

## زمین شیمی زیست محیطی آب، خاک و رسوبات کانسار مس دره زار (کرمان)

فرید مَر

استاد بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

نغمه سلطانی

دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

بهنام کشاورزی

استادیار بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

مهرداد کریمی

استادیار بخش زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

عصمت اسماعیل زاده

پژوهشگر تحقیق و توسعه، واحد آب و محیط زیست مجتمع مس سرچشمه

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۲

n\_soltani@ymail.com

### چکیده

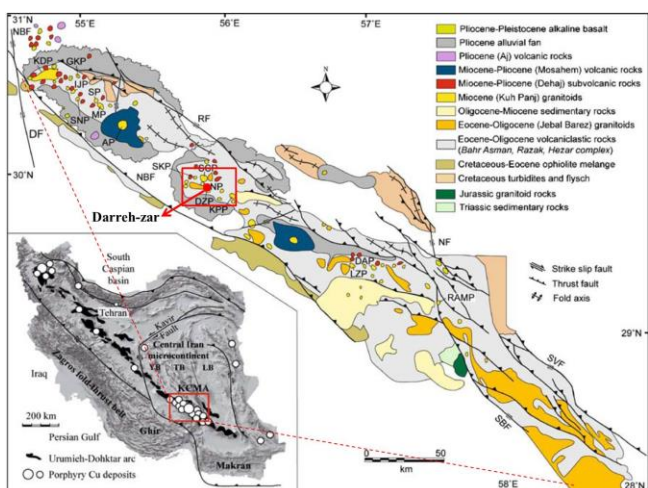
کانسار مس پورفیری دره زار در جنوب معدن مس سرچشمه واقع شده است. در این پژوهش اثرات آلودگی زیست محیطی ناشی از کانی سازی طبیعی و معدن کاری در کانسار مس دره زار بررسی شده است. بدین منظور ۱۱ نمونه آب، ۳۳ نمونه رسوب و ۱۵ نمونه خاک جمع آوری و تجزیه شد. ضریب همبستگی بین کمیت های مختلف در نمونه های آب محاسبه شد. نمونه های آب با pH پایین دارای غلظت های بالایی از سولفات و فلزات سنگین هستند. تیپ بیشتر آب های منطقه نیز بر اساس داده های حاصل از کاتیون و آنیون های اصلی در نمودار پایپر و دارف، کلسیم- سولفاتی است. تحلیل مؤلفه اصلی نشان می دهد که کمیت های اندازه گیری شده در سه مؤلفه قرار می گیرند. محاسبه ضریب غنی شدگی و شاخص زمین انباشت نشان می دهد که رسوبات از فلزات سنگین مس، مولیبدن، سرب و آنتیموان غنی شده اند. همچنین نتایج حاصل از تجزیه نمونه های خاک غلظت های بالایی را برای عناصر مولیبدن، مس و سرب نشان می دهد. بیشتر نمونه های خاک با غلظت بالای مولیبدن با گوسان همراه می باشند که ظاهراً دلیل آن انحلال ناپذیر بودن مولیبدن در محیط خاک است. واژه های کلیدی: مس پورفیری، دره زار، ضریب غنی شدگی، شاخص زمین انباشت، فلزات سنگین.

### مقدمه

موجودات زنده و سلامت آن ها به محصولات خاک و کیفیت آن بستگی دارد (Pendias, 2007). در بسیاری از موارد به ویژه در مناطق دارای کانه زایی، و در نبود آلودگی انسان زاد، خاک صرفاً به دلیل نوع سنگ بستر یا ویژگی های زمین شناختی منطقه، دارای غلظت بالایی از فلزات سنگین می باشد در غیر این محیط سطحی، باطله های دارای کانی های سولفیدی به ویژه پیریت پس از قرار گرفتن در معرض هوازدگی، زهاب اسیدی تولید کرده (Akcil and

آب مهم ترین منبع حیات و عامل بقای انسان و دیگر جانداران در زمین است. رسوب نیز مهم ترین محیط در ارتباط با آب است. آب و رسوب می توانند تاثیر زیادی بر یکدیگر داشته باشند. خاک نیز به عنوان بخشی از بوم سامانه، دارای نقش حیاتی برای انسان و سایر موجودات است؛ زیرا تغذیه

به ارتفاع بیش از ۳۲۰۰ متر در آن وجود دارد. محل کانسار نیز کوهستانی بوده و دارای دامنه‌های پرشیب است. نزدیک ترین آبادی به دره زار، روستای گوئین می باشد که در فاصله ۴ کیلومتری جنوب آن واقع است. در منطقه دره زار واحدهای سنگی از ائوسن تا کواترنری رخنمون دارد، و فعالیت های رسوبی و ماگماتیسم در طول این بازه زمانی در منطقه دیده می شود. واحدهای سنگی آتشفشانی- رسوبی (تراکی آندزیت، تراکی بازالت، بازالت، توف و آذر آواری ها) به سن ائوسن به عنوان میزبان توده نفوذی " پورفیری دره زار " در منطقه بیشترین گسترش را دارند. سنگ‌های نفوذی در ناحیه به صورت توده های قلیایی- کلسیمی نیمه عمیقی ظاهر می شوند که دایک های متعددی به سن الیگو- میوسن آن ها را قطع کرده است. ترکیب سنگ شناختی این دایک ها بیشتر از نوع دیوریت پورفیری و دیابازی می باشد و کانی های سولفیدی مس به ندرت در آن ها دیده می شود (معانی جو، ۱۳۷۰). چهار هاله دگرسانی اولیه در این کانسار مشخص شده است: پتاسیمی، سیرسیتی، رسی و پروپلیتی (عبدل زاده، ۱۳۸۴). زون دگرسانی سیرسیتی در منطقه دارای رخنمون وسیع، و بیش از ۱۰ درصد حجمی کانی پیریت می باشد.



شکل ۱. موقعیت کانسار مس پورفیری دره زار در کمربند دهج- ساردوئیه (Shafiei, 2008).

## روش کار

به منظور مطالعه زمین شیمیایی آب، رسوب و خاک های محدوده کانسار دره زار در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰، تعداد ۱۱ نمونه آب، ۳۳ نمونه رسوب و ۱۵ نمونه خاک برداشت شد (شکل ۲). نمونه برداری آب از رودخانه دره زار، و حوضچه های فصلی درون محدوده کانسار انجام شد. پارامترهایی مانند دما، pH، Eh، EC توسط دستگاه قابل حمل در محل نمونه برداری اندازه گیری شدند. برای سنجش فلزات سنگین بخش کلوئیدی نمونه های آب با استفاده از فیلتر ۰/۴۵ میکرون جدا گردید، و pH نمونه ها با استفاده از اسید نیتریک غلیظ به کمتر از ۲ رسانده شد. برای تجزیه کاتیون ها و آنیون های اصلی، نمونه های آب بدون فیلتر و اسیدی شدن به آزمایشگاه زاگرس آبشناس فارس

(Koldas, 2006) و باعث متحرک شدن فلزهای بالقوه سمی می شوند (Siegel, 2002). زهاب های اسیدی معدن شاید بدترین مشکل زیست محیطی باشد که اثرات منفی و زیانباری بر کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی دارد (Kelly, 1988; Cherry et al, 2001; Lin et al, 2007). از مشخصات عمده زهاب های اسیدی می توان به pH پایین (اسیدینگی بالا)، تحرک و در نتیجه غلظت های بالای فلز (Olías et al, 2006) افزایش میزان سولفات ها و آهن آزاد (Canovas, 2007)، ایجاد مواد جامد معلق و تشکیل لجن بیش از حالت معمول اشاره کرد. بنابراین تعیین غلظت فلزات سنگین در محیط های مختلف به ویژه آب، رسوب و خاک در مناطق معدنی ضروری به نظر می رسد. با توجه به کانه زایی سولفیدی و معدن کاری صورت گرفته در کانسار مس پورفیری دره زار، زمین شیمی زیست محیطی آب، رسوب و خاک های موجود در منطقه موضوع این پژوهش می باشد. صورت غلظت طبیعی فلزات سمی در خاک معمولاً اندک است (Siegel, 2002). کانه زایی طبیعی، و فعالیت های معدن کاری مهم ترین عوامل آلودگی های زمین زاد و انسان زاد در مناطق معدنی هستند که سبب آزادسازی و انتقال فلزات سنگین به محیط های مختلف چرخه زیست زمین شیمیایی شده، و حیات جانداران موجود در زیست بوم سامانه ها را به خطر می اندازد. به دلیل غلظت پایین بسیاری از فلزها در ذخایر معدنی، استخراج آن ها به تولید مقدار زیادی سنگ باطله منجر می شود. با توجه به حاکم بودن شرایط اکسایشی در محیط سطحی، باطله های دارای کانی های سولفیدی به ویژه پیریت پس از قرار گرفتن در معرض هوازدگی (Akci and Koldas, 2006)، زهاب اسیدی تولید کرده و باعث متحرک شدن فلزهای بالقوه سمی می شوند (Siegel, 2002). زهاب های اسیدی معدن شاید بدترین مشکل زیست محیطی باشد که اثرات منفی و زیانباری بر کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی دارد (Kelly, 1988; Cherry et al, 2001; Lin et al, 2007). از مشخصات عمده زهاب های اسیدی می توان به pH پایین (اسیدینگی بالا)، تحرک و در نتیجه غلظت های بالای فلز (Olías et al, 2006) افزایش میزان سولفات ها و آهن آزاد (Canovas, 2007) ایجاد مواد جامد معلق و تشکیل لجن بیش از حالت معمول اشاره کرد. بنابراین تعیین غلظت فلزات سنگین در محیط های مختلف به ویژه آب، رسوب و خاک در مناطق معدنی ضروری به نظر می رسد. با توجه به کانه زایی سولفیدی و معدن کاری صورت گرفته در کانسار مس پورفیری دره زار، زمین شیمی زیست محیطی آب، رسوب و خاک های موجود در منطقه موضوع این پژوهش می باشد.

## زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار مس پورفیری دره زار در جنوب شرقی کمربند آتشفشانی، نفوذی دهج- ساردوئیه (کمان ارومیه- دختر جنوبی) و در ۱۰ کیلومتری جنوب معدن مس سرچشمه واقع شده است (شکل ۱). این کانسار در نزدیکی بخش پاریز و در منطقه بند مزار قرار دارد که منطقه‌ای کوهستانی است و قله هایی

## بحث

### زمین شیمی و مطالعات آماری نمونه های آب

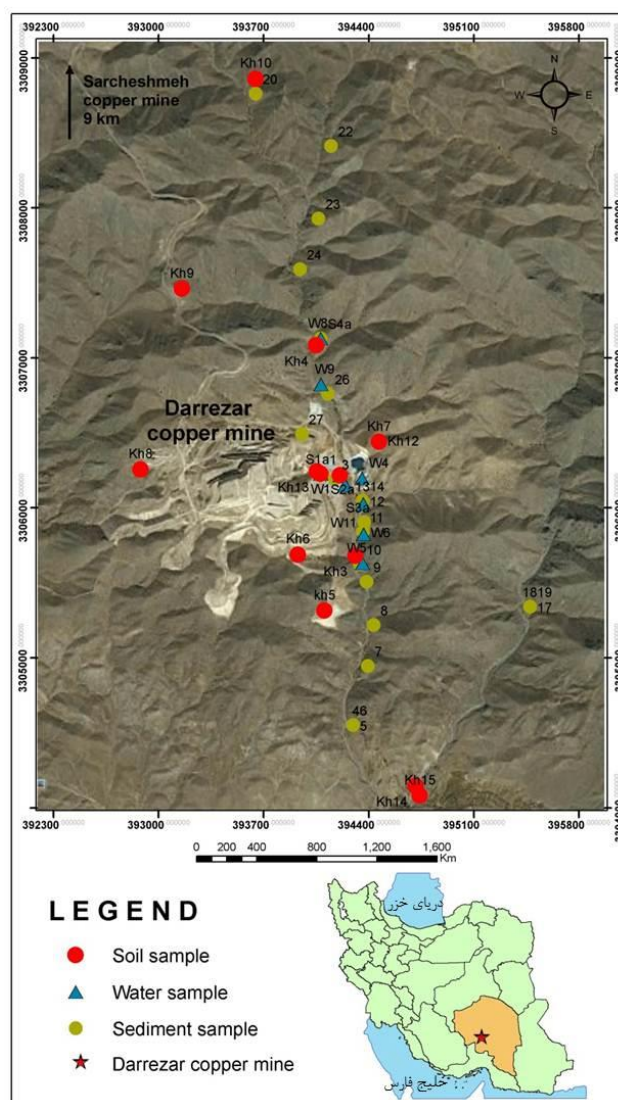
آمار توصیفی نمونه های آب در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. بر اساس این جدول، pH بین ۲/۴۹ تا ۷/۴۵ با میانگین ۵/۴۵ می باشد، در حالیکه پتانسیل اکسایش و کاهش (Eh) بین ۹۸ تا ۵۱۲ متغیر است. نتایج نشان می دهد که آب های واقع در محدوده معدن، ماهیت اسیدی دارند و Eh این محدوده نیز اکسایشی است (شکل ۳). در این شرایط بیشتر فلزات سنگین انحلال پذیر می باشند. البته شرایط پهنه برای انحلال پذیری عنصر مولیبدن متفاوت بوده، و این عنصر در pH اسیدی انحلال ناپذیر است. به همین دلیل، غلظت آن در تمام نمونه های آب کمتر از ۳ میکروگرم بر لیتر (میانگین ۱/۰۵ میکروگرم بر لیتر) است.



شکل ۳. الف: نمونه W1، آب خروجی از تونل افقی (pH ۳/۵۲): ب: نمونه W2، حوضچه فصلی داخل محدوده معدن (pH ۲/۴۹).

هوازگی کانی های سولفیدی به ویژه پیریت هنگامی که در معرض آب و هوا قرار می گیرد سبب ایجاد آب های اسیدی می شود. دگرسانی عمده در منطقه دگرسانی سرسیتی است، که بیشترین نقش را در تولید آب های اسیدی ایفا می کند. از میان فلزات سنگین و سایر کاتیون ها، بیشترین غلظت به عنصر مس مربوط می شود که بیشینه آن به ۱۰۶۰ میلی گرم بر لیتر هم می رسد (نمونه W2 در محدوده معدن)، شکل (۳-ب). غلظت های بالای مشاهده شده یون سولفات (بیشینه ۵۷۶۰ میلی گرم بر لیتر) به دلیل اکسایش کانی های سولفیدی در محدوده کانسار مس پورفیری دره زار است. نتایج ضریب همبستگی نشان می دهد (جدول ۲) که  $SO_4^{2-}$  با بیشتر فلزات سنگین از جمله مس (۰/۹۷۴)، آهن (۰/۹۱۷)، آرسنیک (۰/۹۶۲)، کبالت (۰/۹۸۶)، نیکل (۰/۹۸۵)، کروم (۰/۹۶۳)، سلنیم (۰/۹۷۱) و روی (۰/۹۵۷) همبستگی مثبت و قوی دارد، که دلیل آن احتمالا همزمانی اکسایش پیریت و سایر کانی های سولفیدی است که باعث ایجاد آب های اسیدی در منطقه شده، و غلظت سولفات و فلزات سنگین را در آب های محدوده کانسار افزایش می دهد.

ارسال شدند. همزمان با نمونه برداری آب، نمونه برداری رسوب نیز در مسیر آبراهه اصلی صورت گرفت. در آزمایشگاه نمونه های رسوب در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در دستگاه خشک کن، خشک شده و برای تجزیه شیمیایی به دو بخش سیلت ( $<63\mu$ ) و ماسه-گراول ( $63\mu < x < 2\text{cm}$ ) تقسیم گردید. ۱ تا ۲ کیلوگرم نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ سانتیمتری برداشته شد، و در کیسه های پلاستیکی برای آماده سازی به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، نمونه ها در دمای اتاق خشک، و از غربال ۲۲۰ مش (کمتر از ۶۳ میکرون) عبور داده شدند. نمونه های آب، رسوب و خاک پس از آماده سازی، برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین به روش ICP MS به آزمایشگاه Lab West استرالیا ارسال شدند.



شکل ۲. موقعیت نمونه های برداشت شده (آب، رسوب و خاک) در کانسار مس دره زار

جدول ۱. آمار توصیفی نمونه های آب کانسار دره زار

Elements	Unit	Mean	Median	Mode	Skewness	Kurtosis	Min	Max
Al	ppm	۳۵/۳	۱/۰۵	+۰/۷	۳/۱۵	۱-/۱۶	+۰/۷	۲۲۷
As	ppb	۱/۶۷	+۰/۶	+۰/۳۸	۳/۳۶	۱-/۳۳	+۰/۳۸	۱۱/۹۰
Cd	ppb	۶/۷۷	۱/۳۶	+۰/۴	۳/۱۰	۳/۳۷	+۰/۴	۲۶/۷۰
Co	ppb	۲۲/۱۶	۸۶/۶۰	+۰/۳	۳/۲۵	۱-/۶۶	+۰/۳	۱۸۷۰
Cr	ppb	۳/۷۳	۲	۱	۳/۳۹	۱-/۸۷	۱/۰۰	۲۶
Cu	ppm	۱۰۳/۶۸	۳/۹۳	+۰/۱	۳/۳۱	۱-/۹۶	+۰/۱	۱۰۶۰
Fe	ppm	۷۰/۷۵	۲۰/۳۰	+۰/۴۰	۱/۷۹	۳/۳۸	+۰/۳۷	۳۳۳
Mn	ppb	۳۳۷۸/۷۵	۱۸۴۰	۳۱۸۰	۳/۵۱	۳/۰۷	۳۱۸۰	۱۰۰۰۰
Mo	ppb	۱/۰۵	+۰/۹۰	+۰/۸	+۰/۹۰	+۰/۳۷	+۰/۸	۲/۹۰
Ni	ppb	۸۹/۸۳	۳۶/۷۰	۱/۷۰	۳/۳۵	۱-/۶۵	۱/۷۰	۶۸۳
Pb	ppb	۶/۹۰	۷/۳۰	۴/۹۰	+۰/۵۵	+۰/۱۰	۳/۷۰	۱۳
Sb	ppb	۳/۱۵	۳/۱۳	۱/۶۶	+۰/۸۳	+۰/۳۱	۱/۶۶	۳/۷۷
Se	ppb	۳/۷۶	+۰/۳۸	+۰/۳۸	۳/۳۳	۱-/۹۹	+۰/۳۸	۲۷/۷۰
Zn	ppb	۴۸۰/۵۵	۲۰۸	۱۵/۶۰	۳/۹۹	۳/۳۳	۱۵/۶۰	۲۸۶۰
pH	ppm	۵/۳۰	۵/۷۳	۳/۵۳	+۰/۳۳	+۰/۵۵	۳/۴۹	۷/۴۵
Eh	mV	۲۵۶/۶۳	۱۹۱	۱۳۸	+۰/۶۸	+۰/۳۳	۹۸	۵۱۳
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ppm	۱۰۲۲/۶۵	۵۶۰	۵۶۰	۳/۹۸	۳/۳۷	۶۷/۳۰	۵۷۶۰
Cl	ppm	۹۳/۲۷	۱۷/۷۰	۱۳/۳۰	۳/۷۸	۳/۹۰	۱۰/۶۰	۶۳۰
Ca <sup>2+</sup>	ppm	۱۶۹/۳۰	۱۷۰	۱۷۰	+۰/۱۰	+۰/۳۳	-	۳۱۱
Mg <sup>2+</sup>	ppm	۳۶/۳۶	۳۰/۳۰	۳۰/۳۰	+۰/۸۳	+۰/۳۰	-	۸۵/۱۰
Na <sup>+</sup>	ppm	۳۹/۱۱	۲۹/۹۰	۳۱/۳۰	۳/۰۳	۳/۹۱	۳/۳۰	۱۵۰
K <sup>+</sup>	ppm	۳/۳۷	۳/۹۱	۱/۵۶	+۰/۳۵	+۰/۶۷	+۰/۷۸	۵/۳۷
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ppm	۹۷/۷۳	۶۱	-	+۰/۹۹	+۰/۹۳	-	۲۳۹
T	°C	۳۳/۴۵	۳۳	۳۳	+۰/۱۳	+۰/۵۸	۱۷	۳۹

جدول ۲. همبستگی اسپیرمن (Spearman) بین عناصر موجود در نمونه های آب کانسار دره زار

	Al	As	Cl	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn	Sb	pH	EC	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Al	1																						
As	0.000*	1																					
Cl	0.04	0.03	1																				
Co	0.000*	0.000*	0.00	1																			
Cr	0.000*	0.000*	0.00	0.000*	1																		
Cu	0.000*	0.000*	0.00	0.000*	0.000*	1																	
Fe	0.000*	0.000*	0.01	0.000*	0.000*	0.000*	1																
Mn	0.000*	0.000*	0.01	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1															
Mo	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1														
Ni	0.000*	0.000*	0.01	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1													
Pb	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1												
Se	0.000*	0.000*	0.01	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1											
Zn	0.000*	0.000*	0.00	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1										
Sb	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1									
pH	0.000*	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1								
EC	0.000*	0.000*	0.03	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1							
Ca <sup>2+</sup>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1						
Mg <sup>2+</sup>	0.000*	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1					
Na <sup>+</sup>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1				
K <sup>+</sup>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.000*	0.000*	0.00	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.000*	0.000*	0.03	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1
Cl	0.000*	0.00	0.00	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
TDS	0.000*	0.000*	0.00	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
 † Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

قرار می گیرد (۰/۶۵۸-) که نشان دهنده تأثیر مهم این عامل بر عناصر این مؤلفه می باشد.

جدول ۳. نتایج تجزیه و تحلیل عاملی و رده بندی عناصر در ۳ گروه مختلف

	Component Matrix <sup>a</sup>		
	Component		
	۱	۲	۳
Al	+۰/۹۹۶	-۰/۰۱۸	-۰/۰۷۱
As	+۰/۹۷۲	+۰/۰۹۰	-۰/۱۲۲
Cd	+۰/۰۹۷	+۰/۷۰۹	+۰/۵۷۴
Co	+۰/۹۹۵	+۰/۰۶۵	-۰/۰۵۸
Cr	+۰/۹۷۷	+۰/۱۱۴	-۰/۰۹۶
Cu	+۰/۹۸۶	+۰/۰۹۵	-۰/۰۸۳
Fe	+۰/۸۹۸	-۰/۲۱۹	-۰/۰۷۲
Mn	+۰/۹۳۵	+۰/۲۸۶	+۰/۱۵۰
Mo	+۰/۰۰۱	-۰/۱۴۶	+۰/۹۱۲
Ni	+۰/۹۹۵	+۰/۰۶۷	-۰/۰۵۷
Pb	+۰/۲۶۷	-۰/۷۲۶	-۰/۰۰۵
Se	+۰/۹۸۱	+۰/۱۲۸	-۰/۰۷۷
Zn	+۰/۹۶۹	+۰/۲۲۱	+۰/۰۴۸
Sb	+۰/۶۲۳	-۰/۴۳۶	+۰/۵۲۴
pH	-۰/۶۵۸	-۰/۱۵۵	+۰/۴۹۷
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+۰/۹۹۲	+۰/۰۱۰	-۰/۰۰۷
Cl <sup>-</sup>	+۰/۹۶۶	-۰/۱۰۵	-۰/۰۴۷

Extraction Method: Principal Component Analysis.

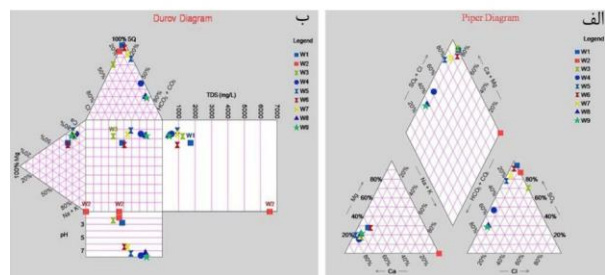
### زمین شیمی و تحلیل آماری نمونه های رسوب

جدول (۴) آمار توصیفی نمونه های رسوب را نشان می دهد. میانگین غلظت عنصر مس در نمونه های رسوب ۲۰۴۴/۱۶ ppm است که بیشینه ی آن به ۱۹۳۰۰ ppm نیز می رسد. برای عنصر مولیبدن غلظت میانگین ۱۸/۷۳ است. عنصر گوگرد نیز در نمونه های رسوب غلظت های بالایی را نشان می دهد (میانگین ۷۶۰۲/۹۷ ppm).

جدول ۴. آمار توصیفی نمونه های رسوب بر حسب ppm.

Elements	Mean	Std. Deviation	Median	Mode	Skewness	Kurtosis	Min	Max
Al	۷۷۲۹۳/۷۵	۱۴۰۲۶/۷۴۷	۷۸۲۵۰	۸۳۳۰۰	-۲/۳۶۷	۹/۱۷۳	۱۸۹۰۰	۱۰۵۰۰۰
As	۳۵/۹۹	۸۵/۱۸۹	۲۳/۱	۲۰	۵/۵۴۷	۳/۱۱۵۳	۳	۵۰۰
Cd	۱/۳۵	۳/۷۱۲	۰/۳	۰	۳/۷۹۹	۱۳/۹	۰	۱۷
Co	۱۸/۴۷	۹/۳۴	۱۹/۶	۱۷/۳	۱/۲۲۷	۵/۴۲۱	۳	۵۳
Cr	۲۴/۹۱	۱۳/۴۳۴	۲۲/۵	۲۱	۲/۰۹۱	۷/۰۵۳	۸	۷۸
Cu	۲۰۴۴/۱۶	۳۷۷۸/۲۶	۷۰۶/۵	۶۲	۳/۴۸۸	۱۴/۲۲۹	۶۲	۱۹۳۰۰
Fe	۶۶۳۳۷/۵	۵۲۹۲۸/۳۷	۵۸۰۵۰	۵۹۵۰۰	۴/۹۲۴	۲۶/۳۹۱	۲۰۷۰۰	۳۴۴۰۰
Mn	۷۸۵/۳۱	۵۲۳/۳۱۶	۷۰۵/۵	۱۱۸۰	-۱/۱۲۹	-۱/۲۴۵	۳۳	۱۷۲۰
Mo	۱۸/۷۳	۱۶/۶۴۳	۲۰/۳۵	۱	۰/۳۶۷	-۰/۷۵۸	۱	۶۱
Ni	۲۰/۷۵	۷/۹۷۴	۲۰/۵	۲۷	-۰/۵۹	۰/۱۸۷	۳	۳۸
Pb	۶۷/۳۴	۵۸/۰۶۴	۵۴/۵	۱۰	۳/۴۲۷	۱۵/۳۹۹	۱۰	۳۳۸
S	۷۶۰۲/۹۷	۱۶۶۴۷/۲۵۹	۳۱۸۵	۱۹۰	۴/۱۳۸	۱۸/۹۶	۱۰۰	۸۸۴۰۰
Sb	۵/۲۳	۹/۷۶۲	۲/۲	۱	۴/۸۶۹	۲۵/۸۱	۱	۵۶
Zn	۱۶۸/۰۹	۱۱۸/۲۱۸	۱۵۸/۵	۱۵۸	۲/۵۳۲	۹/۹۲۶	۸	۶۶۴

pH با تمام عناصر به جز عنصر مولیبدن همبستگی منفی دارد، که دلیل آن شرایط متفاوت زمین شیمیایی عنصر مولیبدن در محیط محلول می باشد. ضریب همبستگی بین pH و Eh منفی است، به بیان دیگر، با افزایش pH، Eh کاهش می یابد. دلیل این موضوع به احتمال زیاد افزایش فعالیت باکتری های هوازی مانند تیوباسیلوس فرواکسیدانس، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و لپتوسپریلیوم فرواکسیدانس طی کاهش pH است که پتانسیل اکسایش-کاهش را افزایش می دهند (کشاورزی، ۱۳۸۵). تیپ های مختلف آب تابعی از ویژگی های سنگ شناختی منطقه، و سینتیک<sup>۱</sup> محلول است. نمودار پایپر یکی از مهم ترین روش های مقایسه تیپ های آب های مختلف از نظر ترکیب یون های موجود در آب می باشد. ترسیم داده های حاصل از تجزیه آنیون ها و کاتیون های اصلی بر روی نمودار پایپر نشان می دهد که در مثلث آنیونی، تیپ بیشتر آب های منطقه سولفاتی است (به جز نمونه های آب بالادست کانسار) و در مثلث کاتیونی نیز فاز کلسیمی غالب می شود. بنابراین، کانی سازی سولفیدی و انحلال این کانی ها، مهم ترین معیار تعیین کننده تیپ نمونه های آب محدوده کانسار مس دره زار می باشد. نتایج نمودار دارف نیز تاییدی بر نتایج به دست آمده از نمودار پایپر و غالب بودن رخساره سولفات- کلسیمی در آب های منطقه است (شکل ۴).



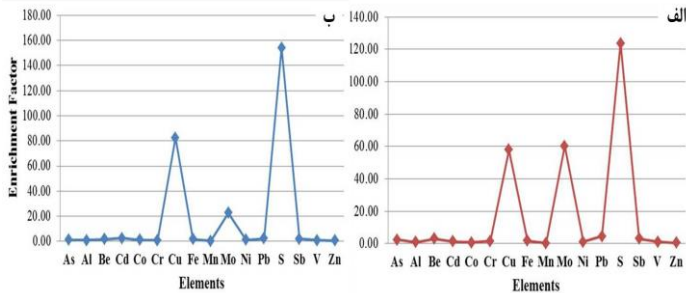
شکل ۴. نمودار پایپر و دارف رسم شده برای نمونه های آب کانسار دره زار (Piper AM, 1994)

تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)<sup>۲</sup> یکی از روش های مهم تعیین ارتباط عناصر و دیگر پارامترهای مورد بررسی است. این آزمون به طور گسترده برای داده های مختلف زمین شیمیایی به کار رفته، و یکی از روش های موفق آماری برای نمایش ویژگی های زمین شیمیایی است. نتایج نشان می دهد که کمیت های اندازه گیری شده برای نمونه های آب در سه مؤلفه قرار می گیرند (جدول ۳). مؤلفه اول شامل ۷۲/۰۴ درصد واریانس کل داده ها بوده و عناصر Cl<sup>-</sup>، SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>، Se، Zn، Sb، pH، Fe، Mn، Ni، Cr، Cu، Co، As، Al را شامل می شود. مؤلفه دوم شامل عناصر Pb و Cd (۱۰/۱۹ درصد از واریانس کل داده ها) بوده و مؤلفه سوم، با ۹/۰۶ درصد واریانس، تنها شامل مولیبدن می شود. قرارگیری اکثر نمونه ها در مؤلفه اول نشان دهنده منشأ مشترک و آزادسازی همزمان آن ها در آب های منطقه است. pH نیز با علامت منفی در مؤلفه اول

#### 1. Kinetic

#### 2. Principal Component Analysis

ریزدانه تقریباً ۳ برابر بخش درشت دانه است. این موضوع به دلیل pH اسیدی آب های منطقه و جذب سطحی این عنصر توسط بخش ریزدانه رسوبات می باشد.

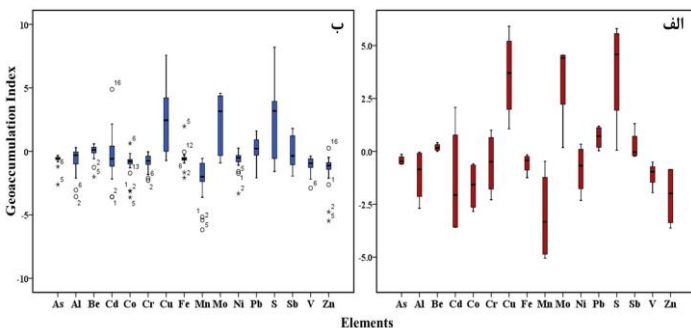


شکل ۵. نمودار خطی ضریب غنی شدگی فلزات سنگین در نمونه های رسوب کانسار دره زار (الف): بخش ریز دانه (ب): بخش درشت دانه.

برای ارزیابی درجه آلودگی رسوبات از اندیس مولر یا شاخص زمین انباشت ( $I_{geo}$ ) که توسط مولر در سال ۱۹۶۹ ارائه گردید، استفاده شده است. شاخص زمین انباشت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

در این رابطه  $I_{geo}$  ضریب زمین انباشت،  $C_n$  غلظت عنصر در نمونه رسوب و  $B_n$  غلظت عنصر در نمونه زمینه یا مرجع می باشد (Eby, 2004). پس از محاسبه این ضریب، با استفاده از جدولی که رسوبات را بر اساس کیفیت رده بندی می کند، مقایسه و آلودگی موجود ارزیابی می شود (جدول ۵-ب). کیفیت رسوبات در منطقه برای عناصر گوگرد، مس و مولیبدن آلودگی زیاد نشان می دهد و عناصری مانند سرب و آنتیموان بدون آلودگی تا کمی آلوده هستند (شکل ۶).



شکل ۶. نمودار شاخص زمین انباشت ( $I_{geo}$ ) عناصر در نمونه های رسوب منطقه مورد مطالعه (الف): بخش ریز دانه رسوبات (ب): بخش درشت دانه

یکی از رایج ترین روش ها برای تعیین منشأ طبیعی و انسان زاد آلودگی، تعیین ضریب غنی شدگی و شاخص زمین انباشت است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$EF_{Crust} = \frac{\left( \frac{X}{RE} \right)_{Sample}}{\left( \frac{X}{RE} \right)_{Crust}}$$

ضریب غنی شدگی ( $EF$ ) نشان دهنده افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. در این رابطه  $EF$  ضریب غنی شدگی،  $RE$  عنصر مرجع، و  $X$  عنصر مورد نظر می باشد. به طور معمول ضریب غنی شدگی بین  $1/2 - 5/0$  به عنوان طبیعی، مقادیر بیش از  $2$  (Hernandez et al, 2003) و یا بیش از  $3$  (Eby, 2004) به عنوان آلوده در نظر گرفته می شود. جدیدترین تقسیم بندی بر اساس ضریب غنی شدگی توسط چن و همکاران (Chen, 2007) ارائه شده است (جدول ۵-الف).

جدول ۵. الف): تقسیم بندی رسوبات بر اساس ضریب غنی شدگی (Chen et al, 2007) (ب): شاخص زمین انباشت رسوبات (Eby, 2004)

الف	Enrichment Factor		ب	شاخص زمین انباشت
	EF < 1	1 ≤ EF < 2		
بدون غنی شدگی	EF < 1	۰	بدون آلودگی	بدون آلودگی
غنی شدگی کم	1 ≤ EF < 2	۱	بدون آلودگی تا کمی آلوده	۱
غنی شدگی متوسط	2 ≤ EF < 5	۲	آلودگی متوسط	۲
غنی شدگی متوسط-شدید	5 ≤ EF < 10	۳	آلودگی متوسط تا زیاد	۳
غنی شدگی شدید	10 ≤ EF < 25	۴	آلودگی زیاد	۴
غنی شدگی بسیار شدید	25 ≤ EF < 50	۵	آلودگی زیاد تا بسیار زیاد	۵
غنی شدگی بسیار بسیار شدید	EF ≥ 50	۶	آلودگی بسیار زیاد	۶

در این تحقیق عنصر آلومینیم تمام شرایط مورد نیاز برای عنصر مرجع را دارا بوده، بنابراین به عنوان عنصر مرجع انتخاب شد. همچنین از نمونه رسوب بالادست رودخانه دره زار که کمترین غلظت فلزات سنگین را دارا بود به عنوان نمونه زمینه استفاده شد. بیشینه ضریب غنی شدگی در نمونه های رسوب به ترتیب در عناصر گوگرد، مس و مولیبدن مشاهده می شود، و عناصری مانند سرب و آنتیموان غنی شدگی متوسط دارند.

بالا بودن ضریب غنی شدگی عنصر گوگرد در بیشتر نمونه ها به دلیل هوازدگی و انحلال کانی های سولفیدی همچون پیریت و آزاد شدن گوگرد از ساختار این کانی ها می باشد. بالا بودن ضریب غنی شدگی مس و مولیبدن در نمونه ها به دلیل کانه زایی مس به همراه مولیبدن در منطقه است (شکل ۵). لازم به ذکر است که نتایج مربوط به بخش ریزدانه و درشت دانه رسوب تقریباً مشابه می باشد، هر چند این ضرایب در بخش ریزدانه در برخی نمونه ها تا حدودی بزرگتر است. در مورد عنصر مولیبدن این ضریب در بخش

## پراکنش فلزات سنگین در خاک کانسار دره زار

۵۱۳/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم). غلظت عنصر مولیبدن در نمونه های خاک بین ۱/۵ تا ۸۵/۳ میلی گرم بر کیلوگرم با میانگین ۱۲/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم است.

جدول ۷. خلاصه آماری نمونه های خاک (ppm)، ضریب غنی شدگی، شاخص آلودگی و شاخص زمین انباشت در توزیع عناصر در نمونه های خاک منطقه دره زار

Elements	Min	Max	Mean	Mode	Std. Deviation	Clark <sup>1</sup>	Average for soils	EF	Igeo	PI
Al	۶۹۳۰۰	۱۰۴۰۰۰	۸۶۴۸۱/۸۲	۷۸۹۰۰	۱۳۳۲۹	۸۳۳۰۰	۷۱۰۰۰	۱	-۰/۴۱	۱/۱۲
As	۲	۴۳	۲۹/۴۵	۳۲	۱۱	۱/۸	۵/۸	-۰/۹	-۰/۸۷	-۰/۹۶
Cd	۰	۲/۶	۰/۴۴	۰	۰/۲	(-)	(-)	۰/۷	-۰/۳۴	-۰/۷۴
Co	۴/۶	۳۳	۱۶/۱۳	۱۵	۸	۲۵	۷/۹	-۰/۷۲	-۱/۴	-۰/۷۷
Cr	۲۳	۸۴	۵۹/۴۵	۷۰	۲۴	۱۰۰	۵۴	۱/۲۲	-۱/۰۸	۱/۳
Cu	۱۵۲	۱۸۴۰	۵۱۳/۴۵	۱۵۲	۵۰/۱	۵۵	۱۵	۴/۳۱	۱/۸	۵/۲۱
Fe	۲۶۹۰۰	۷۹۴۰۰	۵۳۹۰۰	۲۶۹۰۰	۱۷۲۱۳	۵۳۳۰۰	۳۸۰۰۰	-۰/۹۹	-۰/۵۱	۱/۰۵
Mn	۶۸	۱۷۱۰	۸۷۴/۴۵	۶۸	۶۲۴/۶	۹۵۰	۴۳۷	-۰/۴۴	-۲/۶۶	-۰/۴۶
Mo	۱/۵	۸۵/۳	۱۲/۳۳	۱/۵	۷	۱/۵	۱/۸	۶/۶۶	۳/۳۳	۷/۷
Ni	۲۱	۵۴	۳۸/۵۵	۵۴	۱۲	۷۵	۲۰	-۰/۹۳	-۱/۳۵	۱
Pb	۲۰	۱۴۰	۵۹/۶۴	۴۵	۳۶/۵	۱۲/۵	۳۲	۲/۰۵	-۰/۰۵	۲/۳۴
Sb	۰/۳	۹/۷	۲/۷۷	۱/۸	۱/۱۷	۰/۲	۵	۱/۴۸	-۰/۷۳	۱/۶۳
Se	۰/۲۵	۲/۴	۱/۱۸	۰/۲۵	۱	۰/۰۵	۰/۲	-۰/۷۵	-۰/۱۸	-۰/۸۶
Zn	۲۱/۵	۲۱۳	۱۰۵/۵۵	۱۱۰	۵۳/۱۲	۷۰	۶۴	-۰/۴۷	-۱/۶۴	-۰/۵

۱: McLennan and Taylor, 1999      ۲: Pendas, 2007

در مطالعات زیست محیطی به ویژه زمانی که توزیع زمین شیمیایی عناصر در محیط حاصل ترکیبی از عوامل انسان زاد و طبیعی باشد، روند تغییرات با استفاده از شاخص های آلودگی ارزیابی می شود. ضریب غنی شدگی (EF)، شاخص زمین انباشت (I<sub>geo</sub>)، شاخص بار آلودگی (PI) از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینه روند آلودگی را نشان می دهند (Eby, 2004). محاسبه ضریب غنی شدگی، شاخص زمین انباشت، و شاخص بار آلودگی در جدول (۷) آورده شده است. در گذشته از میانگین پوسته زمین به عنوان غلظت زمینه استفاده می شد، اما پژوهش های زمین شیمیایی بیانگر آن است که استفاده از میانگین پوسته زمین، به دلیل تغییر زیاد در ترکیب انواع سنگ ها در مقایسه با ترکیب پوسته زمین صحیح نمی باشد. غلظت زمینه غلظت مشخصی از یک عنصر در خاک است که به عنوان آلودگی در منطقه در نظر گرفته نمی شود (Siegel, 2002). با توجه به این تعریف، یک نمونه خاک از بالادست رودخانه دره زار به عنوان زمینه محلی<sup>۶</sup> در نظر گرفته شده است. بیشترین ضریب غنی شدگی مربوط به عنصر مولیبدن (۶/۶۶) و کمترین آن مربوط به عنصر منگنز (۰/۴۴) می باشد. نمودار افزودگی-کاهیدگی عناصر به خوبی وضعیت عناصر دارای پتانسیل آلودگی را نشان می دهد (شکل ۸). بر اساس این نمودار عناصر Cu، Mo و Pb به ترتیب بیشترین ضریب افزودگی (>۲) را دارند.

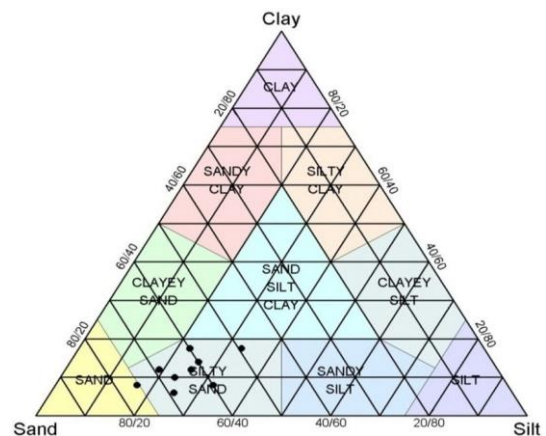
شاخص آلودگی (PI) شاخصی است که برای نشان دادن ماهیت یک محیط مورد استفاده قرار می گیرد، و از تعیین نسبت غلظت یک عنصر در

با مطالعه توزیع فلزات سنگین در خاک های مناطق معدنی می توان خطرات زیست محیطی ناشی از معدن کاری و فعالیت های انسان زاد را مشخص و الگوی منابع آلودگی طبیعی و انسان زاد را ارائه کرد. در نمونه های خاک، پارامترهایی مانند pH، CEC، محتوای کربنات کلسیم، محتوای مواد آلی و بافت در آزمایشگاه زاگرس آبناس فارس اندازه گیری شد. نتایج در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۶. پارامترهای فیزیکی شیمیایی نمونه های خاک کانسار دره زار

Samples	pH	CEC	OM%	T.N.V%	Clay%	Silt%	Sand%
Kh1	۷/۹۸	۱۴/۴۳	۰/۷۱	۱/۱۵	۱۷/۵	۲۲/۶	۵۹/۹
Kh2	۲/۷۹	۴۰/۸۵	<۰/۰۰۵	۱/۱۵	۸	۳۲/۱	۵۹/۹
Kh3	۷/۵۴	۱۶/۸۷	۰/۷۲	۱/۸/۴۸	۸	۱۶/۶	۷۵/۴
Kh4	۸/۰۹	۲۰/۴۲	۰/۴۱	۸/۸۵	۶	۲۵/۱	۶۸/۹
Kh5	۷/۷۱	۱۸/۶۵	۲/۸۴	۳/۰۸	۱۰	۲۳/۳	۶۶/۷
Kh6	۷/۷۱	۱۴/۴۳	۱/۴۳	۳/۰۸	۱۴	۲۶/۱	۵۹/۹
Kh7	۷/۶۷	۱۷/۵۴	۳/۴۲	۲/۳۱	۱۷/۵	۳۳/۱	۴۹/۴
Kh8	۷/۶۹	۱۲/۹۹	۰/۹۱	۴/۶۲	۱۲	۱۹/۱	۶۸/۹
Kh9	۷/۷۶	۱۷/۰۹	۲/۱۵	۳/۰۸	۱۲	۲۵/۶	۶۲/۴

بررسی این نتایج نشان می دهد که ماسه بیشترین بخش بافت خاک را تشکیل می دهد و بافت غالب خاک های منطقه ماسه سیلتی است (شکل ۷). با توجه به اقلیم نیمه خشک تا خشک منطقه دره زار، خاک آن فقیر از ماده آلی است. بافت خاک نیز مقدار کمی رس در ترکیب خود دارد. این مطلب باعث شده است که خاک منطقه دره زار در زمره خاک های ناواکنشگر قرار گیرد. بنابراین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) پایین می باشد. pH خاک دره زار (به استثناء نمونه Kh2 با pH=۲/۷۹) نیز تا حدودی قلیایی است و بنابراین در تثبیت عناصر مؤثر می باشد.



شکل ۷. قرار گیری نمونه های خاک منطقه دره زار در محدوده ماسه سیلتی در نمودار تعیین بافت خاک (Moey, 2011).

آمار توصیفی نمونه های خاک در جدول (۷) نشان داده شده است. غلظت عنصر مس بین ۱۸۴۰-۱۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر است (میانگین

### ۵. Pollution Load Index

### ۶. Local Background

غلظت بالای مولیبدن در خاک منطقه، با محیط گوسان همراه است که به دلیل رفتار زمین شیمیایی متفاوت مولیبدن با دیگر فلزات سنگین طی تشکیل گوسان می باشد. با توجه به اکسایش کانی های سولفیدی در بالای سطح ایستابی، آب های فرورو با pH پایین ایجاد می شود و مولیبدن در این گستره pH، انحلال پذیری بسیار کمی دارد، در نتیجه در خاکی که بر روی گوسان ها تشکیل می شود، مولیبدن نسبت به مس و سایر فلزات سنگین غنی می شود.

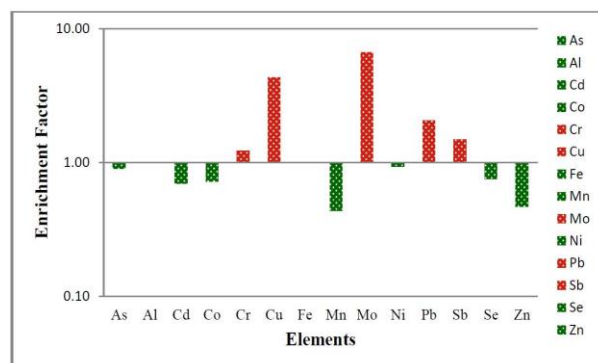
### نتیجه گیری

کانی سازی طبیعی مهم ترین عامل آلودگی آب، خاک و رسوبات منطقه دره زار به فلزات سنگین می باشد، اگرچه فعالیت های اکتشافی و معدن کاری سال های اخیر نیز این آلودگی را تشدید کرده است. به دلیل رخداد کانی های سولفیدی در منطقه و هوازگی سنگ های حاوی این کانی ها، تیپ اکثر نمونه های آب، کلسیم- سولفاتی است. تحلیل مؤلفه اصلی برای پارامترهای مختلف در نمونه های آب نیز سه گروه را نشان می دهد. بیشتر فلزات سنگین در یک گروه جای می گیرند که نشان دهنده منشا مشترک (کانه زایی طبیعی) و آزادسازی همزمان در آب های منطقه است. عناصر مس، مولیبدن و گوگرد در نمونه های رسوب تمرکز بسیار زیادی نشان می دهند. تغییر شرایط محیطی مانند pH و پتانسیل اکسایش-کاهش می تواند باعث تحرک و آزادسازی این عناصر از رسوبات شده و زیست دسترس پذیری آن ها را در آب و رسوبات پایین دست کانساز افزایش دهد. در نمونه های خاک، بیشترین ضریب غنی شدگی مربوط به عناصر مولیبدن، مس و سرب می باشد. محاسبه شاخص زمین انباشت نیز نشان می دهد که عنصر مولیبدن آلودگی زیاد و عنصر مس دارای آلودگی متوسط و عنصر آنتیموان بدون آلودگی تا کمی آلوده می باشد. همچنین بر اساس شاخص آلودگی عناصر مولیبدن و مس دارای آلودگی زیاد می باشند. با توجه به رابطه هم کاهندگی عنصر مولیبدن با بعضی از عناصر، غلظت بالای مولیبدن در خاک منطقه می تواند سبب بروز کمبود عناصر ریز مغذی در گیاهان منطقه گردد. به منظور کاهش اثرات زیست محیطی معدن کاری در منطقه، ایجاد کانال های زهکشی جهت هدایت آب های موجود در پله ها، تونل، چشمه ها و سایر نقاط محدوده معدن به منظور کاهش مدت زمان تماس آب با کانی های سولفیدی و استفاده از روش های فعال و غیر فعال تصفیه زهاب اسیدی توصیه می شود.

### قدردانی

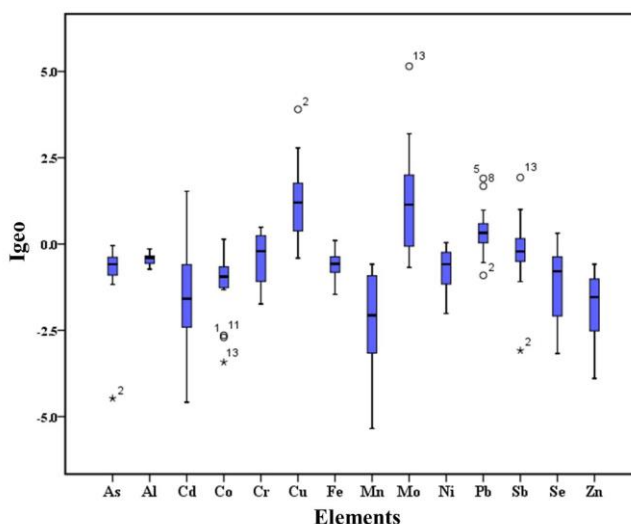
از جناب آقای مهندس قاسمی، مدیر محترم امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه، خانم مهندس اسلامی، رئیس محترم واحد تحقیقات آب و محیط زیست، و سرکار خانم مهندس اسماعیل زاده، مشاور صنعتی این پروژه به خاطر همکاری ها و زحمات بی دریغشان سپاسگزاریم.

نمونه خاک یا رسوب به غلظت زمینه همان عنصر در خاک یا رسوب منطقه مورد مطالعه، به دست می آید. بر اساس شاخص آلودگی، سه دسته آلودگی کم ( $PI < 1$ )، متوسط ( $1 < PI < 3$ ) و زیاد ( $PI > 3$ ) مشاهده می شود (Chen, 2001). بر اساس شاخص آلودگی عناصر As, Cd, Co, Mn, Se, Zn دارای آلودگی کم، عناصر Al, Cr, Fe, Ni, Sb و Pb آلودگی متوسط، و عناصر مولیبدن و مس دارای آلودگی زیاد می باشند.



شکل ۸. نمودار افزودگی- کاهیدگی عناصر در نمونه های خاک منطقه دره زار

برای بررسی بهتر میزان آلودگی عناصر در محیط خاک و رسوب و درجه آلودگی آن ها از شاخص زمین انباشت استفاده شد (Eby, 2004). محاسبه شاخص زمین انباشت نمونه های خاک و مقایسه آن با جدول (۵-ب) نشان می دهد عنصر مولیبدن دارای آلودگی زیاد و عنصر آنتیموان با درجه بدون آلودگی تا کمی آلوده می باشد. عنصر مس نیز آلودگی متوسط را نشان می دهد. نمودار جعبه ای شاخص آلودگی مولر برای نمونه های خاک در شکل (۹) ارائه شده است.



شکل ۹. نمودار جعبه ای شاخص آلودگی مولر برای نمونه های خاک منطقه دره زار



## منابع

- عیدل زاده. م.، ۱۳۸۴، مطالعه ژئوشیمیایی، کانه زایی و دگرسانی در کانسار مس دره زار، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، ۳۲۶ صفحه.
- کشاورزی. ب.، ۱۳۸۵، بررسی زهاب اسیدی در معدن مس دره زار و اثرات زیست محیطی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۷۱ صفحه.
- معانی جو. م.، ۱۳۷۰، بررسی زمین شناسی اقتصادی و آلتراسیون سطحی کانسار مس دره زار، رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی.
- Akcil. A., Koldas, S., 2006, Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies, J. Cleaner Prod. 14 1139–1145.
- Cánovas. C.R., M. Olías., J.M. Nieto., A.M. Sarmiento., J.C. Cerón., 2007, Hydrochemical characteristics of the Tinto and Odiel Rivers (SW Spain). Factors controlling metal contents, Sci. Total Environ. 373: 363–382.
- Chen. A., Lin. C, Lu, W., Wu, Y., Ma, Y., Li, J., Zhu, L., 2007, Well water contaminated by acidic mine water from the Dabaoshan Mine, South China: chemistry and toxicity, Chemosphere 70, 248–255.
- Chen. T. B., Zheng, Y. M., Lei, M., Hung. Z. C., Wu, H. T., Chen, H., Fan, K. K., Yu, K., Wu, X., Tian, Q. Z., 2001, Assessment of heavy metal pollution in surface soils of Urban parks in Beijing, Chemosphere 60: 542–551.
- Cherry. D.S., Currie, R.J., Soucek. D.J., Latimer. H.A., Trent. G.C., 2001, An integrative assessment of a watershed impacted by abandoned mine land discharges. Environmental Pollution 111, 377e388.
- Eby.G.N., 2004, principle of environmental Geochemistry., Thompson Brooks/Cole publication, 514p.
- Hernandez. L., Probst. J. L., Ulrich. E., 2003, Heavy metal distribution in some French Forest soils: for evidence atmospheric contamination. The science of the total Environment V 31: 195-212.
- Kabata Pendias. A, Mukherjee. A. B., 2007, Trace Elements from soil to Human, Springer. 519p.
- Kelly. M., 1988. Mining and the Freshwater Environment. Elsevier Applied Science, London
- McLennan. S.M., Taylor. S.R., 1999, Earth's continental crust. In(C.P. Marshall and R.W. Fairbridge, Eds. Encyclopedia of Geochemistry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p 145-151.
- Moyes., Julien, 2011, The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data, 98p.
- Muller. G., 1969, Index of Geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo J 2:108–118.
- Olías. M., Cánovas. C.R., Nieto. J.M., Sarmiento. A.M., 2006, Evaluation of the dissolved contaminant load transported by the Tinto and Odiel rivers (SouthWest Spain), Appl. Geochem. 21 1733–1749.
- Piper AM, 1994, Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Tran-Am Geophy union 25: 914-928.
- Shafiei, B., Haschke, M., Shahabpour, J., 2008, Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran, Springer. p 265-283.
- Siegel. F.R., 2002, Environmental geochemistry of potentially toxic metals., Springer. Berlin Heidelberg New York, 212 pp.