

## بررسی غنی شدگی فلزات سنگین ناشی از کانسار مس سونگون در رسوبات آبراهه‌ای

کبری اسماعیلی<sup>۱</sup>؛ فرید مَر<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، [esmaeili.mgeo@gmail.com](mailto:esmaeili.mgeo@gmail.com)

۲- استاد زمین شناسی اقتصادی، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

(دریافت ۲۲ خرداد ۱۳۹۰، پذیرش ۱۱ دی ۱۳۹۰)

### چکیده

کانسار مس پورفیری سونگون در استان آذربایجان شرقی و در ۷۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان اهر واقع شده است. به علت فعالیت‌های معدنکاری، رودخانه‌های این منطقه (سونگون چای، پخیرچای، ایلگینه چای و زرنکاب چای) در معرض آلودگی به فلزات بالقوه سمی از جمله Cu، Mo، Pb، Zn و Ni قرار دارند. به همین دلیل برای تعیین میزان آلودگی رسوبات این رودخانه‌ها به فلزات سنگین، ۲۷ نمونه رسوب از رودخانه‌های محدوده کانسار مس سونگون مورد ارزیابی زمین شیمیایی قرار گرفت و مشخص شد که غلظت عناصر Cu، Mo، Pb، Zn و Ni در رسوبات بیش از حد مجاز (غلظت زمینه محلی این عناصر در رسوبات رودخانه‌های منطقه سونگون) است. محاسبه ضریب همبستگی عناصر نشان داد که عناصر Cu، Mo، Ni با آهن و عناصر Pb و Zn با منگنز همبستگی مثبت دارند. همچنین نتایج بدست آمده از محاسبه ضریب غنی شدگی (EF)، ضریب زمین انباشت (Igeo)، ضریب آلودگی (CF) و ضریب بار آلودگی (PLI) برای نمونه‌های رسوب، تأییدکننده غلظت‌های بالای این فلزات است.

### کلمات کلیدی

کانسار مس پورفیری سونگون، فلزات سنگین، ضریب غنی شدگی، ضریب آلودگی.

## ۱- مقدمه

در چند دهه اخیر به طور تدریجی توجه مردم به حفظ کیفیت محیط زیست افزایش یافته است و این توجه، طراحی و فعالیت‌های معدنکاری را تحت تأثیر قرار داده است [۱]. در گذشته به دلیل اینکه احیای محل معدنکاری در برنامه ریزی معادن گنجانده نمی‌شد و توجه به محیط زیست همچون امروز مطرح نبود، به نقش تخریبی فعالیت‌های معدنی بر روی محیط زیست نیز توجه نمی‌شد. فلزات سنگین به دلیل مشکلات دسترس پذیری زیستی و سمناکی از آلاینده‌های مهم و خطرناک محیط زیست به شمار می‌آیند. معادن فلزی و فعالیت‌های معدنکاری یکی از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در بوم سامانه‌های محلی هستند، پساب خروجی فرآوری معدنی که در رودها و رودخانه‌ها جریان می‌یابد می‌تواند فلزهای سنگین بالقوه سمی را حمل کند [۲]. بر اساس فرایندهای هیدرودینامیکی و زیست زمین شیمیایی و شرایط زیست محیطی رودخانه‌ها (پتانسیل رد اکس، pH، شوری و دما)، رسوبات به عنوان مصرف‌گاہ مهم فلزات سنگین در سامانه‌های آبی شناخته شده‌اند ولی با تغییر در شیمی رسوبات می‌توانند فلزات و آلاینده‌ها را به آب روی رسوب خود انتقال داده و با تحرک دوباره آلاینده‌ها در بوم سامانه، به عنوان منبع آلودگی عمل کنند [۳]. از طرف دیگر فلزات سنگین باقی مانده در رسوبات آلوده می‌توانند در ریز اندامگان‌ها از جمله زیا و گیا جمع یافته و در نتیجه به زنجیره غذایی راه پیدا کرده و در نهایت ممکن است حیات موجودات زنده و بوم سامانه را به خطر بیندازند [۴]. به همین دلیل تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات برای ارزیابی کیفیت محیط زیست ضروری است. کانسار پورفیری مس سونگون، دومین کانسار مهم مس در ارتباط با نفوذی‌های کالک آلکان در کمربند فلززایی سهند- بزمان است. از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های فلزی و غیر فلزی در محدوده کانسار مس سونگون گستردگی زیادی دارند و عملکرد فرآیندهای هوازدگی در این منطقه، شرایط مناسبی را برای فرو پاشی کانی‌ها و رها شدن فلزات سنگین در منابع آب و رسوب منطقه و انتقال آنها به چرخه زیست زمین شیمیایی مهیا کرده است. با توجه به اینکه کانسار سونگون یکی از طرح‌های بزرگ معدنی کشور است و تاکنون مطالعات زیست محیطی جامعی بر روی منطقه انجام نشده است بررسی آثار زیست محیطی حاصل از آزاد سازی عناصر فلزی سنگین در منابع رسوبات رودخانه‌ای منطقه ضروری است. در این پژوهش سعی شده است

میزان غنی شدگی و آلودگی برخی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌های محدوده کانسار مس سونگون با استفاده از پارامترهای کیفی و آماری تعیین شود.

## ۲- بحث

## ۲-۱- مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

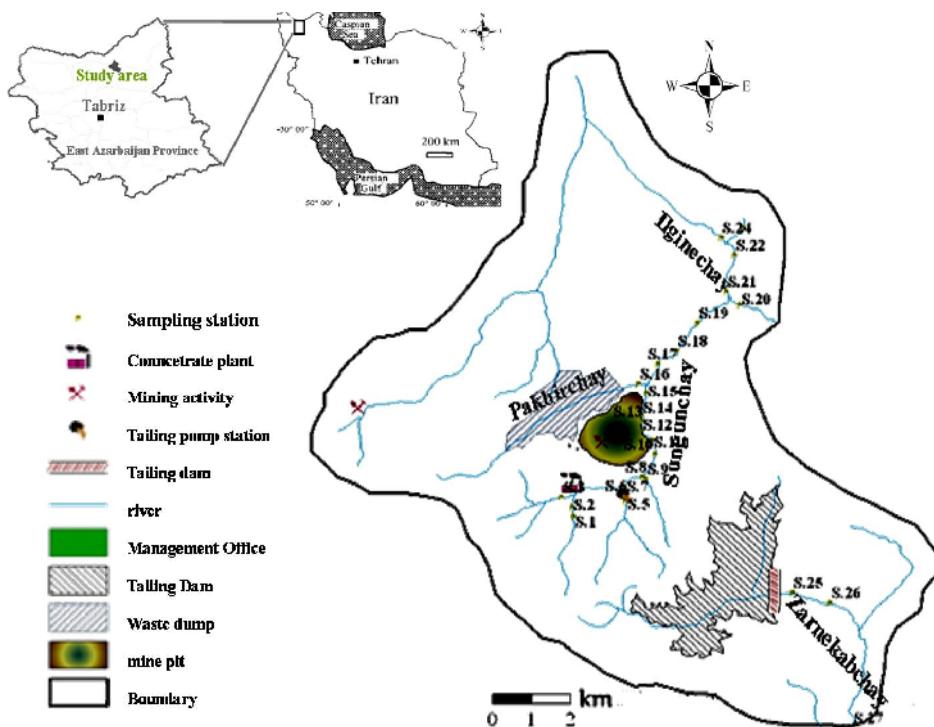
کانسار مس پورفیری سونگون در استان آذربایجان شرقی با طول جغرافیایی  $43^{\circ} 46'$  و عرض جغرافیایی  $38^{\circ} 43'$  در شمال غربی ایران در ۱۰۰ کیلومتری تبریز و ۷۵ کیلومتری اهر واقع شده است (شکل ۱). این کانسار در منطقه ای کوهستانی (رشته کوه‌های قره داغ) و در محل تقاطع رودخانه‌های پخیرچای و سونگون‌چای واقع شده است. از مهمترین رودخانه‌های جاری در محدوده این کانسار می‌توان به رودخانه‌های سونگون‌چای، پخیرچای، ایلگینه چای و زرنکاب‌چای اشاره کرد. کومه باطله سونگون بر روی رودخانه پخیرچای و سد رسوب‌گیر مجتمع سونگون بر روی رودخانه زرنکاب‌چای واقع شده است (شکل ۱). مرتفع ترین نقطه در این منطقه دارای ارتفاعی حدود ۲۷۰۰ متر و پست‌ترین نقطه دارای ارتفاع ۱۶۴۵ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب توپوگرافی در محدوده توده حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه به سمت رودخانه سونگون چای و پخیرچای است که هنگام بارندگی، بیشتر بارش در امتداد دره‌ها به این رودخانه وارد می‌شود. رودخانه ایلگینه‌چای از پیوستن رودخانه‌های سونگون‌چای و پخیرچای بوجود می‌آید و سپس به رودخانه آراز (ارس) و سرانجام به دریاچه خزر می‌ریزد. این کانسار دومین ذخیره مهم مس همراه با سنگ‌های نفوذی کالک آلکان در کمربند ولکانیکی سهند- بزمان است و دارای  $500 \text{ Mt} >$  کانسنگ سولفیدی با عیار  $0.76\% \text{ Cu}$  و  $0.1\% \text{ Mo}$  است (براساس عیار سنجی صورت گرفته توسط کارشناسان مجتمع مس سونگون). توده نفوذی پورفیری در منطقه ای نفوذ کرده است که در شمال آن سازندهای کرتاسه و به طرف جنوب سنگهای آتشفشانی ائوسن رخنمون دارند. بخشی از ذخیره مس در تماس توده نفوذی سونگون با آهکهای کرتاسه به صورت اسکارن درآمده است [۵]، شکل (۲).

## ۲-۲- نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

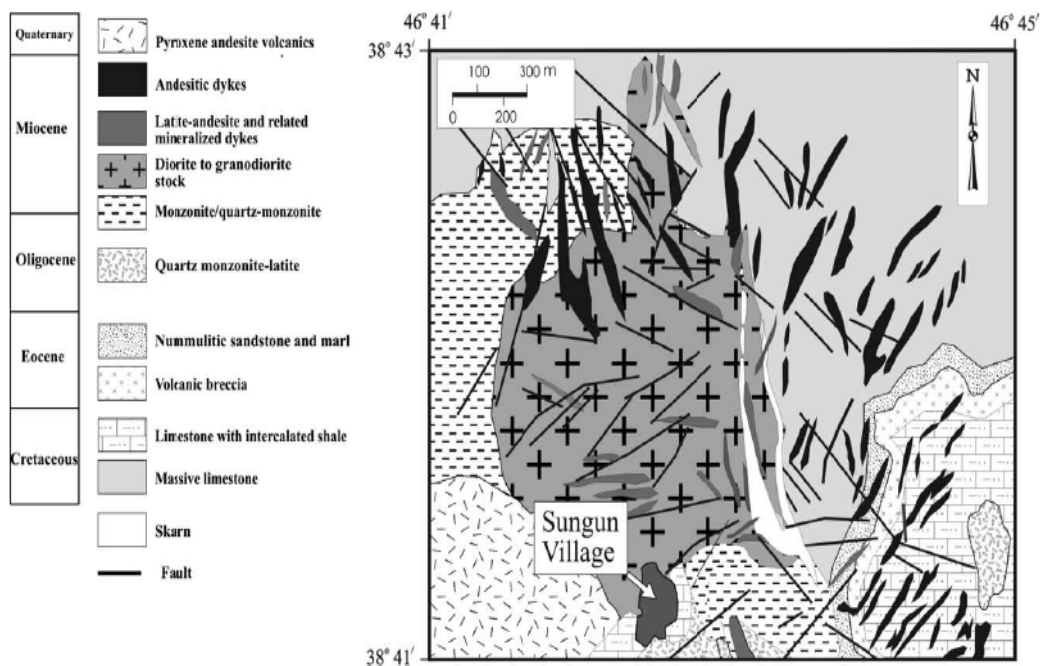
نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه‌های محدوده کانسار سونگون در مردادماه ۱۳۸۷ از ۲۷ ایستگاه انجام شد. نقاط نمونه برداری رسوب در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه- برداری رسوبات سطحی (۵-۰) با بیلچه پلاستیکی انجام

نمونه‌ها، ذرات کوچکتر از  $0.63 \mu\text{m}$  میکرون توسط الک جدا و برای تجزیه عناصر سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال شدند.

شد و نمونه‌ها درون نایلون‌های پلاستیکی ضخیم نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق به‌طور کامل خشک شدند. از آنجا که کانی‌های رسی و ذرات ریزدانه توانایی زیادی در جذب عناصر سنگین دارند پس از اطمینان از خشک شدن



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه برداری رسوب.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناختی واحدهای معدنی کانسار مس سونگون [۱].

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad (1)$$

ضریب بار آلودگی نیز از فرمول زیر محاسبه می شود [۷]،  
[۸]:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n} \quad (2)$$

که در آن

CF: ضریب آلودگی

n: تعداد فلزات

Csample: غلظت عنصر در نمونه

Cbackground: غلظت عنصر در نمونه زمینه است.

اگر  $CF > 1$  باشد نشان دهنده وجود آلودگی در رسوبات است و اگر  $CF < 1$  باشد به این معنی است که آلودگی عنصری وجود ندارد [۹]. برای رسوبات رودخانه‌های محدوده کانسار مس سونگون ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی با در نظر گرفتن نمونه S.1 به عنوان نمونه زمینه محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است.

## ۲-۳- بررسی‌های کیفی و مطالعات آماری نمونه‌ها

نتایج بدست آمده از آنالیز نمونه‌های رسوب نشان داد که غلظت کل فلزات در جزء کوچکتر از ۰/۶۳ میکرون بسیار متغیر است و گستره آن برای عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، نیکل و کروم در ایستگاه‌های نمونه برداری به صورت زیر است (بر حسب mg/kg):

Cu: ۴۵/۷۰-۱۱۰۰۰, Mo: ۱/۴۸- ۷۵۰/۱۸

Pb: ۲۰/۱۶-۱۱۴۵/۷۸, Zn: ۴۱/۹۰-۶۸۰/۱

Ni: ۲۷/۷-۹۳/۳۰, Cr: ۸/۱-۴۸/۴۶

میانگین غلظت فلزات سنگین (Cu, Mo, Pb, Zn, Ni) و

(Cr) در رسوبات رودخانه‌های منطقه سونگون (سونگون چای، ایلگینه چای و زرنکاب چای) و غلظت زمینه این فلزات در جدول (۱) آورده شده است.

## ۲-۳-۱ ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی

ضریب آلودگی از تقسیم غلظت عنصر در نمونه برداشته شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه بدست می آید و بیانگر میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین است [۶].

جدول ۱: غلظت میانگین (mg/kg)، غلظت زمینه (mg/kg) و ضریب آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌های منطقه.

عنصر	غلظت میانگین			غلظت زمینه	ضریب آلودگی		
	سونگون چای	ایلگینه چای	زرنکاب چای		سونگون چای	ایلگینه چای	زرنکاب چای
Cu	۱۶۹۸/۸۳	۵۷۹/۰۶	۸۵/۲۵	۸۵/۶۹	۶/۷۶	۰/۹۹	
Mo	۱۲۵/۸۷	۶۳/۱۰	۱۱/۳۵	۵/۷۳	۱۱/۰۱	۱/۹۸	
Pb	۷۷/۰۱	۶۶/۴۴	۴۵/۳۹	۴۲/۷۵	۱/۵۵	۱/۰۶	
Zn	۹۱/۰۸	۸۰/۶۷	۷۵/۶۹	۸۹/۶۰	۰/۹۰	۰/۸۴	
Ni	۵۹/۸۹	۴۹/۳۰	۴۴/۵۰	۳۵/۲۰	۱/۴۰	۱/۱۸	
Cr	۲۲/۴۱	۲۲/۶۷	۳۳/۴۳	۳۳/۳۰	۰/۶۸	۱/۰۰	
PLI					۲/۰۵	۱/۱۱	

مربوط به بالادست سونگون چای (نمونه 1) به عنوان نمونه زمینه انتخاب شد.

علاوه بر ضریب غنی شدگی، ضریب زمین انباشت ( $I_{geo}$ ) که برای اولین بار توسط مولر در ۱۹۷۹ عنوان شد و اندیس مولر نامیده می‌شود نیز برای ارزیابی تجمع عناصر در رسوبات رودخانه‌های منطقه، مورد استفاده قرار گرفت.

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

که در آن  $C_x$  غلظت اندازه‌گیری شده عنصر در نمونه و  $B_x$  غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است، ضریب ۱/۵ نیز برای

## ۲-۳-۲ ضریب غنی شدگی و ضریب زمین انباشت

برای ارزیابی تأثیرات انسان‌زاد احتمالی از ضریب غنی‌شدگی فلزات استفاده شد؛ ضریب غنی‌شدگی بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی (اغلب انسان زاد) بر رسوبات است [۱۰]، [۱۱] و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{\left( \frac{X}{Re} \right)_{Sample}}{\left( \frac{X}{Re} \right)_{Background}} \quad (3)$$

در اینجا Re عنصر مرجع و X عنصر مورد نظر است. در این پژوهش از Fe به عنوان عنصر مرجع استفاده شد و نمونه

جدول ۲: ضریب غنی‌شدگی و زمین‌انباشت عناصر محاسبه شده برای رسوبات منطقه.

سונگون چای	ایلگینه چای	زرنگاب چای	EF
۷/۹۵	۵/۳۷	۱/۳۲	Cu
۹/۰۹	۸/۵۱	۲/۶۸	Mo
۱/۲۷	۱/۲۴	۱/۴۳	Pb
۰/۷۱	۰/۷۳	۱/۱۴	Zn
۱/۱	۱/۱۶	۱/۵۹	Ni
۰/۵	۰/۵۹	۱/۳۵	Cr
$I_{geo}^a$			
۲/۶۰ (۳)	۲/۰۵ (۳)	۰/۶۸ (۰)	Cu
۲/۶۴ (۳)	۲/۵۹ (۳)	۰/۳۹ (۱)	Mo
۰/۰۳ (۱)	۰/۰۶ (۰)	۰/۵۵ (۰)	Pb
۰/۶۳ (۰)	۰/۷۸ (۰)	۰/۸۷ (۰)	Zn
۰/۰۹ (۱)	۰/۱ (۰)	۰/۳۸ (۰)	Ni
۱/۳۱ (۰)	۱/۲۱ (۰)	۰/۵۹ (۰)	Cr

(a) مقادیر داخل پرانتز، گروه‌های ضریب زمین‌انباشت هستند.

۰: غیرآلوده (گروه ۱)

۱-۰: غیرآلوده تا آلودگی متوسط (گروه ۲)

۲-۱: آلودگی متوسط (گروه ۳)

۳-۲: آلودگی متوسط تا شدید (گروه ۴)

۴-۳: آلودگی شدید (گروه ۵)

۵-۴: آلودگی به شدت زیاد (گروه ۶)

۵<: به شدت آلوده (گروه ۷)

جدول ۳: ضریب همبستگی عناصر در رسوبات منطقه.

	Cu	Mo	Pb	Zn	Ni	Cr	Fe	Mn	Mg	Al	Co	Cd	Ag
Cu	1												
Mo	.909**	1											
Pb	0.149	-0.093	1										
Zn	0.097	-0.162	.971**	1									
Ni	-0.065	-0.087	0.116	0.1	1								
Cr	-.403*	-.469*	-0.125	0.049	-0.262	1							
Fe	.918**	.947**	-0.051	-0.057	-0.099	-0.317	1						
Mn	-0.341	-.476*	0.297	.430*	0.011	0.258	-0.272	1					
Mg	-.447*	-.511**	-0.139	0.036	-0.304	.907**	-0.362	.440*	1				
Al	-0.335	-.447*	-0.09	0.064	-0.337	.940**	-0.306	0.287	.911**	1			
Co	0.001	0.06	-0.017	-0.101	.878**	-.602**	-0.021	-0.034	-.545**	-.629**	1		
Cd	0.223	0.032	.470*	.487*	0.317	-.389*	0.156	.641**	-0.293	-0.326	0.361	1	
Ag	.449*	0.21	.903**	.839**	0.289	-0.356	0.213	0.077	-0.371	-0.296	0.209	.488*	1

برداری رسوب را بر اساس بار عنصری در دو شاخه اصلی A و B قرار می‌دهند که شاخه B خود به دو زیرشاخه B1 و B2 تقسیم می‌شود. ترتیب میزان بار فلز سنگین در شاخه‌های مختلف به این صورت است:  $A > B_1 > B_2$  که با نتایج محاسبه ضریب بارآلودگی برای ایستگاه‌های نمونه برداری همخوانی کامل دارد.

حذف تغییرات احتمالی زمینه به علت تأثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌شود [۱۲].

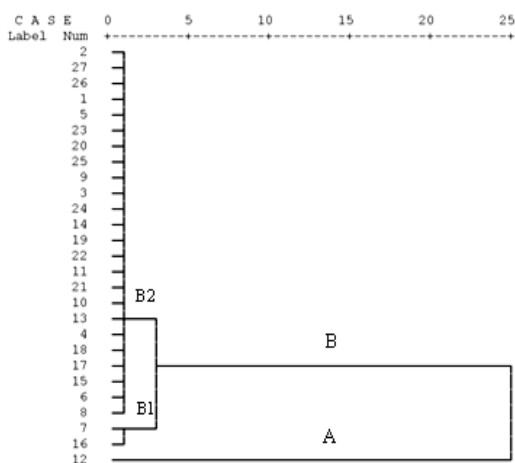
ضریب مولر دارای ۷ گروه (Class) است که بر اساس مقادیر آن رسوبات از غیر آلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند، جدول (۲).

### ۲-۳-۳ ارتباط بین عناصر

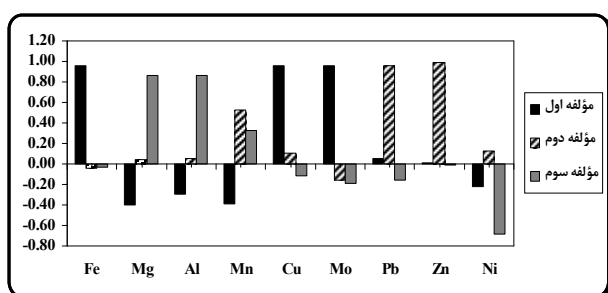
ضرایب همبستگی، میزان ارتباط بین دو متغیر را بیان می‌کند برای رسوبات منطقه سونگون نیز همبستگی بین عناصر تعیین و نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است.

بیشترین ضریب همبستگی بدست آمده از آزمون همبستگی پیرسون برای جفت عناصر Cu-Mo, Cu-Fe, Pb-Cu, Cu-Mo, Cu-Fe, Pb-Zn, Pb-Ag, Zn-Ag, Ni-Co, Cr-Mg, Cr-Al قابل توجه این است که آلومینیوم با هر سه عنصر مس، مولیبدن و سرب همبستگی منفی دارد، همچنین عناصر Cu, Mo و Ni با آهن و عناصر Pb, Zn, Cr با منگنز همبستگی مثبت دارند. ضریب همبستگی متفاوت این عناصر با آهن و منگنز می‌تواند نشان دهنده جذب متفاوت این عناصر توسط اکسید و هیدروکسیدهای آهن- منگنز باشد.

همچنین به منظور تدوین مناطق همگن از نظر غلظت عناصر سنگین (درجه آلودگی)، از آنالیز خوشه‌ای به روش Average Linkage (Between Group) استفاده شد و بر اساس فاصله اقلیدوسی نمودار درختی مربوط به ایستگاه‌های نمونه برداری رسوب رسم شد شکل (۳). نتایج بدست آمده از آنالیز خوشه‌ای بر روی رسوبات منطقه، ایستگاه‌های نمونه



شکل ۳: نمودار درختی ایستگاههای نمونه برداری رسوب.



شکل ۴: نمودارهای افزودگی و کاهش بارگذاری مؤلفه‌های تحلیل عاملی برای عناصر مورد مطالعه.

جدول ۴: نتایج تجزیه و تحلیل عاملی نمونه‌های رسوب.

	مجموع مربعات بارگذاری‌های استخراج شده			مجموع مربعات بارگذاری‌های چرخیده شده		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
مؤلفه اول	۳/۸۷۳	۴۳/۰۳۷	۴۳/۰۳۷	۳/۱۷۹	۳۵/۳۲۳	۳۵/۳۲۳
مؤلفه دوم	۲/۲۲۱	۲۴/۶۸۲	۶۷/۷۱۹	۲/۲۵۲	۲۵/۰۲۸	۶۰/۳۵۱
مؤلفه سوم	۱/۵۵۸	۱۷/۳۱۱	۸۵/۰۳۰	۲/۲۲۱	۲۴/۶۷۹	۸۵/۰۳۰

سرب، روی (در رسوبات سونگون چای) و نیکل بالاتر از ۱ است که نشان دهنده غلظت‌های بالای این عناصر و تأثیر عوامل انسان زاد علاوه بر عوامل طبیعی بر غلظت این عناصر است. به جز کروم بیشترین ضریب آلودگی عناصر به ترتیب مربوط به نمونه‌های سونگون چای، ایلگینه چای و زرنکاب چای است. همچنین ضریب بار آلودگی محاسبه شده برای عناصر مذکور در رسوبات هر سه رودخانه بالاتر از ۱ بوده که در سونگون چای بیشتر از ایلگینه چای و زرنکاب چای است.

از عوامل انسان زاد موجود در منطقه می‌توان به ورودی پساب کارخانه تغلیظ به سونگون چای، قرارگیری کومه باطله بر روی پخیرچای که در ادامه بر رسوبات سونگون چای و ایلگینه چای تأثیر می‌گذارد و احداث سد رسوبگیر بر روی زرنکاب

تحلیل عاملی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و چرخش واریمکس (Varimax) بر روی عناصر مختلف در نمونه‌ها انجام شد. نمودار سه بعدی مربوط به این تجزیه در شکل (۴) ارائه شده است.

مقادیر بارگذاری بیش از ۰/۵ برای هرکدام از پارامترها نشان‌دهنده منشأ مشترک و تأثیرگذاری فرایندهای زمین شیمیایی زمین زاد و در بعضی مواقع انسان زاد مشابه برای آن-ها است. در این پژوهش، ۳ مؤلفه اصلی اول یا PC، ۸۵/۰۳٪ کل واریانس‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. چرخش واریمکس مؤلفه‌ها برای بیان واضح نمایش معنی دارتر مؤلفه‌ها استفاده شد تا ارتباط بین پارامترهای مختلف که در اینجا فلزات سنگین جذب شده بر روی اجزای مختلف رسوبات هستند را نشان دهد. همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده است مؤلفه اول ۴۳/۰۴٪، مؤلفه دوم ۲۴/۶۸٪ و مؤلفه سوم ۱۷/۳۱٪ کل واریانس‌ها را در خود جای داده‌اند که در مؤلفه اول عناصر Cu، Fe، Mo و در مؤلفه دوم Zn، Pb، Mn و در مؤلفه سوم Mg و Al بیشترین مقادیر بارگذاری را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴).

### ۳- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعاتی که بر روی منابع رسوب رودخانه‌های منطقه سونگون انجام شد مشخص شد که میزان آلودگی رسوبات در محدوده کانسار مس سونگون در حد کم تا متوسط می‌باشد و در رودخانه سونگون چای بیش از سایر رودخانه‌های منطقه است و به طور نقطه‌ای در اثر عوامل طبیعی و انسان زاد تشدید می‌شود. به طور کلی تأثیر کانه‌زایی صورت گرفته در منطقه بر غلظت عناصر در رسوبات رودخانه‌های محدوده کانسار به عنوان یک عامل طبیعی و زمین‌زاد و تأثیر پساب کارخانه تغلیظ سونگون به عنوان عامل انسان زاد در افزایش غلظت عناصر آشکار است. ضریب آلودگی عناصر مس (به جز زرنکاب چای)، مولیبدن،

pp.818–833.

[2] Gupta, A., Gupta, S. and Patil, R; 2009; "Statistical analyses of coastal water quality for a port and harbour region in India"; *Environmental Monitoring and Assessment.*, Vol.102, pp.179–200.

[3] Adams, W.J., Kimerle, R.A. and Barnett, J; 1992; "Sediment quality and aquatic life assessment". *Environmental Science and Technology.*, Vol.26, pp.1865–1875.

[4] Ratha, P., Pandab, D., Bhattach, K.C and Sahud; 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.*, Vol.163, pp.632–644.

[5] Hezarkhani, A and Willims-Jones, A.E; 1998; "Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: evidence from fluid inclusions and stable isotopes". *Economic Geology.*, V.93, pp.651-670.

[6] Essien, J., Antai, S. and Olajire, A; 2009; "Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp". *Water Air and Soil Pollution.*, Vol.197, pp.91–105.

[7] Hsu, P., Matthäi, A., Heise, S and Ahlf, W; 2007; "Seasonal variation of sediment toxicity in the Rivers Dommel and Elbe". *Environmental Pollution.*, Vol. 148, pp. 817-823.

[8]Angulo, E; 1996; "The pollution load index applied to heavy metals 'Mussel-Watch' data: a useful index to assess coastal pollution". *The Science of the Total Environment.*, Vol.187, pp.19–56.

[9] Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, S., Serfor-Armah, Y., Osa, S., Fianko, J and Akaho, E; 2008; "Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana", *Environmental Monitoring and Assessment.*, Vol.141, pp.165–175.

[10] Pekey, H; 2006; "Heavy metals assessment in sediments of the Izmit bay, Turkey". *Environmental Monitoring and Assessment.*, Vol.123, pp.219–231.

[11] Zhang, W; 2009; "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes". *Environmental Pollution.*, Vol.32, pp. 1–11.

[12] Müller, G; 1979; "Schwermetalle in den sedimenten des RheinsdVeränderungen seitt". *Umschan.*, Vol. 79, pp.778–783.

چای اشاره کرد. نتایج محاسبه ضریب غنی‌شدگی نشان داد که عناصر مس و مولیبدن در رسوبات سونگون چای و ایلگینه چای غنی‌شدگی متوسط تا شدید داشته‌اند در حالی که عناصر سرب و نیکل در رسوبات هر سه رودخانه و عناصر روی و کروم در رسوبات زرنکاب چای غنی‌شدگی کمی از خود نشان دادند ولی روی و کروم در رسوبات سونگون چای و ایلگینه چای غنی‌شدگی نداشتند. ضریب زمین‌انباشت نیز برای بیشتر رسوبات مقادیر کمی داشته و فقط عناصر مس و مولیبدن در رسوبات سونگون چای و ایلگینه چای در گروه ۳ (رسوبات با آلودگی متوسط تا شدید) قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که سهم عوامل انسان‌زاد در تمرکز عناصر در رسوبات رودخانه‌های منطقه نسبت به عوامل طبیعی (هوازگی کانی‌های سولفیدی و ماهیت واحدهای زمین‌شناختی منطقه) کمتر است و تنها در رسوبات سونگون چای تاثیر بیشتری داشته‌اند. نتایج تجزیه مؤلفه اصلی، نتایج آزمون همبستگی و نتایج حاصل از ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت را تأیید می‌کند. به این صورت که پارامترها و عناصری که بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند در یک مؤلفه قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده منشأ مشترک آن‌ها و تأثیر فرایندهای مشابه در تمرکز و غنی‌شدگی آن‌ها است

#### ۴- تشکر و قدردانی

از جناب آقایان مهندس قاسمی (مدیر محترم امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه)، مهندس شاهین فر (مدیر محترم امور پشتیبانی مجتمع مس سونگون) و سرکار خانم مهندس اسلامی (رئیس محترم واحد آب و محیط زیست) به خاطر همکاری‌های بی‌دریغشان سپاسگزاریم. از معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز نیز تشکر می‌شود.

#### مراجع

[1] Wennrich, R., Mattusch, J., Morgenstern, P., Freyer, K., Treutler, H., Stärk, H., Brüggemann, L., Daus, B. and Weiss, H; 2004; "Characterization of sediments in an abandoned mining area; a case study of Mansfeld region, Germany"; *Environmental Geology.*, Vol.4,