده‌اند. با توجه به طیف عناصر آبراهه‌ای  $Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Y, V, Ga$  و منطقه دارای پتانسیل کانی‌سازی سرب و روی است. در قسمت جنوبی نقشه، حوضه‌های آلوده، در سنگ‌آهک و شیل خاکستری قرار گرفته‌اند. حضور طیف عناصر آبراهه‌ای  $Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Y, V$  و منطقه  $Cu$  پتانسیل کانی‌سازی سرب و روی را در این حوضه‌ها نشان می‌دهد [۷]. در غربی‌ترین قسمت نقشه (شکل ۲) چند حوضه آلوده، نمایان شده است که با توجه به توده‌های نفوذی و دایک‌های دیابازی و سنگ‌های میکروگابرو و گدازه‌های بالشتی، آلودگی مرتبط با کانسارهای مسیوسولفید است [۲۲]. به‌طور کلی می‌توان آلودگی سرب در منطقه مورد بررسی را زمین‌زاد دانست.

### ۳-۳-۴- آلودگی روی

در این مطالعه مشخص شد که تنها چند حوضه در مرکز و جنوب نقشه (شکل ۲) دارای آلودگی روی هستند؛ که در

در بررسی حوضه‌های دارای آلودگی مس، مشخص شد آلودگی موجود در شمال شرق ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ خوی (شکل ۲) با توجه به وجود سنگ زیرین کنگلومرای و طیف عناصر  $Zn, Pb, Cu, Ga, Co, V$  در این بخش، احتمالاً با کانی‌سازی مس در کنار میزبان رسوبی مرتبط است. همچنین در بررسی آلودگی حوضه آلوده‌ای که در بخش مرکزی ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ قرار گرفته است، با توجه به توده‌های نفوذی از جنس دایک‌های کوارتزی و سنگ‌های زیرین آمفیبولیت، هارزبورژیت و دونیت و طیف عناصر  $Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, V, Y, Ga$  در حوضه مورد مطالعه، احتمال می‌رود به دلیل نفوذ توده‌ها و دایک‌هایی با جنس کوارتزی، پگماتیتی و فلدسپاتیکی از راه گسل‌های فراوان موجود در این منطقه، کانی‌سازی رگه‌ای پلی‌متال صورت گرفته است [۷، ۶]. حوضه آلوده شمالی نقشه (شکل ۲) با اندیس مس کفیل که به‌صورت مالاکیت ظاهر شده است، تطابق دارد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی عنصر مس در منطقه، زمین‌زاد است؛ اما ممکن است فعالیت‌های انسانی و معدنی صورت گرفته در منطقه باعث شدت و گسترش آلودگی شده باشند.

### ۳-۳-۳- آلودگی سرب

آلودگی‌های سرب اکثراً در بخش مرکزی و شمال‌غربی ورقه ۱:۱۰۰.۰۰۰ خوی نمایان شده است. در بخش مرکزی نقشه (شکل ۲)، لیتولوژی از جنس سنگ‌آهک با دگرگونی پایین است و عناصر  $Zn, Pb, Ba, Y$  در طیف عناصر



نقش مهمی ایفا کرده‌اند [۲]. آلودگی شمال غربی نقشه، در ناحیه قزل‌داش و در زون افیولیتی با سنگ میزبان الترامافیک قرار گرفته است؛ در نتیجه می‌تواند دلیلی بر کانی‌سازی کروم باشد [۷]. سنگ‌های این منطقه از نوع آمفیبولیت، هارزبورژیت و شیست است و توده‌های کوارتزی، پگماتیستی و فلدسپاتیکی به‌وسیله گسل‌های فراوان، نفوذ کرده‌اند. طیف عناصر  $Zn, Pb, Cr, Co, Cu, Sc, Ga, Ni$  نشان از کانی‌سازی احتمالی پلی‌متال رگه‌ای دارد [۲۲، ۶]. چندین نقطه فلزی مس آغباشی، دنبکی، قزل‌داش ۱ و ۲ و شگفتی در این منطقه حضور دارند که ممکن است فعالیت‌های معدنی صورت گرفته در این ناحیه به گسترش بیشتر آلودگی کمک کرده باشد. هم‌چنین در حوضه معدن آهن انبار چالدران، آلودگی به وجود آمده، احتمالاً مربوط به فعالیت‌های معدنی بوده و تسریع دسترسی مواد معدنی به محیط بیرونی، منجر به گسترش این آلودگی شده است. چندین حوضه آلوده در بخش شرقی مرکز نقشه قرار دارند که ممکن است به سبب تراکم بالای گسل و با توجه به نفوذ توده گرانیستی در بالادست این منطقه و وجود سنگ‌آهک با دگرگونی پایین و کنگلومرا و طیف عناصر  $Sr, Pb, Zn, Y, Ga, Ba, Ni, Cr$  احتمال دارد تیپ کانی‌سازی، رگه‌ای یا جانشینی باشد [۷]. به طور کلی منشأ آلودگی نیکل را می‌توان زمین‌زاد و با توجه به گسترش آلودگی در اطراف معادن منطقه، فعالیت‌های معدنی و انسانی را دلیلی بر تشدید این آلودگی دانست.

### ۳-۳-۶- آلودگی کروم

آلودگی شمال غربی نقشه در ناحیه قزل‌داش و در زون افیولیتی با سنگ میزبان الترامافیک قرار گرفته است. سنگ‌های این منطقه از نوع آمفیبولیت، هارزبورژیت و شیست است و از راه گسل‌های فراوان توده‌های کوارتزی، پگماتیستی و فلدسپاتیکی نفوذ کرده‌اند [۷]. طیف عناصر  $Zn, Pb, Cr, Cu, Co, Sc, Ga, Ni$  هم نشان از کانی‌سازی احتمالی پلی‌متال رگه‌ای و کانی‌سازی کروم است. آلودگی بخش مرکزی نقشه با توجه به وجود دایک‌های کوارتزی، فلدسپاتیکی و پگماتیستی، گسل‌های فراوان در منطقه، سنگ‌های آمفیبولیت، هارزبورژیت و دونیت در لیتولوژی و طیف عناصر  $Zn, Cr, Pb, Co, Cu, Y, Ni, Ga$ ، به دلیل کانسار پلی‌متال رگه‌ای موجود در این بخش است که با توجه به قرارگیری آن در زون افیولیتی با سنگ میزبان الترامافیک، پتانسیل کانی‌سازی کروم دارد

بخش مرکزی نقشه با توجه به توده‌های نفوذی از جنس دایک‌های کوارتزی و سنگ‌های زیرین آمفیبولیت، هارزبورژیت و دونیت و طیف عناصر  $Zn, Cr, Pb, Co, Cu, Y, Ni$  و  $Ga$  در حوضه مورد مطالعه، احتمالاً به دلیل نفوذ توده‌ها و دایک‌هایی با جنس کوارتزی، پگماتیستی و فلدسپاتیکی از راه گسل‌های فراوان موجود در این منطقه، کانی‌سازی رگه‌ای پلی‌متال صورت گرفته است. هم‌چنین در قسمت جنوبی نقشه، حوضه‌های آلوده در سنگ آهک و شیل خاکستری قرار دارند که با توجه به طیف عناصر آبراهه‌ای  $Zn, Pb, Co, Ni, Cu$ ، پتانسیل کانی‌سازی سرب و روی در این حوضه‌ها محتمل است [۲۲، ۷]. با توجه بررسی‌های ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی در منطقه، به‌طور کلی می‌توان آلودگی روی در منطقه را زمین‌زاد دانست.

### ۳-۳-۵- آلودگی نیکل

آلودگی عنصر نیکل در بخش اند در جنوب غربی نقشه (شکل ۲) و راستای شمال غربی-جنوب شرقی گسترش یافته است. در بخش مرکزی نقشه با توجه به وجود دایک‌های کوارتزی، فلدسپاتیکی و پگماتیستی، گسل‌های فراوان و سنگ‌های آمفیبولیت، هارزبورژیت و دونیت در لیتولوژی و هم‌چنین طیف عناصر  $Zn, Cr, Pb, Cu, Y, Ni, Ga$ ، حاکی از آن وجود کانسار پلی‌متال رگه‌ای است و با توجه به قرارگیری در زون افیولیتی و سنگ میزبان الترامافیک، پتانسیل کانی‌سازی کروم را نشان می‌دهد. آلودگی‌های جنوب غربی، مربوط به ناحیه اند است. در این منطقه، توده‌های نفوذی به صورت دایک‌های دیابازی وجود دارد و سنگ‌های آن از جنس میکروگابرو و گدازه‌های بالشتی است. طیف عناصر  $Zn, Pb, Cu, Co, Cr, Ni$  و  $Ba$  موجود در منطقه، نشان از کانی‌سازی مسیوسولفید و کروم است [۷، ۶]. هم‌چنین وجود معادن کروم کوچک ۱ و ۲ در حوضه‌های آلوده، احتمالاً نقش به‌سزایی در گسترش آلودگی داشته است. حوضه‌های آلوده جنوب شرق نقشه (شکل ۲) در ناحیه قشلاق قرار گرفته‌اند. سنگ‌های این منطقه از جنس هارزبورژیت و دونیت هستند. آنومالی طیف عناصر  $Zn, Pb, Ni, Cr, Co, Sc, Sr, Ba, Y, Ga$  در این منطقه به چشم می‌خورد که ممکن است در اثر توده‌های نفوذی باشند که هنوز رخنمون ندارند. در این منطقه چندین اندیس کروم شناسایی شده است. در نتیجه احتمال وجود کانسار کروم وجود دارد و فعالیت‌های معدنی منطقه در گسترش حوضه‌های آلودگی،

## ۳-۴-۱- ضریب همبستگی

برای شناخت بهتر تغییرات عناصر در محیط، ضریب همبستگی عناصر نسبت به یکدیگر محاسبه شده است. جدول ۵، نشان‌دهنده میزان همبستگی عناصر به روش پیرسون است. مطابق جدول، تنها عناصر Cr - Ni دارای همبستگی قوی هستند.

جدول ۵: همبستگی عناصر به روش پیرسون

	Cr	Zn	Pb	Ni	Cu	Mn
Cr	۱	-۰٫۲۲	۰٫۰۳	۰٫۷۲	-۰٫۰۱	۰٫۱۱
Zn	-۰٫۲۲	۱	۰٫۱۹	-۰٫۲۰	۰٫۰۰	-۰٫۱۸
Pb	۰٫۰۳	۰٫۱۹	۱	-۰٫۰۲	-۰٫۱۲	-۰٫۲۸
Ni	۰٫۷۲	-۰٫۲۰	-۰٫۰۲	۱	۰٫۰۰	۰٫۱۶
Cu	-۰٫۰۱	۰٫۰۰	-۰٫۱۲	۰٫۰۰	۱	۰٫۱۲
Mn	۰٫۱۱	-۰٫۱۸	-۰٫۲۸	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۱

## ۳-۴-۲- آنالیز فاکتوری

هدف از استفاده از آنالیز فاکتوری، آشکارسازی ساختارهای پنهان میان متغیرها است. همچنین با این روش می‌توان تعداد متغیرها را کاهش داد و نقش هر یک را در تغییرپذیری مشخص کرد. به منظور استخراج فاکتورها، از روش استخراج مولفه اصلی (PCA) و به منظور چرخش داده‌ها از روش چرخش واریمکس استفاده و تمام محاسبات در نرم‌افزارهای SPSS و Minitab انجام شد. جدول ۶، نشان‌دهنده نتایج آنالیز فاکتوری است. شاخص KMO، عدد ۰٫۷۸۵ را و آزمون بارلت، سطح Sig، کمتر از ۵٪ را نشان داد که نمایانگر مناسب بودن تجزیه و تحلیل است. در این تحقیق، تمامی متغیرها در سه عامل خلاصه شدند. معیار اول، نشان‌دهنده عناصر سیدروفیل است که دربرگیرنده عناصر Cr، Ni، Co و Mg است و معیارهای دوم و سوم غالباً نشان‌دهنده عناصر کالکوفیل هستند. با رسم نقشه ارزش‌های فاکتور اول و مقایسه آن با نقشه‌های زمین‌شناسی، ارتباط میان گسل‌های اصلی و واحدهای زمین‌شناسی سنگ‌های فوق‌بازیک سرپانتینی شده، سرپینیت، دونیت و گدازه‌های بالشتی میکروگابرو با معیار اول مشهود شد که معرف کانی‌سازی کرومیت انبانه‌ای است. معیار دوم شامل عناصر Cu و V و معیار سوم شامل عناصر Fe و Mn با امتیاز مثبت و Zn و Pb با امتیاز منفی است. با رسم نقشه ارزش‌های معیاری و مقایسه آن با نقشه زمین‌شناسی،

[۷،۶]. آلودگی‌های جنوب غربی مربوط ناحیه الوند است. در این منطقه توده‌های نفوذی به صورت دایک‌های دیابازی وجود دارد و سنگ‌های آن از جنس میکروگابرو و گدازه‌های بالشتی است [۲۲]. طیف عناصر Zn، Pb، Cu، Co، Cr، Ni و Ba نیز نشان از کانی‌سازی مسیوسولفید و کروم است. همچنین وجود معادن کروم کوچک و ۲۰ در حوضه‌های آلوده احتمالاً نقش به‌سزایی در گسترش آلودگی داشته است. چند حوضه کوچک در این منطقه دارای درجه زیادی از آلودگی هستند، با بررسی صورت‌گرفته، مشخص شد که هیچ‌گونه فعالیت انسانی در این مناطق انجام نشده است؛ بنابراین آلودگی این حوضه‌ها را می‌توان زمین‌زاد دانست. چندین حوضه آلوده در بخش شرقی مرکز نقشه قرار دارند که به سبب تراکم بالای گسل و با توجه به نفوذ توده گرانیتهی در بالادست این منطقه و وجود سنگ‌آهک با دگرگونی پایین و کنگلومرا و طیف عناصر Zn، Pb، Sr، Y، Ga، Ni، Cr موجود، احتمال دارد تیپ کانی‌سازی رگه‌ای یا جانیشینی باشد [۲۳،۷]. حوضه‌های آلوده جنوب‌شرق نقشه (شکل ۲) در ناحیه قشلاق قرار گرفته‌اند. سنگ‌های این منطقه از جنس هارزبورژیت و دونیت هستند. طیف عناصر Zn، Pb، Ni، Cr، Co، Sc، Sr، Ba، Y و Ga نشان از کانی‌سازی کروم و پلی‌متال رگه‌ای دارد [۲۳]. در این منطقه، چندین نقطه دارای پتانسیل کروم شناسایی شده است. احتمالاً فعالیت‌های معدنی این منطقه نقش مهمی در گسترش حوضه‌های آلودگی داشته‌اند. در حوضه مشخص شده در شمال‌شرق نقشه که دارای درجه نسبتاً پایین‌تری از آلودگی است، جنس سنگ زیرین از نوع کنگلومرا و هیچ‌گونه معدن فلزی در این ناحیه ثبت نشده و تنها فعالیت معدنی، وجود معدن شن و ماسه است. همچنین آلودگی حوضه معدن آهن انبار چالدران، احتمالاً به دلیل فعالیت‌های معدنی است که باعث تسریع دسترسی مواد معدنی به محیط بیرونی شده است. در نتیجه، آلودگی در این منطقه تشدید و گسترش بیشتری پیدا کرده است.

## ۳-۴-۳- روش‌های آماری چندمتغیره

هدف از تحلیل آماری چندمتغیره، شناخت ارتباط میان تغییرات و رفتار عناصر در محیط ژئوشیمیایی است. بدین منظور برای شناخت بهتر رفتار عناصر، از تحلیل‌های چند متغیره آماری استفاده شده است. براساس شرط اولیه نرمال بودن داده‌های آماری در تحلیل‌های چند متغیره، در این مطالعه بر روی داده‌ها تبدیل Chf انجام شده است.

## ۳-۴-۴- تحلیل نتایج روش‌های چند متغیره

هدف از تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره صورت گرفته، آشکار شدن روابط میان عناصر و بررسی تغییرپذیری آن‌ها نسبت به یکدیگر است که در شناسایی منشأ احتمالی آلودگی منطقه استفاده شده است. در این بین، نتایج حاصل از فرایندهای ضریب همبستگی، آنالیز فاکتوری و خوشه‌بندی سلسله مراتبی کاملاً بر هم منطبق شدند. بررسی ضریب همبستگی عناصر (جدول ۵) نشان داد که در این منطقه تنها عناصر کروم و نیکل، همبستگی بالایی ( $r = 0.72$ ) نسبت به هم دارند. همچنین در بررسی آنالیز فاکتوری (جدول ۶)، عناصر کروم و نیکل در فاکتور اول که بیش از ۳۳٪ تغییرپذیری را پوشش می‌دهد، با ارزش بیش از ۰٫۸ ظاهر شده‌اند که نشان‌دهنده نقش آن‌ها در توجیه بخش زیادی از تغییرپذیری است. در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی که به منظور دسته‌بندی داده‌ها و براساس شباهت صورت گرفته است، عناصر کروم و نیکل در یک خوشه قرار گرفته‌اند که تاییدکننده ارتباط ساختاری میان این دو عنصر است. بنابراین همبستگی بالای این دو عنصر و ارزش بالای آن‌ها در فاکتورهای استخراج شده را می‌توان مرتبط با کانی‌سازی اصلی و غالب منطقه دانست. با رسم نقشه ارزش فاکتور دربرگیرنده این دو عنصر و مقایسه آن با واحدهای زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه، مشخص شد که عناصر کروم و نیکل در ارتباط با کانی‌سازی غالب منطقه یعنی ذخایر کروم انبانه‌ای هستند؛ وجود اندیس‌ها و فعالیت‌های معدنی مرتبط با این ذخایر مانند معدن کروم قشلاق و معادن کروم کوچک ۱ و ۲ و مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه [۶، ۷، ۲۱، ۲۳] نیز این کانی‌سازی را تایید می‌کنند.

## ۳-۵- ارزیابی آلودگی چندعنصری

هدف از ارزیابی آلودگی چندعنصری و رسم هاله‌های مرکب آلودگی این است که با یک مرحله ارزیابی آلودگی، بتوان هم‌زمان آلودگی چندعنصر را مشاهده کرد. نکته قابل توجه این‌که اگر عناصر انتخاب شده نسبت به یکدیگر توزیع آماری مناسبی نداشته باشند، نه تنها نتیجه مثبتی ایجاد نمی‌شود بلکه ممکن است آلودگی برخی عناصر مورد مشارکت، نادیده گرفته شود؛ با توجه بررسی‌های چندمتغیره صورت گرفته در این مطالعه، مشخص شد عناصر کروم و نیکل مرتبط به یک رفتار ژئوشیمیایی (کانی‌سازی کرومیت) هستند؛ بنابراین ایجاد هاله مرکب آلودگی این دو عنصر می‌تواند قابل توجیه باشد.

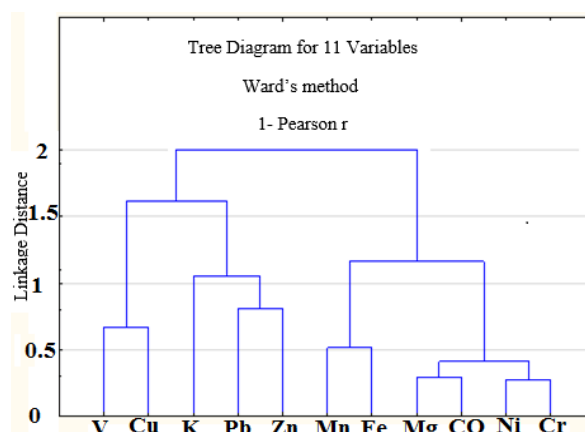
ارتباط میان گسل‌های فرعی و واحدهای زمین‌شناسی گرانیت، سنگ‌آهک، شیست و آمفیبولیت با این عوامل، مشخص و معلوم شد معرف کانی‌سازی‌های پست ماگمایی، مسیوسولفید و دگرگونی هستند.

جدول ۶: نتایج آنالیز فاکتوری

عناصر	Factor1	Factor2	Factor3
Cr	۰٫۸۰۶۴۲۵	-۰٫۱۶۲۰۲۷	۰٫۰۵۹۴۰۷
Zn	-۰٫۰۸۶۴۳۶	۰٫۱۵۴۶۸۵	-۰٫۵۵۲۷۴۸
Pb	۰٫۱۴۸۶۵۸	-۰٫۱۷۴۷۰۶	-۰٫۶۹۵۶۱۳
Ni	۰٫۸۶۴۹۴۲	-۰٫۱۶۲۵۲۰	۰٫۰۸۲۴۶۸
Cu	۰٫۱۰۷۴۷۸	۰٫۷۶۹۸۸۸	۰٫۱۱۶۳۰۵
Co	۰٫۸۶۷۷۸۰	۰٫۱۶۸۷۸۰	۰٫۰۵۳۴۸۸
V	-۰٫۱۶۹۲۶۹	۰٫۷۸۱۶۸۵	-۰٫۰۴۳۸۹۵
Fe	۰٫۴۲۱۳۳۳	۰٫۲۱۷۸۵۰	۰٫۶۶۸۹۸۳
Mg	۰٫۸۴۳۱۷۱	-۰٫۰۲۱۹۹۹	۰٫۳۶۰۵۵۲
K	-۰٫۷۱۸۸۵۹	-۰٫۵۱۹۸۴۰	-۰٫۰۱۶۵۲۶
Mn	۰٫۱۷۹۶۴۶	۰٫۰۰۶۰۰۸	۰٫۷۲۳۵۶۳
Expl.Var	۳٫۶۵۸۷۵۲	۱٫۶۵۷۵۷۴	۱٫۹۱۹۴۰۵
Prp.Totl	۰٫۳۳۲۶۱۴	۰٫۱۵۰۶۸۹	۰٫۱۷۴۴۹۱

## ۳-۴-۳- خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

برای بررسی بیشتر متغیرها از تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و استخراج خوشه‌ها، روش Ward's مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۳، نمودار درختی خوشه‌بندی عناصر را نشان می‌دهد که نتایج آن، مشابه نتایج آنالیز فاکتوری است.



شکل ۳: نمودار درختی خوشه‌بندی عناصر

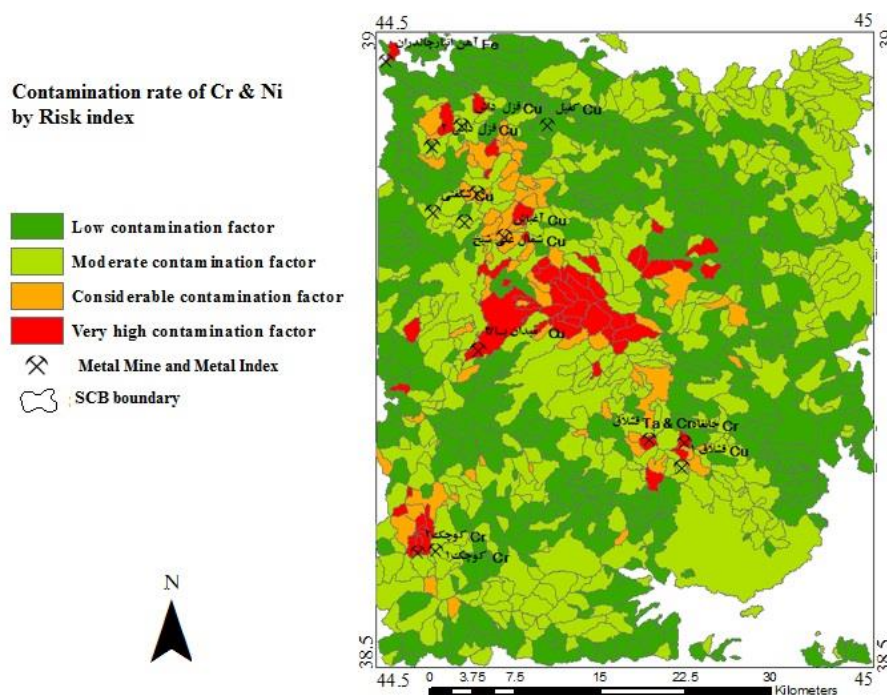
آلودگی زیاد قرار دارند. در طبقه با آلودگی زیاد، نتایج حاصل از بررسی آلودگی مرکب کروم و نیکل با نتایج حاصل از آلودگی تکی آن‌ها برابر است، اما برخی از حوضه‌ها که در بررسی تک عنصری کروم یا نیکل دارای آلودگی حد متوسط و قابل توجه بودند، در ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص مرکب خطر زیست‌محیطی کروم و نیکل میزان آلودگی کمتری نشان دادند، که این امر به سبب رفتار متفاوت عناصر در محیط و تعدیل درجه آلودگی در شاخص‌های مرکب است، در شاخص خطر زیست‌محیطی درجه آلودگی بر اساس مجموع ضرایب سمیت و غلظت عناصر مورد بررسی تعیین می‌شود و نسبت به بررسی تک عنصری میزان خطای کمتری دارد. این تفاوت درجه آلودگی میان شاخص‌های تک عنصری و مرکب بدین خاطر است که در این حوضه‌ها رفتار عناصر مورد بررسی متفاوت بوده یعنی میزان آلودگی یکی از عناصر بالا و عنصر دیگری پایین بوده است و از آنجا که در شاخص‌های مرکب، آلودگی بر اساس رفتار تمامی عناصر سنجیده می‌شود، درجه آلودگی میان عناصر تعدیل گشته است. رفتار عناصر در محیط بر اساس خواص ژئوشیمیایی، نوع و محتوای فلزات سنگین و فاصله از منابع شکل می‌گیرد به طور مثال غلظت عنصر نیکل با افزایش فاصله از منابع آلودگی افزایش می‌یابد [۲۱]. به همین دلیل هاله مرکب

"هاکنسون" در سال ۱۹۸۰ شاخص خطر زیست‌محیطی را براساس ضریب سمیت ۸ عنصر مورد بررسی، معرفی کرد. اما در بررسی دیگر عناصر متفاوت با آن، این ضریب کاربرد ندارد و باید مقادیر طبقه‌بندی، براساس عناصر تعدیل شوند. بنابراین برای طبقه‌بندی جدید، سمیت عناصر در ضریب طبقه‌بندی شاخص غنی‌شدگی ضرب و طبقه‌بندی جدید براساس شرایط موجود مطابق جدول ۷ تعدیل شد.

جدول ۷: طبقه‌بندی شاخص خطر زیست‌محیطی بر اساس مجموع ضرایب سمیت عناصر مورد بررسی

مقدار RI	میزان آلودگی
$\leq 8$	بدون آلودگی
۸-۲۴	آلودگی متوسط
۲۴-۴۸	آلودگی قابل توجه
$48 \leq$	آلودگی بسیار بالا

در ارزیابی صورت گرفته از هاله آلودگی مرکب کروم و نیکل، مطابق شکل ۴ از ۱۰۰۶ نمونه مورد ارزیابی، ۴۷۶ نمونه در طبقه بدون آلودگی، ۴۰۳ نمونه در طبقه آلودگی متوسط، ۶۶ نمونه در طبقه آلودگی قابل توجه و ۶۱ نمونه در طبقه‌بندی



شکل ۴: نقشه آلودگی مرکب کروم و نیکل

عواملی مانند آب، باد، نیروی ثقلی و ... منتقل می‌شوند. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، بیشتر فرسایش خاک مرتبط با فرسایش آبی است؛ حال اگر خاک موجود در حوضه آبریز دارای آلودگی باشد، مشکل زیست‌محیطی مضاعفی ایجاد می‌شود زیرا علاوه بر از بین رفتن و افت حاصل‌خیزی خاک، خود به‌عنوان منبع ثانویه آلودگی باعث تشدید آلودگی می‌شود [۲۴]. در این مطالعه با استفاده از مدل فرسایش EPM به بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در ناحیه مورد مطالعه پرداخته شده است. نقشه رقمی شده شدت فرسایش منطقه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی تهیه شد. فرسایش ویژه هر حوضه در طول یک‌سال با استفاده از معادله ۸ محاسبه و اطلاعات هواشناسی لازم برای این منظور، از سازمان هواشناسی کشور در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۹) اخذ شده است؛ اما به دلیل محدودیت‌های ایستگاه‌های هواشناسی در برخی از زمان‌ها، داده‌ای ثبت نشده بود، بنابراین تنها از داده‌هایی استفاده شد که در آن زمان تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ثبت کرده بودند. با توجه به پراکندگی و تعداد کم ایستگاه‌های هواشناسی، از رگرسیون برای تخمین میزان دما و میزان بارش برحسب ارتفاع حوضه‌های مورد مطالعه (شکل ۶، الف و ب) استفاده شد. براساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی رابطه معناداری میان ارتفاع-بارش ( $r^2 = 0.746$ ,  $n = 7$ ) و ارتفاع-دما ( $r^2 = 0.791$ ) وجود دارد. شکل ۷، نشان‌دهنده وضعیت دما و بارش در منطقه است.

برای محاسبه میزان رسوب با استفاده از روابط ۹ و ۱۰، دبی رسوب کل برای هر حوضه (شکل ۸) محاسبه شد. بر این اساس، کمترین میزان رسوب‌دهی حوضه‌های استخراج‌شده ۰/۲ مترمکعب در سال و بیشترین میزان رسوب‌دهی در حوضه‌های مورد مطالعه ۱۷۸۳۴ مترمکعب در سال است که این میزان رسوب‌دهی، تابعی از مساحت هر حوضه است.

### ۳-۷- پتانسیل تولید حجمی

برای ارزیابی حجم آلودگی قابل انتشار در حوضه‌های دارای آلودگی، شاخص تولید حجمی مطابق رابطه ۱۳ معرفی شد. شاخص پتانسیل تولید حجمی، تعیین‌کننده میزان اولویت حوضه‌های مورد بررسی است. بیشتر بودن این شاخص، نشانگر بالابودن اولویت حوضه مورد بررسی است.

آلودگی کروم و نیکل (شکل ۴) نسبت به آلودگی تک عنصری کروم (شکل ۲)، در اطراف منابع آلودگی گسترش بیشتری یافته است. حوضه‌های آلوده در این مرحله با مناطق دارای پتانسیل معدنی و اندیس‌ها و معادن تطابق دارد. هاله‌های آلودگی موجود در منطقه براساس هاله‌های آلودگی تک‌عنصری کروم و نیکل قابل توجیه است. تحقیقات قبلی که بر روی آلودگی خاک و آب این منطقه صورت گرفته است، منشا آلودگی Cr و Ni را طبیعی و بر اثر هوازدگی سنگ‌های آذرین مافیک-ولترامافیک مانند الیوین‌بازالت، پریدوتیت و گابرو دانسته است [۲۴-۲۲]؛ این مطالعه علاوه بر تایید نتایج گذشته، بیان می‌کند فعالیت‌های انسانی به‌ویژه فعالیت‌های معدنی در گسترش آلودگی منطقه بسیار تاثیرگذار بوده‌اند. شکل ۵، نشان‌دهنده وضعیت آلودگی معادن و نقاط پتانسیل‌دار منطقه براساس استاندارد ملی غلظت فلزات سنگین در فعالیت‌های معدنی است.

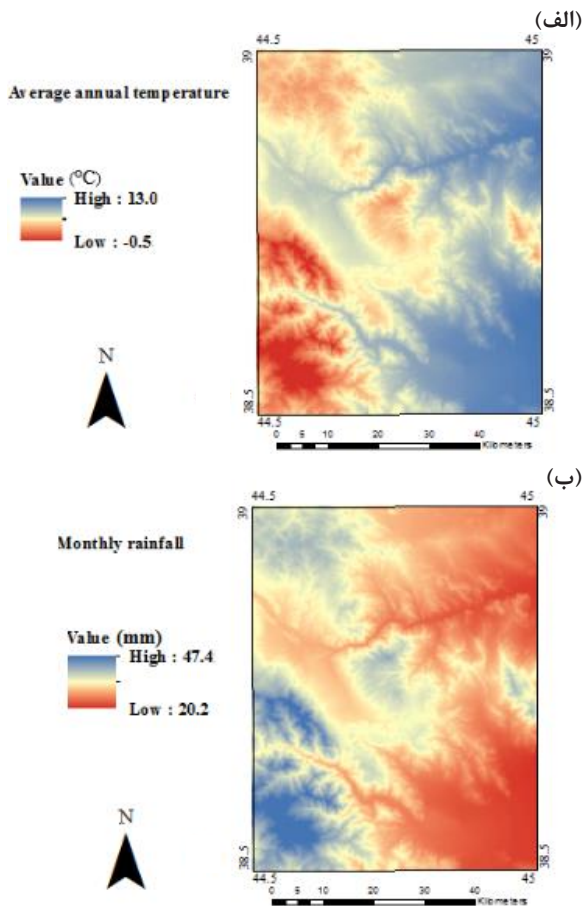


شکل ۵: مقایسه غلظت عناصر الف: کروم ب: نیکل در اندیس‌ها و معادن فلزی منطقه با استاندارد ملی محیط معدنی

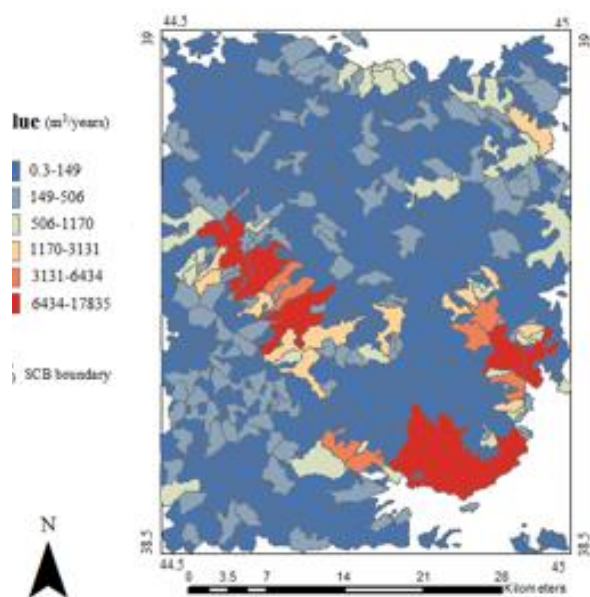
### ۳-۶- فرسایش

فرسایش خاک، پدیده‌ای است که مواد خاک، توسط





شکل ۷: الف) میانگین دمای سالانه، ب) میانگین بارش ماهانه در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸: دبی رسوب کل در هر حوضه

$$V = G_s * RI \quad (13)$$

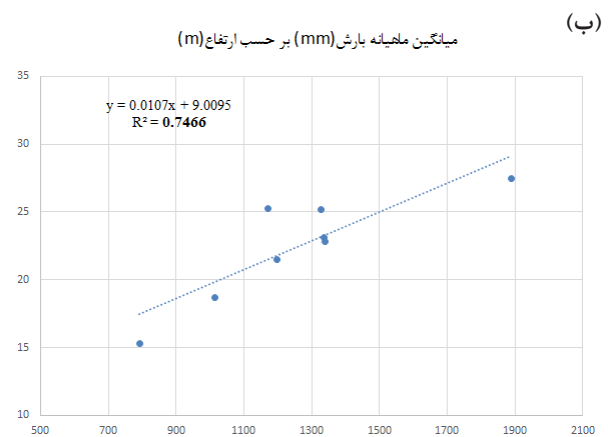
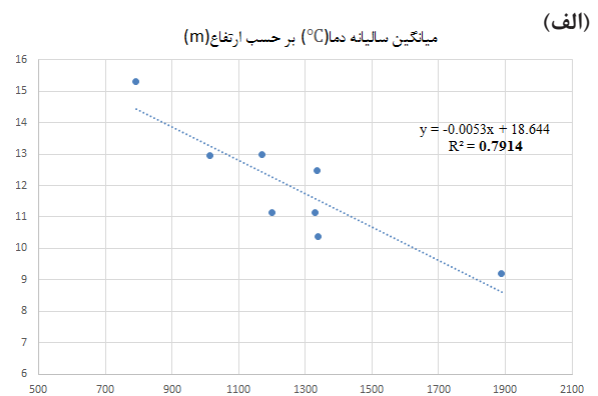
که در آن:

V: بیانگر پتانسیل تولید حجمی آلودگی

G<sub>s</sub>: مقدار تولید رسوب حوضه آبریز نمونه مورد مطالعه است که مطابق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

RI: شاخص خطر زیست‌محیطی حوضه مورد نظر است که مطابق رابطه ۶ است.

در روش پتانسیل حجمی، تاثیر متقابل معیارهای انتخابی در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا در این روش براساس معادله ۱۳، معیارها درهم ضرب می‌شوند و ممکن است متغیرها اثر یکدیگر را تعدیل کنند.

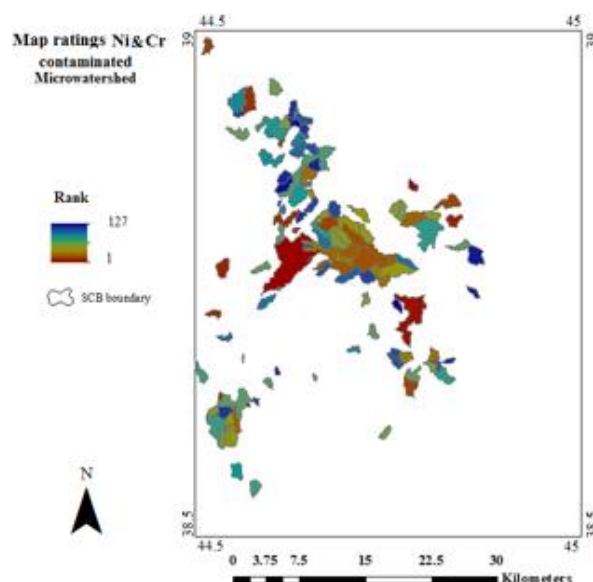


شکل ۹: رابطه رگرسیون الف) دما بر حسب ارتفاع، ب) بارش بر حسب ارتفاع



### ۳-۸- رتبه‌بندی پتانسیل گسترش آلودگی برای بررسی‌های تفصیلی

در این مطالعه به دلیل وسیع بودن منطقه مورد بررسی در مطالعات زیست‌محیطی از نمونه‌های آبراه‌های استفاده شد؛ زیرا نمونه آبراهه سطح تاثیر وسیعی دارد و امکان نمونه‌برداری از تمامی مناطق حتی در مناطق خشک (آبراهه فصلی) وجود دارد [۲]. سپس با استفاده از روش‌های آماری و ارزیابی آلودگی، رسوب محدوده‌های آلوده مشخص شد و به منظور صحت‌سنجی، نمونه‌برداری از خاک، آب و گیاهان و تعیین کردن نوع کاربرد پوشش گیاهی منطقه، مطالعات تفصیلی در مناطق آلوده صورت گرفت. بدین منظور با توجه به میزان رسوب‌دهی، پتانسیل تولید حجمی و میزان آلودگی فلزات سنگین کروم و نیکل حوضه‌های آلوده برای مطالعات بعدی، به روش تاپسیس رتبه‌بندی شده‌اند (شکل ۹). در این روش، ۱۲۷ حوضه دارای اثرات آلاینده‌ی Cr و Ni رتبه‌بندی شدند. بیشترین مقدار شاخص خطر زیست‌محیطی ۱۶۲٫۸۸ و کمترین آن ۱۴٫۲۴ بود، مقدار پتانسیل تولید حجمی در بازه ۳۴۷۴-۲۱۸۶٫۰۴ و میزان رسوب‌دهی حوضه‌های آلوده در بازه ۱٫۱-۱۱۶۲٫۳ مترمکعب در سال قرار گرفته است.



شکل ۹: نقشه رتبه‌بندی حوضه‌های دارای آلودگی مرکب نیکل و کروم براساس میزان رسوب‌دهی، آلودگی، پتانسیل تولید حجمی با روش تاپسیس

### ۴- نتیجه‌گیری

آلودگی‌های درحال گسترش فلزات سنگین یک خطر بالقوه در ارتباط با مشکلات محیط‌زیست و سلامت انسان هستند. ترکیبات سمی و خطرناک آن‌ها منجر به تخریب یا از بین رفتن برخی از قسمت‌های خاک در سطح جهانی می‌شوند. تعامل نزدیک خاک به دیگر محیط‌های زیستی (آب و هوا) باعث افزایش گستردگی آن‌ها می‌شود. آلودگی فلزات سنگین، پنهان، مداوم و غیرقابل برگشت است. این نوع آلودگی نه تنها کیفیت آب و مواد غذایی را کاهش می‌دهد بلکه سلامت و رفاه حیوانات و انسان‌ها را از طریق زنجیره غذایی تهدید می‌کند [۵]. در مطالعه انجام‌شده در رسوبات آبراه‌های منطقه خوی، به دلیل مشخص نبودن زمینه زیست‌محیطی از تخمین غلظت تک‌عنصری محلی برای تعیین زمینه در حوضه آبریز نمونه، استفاده و این امر باعث حذف نویزهای آنومالی کاذب ناشی از تغییر لیتولوژی شد. در ارزیابی صورت‌گرفته، مشخص شد منطقه مورد مطالعه دارای سطوح مختلف آلودگی سرب، روی مس، کروم و نیکل است. با مقایسه غلظت‌های این عناصر در مناطق آلوده می‌توان به این نتیجه رسید که آلودگی اصلی منطقه، مرتبط با غلظت عناصر نیکل و کروم است. در نواحی مناطق آلوده اکثراً شواهد کانی‌سازی وجود دارد و آلودگی‌های سرب و روی با کانی‌سازی‌های پست ماگمایی، مسیوسولفید و دگرگونی، آلودگی نیکل و کروم با کانی‌سازی کرومیت انبانه‌ای مرتبط است؛ بنابراین وضعیت آلودگی آن‌ها از ویژگی زمین‌شناسی حوضه‌ها منشأ می‌گیرد، با این حال گسترش آن‌ها به فعالیت‌های معدنی محل وابسته است. گرچه مطالعات قبلی عموماً از این استدلال حمایت می‌کنند که آلودگی این منطقه، دارای منشأ زمین‌زاد است؛ اما این مطالعه بیان می‌کند فعالیت‌های معدنی با انتقال عناصر از کانه‌سنگ‌ها به محیط بیرونی و تماس آن‌ها با آب و اکسیژن، باعث افزایش تحرک فلزات سنگین در محیط و گسترش آلودگی می‌شوند. این استدلال با مشخص شدن سطوح بالای آلودگی در نزدیکی معادن فلزی فعال حمایت می‌شود؛ بنابراین لازم است اقدامات کنترلی و زیست‌محیطی در فعالیت‌های معادن به منظور جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و اثرات سوء بر سلامتی جوامع میزبان صورت گیرد. در این مطالعه برای ارزیابی هاله‌های مرکب در ارزیابی چندعنصری آلودگی فلزات سنگین با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره مانند ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز فاکتوری و خوشه‌بندی

"Autocorrelation structure of stream-sediment geochemical data: interpretation of Zn and Pb anomalies, Nahanni River area, Yukon-Northwest Territories, Canada". *Geostatistics for Natural Resources Characterization*, 2: 817-829.

- [10] Carranza, E. J. M. (2008). "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS". Elsevier, 11: pp. 368.
- [11] Hakanson, L. (1980). "An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach". *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- [12] Muller, G. (1969). "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River". *Geojournal*, 2: 108-118.
- [13] Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W., and Liqiang, Y. (2008). "Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing". *Journal of China University of Geosciences*, 19(3): 230-241.
- [14] Ownegh, M. (2003). "Land use planning and integrated management of natural hazards in Golestan Province". In Seminar on Flood Hazard Prevention and Mitigation, 15-16.
- [15] Turner, B., Clark, W. C., Kates, R. W., Richards, J. F., Mathews, J., and Meyer, W. (1990). "The Earth as Transformed by Human Action Cambridge". In Cambridge University Press.
- [16] Spalevic, V., Mahoney, W., Djurovic, N., ÜZEN, N., and Curovic, M. (2012). "Calculation of soil erosion intensity and maximum outflow from the Rovacki River Basin, Montenegro". *Agriculture & Forestry/ Poljoprivreda i Sumarstvo*, 58(3): 7-21.
- [۱۷] رفاهی، ح؛ ۱۳۹۶؛ "فرسایش آبی و کنترل آن". موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۳۰-۱۵۰.
- [۱۸] حسنی‌پاک، ع، شرف‌الدین، م؛ ۱۳۸۰؛ "تحلیل داده‌های اکتشافی". انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۳۰-۵۰.
- [19] Jamshidi-Zanjani, A., and Saeedi, M. (2017). "Multivariate analysis and geochemical approach for assessment of metal pollution state in sediment cores". *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19): 16289-16304.
- [۲۰] سازمان حفاظت محیط زیست؛ ۱۳۹۲؛ "استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنمای آن".
- [21] 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):
- سلسله‌مراتبی، روابط و تغییرات عناصر مورد بررسی قرار گرفت و عناصری که دارای یک عامل یا رفتار مشترک بودند در ارزیابی هاله‌های مرکب مورد استفاده قرار گرفتند. برای اولویت‌بندی حوضه‌های دارای پتانسیل گسترش آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه، از معیارهای شدت آلودگی، میزان رسوبدهی و پتانسیل تولید حجمی در حوضه‌های آلوده استفاده و ارزیابی و اولویت‌بندی صورت گرفته نسبت به ارزیابی تک‌معیاره از درجه اعتماد بالاتری برخوردار شد.
- ### ۵- مراجع
- [1] 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.
- [۲] موحد، م، یوسفی، م؛ ۱۳۹۸؛ "ارزیابی آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره ۴، شماره ۳، ص ۱۴-۱.
- [3] Patel, P., Raju, N. J., Reddy, B. S. R., Suresh, U., Sankar, D., and Reddy, T. (2018). "Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications". *Environmental Geochemistry and Health*, 40(2): 609-623.
- [4] Weissmannová, H. D., Pavlovský, J., and Chovanec, P. (2015). "Heavy metal contaminations of urban soils in Ostrava, Czech republic: assessment of metal pollution and using principal component analysis". *International Journal of Environmental Research*, 9(2): 683-696.
- [5] Yang, Z., 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.
- [۶] کره‌ای، م؛ ۱۳۸۳؛ "گزارش بررسی‌های اکتشافات سیستماتیک ناحیه ای و شناسایی نواحی امید بخش معدنی در زون خوی-اشنویه". سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۷] حسن‌زاده، ف، رحیمی‌پور، غ؛ ۱۳۹۱؛ "شناسایی مناطق امیدبخش معدنی با استفاده از اکتشافات ژئوشیمی رسوبات آبراهه ای ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی". فصلنامه بلور، شماره ۳۱، ۱۶ صفحه.
- [8] Bonham-Carter, G., Rogers, P., and Ellwood, D. (1987). "Catchment basin analysis applied to surficial geochemical data, Cobequid Highlands, Nova Scotia". *Journal of Geochemical Exploration*, 29(1-3): 259-278.
- [9] Bonham-Carter, G., and Goodfellow, W. (1984).

616.

[۲۲] خدادادی، ف.، فضل‌نیا، ع.، پیرخراطی، ح؛ ۱۳۹۲؛ "بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین کروم، کبالت، نیکل و منگنز و پهنه بندی آن‌ها در آبخوان‌های شمال و شمال غرب خوی (زورآباد) توسط نرم‌افزار GIS". رسوب شناسی کاربردی، شماره ۱، ص ۴۴-۵۹.

<sup>1</sup> Ecological risk index

<sup>2</sup> Geo-accumulation index

<sup>3</sup> Contamination Factor

<sup>4</sup> Enrichment factor

<sup>5</sup> Erosion Potential Method

<sup>6</sup> Volumetric production potential

[23] Barzegar, R., Moghaddam, A. A., Adamowski, J., and Nazemi, A. H. (2019). "Assessing the potential origins and human health risks of trace elements in groundwater: A case study in the Khoy plain, Iran". Environmental Geochemistry and Health, 41(2): 981-1002.

[24] Amini, S., Rafiei, B., Khodabakhsh, S., and Heydari, M. (2010). "Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Dam drainage basin with EPM, using GIS". Iranian Journal of Earth Sciences, 2(2): 173-180.



DOI: 10.30479/jmre.2020.11617.1320

## Determination of Heavy Metal Pollution in Mineral Areas Using Erosion and Sedimentation Indices

Movahhed M.S.<sup>1</sup>, Tabatabaei S.H.<sup>2\*</sup>, Yousefi M.<sup>3</sup>

1- M.Sc Student, Dept. of Mining Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran  
movahed1995@gmail.com

2- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran  
tabatabaei@iut.ac.ir

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

(Received: 21 Sep. 2019, Accepted: 12 Feb. 2020)

**Abstract:** Heavy metals are dangerous for our environment due to their toxic and stable behavior in nature. These metals can change the chemical properties of sediments because they move from their sources, i.e., deposition sites, to stream of water. In this regard, mining activities are one of the major sources of heavy metal pollution in environments around the mines. In this study, to evaluate the risk of heavy metals (Cr, Ni, Cr, Zn, Pb&Mn) pollution, a dataset of stream sediment elemental concentration of the 1:100,000 scale Khoy quadrangle map was built. Due to the fact that the sediment data represent upstream materials of sampling locations, the sample catchment basin method was applied to portray the pollutions. Then uni-element background concentration caused by lithology was calculated by the weighted average method and was applied as a reference value for calculation of sediment quality indices such as Contamination factor, Geoaccumulation index and ecological risk factor. In order to Participation in the Integrated quality indices, the elements with multivariate statistical methods such as Pearson correlation matrix, factor analysis, and hierarchical clustering were investigated. In this research, the study of contaminated basins showed that the sources of contamination were mainly due to the geological features of the area, but in some cases, mineral and human activities were very effective in spreading the contamination. Next, to prioritize the contaminated areas amount sediment discharge was calculated for each basin and according to sediment contamination level, Volumetric production potential and sediment discharge of each basin, those contaminated areas were ranked TOPSIS method.

**Keywords:** 1:100,000 scale Khoy quadrangle map, Sample catchment basin, Erosion potential method, Ranking of contaminated areas.

### INTRODUCTION

Expanding heavy metal contaminants is a potential hazard associated with environmental and human health problems. The dispersal of pollutants from their natural reservoirs to the atmosphere, soil and water



is of most important adversely affects the human activities on the land and water ecosystem. Heavy metal pollution is hidden, persistent and irreversible. This type of contamination not only reduces the quality of water and food but also threatens the health and welfare of animals and humans through entering the food chain [1].

The waterway system is the main way of transporting heavy metals. Because it can carry heavy metals up to several hundred kilometers in its hydrological path in a short time. The waterway's sediments are known as sinks or secondary sources of pollutants due to the absorption of heavy metals. For this reason, their studies are essential in assessing heavy metal contamination [2]. Soil erosion is one of the major causes of land degradation and an environmental hazard. Soil erosion is a complex process with obvious and latent environmental impacts that is itself a threat to human health [3]. If erosion occurs in basins with heavy metal contamination, it will accelerate the distribution and dispersal process. Therefore, it is important to consider the erosion factor to identify critical basins. The purpose of this study was to evaluate sediment quality and identify potential sources of heavy metal contamination in the 1:100,000 scale Khoy quadrangle map surface sediments. Factor analysis, hierarchical clustering, and Pearson's correlation coefficient table were used to identify the major sources of heavy metals. Cf, Igeo, Ef and RI indices were used to evaluate the sediment quality, and to estimate the erosion and sedimentation rate; the EPM method was used. Then, using sediment quality indices and sedimentation rates, the TOPSIS method for contaminated basins was prioritized for further studies.

## METHODS

### Study area

The study area is situated in the northern part of the Alborz – Azerbaijan color mélange zone. 1006 stream sediment samples, taken from the area covered by the 1:100,000 scale Khoy quadrangle map, were used.

### Erosion

Equation 1 was used to calculate the volume of soil erosion in this method:

$$WSP = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5} \quad (1)$$

Where, WSP is the volume of soil erosion ( $m^3/km^2 \cdot yr$ ), H is annual rainfall (mm), Z is erosion intensity and T is coefficient of temperature, which is calculated by below function (Equation 2):

$$T = (t / 10 + 0.1)^{0.5} \quad (2)$$

Where t is the mean annual temperature ( $^{\circ}C$ ). The volume of soil erosion (WSP) in the drainage basin varied from 494 to 1190  $m^3/km^2 \cdot yr$ . The sediment production rate in this model is calculated based on the ratio of eroded material in each section of the stream to the total erosion in the whole watershed area (Equation 3):

$$RU = 4 (P \cdot D)^{0.5} / L + 10 \quad (3)$$

Where P is the circumference of the watershed, L is watershed length (km), D is the height difference in the watershed area (km). After calculation of the RU value, the spatial sediment rate is estimated by Equation 4:

$$GSP = WSP \cdot RU \quad (4)$$

Where GSP is the spatial sediment rate, WSP is the volume of special erosion, and RU is the coefficient of sedimentation [4].

### Functions of Pollution indices

The function for geo-accumulation index (Igeo) is Equation 5:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_x}{1.5 B_x} \right) \quad (5)$$

The results are divided into six different classes of quality ranging from unpolluted to extremely polluted 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 [5].

Ecological risk index (RI) is calculated using Equation 6:

$$RI = \sum_{m=1}^n T_m \frac{C_m}{C_b} \quad (6)$$

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). 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 [6].

Enrichment factor is a useful tool to determine the degree of anthropogenic heavy metal pollution. EF is calculated using the equation below,  $EF = (\text{Metal/Fe})_{\text{Sample}} / (\text{Metal/Fe})_{\text{Background}}$  [5].

## FINDINGS AND ARGUMENT

### Statistical Parameters

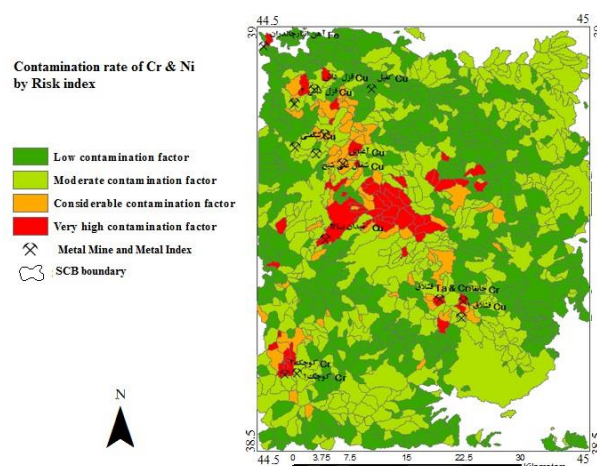
For the statistical analysis, factor analysis as a multivariate method was applied. The first factor represents the siderophile elements, which include Cr, Ni, Co, and Mg. Factors II and III often indicate chalcophile elements. The second factor presents Cu and V association. The third factor contains Fe and Mn with a positive score and Zn and Pb with a negative score. According to the plot of the first-factor score map and its comparison with the geological map, the relationship between the major faults and the geological units of the serpentinized supersaturated rocks and dunite and pillow lava. Microgabbro with the first factor is evident that represents mineralized chromite mineralization. Comparing the Second and Third Factors with the Geological Map Relationship between Sub-Unit and Unit-Geological granites, limestones, schists and amphibolites are evident with these factors that represent post-magmatic, mesosulfide and metamorphic mineralization.

### Pollution assessment

Results of chromium and nickel contamination analysis show that basins are polluted with areas containing mineral potential and known mines (Figure1). The contamination has spread in the Aland section to the southwest and northwest-southeast of the map. In the central part of the map due to the presence of quartz, feldspathic and pegmatite dykes due to the abundance of faults in the area and amphibolite, harzburgite and dunite rocks in lithology as well as Cr, Zn, Pb, Co, Cu, Y, V, Ni and Ga elements. This area has polymetallic ore deposit due to ophiolitic zone with ultramafic host rock with chromium mineralization potential. Southwest pollutants are related to the land area. In this area, intrusive masses are diabasic dykes and its rocks are micro gabbro and pillow lava. There is a spectrum of Zn, Pb, Cu, Co, Cr, Ni and Ba elements in the area indicating mesosulfide and chromium mineralization. Also, the presence of Koochak chromium mines 1 and 2 in the contaminated basins may have an important role in the spread of the contamination. The contaminated basins southeast of the map are located in Qeshlaq area. The rocks in this area are made of harzburgite and dunite. The spectra of Zn, Pb, Ni, Cr, Co, Sc, Sr, Ba, Y and Ga in this region have anomalies that may be due to intrusive masses. Several chromium indices have been identified in this area. As a result, there is a possibility of chromium deposit and probably mineral activity in this area has played an important role in spreading pollution basins. The Northwest Map contamination is located in the Ghezal Dash area. This area is located in the ophiolitic zone with ultramafic host rock, which may be a reason for chromium mineralization. The rocks of this region are amphibolite, harzburgite, and schist and have intruded through numerous faults of quartz, pegmatite, and feldspar masses and the spectrum of possible metallic mineralization of Zn, Pb, Cr, Cu, Co, Sc, Ga and Ni. It has a vein. There are several metallic indices of Aghbashi Copper, Denbaki, Ghezal Dash 1 and 2 and surprises in the area, which may help mineral activities in this area to spread pollution further. Pollution has also occurred in the Chaldaran iron mine in Anbar, which may have contributed to the spreading of the contamination by expanding the access to the external environment. Several contaminated basins are located in the eastern part of the center



of the map which may be due to the high density of the fault affected by the intrusion of granitic mass upstream of the area and the presence of low metamorphic limestones and conglomerates as well as the presence of Zn, Pb, Sr, Y, Ga, Ba, Ni, and Cr elements.



**Figure 1.** Composite contamination map of chromium and nickel based on ecological hazard index

## CONCLUSIONS

In this study, the heavy metal contamination in stream sediments was investigated. The procedure was carried out by catchment analysis and extracting the erosion and sedimentation rate of each sample, through which the amount of contamination was estimated from the extent of contamination potential in each basin. We also concluded that the elements of chromium and nickel in the regions of active mines such as Khanqah, Koochak chromium 1 and 2 and chaldoran iron ore are highly concentrated. Comparison of contamination patterns around active mining areas with other metallic indices, which are in the exploration phases, indicated the negative effect of mineral extraction programs on the spread of metal contamination. This level of pollution, in addition to environmental degradation, is a threat to the health of the miners and their host communities, and control measures should be taken to extract these mines. It has been said that the origin of Cr and Ni contamination is terrestrial, so some human activities such as inorganic activities have played an important role in spreading this contamination. Therefore, to prevent damage to the host communities of contamination, the contaminated basins were prioritized by TOPSIS methods for further studies and treatment of contamination, depending on the amount of sediment and contamination of each basin. It is recommended that further controlling programs on mining and industrial activities must be carried out in the recognized catchments.

## REFERENCES

- [1] Patel, P., Raju, N. J., Reddy, B. S. R., Suresh, U., Sankar, D. , and Reddy, T. (2018). "Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications". *Environmental Geochemistry and Health*, 40(2): 609-623.
- [2] 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.
- [3] Spalevic, V., Mahoney, W., Djurovic, N., ÜZEN, N., and Curovic, M. (2012). "Calculation of soil erosion intensity and maximum outflow from the Rovacki River Basin, Montenegro". *Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 58(3): 7-21.
- [4] Amini, S., Rafiei, B., Khodabakhsh, S. , and Heydari, M. (2010). "Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Dam drainage basin with EPM, using GIS". *Iranian Journal of Earth Sciences*, 2(2): 173-180.

- [5] Atibu, E. K., Devarajan, N., Laffite, A., Giuliani, G., Salumu, J. A., Muteb, R. C., and Mpiana, P. T. (2016). "Assessment of trace metal and rare earth elements contamination in rivers around abandoned and active mine areas". The case of Lubumbashi River and Tshamilemba Canal, Katanga, Democratic Republic of the Congo. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 76(3): 353-362.
- [6] Maftai, A. E., 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.