

## کانی‌شناسی و ژئوشیمی زیست‌محیطی فلزات بالقوه سمی در رسوبات رودخانه‌ای و ساحلی رودخانه سیاهرود، استان مازندران

فرزانه شیخی<sup>۱\*</sup>، غلامحسین شمعیان<sup>۲</sup>، رضا دهبندی<sup>۳</sup>، مجتبی کاویانپور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی نفت، دانشگاه علم و فناوری مازندران

<sup>۴</sup> پژوهشگر، دانشکده جغرافیا، علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه بیرمنگهام، انگلستان

<sup>۵</sup> کارشناس ارشد اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه کاسپین خاوری

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sheikhifar888@gmail.com

### چکیده

در این مقاله، کانی‌شناسی و غلظت فلزات بالقوه سمی در رسوبات رودخانه سیاهرود واقع در استان مازندران که در حدفاصل قائم‌شهر و جویبار جریان دارد، بررسی شده است. به علت استقرار مناطق شهری و روستایی و تمرکز واحدهای صنعتی و تخلیه پساب‌های صنعتی، بیمارستانی و رواناب‌های شهری، این رودخانه به شدت در معرض ورود آلاینده‌های مختلف قرار دارد. در این مقاله، کانی‌شناسی و ژئوشیمی زیست‌محیطی رسوبات رودخانه‌ای و ساحلی سیاهرود بررسی شد. کوارتز، فلدسپار، کلسیت و کوارتز از مهمترین اجزای کانیایی رسوبات هستند. مطالعات ژئوشیمیایی نشانگر بالا بودن غلظت کروم، مس، روی و نیکل در این رسوبات است. بررسی ضرایب همبستگی و تحلیل خوشه‌ای بیانگر منشأ مشترک برخی فلزات و نقش فعالیت‌های انسانی در غنی‌شدگی آن‌هاست. بالا بودن غلظت فلزات بالقوه سمی در رسوبات مورد مطالعه احتمالاً ناشی از فعالیتهای صنعتی، ورود فاضلاب و همچنین صنعت کشتیرانی و ماهیگیری است.

**کلیدواژه‌ها:** کانی‌شناسی، ژئوشیمی زیست‌محیطی، فلزات بالقوه سمی، سیاهرود

## Mineralogy and environmental geochemistry of potentially toxic metals in the Siahroud river and beach sediments, Mazandaran province

F. Sheikhi<sup>1\*</sup>, G.H. Shamanian<sup>2</sup>, R. Dehbandi<sup>3,4</sup>, M. Kavianpour<sup>5</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Golestan University  
sheikhifar888@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of sciences, Golestan University

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Petroleum Engineering, University of science and Technology of  
Mazandaran

4. Research Associate, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham,  
Edgbaston, B15 2TT Birmingham, United Kingdom

<sup>5</sup> Geological survey and mineral exploration of Iran

### Abstract

In this paper, the sediments of the Siahroud River, located in Mazandaran Province, were investigated. This river is subjected to extensive pollution due to its proximity to urban and rural areas, industrial activities, and the discharge of industrial and hospital waste, along with urban runoff. This study assessed the mineralogy and the levels of heavy metal contamination in the stream and beach sediments of the Siahroud. Quartz, Feldspar, calcite and dolomite are the main constituents of sediments. Geochemical analysis revealed relatively high concentrations of chromium, copper, zinc, and nickel in the sediments. Correlation coefficients and cluster analysis highlighted human activities as a common source contributing to the enrichment of specific metals. The presence of these pollutants can be attributed to industrial activities, sewage discharge, and influences from shipping and fishing industries.

**Keywords:** Mineralogy, Environmental geochemistry, Potentially toxic metals, Siahroud

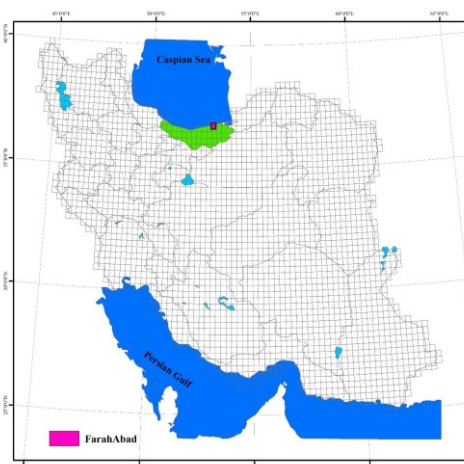
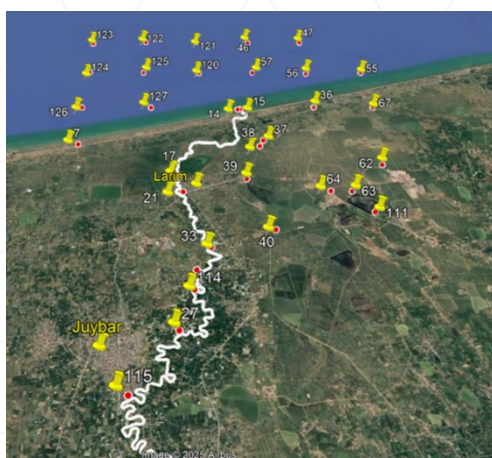
## ۱- مقدمه

رودخانه‌ها منبع اصلی آب شیرین است و هرگونه آلودگی در آن می‌تواند بر کیفیت زیست‌محیطی سایر بخش‌های طبیعت اثرگذار باشد. امروزه به علت استقرار مناطق شهری و روستایی و تمرکز واحدهای صنعتی در اطراف رودخانه‌ها، این بوم‌سازگان به شدت در معرض ورود آلاینده‌ها به ویژه آلاینده‌های فلزی قرار داشته و اگر ورود آلاینده‌ها از توان خودپالایی رودخانه بیشتر باشد هر دو بخش آب و رسوب را متاثر می‌کند. توانایی تمرکز آلاینده‌های شیمیایی در رسوبات تا ۳ برابر بیشتر از محیط‌های آبی است (بینگ و همکاران، ۲۰۱۹). فلزات بالقوه سمی پایدارترین و پیچیده‌ترین آلاینده‌ها در طبیعت بوده و به واسطه سمیت، ماندگاری بالا و تجزیه‌ناپذیری می‌توانند کیفیت اتمسفر، پیکره‌های آبی و محصولات غذایی را کاهش داده و سلامت انسان و دیگر جانداران را به خطر اندازند. از اینرو، بررسی غلظت فلزات در رسوبات بستر رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار است و شدت آلودگی و تاریخچه آنرا بهتر از محیط آبی به نمایش می‌گذارد. از طرفی، کانی‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای در بررسی منشأ رسوبات و شناخت شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی حاکم بر محیط رسوبی از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا رسوبات بستر رودخانه می‌تواند نقش مصرف‌گاه، منشاء و یا هر دو را ایفا نماید (چوی و همکاران، ۲۰۱۱).

رودخانه سیاهرود در استان مازندران، در حدفاصل قائم‌شهر و جویبار جریان دارد (شکل ۱). حوضه آبریز این رودخانه بین محدوده ساری-نکا در شرق و بابل-آمل در غرب قرار گرفته است. شاخه اصلی این رودخانه از شرق روستای پرچینک شروع شده و آبهای سطحی و زیرسطحی منطقه را تغذیه می‌کند و پس از عبور از شهرها و روستاهای متعدد در ناحیه لاریم به دریای مازندران می‌ریزد. رودخانه سیاهرود از نظر شاخص‌های کیفی و بوم‌شناختی شرایط بسیار بدتری نسبت به سایر رودخانه‌های استان مازندران دارد. در این مقاله، کانی‌شناسی و غلظت فلزات بالقوه سمی در رسوبات رودخانه سیاهرود مورد بررسی قرار گرفته و بر پایه این اطلاعات درباره منشأ کانی‌ها و ژئوشیمی زیست‌محیطی رسوبات اظهار نظر شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی زیست‌محیطی رسوبات سیاهرود در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی به انجام رسید. در بخش صحرایی، از رسوبات رودخانه‌ای و ساحلی سیاهرود در ۳۴ ایستگاه بر اساس کاربری زمین و منابع آلاینده‌گی (مانند مناطق صنعتی و مزارع کشاورزی) نمونه‌برداری به عمل آمد (شکل ۱). در ادامه، نمونه‌ها توسط الک ۶۳ میکرون الک شد و بخش عبور یافته از الک تحت بررسی‌های آزمایشگاهی قرار گرفت. مطالعات کانی‌شناسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و اندازه‌گیری غلظت فلزات بالقوه سمی به روش ICP-OES توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران (سمت راست) و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه سیاهرود (سمت چپ).

### ۳- بحث

#### کانی‌شناسی رسوبات سیاه‌رود

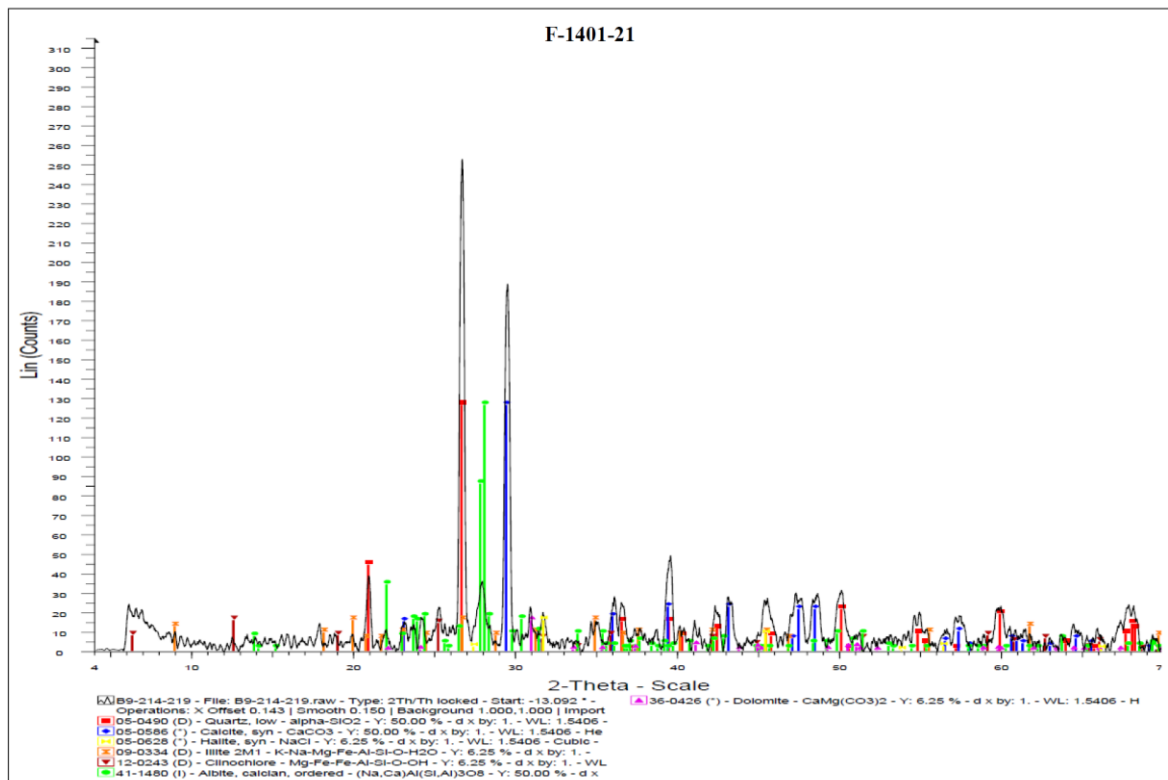
ترکیب کانی‌شناختی رسوبات رودخانه‌ای نشانگر شرایط هوازگی سنگ بستر بوده و حضور یا نبود برخی از کانی‌های خاص می‌تواند در درک این شرایط کمک کند. کانی‌های اولیه و مقاوم و کانی‌های ثانویه از مهمترین اجزا تشکیل دهنده رسوبات هستند. کانی‌های اولیه به طور عمده دارای منشا آذرین و دگرگونی و گاه رسوبی می‌باشند، در حالی که کانی‌های ثانویه بر اثر واکنش‌های دما پایین در طی فرآیندهای رسوبی یا بر اثر هوازگی کانی‌های نامقاوم اولیه پدید می‌آیند. این کانی‌ها دارای خواص مغناطیسی متفاوتی بوده و باعث ایجاد حساسیت مغناطیسی متفاوت در رسوبات می‌شوند (پریتر و همکاران، ۲۰۰۹). خصوصیات مغناطیسی رسوبات نشانگر مهمی از اطلاعات زیست محیطی است. برای مثال، رسوبات با خاصیت مغناطیسی بالا می‌توانند واجد مقادیر زیادی از بعضی عناصر سنگین باشند (هو و همکاران، ۲۰۰۷).

بررسی نتایج کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس بر روی نمونه‌های رسوبی رودخانه سیاه‌رود نشان می‌دهد که کوارتز، فلدسپار، کلسیت، و دولومیت از مهمترین کانی‌های تشکیل دهنده این رسوبات هستند (جدول ۱، شکل ۲). همچنین کانی‌های رسی از جمله کائولینیت جزو کانی‌های فرعی در بیشتر نمونه‌های مورد اندازه‌گیری بوده است.

جدول ۱ بخشی از نتایج مطالعات کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس بر روی رسوبات رودخانه‌ای و ساحلی سیاه‌رود

Sample No.	Identified Minerals
F-401-114	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL.
F-401-115	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL.
F-401-121	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + KAOLINITE (minor).
F-401-122	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + KAOLINITE + CLAY MINERAL (minor).
F-401-17	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL.
F-401-21	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + CLAY MINERAL + DOLOMITE.
F-401-27	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL.
F-401-33	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + CLAY MINERAL + KAOLINITE + DOLOMITE.
F-401-34	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + CLAY MINERAL + KAOLINITE + DOLOMITE.
F-401-37	QUARTZ + CALCITE + HALITE + FELDSPAR + CLAY MINERAL + DOLOMITE + KAOLINITE (minor).
F-401-39	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL.
F-401-40	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE.
F-401-47	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE (minor).
F-401-55	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE (minor).
F-401-57	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE (minor).
F-401-62	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE.
F-401-63	QUARTZ + CALCITE + FELDSPAR + DOLOMITE + CLAY MINERAL + KAOLINITE.





شکل ۲ نمونه‌ای از نمودارهای پراش پرتو ایکس برای شناسایی کانی‌های مجهول در رسوبات روخانه‌ای و ساحلی سیاه‌رود

کوارتز به عنوان فراوان‌ترین کانی یافت شده در نمونه‌های مورد بررسی یکی از اصلی‌ترین سازنده‌های اغلب رسوبات است، زیرا بعد از فلدسپارها، رایجترین کانی در پوسته زمین است که نسبت به هوازدهی مقاوم می‌باشد. این کانی اغلب در اندازه سیلت و ماسه در رسوبات وجود دارد. از آنجا که واحدهای سنگی حوضه آبریز سیاه‌رود به طور عمده از طبقات ماسه‌سنگی و کنگلومرایی تشکیل شده، لذا می‌توان نقش فرسایش آبی را در شسته شدن ذرات کوارتز از این واحدها و حمل به مناطق پست تر و دشت، موثر دانست.

بعد از کوارتز، فلدسپارها بیشترین حضور را در کانی‌های اولیه تشکیل دهنده رسوبات دارند. بیشتر فلدسپارها با اندازه سیلت بر روی سنگ مادرهای با فلدسپار بالا ایجاد می‌شوند (آلن و هاجک، ۱۹۸۹). علاوه بر طبقات ماسه سنگی و کنگلومرایی، حضور دایک‌های دیوریتی در سنگ‌های بالادست حوضه آبریز سیاه‌رود نقش مهمی به عنوان سنگ مادر این کانی‌ها بر عهده دارند. از اینرو، وجود مقادیر زیاد پلاژیوکلاز و فلدسپار در رسوبات مورد مطالعه طبیعی به نظر می‌رسد. در نتیجه هوازدهی در این نوع نمونه‌ها، امکان رهاسازی عناصر سنگین زیاد است.

کلسیت و دولومیت رایجترین کانی‌های کربناتی در رسوبات مختلف هستند. یکی از مشکلات اساسی در مورد منشأ کانی‌های کربناتی در رسوبات، تشخیص اولیه و یا ثانویه بودن آن‌ها است (دونر و لین، ۱۹۸۹) که بر اساس مطالعات مورفولوژی میدانی، عناصر ایزوتوپی و میکرومورفولوژی تشخیص آن امکان‌پذیر است. کربنات‌های خاک‌زاد تقریباً همیشه به صورت تجمعی از بلورهای کلسیت در اندازه سیلت هستند و انواع ریز بلور هم به راحتی توسط مطالعات میکروسکوپی مقطع نازک قابل شناسایی اند. برای تشخیص کلسیت خاک‌زاد از نوع زمین زاد (ناشی از واحدهای زمین‌شناسی) می‌توان از میکروسکپ‌های فلورسانس و کاتدولومینسانس استفاده کرد (خرمائی و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به رخمون واحدهای کربناتی در حوضه آبریز سیاه‌رود،

کلسیت و دولومیت از سازنده‌های اصلی رسوبات رودخانه سیاهرود هستند. کانی‌های رسی از دیگر اجزای سازنده رسوبات مورد مطالعه‌اند که با فراوانی کم حضور دارند. (شوارتمن و تیلور، ۱۹۸۹).

#### ژئوشیمی زیست‌محیطی عناصر بالقوه سمی رسوبات سیاهرود

فلزات بالقوه سمی در زمره خطرناک‌ترین آلاینده‌ها قرار دارند زیرا از پتانسیل سرطان‌زایی، جهش‌زایی، قابلیت انباشت و زیست‌پایستاری ویژه‌ای برخوردارند. فلزات بالقوه سمی از راه‌هایی چون غذا، آب و هوا وارد بدن موجودات می‌شود. فلزات بلعیده شده توسط یک جاندار از راه شبکه غذایی به سطوح غذایی بالاتر می‌رود و طی این مسیر می‌تواند انباشت زیستی یابد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). رسوبات به عنوان یکی از مخازن اصلی آلاینده‌ها نقش مهمی در تعیین کیفیت محیط‌زیست دارند به همین دلیل تحلیل غلظت فلزات بالقوه سمی در رسوبات اطلاعات ارزشمندی درباره سطح آلودگی و منابع احتمالی آن فراهم می‌کند. در این بخش داده‌های ژئوشیمیایی فلزات بالقوه سمی شامل کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و روی (Zn) در رسوبات سیاهرود از طریق آنالیزهای آماری مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲).

بررسی غلظت کروم در نمونه‌های مورد مطالعه از ۴۴ تا ۱۵۰ بخش در میلیون (ppm) متغیر است و مقدار میانگین آن (۹۰/۷۰ ppm) بیشتر از مقدار زمینه گزارش شده در شیل میانگین جهانی (۴۱/۶ ppm) است که می‌تواند نشانه‌ای از ورود این عنصر از منابع آلاینده باشد.

غلظت فلز مس در رسوبات مورد مطالعه از ۷ تا ۴۵ ppm در تغییر است. میانگین این عنصر در رسوبات مورد مطالعه ppm ۲۵/۳۸ و انحراف معیار آن ppm ۱۱/۴۷ است (جدول ۲).

جدول ۲ آماره‌های توصیفی فلزات بالقوه سمی در رسوبات سیاهرود

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
		Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Cr	34	44.00	150.00	90.7059	19.93707	.439	.403	1.604	.788
Cu	34	7.00	45.00	25.3824	11.47333	-.139	.403	-1.167	.788
Mn	34	510.00	1391.00	830.3529	282.37026	.687	.403	-1.003	.788
Ni	34	19.00	136.00	47.2353	21.46323	2.252	.403	7.994	.788
Pb	34	20	27	20.65	1.515	2.922	.403	9.289	.788
Zn	34	41.00	140.00	86.0294	27.75159	.352	.403	-.786	.788
Valid N (listwise)	34								

میانگین غلظت منگنز در رسوبات مورد مطالعه برابر ppm ۸۸۲/۵۵ است. مقدار حداقل برابر ppm ۵۱۰ و حداکثر ppm ۱۳۹۱ می‌باشد. انحراف معیار داده‌ها ppm ۲۶۵/۲۷ است که بیانگر پراکندگی نسبتاً زیاد در داده‌ها است. بر اساس داده‌های آماری، میانگین غلظت نیکل در رسوبات مورد مطالعه برابر ppm ۴۵/۳ است.

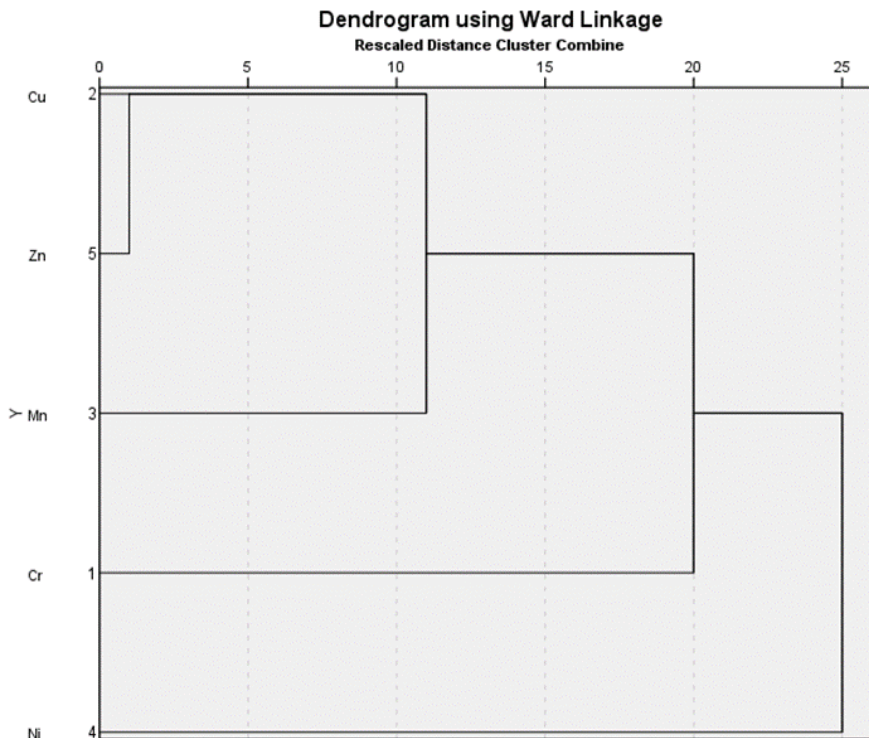
نیکل دارای مقدار حداقل ppm ۱۹ و حداکثر ppm ۱۳۶ بوده و انحراف معیار ppm ۲۳/۶ برای این عنصر نشان دهنده پراکندگی قابل توجه در نمونه‌ها است. بالا بودن غلظت نیکل نسبت به متوسط جهانی می‌تواند ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، کانی‌های فرابازی، یا اثرات انسانی باشد.

به طور کلی، غلظت سرب در نمونه‌های مورد مطالعه از حد تشخیص دستگاه (۲۰ ppm) و استانداردهای جهانی کمتر است که بیانگر بی‌اهمیت بودن اثرات زیست‌محیطی آن است. غلظت روی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۴۱ تا ۱۳۳ بخش در میلیون تغییر است (جدول ۲). داده‌ها دارای توزیع نسبتاً نرمال بوده و پراکندگی آن‌ها در مقایسه با سایر فلزات پایین است. مقایسه

مقدار روی با استانداردهای زیست‌محیطی سازمان بهداشت جهانی نشان داد که تمامی نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار داشته و از نظر آلودگی به روی، در وضعیت منطقه مطلوب ارزیابی می‌شوند.

بررسی ضرایب همبستگی بین داده‌های ژئوشیمیایی نشانگر بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنادار بین مس و روی است که بیانگر منشأ مشترک یا رفتار ژئوشیمیایی مشابه این دو عنصر در محیط مورد مطالعه است. بین کروم و روی نیز همبستگی مثبت و معنادار وجود دارد. منگنز نیز با مس و روی همبستگی معنادار نشان می‌دهد. در مقابل، ضریب همبستگی بین نیکل با سایر فلزات بسیار پایین و فاقد معناداری آماری بوده که ممکن است بیانگر منشأ متفاوت یا رفتار ژئوشیمیایی مستقل آن باشد. به طور کلی، روابط معنادار مشاهده شده بین کروم، روی، مس و منگنز می‌تواند دلالت بر منشأ مشترک، فرآیندهای انتقال مشابه یا منبع آلودگی مشابه برای این فلزات باشد.

بر اساس نتایج تحلیل خوشه‌ای، عناصر بالقوه سمی مورد بررسی در چهار گروه اصلی طبقه‌بندی شدند (شکل ۳). مس و روی نزدیکترین ارتباط را با یکدیگر نشان داده و در یک خوشه مشترک قرار دارند که بیانگر منشأ مشابه و عمدتاً انسانی (نظیر پساب‌های شهری و فعالیت‌های صنعتی) است. منگنز در مرحله بعد به این خوشه افزوده شده و نشان می‌دهد این عنصر علاوه بر منشأ زمین‌زاد، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نیز قرار دارد. کروم در فاصله دورتری به این گروه ملحق شده که حاکی از منشأ غالباً زمین‌زاد آن می‌باشد. در نهایت، نیکل در فاصله بیشتری از سایر عناصر قرار گرفته و به عنوان عنصری مستقل‌تر خوشه‌بندی شده که منشأ آن بیشتر به ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ بستر منطقه وابسته است. این نتایج، بیانگر آن است که تلفیقی از عوامل انسانی و زمین‌زاد در کنترل غلظت فلزات بالقوه سمی نقش دارد. با این حال، عناصر مس و روی بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد و عناصر نیکل و کروم بیشتر تحت کنترل فرایندهای زمین‌زاد قرار گرفته‌اند.



شکل ۳ نمودار خوشه‌ای سلسله مراتبی عناصر بالقوه سمی در رسوبات سیاه‌رود



#### ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی، کوارتز، فلدسپارها، کلسیت و دولومیت مهمترین کانی‌های سازنده رسوبات سیاهرود می‌باشند. این کانی‌ها به طور عمده از نوع اولیه بوده و بر اثر هوازدگی و فرسایش آبی سنگ‌های رخنمون یافته در حوضه آبریز سیاهرود به محیط‌های پست و دشت انتقال یافته‌اند. این کانی‌ها به همراه مقادیر کمتری از کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن با توجه به ترکیب شیمیایی خود و نیز تاثیر بر شیمی آب و پدیده‌هایی مانند جذب-واجذب می‌توانند باعث رهاسازی یا جذب فلزات بالقوه سمی در محیط خاک شوند.

از نظر ژئوشیمیایی، غلظت کروم، مس، روی و نیکل بالاتر از مقادیر زمینه جهانی بوده و بیانگر تاثیر منابع انسانی در کنار منشا زمین‌زاد این عناصر است. همبستگی مثبت بین کروم، مس و روی نشان دهنده نقش غالب فرآیندهای انسان‌زاد در غنی‌شدگی این عناصر است. در مقابل، عناصری که همبستگی ضعیف‌تری با سایر فلزات نشان داده‌اند اغلب دارای منشأ زمین‌زاد هستند.

نتایج تحلیل خوشه‌ای بیانگر آن است که عناصر قرار گرفته در یک خوشه، دارای منشأ و الگوی رفتاری مشابهی هستند. به طور مشخص، عناصری مانند کروم، مس و روی که مقادیر بالاتری از شاخص‌های آلودگی را نشان می‌دهند، در یک خوشه مشترک قرار گرفته‌اند. این همپوشانی بیانگر آن است که افزایش غلظت این عناصر احتمالاً تحت تاثیر منابع انسانی مشترک نظیر رواناب‌های شهری، فعالیت‌های کشاورزی و تخلیه پساب‌ها بوده است که در سایر مطالعات مشابه مانند وانگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده شده است.

#### ۵- مراجع

- Allen, B.L. and Hajek, B.F., 1989. Mineral occurrence in soil environment, In: Dixon, B & Weed, S.B. (Eds), Mineral in soil environment, Soil Society of America, pp. 199-278.
- Bing, H., Zhou, J., Wu, Y., Wang, X., Sun, H., Li, R., 2019. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir, China. Environmental Pollution 214, 485–496.
- Choi, K.Y., Kim, S.H., Hong, G.H., Chon, H.T. 2011. Distributions of heavy metals in the sediments of South Korean harbors. Environ Geochem Health 34. 71–82, doi. org/10.1007/s10653- 011- 9413-3.
- Doner, H.E. and Lynn, W.C., 1989. Sulfate and sulfide minerals, In: Dixon, B & Weed, S.B. (Eds), Mineral in soil environment, Soil Society of America, pp. 279-330.
- Hu, X.F., Su, Y., Ye, L.X.Q., Zhang, G.L., 2007. Magnetic properties of the urban soils in Shanghai and their environmental implication, Catena, Vol. 70, pp. 428-436.
- Khormali, F., Abtahi, A., Stoops, G., 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran, Geoderma, Vol. 132, pp. 31–46.
- Preetz, H., Altfelder, S., Hennings, V., Igel, J., 2009. Classification of soil magnetic susceptibility and prediction of metal detector performance – case study of Angola, Proc. of SPIE, Vol. 7303 730313, pp. 1-13.
- Schwertmann, U. and Taylor, R.M., 1989. Iron oxides, In: Dixon, B & Weed, S.B. (Eds), Mineral in soil environment, Soil Society of America, pp. 379-438.
- Wang, J., Xu, C., & Li, P. (2021). Multivariate statistical analysis of heavy metals in sediments for source apportionment. Science of the Total Environment, 750, 142267.