

## بررسی آلودگی زیست محیطی عناصر سنگین در خاک، آب سطحی

### و زیرزمینی معدن مس سرچشمه کرمان

هادی سالاری

۱- کارشناس ارشد آب شناسی، شرکت آب و فاضلاب استان کرمان. Sorosh\_hydro@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱ تاریخ تصویب: ۹۳/۱۲/۲۵

#### چکیده

معدن مس سرچشمه بزرگترین ذخیره مس پورفیری جهان بوده و در این مطالعه آلودگی عناصر سنگین در حوزه سرچشمه بررسی شده است. جهت تعیین غلظت این عناصر نمونه برداری از خاک، آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی در نقاط مختلف منطقه صورت گرفته و نمونه ها بطور دستنخورده جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل گردیده است. پس از تعیین مقادیر غلظت نمونه های برداشت شده، داده های حاصل از آنالیز جهت پردازش به نرم افزارهای Excel و ArcGIS داده شد. در محیط نرم افزاری تغییرات غلظت عناصر انتخابی با روش کریجینگ پهنه بندی (اینترپلاسیون) شده، نقشه ها و نمودارهایی ترسیم گردیده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد غلظت عناصر مس، مولیبدن، سرب و کادمیوم در خاک این منطقه بطور میانگین به ترتیب ppm (۱۳۲، ۳۵، ۴۵ و ۱/۷) بوده که این مقادیر از حد مجاز تجاوز نموده و از نظر استانداردهای جهانی خاک، دارای وضعیت نامطلوب می باشد. همچنین غلظت عناصر آلومینیوم، سرب، مولیبدن و کادمیوم در آب رودخانه سرچشمه بطور میانگین به ترتیب ppm (۷۳، ۰/۸، ۱/۳۲ و ۰/۴۲) بوده و در آب زیرزمینی بطور میانگین به ترتیب ppm (۰/۹، ۰/۴، ۰/۸ و ۰/۲) می باشد. مقایسه غلظت این عناصر در آبهای زیرزمینی و سطحی با معیارهای کیفی استانداردهای جهانی نشان می دهد غلظت این عناصر از نظر مصارف مختلف در حد نامطلوب می باشد. از طرفی تحلیل نقشه ها بیانگر افزایش غلظت این عناصر در بخش جنوبی حوزه (محدوده معدن)، پائین دست رودخانه سرچشمه و قنات مجاور به معدن نسبت به سایر بخشهای منطقه است.

واژگان کلیدی: عناصر سنگین، خاک، آب زیرزمینی، معدن، مس سرچشمه، آلودگی.

#### مقدمه

معدن مس سرچشمه که یکی از معادن عظیم جهان بوده به عنوان یک شهر صنعتی شناخته شده است. شهر سرچشمه دارای ارتفاع ۲۵۲۴ متر از سطح دریا بوده و مختصات ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی می باشد. معدن مس سرچشمه در نزدیکی این شهر واقع شده و این معدن از طریق جاده آسفالت به شهرستانهای رفسنجان و سیرجان مرتبط بوده و فاصله آن تا بندرعباس ۴۳۷ کیلومتر است (معانی جو و مستقیمی ۱۳۹۲). ارتفاع این ناحیه از سطح دریا بطور متوسط ۲۶۲۰ متر بوده و بلندترین نقطه آن از سطح دریا ۳۲۸۰ متر است. تغییرات سالیانه درجه حرارت در این ناحیه از ۱۵- تا ۳۵+

معدن مس سرچشمه بزرگترین ذخیره مس پورفیری جهان بوده و در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری شهرستان رفسنجان قرار دارد (Shafiei 2010). شهر سرچشمه یکی از شهرهای استان کرمان در جنوب شرقی ایران است. این شهر در فاصله ۳۵ کیلومتری شهر بابک و در شهرستان رفسنجان واقع شده و جمعیت این شهر تقریباً برابر با ۱۰۰۰۰ نفر می باشد (کنگی و همکاران ۱۳۹۰). اقلیم (آب و هوای) شهر سرچشمه به دلیل اینکه در منطقه ای کوهستانی و سردسیر واقع شده دارای زمستانهای بسیار سرد و پر برف و تابستانهای خنک ملایم می باشد (علوی و همکاران ۱۳۹۲). این شهر بخاطر وجود

بارش سالیانه حدود ۴۴۰ میلی متر می باشد (موزن زاده و همکاران ۱۳۸۵). مطالعات هیدروژئولوژیکی اطراف منطقه سرچشمه نشان می دهد که ارتباطات مشخصی بین متغیرهای زمین شناسی، توپوگرافی و هیدروژئولوژی سیستم جریان آب زیرزمینی وجود دارد (بنی اسدی ۱۳۸۶). در سرچشمه اشکال ساختاری ژئومورفولوژی خاصی سبب ورود جریان آب زیرزمینی به سازندهای زمین شناسی می شود. مهمترین پارامتر در ورود آب زیرزمینی به این سازندها هدایت هیدرولیکی بالای آنها می باشد که علت زیاد بودن این پارامتر وجود شکستگی زیاد در این سازندها می باشد (sahraei parizi 2014).

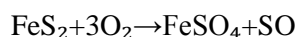
آب بوسیله دو روش وارد معدن می شود اول حرکت رو به پائین آب تحت شرایط اشباع یا غیر اشباع در مخروط افت ایجاد شده بوسیله معدن و دوم حرکت آب زیرزمینی جانبی در حاشیه معدن. همچنین گودال معدن (حفره) را می توان به چهار قطعه تقسیم کرد شامل:

- **دیوار شرقی گودال:** دارای قله های موازی با امتداد کلی از دایک هایی با زاویه ۸۵-۶۰ درجه به سمت شرق بوده و شیب هیدرولیکی از جنوب به شمال می باشد. این دایک ها بعنوان حامل جریان آب (اسیدی) عمل می کنند (karimi Nasab 1997).

- **دیوار جنوبی گودال:** قله ها تقریباً عمود بر امتداد دایکها بوده و به عنوان حامل جریان آب عمل نمی کنند.

- **دیوار شمالی گودال:** ارتفاع دیواره شمالی حدود ۶۶۰۰۰ متر بوده و نفوذپذیری توده معدنی بیشتر از سنگهای اطراف می باشد. این دیواره می تواند تغذیه سیستم آب زیرزمینی را فراهم آورد و سبب ارتباط آبهای سطحی و زیرزمینی در محل معدن شود. این دیواره شبیه به دیوار جنوبی می باشد.

- **دیوار غربی گودال:** از نظر هیدروژئولوژیکی، این مقطع شبیه دیوار شرقی است اما شیب دایکهای آن بر خلاف شیب دامنه است. واکنش های پیریتی وجود عناصر سنگین سمی مثل سرب، روی، کادمیوم و مس را در محلولهای اسیدی سبب می شود (Xavier 1990).



درجه سانتی گراد می باشد (بنی اسدی و همکاران ۱۳۸۹). میزان بارندگی در ارتفاعات ۵۵۰ میلی متر در سال گزارش شده و سرعت باد در این ناحیه گاهی به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می رسد (Samani, 2009). این معدن از لحاظ زمین شناسی در بخش جنوب شرقی کمربند تکتونوماگمایی ایران مرکزی و در مجموعه آتشفشانی - رسوبی پاریز از کمربند دهج - ساردوئیه در استان کرمان جای گرفته است (Karimi et al 2001). کانسار سرچشمه تقریباً در قسمت مرکزی یک زون متشکل از مواد آتشفشانی و رسوبی چین خورده که با جهت عمومی شمال غربی - جنوب شرقی از جنوب ترکیه تا بلوچستان ادامه دارد، واقع شده است (Hamilton 1975). در محدوده معدن گسل هایی با روند شمالی - جنوبی وجود دارند که این حرکات تکتونیک به همراه ماگماتیسیم منطقه مربوط به کواترنر می باشد (Waterman et al 1975). معدن در دامنه شمالی کوه مامرز قرار گرفته و سنگهای منطقه از کمپلکس های آتشفشانی - رسوبی توده های نفوذی الیگومیوسن و گدازه های داسیتی کواترنر تشکیل یافته است (shahabpour 1982). کمپلکس ائوسن از پیروکلاستیک هایی که توسط گدازه های تراکی آندزیتی دگرسان شده ساخته شده است (Hessami et al 2001). این کمپلکس دچار چین خوردگی شده و طاقدیس با روند شرقی - غربی در آن بوجود آمده است (صفاری ۱۳۷۷). توده های نفوذی گرانودیوریت های پورفیری هستند که دایکهای بیشماری در آن تزریق شده است. جهت این دایکها اکثراً N25W بوده و منشا این گرانودیوریت احتمالاً ماگمایی هیبریدی می باشد (Hawley & Shikaze 1971). توپوگرافی محل نیز به خوبی گسترش یافته و به علت فرسایش سریع سنگ هوازده، حوضه وسیعی در اطراف کانسار گسترش یافته است. آب منطقه توسط رودخانه شورو زهکش می شود. توده معدنی کانسار سرچشمه به شکل عمومی یک بیضی با ابعاد  $2/1 \times 2/4$  کیلومتر و عمق  $6/1$  کیلومتر می باشد (Yosefi & Doulati 2013). معدن مس سرچشمه دارای حوزه آبریز با مساحت ۲۱ کیلومتر مربع و میانگین

## مواد و روش ها

هدف اصلی از این پژوهش، ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین مس، مولیبدن، سرب و کادمیوم) در خاک، آبهای سطحی و زیرزمینی معدن مس سرچشمه کرمان می باشد. نمونه برداری خاک در اعماق مختلف و از ۵۲ نقطه مشخص از منطقه صورت پذیرفت. نمونه برداری از آبهای سطحی در طول رودخانه سرچشمه از ۲۵ نقطه و نمونه برداری از آبهای زیرزمینی از ۹ رشته قنات واقع در منطقه انجام گرفت. نمونه ها بصورت دست نخورده به آزمایشگاه جهت تجزیه منتقل گردید. نتایج تجزیه جهت پردازش به نرم افزارهای Excel و ArcGIS داده شد. با استفاده از نرم افزار جی آی اس و روش کریچینگ تغییرات غلظت عناصر سنگین پهنه بندی شده و نقشه های پهنه بندی تغییرات غلظت ترسیم شده است. نقشه های ترسیم شده مورد تفسیر و بررسی قرار گرفته است. همچنین بر اساس آماری میزان غلظت عناصر در آب و خاک بررسی شده و مقادیر میانگین حاصله مورد مقایسه قرار گرفته است.

## بحث و نتایج

### غلظت عناصر سنگین در خاک

غنی شدگی مس مربوط به کانیهای کالکوپیریت، بورنیت و مولیبدونیت در سنگهای آتشفشانی منطقه بوده و عوارض نامطلوب مس در خاک زمانی بروز می کند که غلظت آن در محلول خاک از  $0/1 \text{ ppm}$  تجاوز نماید (بایوردی ۱۳۷۲). مقدار میانگین مس  $235 \text{ ppm}$  در خاک حوزه بوده که بیشترین مقدار را نسبت به سایر عناصر سنگین در خاک به خود اختصاص داده است. با نمونه برداری از ۵۲ نقطه متفاوت از محل معدن، شهر سرچشمه، کارخانه و اطراف منطقه مشخص گردیده بیشترین غلظت عنصر مس در خاک محل معدن تمرکز یافته (بخش جنوبی حوزه) و به سمت شمال حوزه میزان غلظت سرب در خاک کاهش می یابد (شکل ۱). میزان غلظت عنصر مس را در خاکهای نقاط مختلفی از حوزه نشان می دهد.

### غلظت عنصر سرب در خاک

سرب موجود در خاک منطقه بیشتر از طریق هوای آلوده معدن طی بارندگی وارد خاک شده است. میانگین غلظت

این عنصر در خاک حوزه  $65 \text{ ppm}$  می باشد. بیشترین غلظت این عنصر در بخش جنوبی حوزه (محل معدن سرچشمه) بوده و کمترین غلظت آن در بخش شمالی حوزه می باشد. غلظت عنصر سرب در خاک را نشان می دهد.

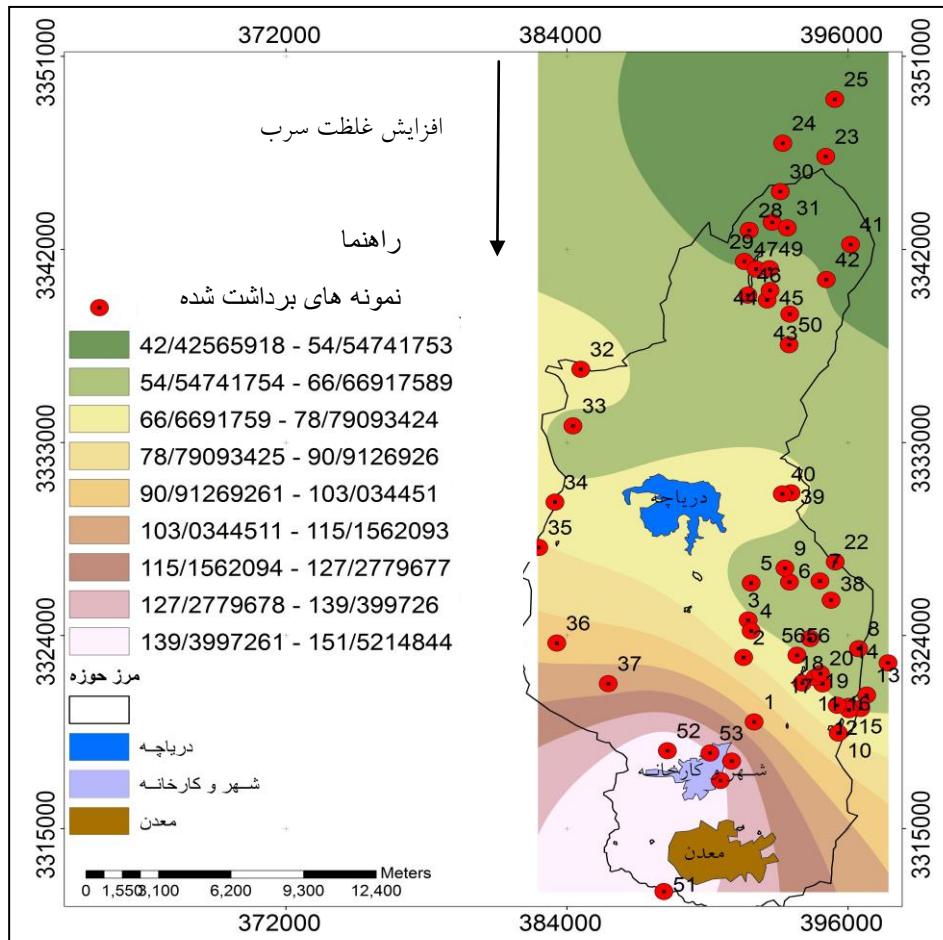
### غلظت عنصر مولیبدن در خاک

میانگین غلظت این عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه  $13 \text{ ppm}$  می باشد. کمترین میزان غلظت این عنصر در بخش غربی حوزه بوده و میزان آن از جنوب (محل معدن) به سمت بخش های شرقی و شمالی حوزه افزایش یافته است. غلظت عنصر مولیبدن در خاک را نشان می دهد. (جدول ۱)

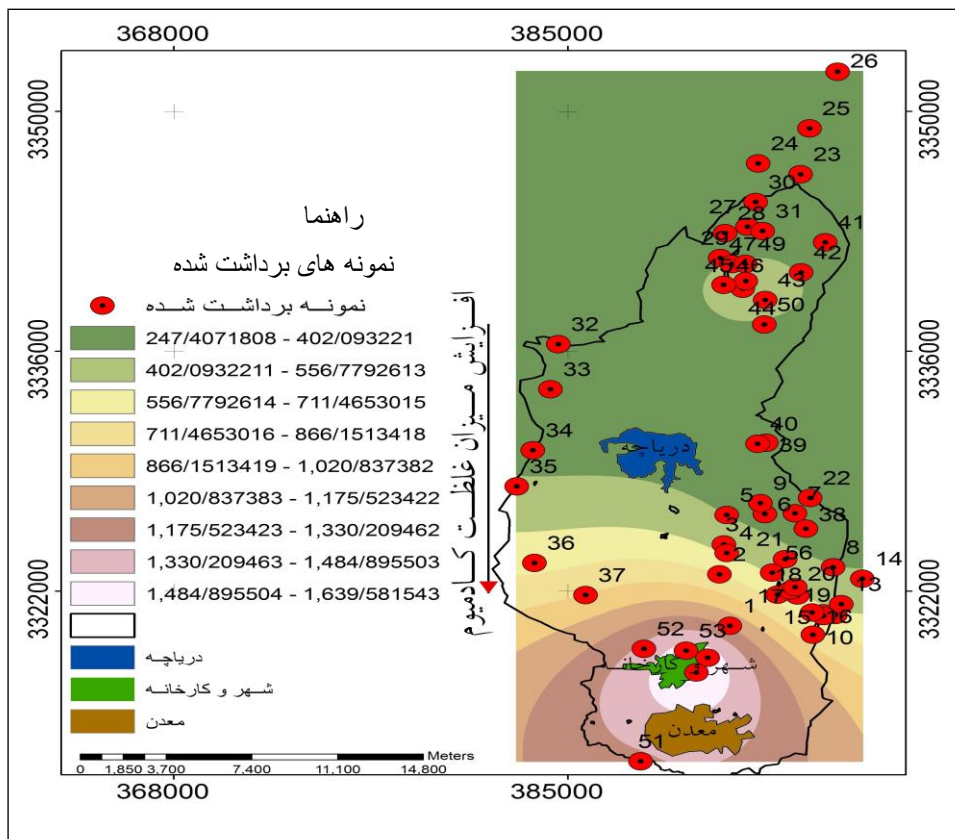
میزان غلظت عناصر سنگین را در ۵۲ نقطه نمونه برداری شده از خاک منطقه را بصورت دستنخورده نشان می دهد. میانگین غلظت عناصر انتخابی در نمونه های خاک بصورت  $\text{Cd} < \text{Mo} < \text{Pb} < \text{Cu}$  می باشد. بنابراین بیشترین غنی شدگی مربوط به عنصر مس بوده و کمترین مربوط به عنصر کادمیوم می باشد.

### غلظت عناصر سنگین در رودخانه (آب سطحی)

غلظت عناصر سنگین (آلومینیم، سرب، کادمیوم و مولیبدن) در ۲۵ نقطه از آب رودخانه برداشت و مورد آنالیز قرار گرفته است. بیشترین فاکتور غنی شدگی در آب رودخانه سرچشمه مربوط به عنصر مولیبدن بوده و کمترین غلظت مربوط به عنصر کادمیوم می باشد. ترتیب فراوانی تمرکز غلظت عناصر موجود در آب رودخانه بصورت  $\text{Cd} < \text{Pb} < \text{Al} < \text{Mo}$  می باشد. پهنه بندی غلظت این عناصر نشان می دهد از سمت شمال به جنوب (در محل معدن مس سرچشمه) در حال افزایش می باشد. جدول ۲ مقادیر میزان غلظت عناصر سنگین در آب رودخانه سرچشمه را نشان می دهد.



شکل ۱- نقشه پراکنش غلظت سرب در خاک



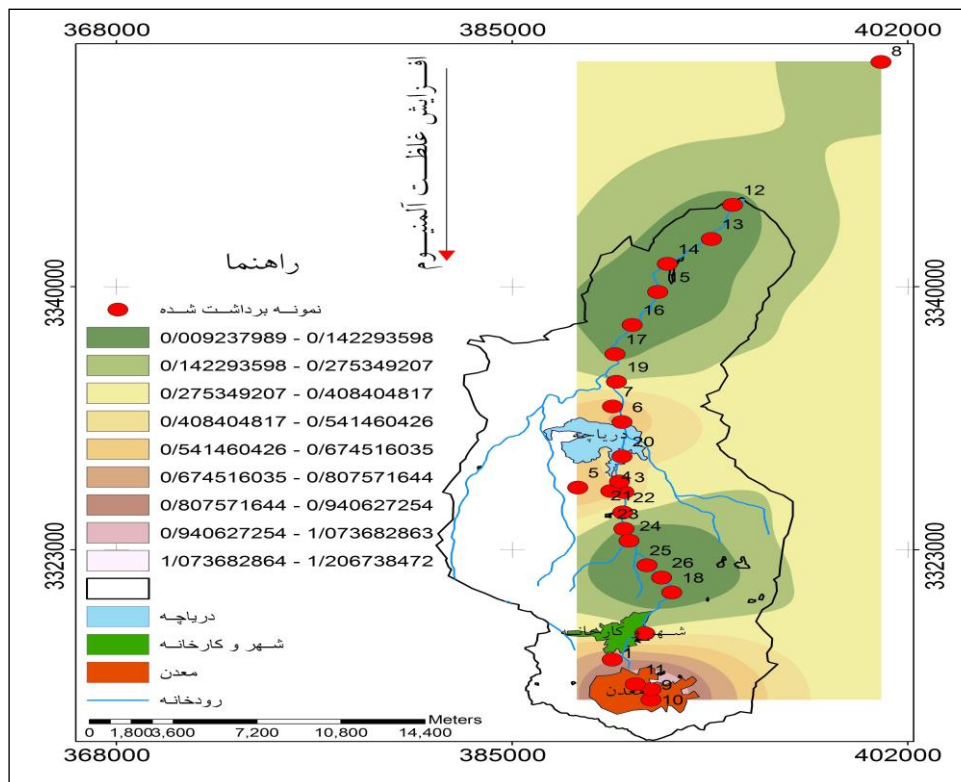
شکل ۲- نقشه پراکنش غلظت عنصر کادمیوم در خاک

جدول ۱- مقادیر عناصر سنگین در نمونه های خاک برداشت شده (ppm)

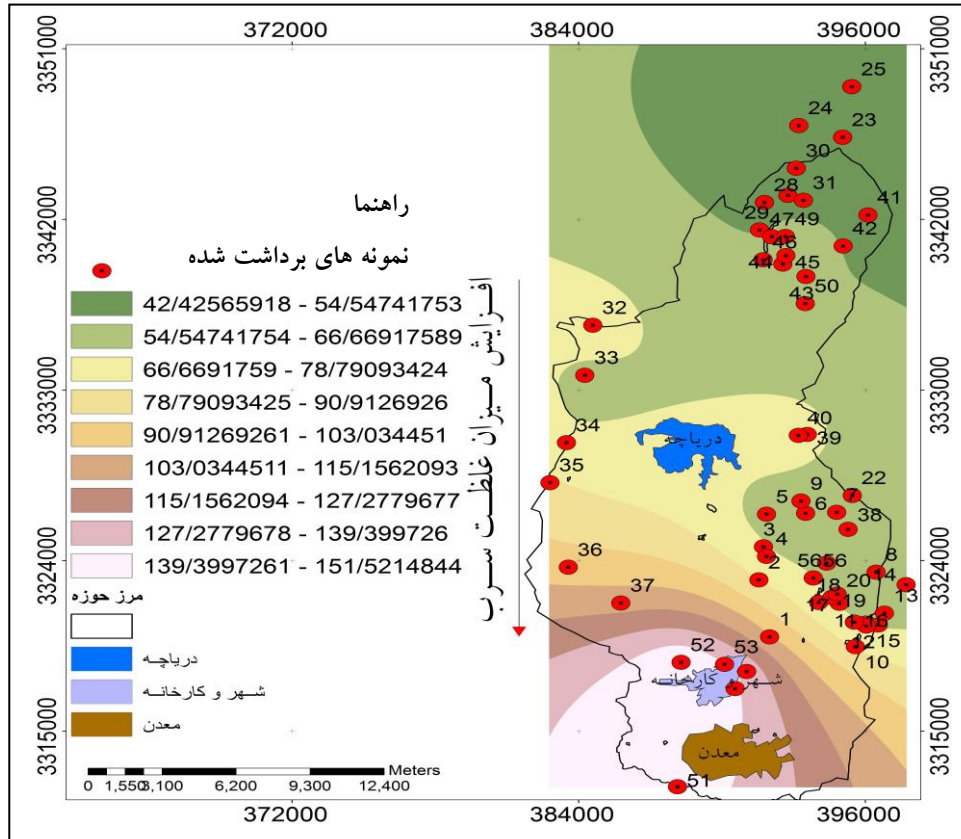
x	y	cu	cd	pb	mo	شماره نمونه
۳۹۱۹۸۳	۳۳۱۹۹۷۸	۵۸۷/۳۳۰	۴/۳۵	۷۵/۳۳۰	۴/۵۰	۱
۳۹۱۵۳۴	۳۳۲۲۹۸۳	۲۲۸/۳۳۰	۲/۵۰	۶۰/۸۳۰	۵/۰۰	۲
۳۹۱۷۲۵	۳۳۲۴۷۲۴	۹۲/۶۳۰	۰/۶۵	۷۰/۶۶۰	۱۱/۰۰	۳
۳۹۱۸۵۴	۳۳۲۴۲۲۴	۴۵/۳۰۰	۱/۹۰	۴۳/۰۰۰	۱۲/۵۰	۴
۳۹۱۸۵۴	۳۳۲۶۴۴۹	۱۹/۲۶۰	۱/۶۰	۲۲/۵۰۰	۱۳/۰۰	۵
۳۹۳۴۹۱	۳۳۲۶۴۹۶	۷۵/۶۶۰	۲/۰۰	۴۵/۰۰۰	۲۲/۵۰	۶
۳۹۴۷۹۱	۳۳۲۶۵۴۶	۱۳۲/۶۶۰	۲/۷۰	۶۵/۶۶۰	۳۸/۰۰	۷
۳۹۶۴۴۲	۳۳۲۳۳۹۴	۱۰۲/۲۵۰	۱/۸۵	۳۵/۱۶۰	۷/۵۰	۸
۳۹۳۳۰۰	۳۳۲۷۱۴۲	۳۳۱/۶۰۰	۲/۸۰	۸۰/۳۳۰	۱۶/۰۰	۹
۳۹۵۵۷۰	۳۳۱۹۴۵۵	۲۰۴/۳۳۰	۰/۶۰	۶۴/۲۵۰	۴۴/۵۰	۱۰
۳۹۶۰۰۴	۳۳۲۲۰۷۳	۹۴/۹۸۰	۲/۶۵	۶۰/۵۰۰	۱۲/۵۰	۱۱
۳۹۶۵۳۱	۳۳۲۰۶۰۲	۲۱۹/۳۳۰	۱/۸۵	۵۱/۶۶۰	۱۰/۰۰	۱۲
۳۹۶۷۸۶	۳۳۲۱۲۳۲	۱۹۹/۱۶۰	۳/۶۵	۶۵/۳۳۰	۱۱/۵۰	۱۳
۳۹۷۷۰۰	۳۳۲۲۷۳۲	۲۱۱/۵۸۰	۱/۰۰	۶۷/۶۶۰	۹/۰۰	۱۴
۳۹۶۰۳۱	۳۳۲۰۵۴۴	۱۴۴/۱۱۶	۲/۵۹	۵۶/۶۶۰	۹/۰۰	۱۵
۳۹۵۵۳۰	۳۳۲۰۷۵۳	۱۵۸/۸۳۰	۳/۰۰	۵۴/۵۰۰	۱۰/۰۰	۱۶
۳۹۴۹۰۴	۳۳۲۱۷۴۵	۱۲۰/۶۶۰	۱/۴۰	۵۷/۰۰۰	۱۹/۰۰	۱۷
۳۹۴۰۳۹	۳۳۲۱۷۸۹	۱۶۷/۷۶۰	۱/۱۰	۵۴/۳۳۰	۴۰/۰۰	۱۸
۳۹۴۵۸۷	۳۳۲۲۰۴۵	۲۰۶/۱۶۶	۲/۷۰	۶۱/۸۳۰	۱۳/۰۰	۱۹
۳۹۴۸۱۰	۳۳۲۲۲۲۹	۱۵۰/۳۳۰	۲/۲۰	۵۲/۱۶۰	۳۲/۵۰	۲۰
۳۹۴۳۷۳	۳۳۲۳۸۶۸	۱۴۸/۲۵۰	۱/۸۰	۵۰/۵۰۰	۱۹/۵۰	۲۱
۳۹۵۴۴۲	۳۳۲۷۴۳۸	۳۳۰/۱۶۰	۳/۲۵	۶۰/۳۳۰	۱۲/۵۰	۲۲
۳۹۵۰۳۷	۳۳۴۶۳۳۷	۳۸/۴۱۶	۱/۵۵	۴۰/۳۳۰	۹/۰۰	۲۳
۳۹۳۲۰۸	۳۳۴۶۹۵۸	۴۸/۸۶۰	۱/۵۵	۳۱/۶۶۰	۹/۵۰	۲۴
۳۹۵۴۲۶	۳۳۴۹۰۰۵	۴۰/۶۰۰	۲/۲۵	۲۹/۱۲۰	۳۲/۵۰	۲۵
۳۹۶۶۳۴	۳۳۵۲۳۲۲	۸۴/۶۶۰	۲/۶۰	۳۸/۰۰۰	۵/۰۰	۲۶
۳۹۲۷۴۹	۳۳۴۳۲۷۳	۲۹/۱۱۶	۱/۴۵	۲۵/۳۳۰	۵/۰۰	۲۷
۳۹۱۷۸۱	۳۳۴۲۸۹۳	۷۴/۸۳۰	۱/۰۰	۴۱/۲۵۰	۵/۰۰	۲۸
۳۹۱۵۶۵	۳۳۴۱۴۴۴	۱۰۹/۸۳۰	۱/۶۰	۳۱/۳۳۰	۱۱/۵۰	۲۹
۳۹۳۱۰۰	۳۳۴۴۷۰۵	۵/۷۶۰	۲/۷۰	۶۶/۱۷۰	۴/۰۰	۳۰
۳۹۳۳۹۵	۳۳۴۳۰۱۰	۴۶/۴۶۰	۳/۲۵	۷۰/۲۵۰	۸/۰۰	۳۱
۳۸۴۵۷۹	۳۳۳۶۴۱۹	۵۲/۴۶۰	۰/۷۵	۱۱۷/۸۳۰	۴/۰۰	۳۲
۳۹۴۲۸۶	۳۳۳۳۷۸۰	۱۵/۱۳۰	۱/۵۵	۳۲/۰۰۰	۱۰/۰۰	۳۳
۳۸۳۴۷۴	۳۳۳۰۲۲۴	۹۱/۰۰۰	۱/۱۰	۳۱/۶۶۰	۲/۰۰	۳۴

ادامه جدول (۱)

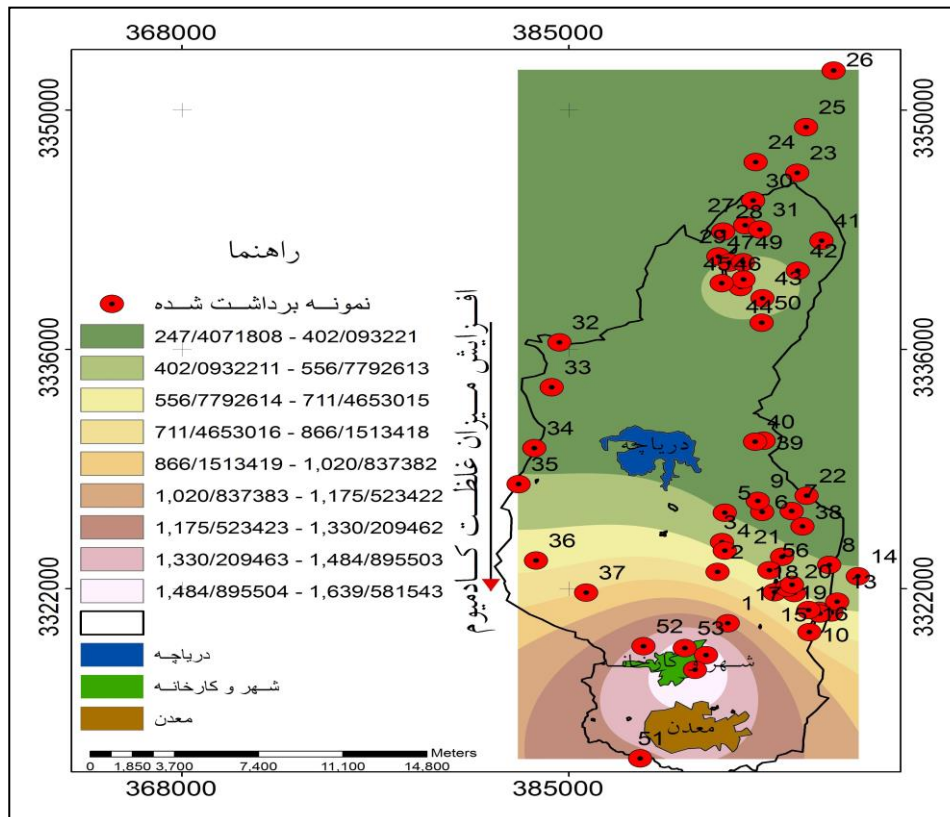
۳۸۲۷۸۵	۳۳۲۸۱۱۳	۷۴/۵۰۰	۱/۲۰	۹۹/۵۰۰	۴/۵۰	۳۵
۳۸۳۵۵۸	۳۳۲۳۶۵۳	۵۸/۷۶۰	۰/۴۹	۷۸/۳۳۰	۴/۰۰	۳۶
۳۸۵۷۵۵	۳۳۲۱۷۶۵	۴۹/۵۰۰	۲/۳۰	۸۲/۷۵۰	۱۵/۰۰	۳۷
۳۹۵۲۷۰	۳۳۲۵۶۵۲	۷۱/۸۳۰	۰/۱۵	۵۴/۵۰۰	۱۳/۰۰	۳۸
۳۹۳۵۶۱	۳۳۳۰۶۶۰	۱۳۳/۱۶۶	۰/۰۲	۴۳/۶۶۰	۵/۵۰	۳۹
۳۹۳۱۸۱	۳۳۳۰۶۰۶	۹۲/۹۵۰	۱/۵۰	۱۵۴/۰۰۰	۵/۵۰	۴۰
۳۹۶۱۰۱	۳۳۴۲۳۶۶	۳۳۹/۶۶۰	۰/۴۵	۶۰/۱۶۰	۷۰/۵۰	۴۱
۳۹۵۰۶۱	۳۳۴۰۶۰۰	۱۱۲/۸۳۰	۰/۰۰	۵۱/۸۳۰	۹/۵۰	۴۲
۳۹۳۵۰۳	۳۳۳۸۹۹۵	۱۲۵/۴۵۰	۰/۰۰	۵۱/۰۰۰	۱۰/۰۰	۴۳
۳۹۲۵۳۹	۳۳۳۹۶۴۹	۵۶/۰۰۰	۰/۷۵	۲۱/۰۰۰	۲/۵۰	۴۴
۳۹۲۶۶۷	۳۳۴۰۰۹۶	۴۹۲/۷۵۰	۷/۵۰	۹۴/۱۶۰	۲/۵۰	۴۵
۳۹۱۷۱۴	۳۳۳۹۸۱۷	۸۳/۳۶۰	۰/۰۰	۵۶/۵۰۰	۳/۵۰	۴۶
۳۹۲۰۶۶	۳۳۴۱۰۸۶	۷۵/۳۳۰	۰/۰۰	۵۳/۳۳۰	۴/۵۰	۴۷
۳۹۲۶۴۴	۳۳۴۱۱۰۱	۸۹/۰۰۰	۲/۰۰	۸۶/۵۰۰	۱۲/۵۰	۴۸
۳۹۲۶۴۴	۳۳۴۱۱۰۱	۶۰/۷۵۰	۰/۴۰	۱۰۲/۰۰۰	۵/۵۰	۴۹
۳۹۳۴۷۳	۳۳۳۷۵۶۴	۹۵/۳۳۰	۰/۰۳	۴۰/۵۰۰	۳/۰۰	۵۰
۳۸۸۱۲۵	۳۳۱۲۰۶۷	۵۹۳/۳۰۰	۰/۰۰	۱۵۹/۰۰۰	۱۱/۰۰	۵۱
۳۸۸۲۷۵	۳۳۱۸۶۳۰	۵۵۶/۳۳۰	۰/۹۰	۲۷۶/۸۳۰	۱۰/۵۰	۵۲



شکل ۳- نقشه پهنه بندی تغییرات غلظت آلومینیوم در آب رودخانه



شکل ۴- نقشه تغییرات غلظت عنصر سرب در خاک



شکل ۵- نقشه پهنه بندی تغییرات کادمیوم در خاک

جدول ۲- مقادیر غلظت عناصر سنگین در آب رودخانه منطقه سرچشمه (ppm)

X	Y	Pb	Mo	Al	Cd	شماره نمونه
۳۹۰۵۴۲	۳۲۹۹۲۰۷	۰/۵۷۰	۱/۴۶۴	۰/۷۲۱	۰/۹۴۱	۱
۳۹۰۷۶۷	۳۳۱۷۷۲۹	۱/۰۹۹	۱/۶۴۵	۰/۸۳۲	۰/۱۹۲	۲
۳۹۰۷۸۵	۳۳۱۷۷۶۵	۰/۷۶۳	۰/۸۶۹	۱/۰۸۰	۰/۷۷۲	۳
۳۹۰۸۴۶	۳۳۱۹۴۲۸	۰/۸۱۸	۱/۶۲۱	۰/۳۹۱	۰/۹۰۰	۴
۳۹۰۸۶۶	۳۳۱۹۵۳۸	۱/۵۳۸	۱/۶۰۳	۰/۶۰۱	۰/۶۳۳	۵
۳۹۰۸۶۵	۳۳۱۹۵۷۳	۱/۱۰۵	۱/۸۳۵	۰/۶۹۰	۰/۶۹۶	۶
۳۹۰۷۸۳	۳۳۲۱۲۰۳	۰/۵۸۵	۱/۵۹۲	۰/۳۶۶	۰/۵۸۱	۷
۳۸۹۲۲۵	۳۳۲۳۲۰۳	۰/۶۰۰	۱/۴۹۲	۱/۵۶۰	۰/۹۸۴	۸
۳۸۹۲۴۰	۳۳۲۵۰۶۱	۰/۲۵۵	۰/۸۹۵	۰/۶۹۸	۰/۶۷۲	۹
۳۸۹۲۱۵	۳۳۲۵۱۳۶	۱/۱۶۴	۱/۵۳۹	۰/۸۷۰	۰/۶۹۰	۱۰
۳۸۹۲۳۴	۳۳۲۶۷۶۶	۰/۴۸۶	۱/۸۰۵	۰/۶۴۵	۰/۷۵۵	۱۱
۳۸۹۲۳۲	۳۳۲۶۷۶۴	۰/۸۹۶	۱/۸۴۵	۰/۷۲۰	۱/۰۷۴	۱۲
۳۸۹۳۸۵	۳۳۳۰۵۶۶	۰/۳۷۲	۱/۰۰۱	۰/۷۴۶	۰/۳۰۵	۱۳
۳۸۹۲۸۴	۳۳۳۰۵۲۸	۰/۴۶۴	۱/۱۹۰	۰/۴۳۲	۰/۲۸۸	۱۴
۳۸۹۴۱۳	۳۳۳۳۸۰۱	۰/۴۹۸	۱/۱۸۳	۰/۵۰۲	۰/۲۹۸	۱۵
۳۸۹۳۵۹	۳۳۳۵۶۱۸	۰/۴۸۳	۱/۱۹۵	۰/۴۹۳	۰/۳۰۱	۱۶
۳۹۰۰۳۷	۳۳۳۷۴۰۸	۰/۵۰۱	۱/۱۷۶	۰/۴۵۱	۰/۲۸۹	۱۷
۳۹۱۲۰۳	۳۳۳۹۴۹۵	۰/۵۱۲	۰/۹۹۸	۰/۴۲۹	۰/۲۶۴	۱۸
۳۹۱۲۳۰	۳۳۴۱۰۱۴	۰/۵۳۵	۱/۱۸۸	۰/۳۹۸	۰/۲۵۳	۱۹
۳۹۳۲۳۶	۳۳۴۲۹۳۹	۰/۴۹۹	۱/۱۸۰	۰/۳۶۱	۰/۲۲۲	۲۰
۳۹۴۴۵۶	۳۳۴۵۰۵۴	۰/۵۲۱	۱/۰۹۱	۰/۴۰۲	۰/۲۰۱	۲۱
۳۹۴۴۳۹	۳۳۴۷۰۸۹	۰/۶۸۲	۲/۰۷۳	۱/۷۷۸	۰/۱۶۷	۲۲
۳۹۰۵۸۷	۳۳۱۴۷۰۱	۱/۷۰۵	۱/۴۹۷	۱/۴۷۶	۳/۹۳۳	۲۳
۳۹۰۴۱۱	۳۳۱۳۹۵۰	۲/۲۴۵	۰/۶۸۱	۱/۱۲۳	۲/۳۴۱	۲۴
۳۹۱۳۲۹	۳۳۱۳۶۳۰	۱/۰۲۴	۰/۴۲۰	۰/۶۰۲	۲/۲۹۱	۲۵

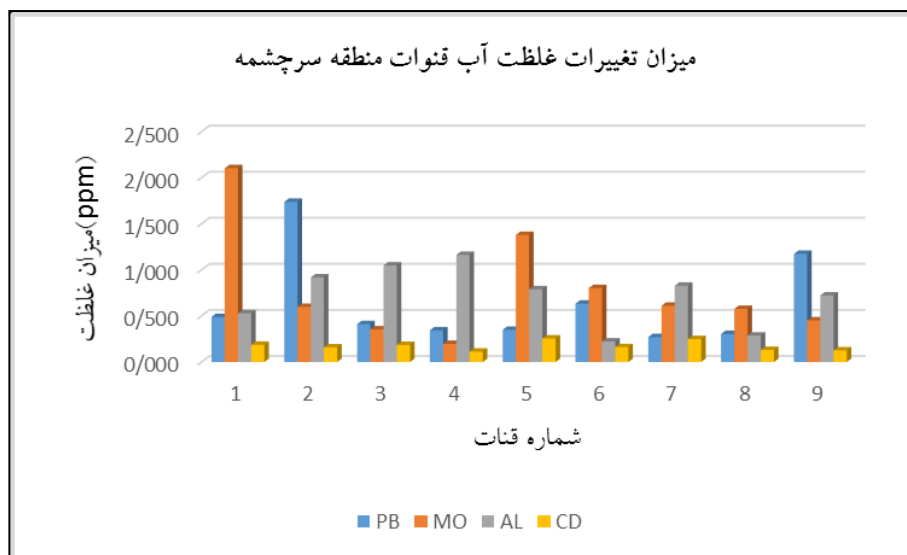
جدول ۳- میزان غلظت عناصر سنگین در آب قنوات منطقه مس سرچشمه (ppm)

X	Y	Pb	Mo	Al	Cd	نام منبع
۳۹۵۱۸۳	۳۳۶۹۰۷۱	۰/۴۱۱	۰/۶۳۹	۰/۶۲۵	۰/۳۰۱	قنات شماره ۱
۳۸۹۸۳۲	۳۳۶۷۷۶۰	۰/۲۷۳	۰/۲۱۸	۱/۰۸۱	۰/۰۸۶	قنات شماره ۲
۳۹۰۴۷۰	۳۳۶۷۵۶۸	۰/۳۹۸	۰/۲۹۵	۰/۸۳۳	۰/۱۲۱	قنات شماره ۳
۳۸۹۰۳۱	۳۳۶۶۴۱۳	۰/۴۰۸	۰/۲۳۳	۰/۷۹۶	۰/۱۲۴	قنات شماره ۴
۳۹۰۶۱۰	۳۳۶۵۷۷۵	۰/۲۳۳	۱/۹۹۲	۰/۶۳۲	۰/۰۸۶	قنات شماره ۵
۳۹۰۲۳۸	۳۳۶۵۹۸۵	۰/۷۱۷	۰/۶۹۶	۰/۶۲۹	۰/۳۲۴	قنات شماره ۶
۴۰۰۹۱۶	۳۳۵۸۲۱۸	۰/۲۷۵	۱/۵۷۷	۰/۹۸۲	۰/۱۸۵	قنات شماره ۷
۴۰۲۰۸۱	۳۳۴۰۸۴۶	۰/۴۱۱	۰/۲۶۹	۱/۳۵۸	۰/۱۶۸	قنات شماره ۸
۴۰۰۹۴۱	۳۳۵۹۹۴۷	۰/۴۸۶	۱/۳۲۷	۰/۹۵۴	۰/۱۶۶	قنات شماره ۹



جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت عناصر انتخابی منطقه سرچشمه با استانداردهای جهانی (ppm).

مرز مجاز آب آشامیدنی	خاک		آب زیرزمینی		آب جاری		عناصر انتخابی
	متوسط جهانی	منطقه سرچشمه	متوسط جهانی	میانگین در سرچشمه	متوسط جهانی	میانگین در سرچشمه	
۱	۲۰	۲۳۵	۱	*	۰/۰۰۷	*	Cu
۰/۰۵	۰/۰۱	۶۵	۰/۰۵	۰/۴	۰/۰۰۱	۰/۸	Pb
۱	۵	۱۳	۱	۰/۸	۰/۰۰۵	۱/۳۲	Mo
۰/۰۰۵	۱	۱/۷	۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۰۰۱	۰/۴۲	Cd
۰/۰۰۳	*	*	۰/۰۰۱	۰/۹	۰/۰۰۲	۰/۷۳	Al



شکل ۶- نمودار تغییرات غلظت عناصر سنگین در آب قنات سرچشمه

خاک منطقه با مقادیر استانداردهای جهانی را نشان می دهد.

#### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد غلظت عناصر سنگین موجود در خاک منطقه بیش از حد مجاز بوده و سبب ایجاد مسمومیت در خاک منطقه شده است. بنابراین این عناصر از طریق خاک جذب ریشه گیاهان شده و در نهایت وارد بدن انسان و حیوانات خواهد شد و در بدن موجود زنده ایجاد مسمومیت و بیماری خواهد کرد.

#### غلظت عناصر سنگین در آب زیرزمینی

غلظت این عناصر در ۸ حلقه قنات در بالادست منطقه نمونه برداری شد. نتایج آنالیز نشان می دهد میانگین غلظت عناصر آلومینیوم و کادمیوم به ترتیب بیشترین و کمترین غنی شدگی را در آب زیرزمینی دارا می باشد. همچنین ترتیب فراوانی غلظت عناصر بصورت  $Cd < Pb < Mo < Al$  می باشد. (جدول ۳) غلظت این عناصر را در آب زیرزمینی نشان می دهد. همچنین نمودار اختلاف غلظت عناصر سنگین را در این قنات نشان می دهد. جدول ۴- مقادیر میانگین غلظت عناصر سنگین در آب و

## منابع

- همچنین غلظت این عناصر در آب رودخانه سرچشمه و آب قنوات منطقه به دلیل انحلال سنگهای آتشفشانی دگرسان شده موجود در منطقه به مرور زمان در حال افزایش است. میزان این عناصر در منابع آبی حوزه از نظر معیار کیفی استاندارد جهانی آب در حد نامطلوب می باشد. آب این منطقه مخصوصاً مناطق پایین دست رودخانه سرچشمه و بخشهای جنوبی حوزه (مجاور معدن سرچشمه) از نظر مصارف شرب و کشاورزی غیر مجاز می باشد. همچنین بیشترین تمرکز عناصر سنگین ناشی از وجود کانیهای پیریت و کلکوپیریت در معدن سرچشمه بوده و دگرسانی این کانیها به کانیهای رسی باعث انحلال بیشتر و افزایش غلظت عناصر سنگین در آب و خاک منطقه خواهد شد. همچنین بررسی های آماری نشان می دهد بیشترین غلظت عناصر سنگین در خاک منطقه مربوط به عنصر مس بوده و کمترین غلظت را عنصر کادمیوم به خود اختصاص داده است. در آب رودخانه بیشترین غلظت مربوط به عنصر مولیبدن بوده و کمترین غلظت مربوط به عنصر کادمیوم است. تجزیه کیفی آب قنوات (آبهای زیرزمینی) نشان می دهد، بیشترین غلظت مربوط به عنصر مولیبدن و کمترین غلظت مربوط به عنصر کادمیوم می باشد. غنی شدگی عناصر مس و مولیبدن در خاک منطقه به علت وجود کانیهای کالکوپیریت، بورنیت و مولیبدنیت در سنگهای آتشفشانی دگرسان شده در منطقه می باشد. غنی شدگی آلومینوم در آب رودخانه به علت انحلال کانیهای کائولینیت و ایلیت بوده که در اثر دگرسانی سنگهای موجود در بالادست حوزه بوجود آمده است. بر اساس داده های آماری از نمونه های خاک برداشت شده میانگین فراوانی غلظت عناصر انتخابی به صورت  $Cd < Mo < Pb < Cu$  می باشد. همچنین ارزیابی داده های آماری برای نمونه های برداشت شده از آب رودخانه سرچشمه نشان می دهد فراوانی عناصر انتخابی بصورت  $Cd < Al < Pb < Mo$  بوده و این فراوانی برای آب زیرزمینی (قنوات) بصورت  $Cd < Pb < Mo < Al$  می باشد.
- بای بوردی، م.، (۱۳۷۲)، " فیزیک خاک"، انتشارات دانشگاه تهران، ویرایش پنجم، ۶۷۱ ص.
- بنی اسدی، ع.، (۱۳۸۶)، " بررسی هیدرولوژیکی و زیست محیطی معدن مس سرچشمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۵۰ص.
- بنی اسدی، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، کرمی، غ.، بنی اسدی، م.، (۱۳۸۹)، " پیش بینی غلظت اکسیژن و پیریت باقیمانده در دمپ های باطله معدن مس سرچشمه بر پایه مدل سازی عددی حجم های محدود"، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، دوره پنجم، شماره دهم، ص ۵۴-۴۷.
- صداقت، م.، (۱۳۷۵)، " زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)"، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۲۲۹-۲۰۵.
- صفاری م. م.، (۱۳۷۷)، " بررسی توزیع و تمرکز عناصر کمیاب و گرانبها و عوامل کنترل کننده آنها در کانسار مس پورفیری سرچشمه کرمان"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۰۰ ص.
- علوی، ا.، اکبری، ا.، عطایی، م.، (۱۳۹۲)، " انتخاب گونه گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سرچشمه به روش فازی TOP SIS"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، دوره ششم، شماره هجدهم، ص ۱۰۶-۱۰۱.
- کنگی، ع.، پور کرمانی، م.، میرزائی، س.، (۱۳۹۰)، " نقش سیستم شکستگی در شرایط بارگذاری لرزه ای بر ناپایداری دیواره غربی معدن مس سرچشمه"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد زاهدان، شماره ۱، ص ۷۶-۷۳.
- معانی جو، م.، مستقیمی، م.، (۱۳۹۲)، " محاسبه موازنه جرم در زون دگرسانی گرمایی کانسار مس پورفیری سرچشمه"، مجله زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۲ جلد ۵، ص ۱۹۹-۱۷۵.
- مؤذن زاده، م. طباطبائی، س. ع. و حسینی، ح.، (۱۳۸۵)، " بررسی علل تولید زهابهای اسیدی در معدن مس دره هزار و راههای کنترل آن"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، ص ۹۴-۸۷.
- Hawley, J.R. & Shikaze, K.H.(1971), " The problem of Acid Mine Drainage in Outario. Can".Min.J.92(6):pp82-93.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. &Shabanian, E., (2001), "Progressive unconformities within an evolving

foreland fold-thrust belt, Zagros mountains", *Journal of Geological Society of London*, Vol.158:pp969-981.

**-Karimi Nasab, S. (1997)**, " Stabilité de Talus Rocheux en Zone Sismique dans un Porphyre Cuprifère Mine de Sarcheshmeh", Iran. Ph. D. Thesis des mines de Paris. Vol.325:pp280-335.

**-Karaimi Nasab, S., Sahraiee Parizi, H., Saadloo, M., (2001)**, " Acid Mine Drainage at Sarcheshmeh Copper open pit Mine", 17<sup>th</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey , IMCET2001, ISBN 975-395-417-4.

**-Sahraei parizi, H., Samani, N.,(2009)**, " Response of groundwater level in observational boreholes of Sarcheshmeh Copper mine to rainfall, Shiraz university", Iran, 8<sup>th</sup> International congress on civil Engineering, May 11-13, pp204-212.

**-Sahraei Parizi, H., Samani, N., (2014)**, " Enviromental Isotope Investigation of groundwater in the Sarcheshme copper mine area, Iran", Department of Earth Sciences, college of sciences, Shiraz university, 71454 shiraz, Iran. Vol.580:pp448-550.

**-Shafiei, B., (2010)**, "Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic -metallo-genetic implications", *Ore Geology Reviews*, Vol.38 (1-2): pp27-36.

**-Shahab pour, J.,(1982)**, " Aspect of alteration and mineralization at the Sarcheshmeh Copper-Molybdenum deposit", Kerman, Iran. Unpub ph.D thesis., Leeds university. Vol.342:pp228-325.

**-Waterman, G.C, & Hamilton, R.L.,(1975)**, " The Sarcheshmeh porphyry copper deposit", *Economic Copper Deposit Economic Geology*: 70:pp568-576.

**-Xavier, A.G. (1990)**, "Environmental-biochemical aspects of heavy metals in acid mine water"; *International Symposium on Acid Mine Water in Pyritic Environment*, Lisbon, Portugal, pp43-55.

**-Yosefi, S., Doulati Ardejani, F., (2013)**, " Identification of the origin and behavior of Arsenic in mine waste dumps using correlation analysis": A case study Sarcheshmeh copper mine petroleum and geophysic, Shahrood university, Shahrood, Iran. Vol.430:pp338-408.

# Investigation of environmental contamination of heavy metals in soil, groundwater and surface water in Sarcheshmeh copper mine, Kerman, Iran

Hadi Salari<sup>1</sup>

1- M.sc in Hydrogeology, Water & wastewater company of Kerman, Iran.

## Abstract

Sarcheshmeh Copper Mine is the largest porphyry deposit in the world and in this study heavy metal contamination is investigated. To determine concentrations of these elements, intact samples of soil, surface water and groundwater of the region have been sent to the laboratory for analysis. After determining the concentration of samples, the data are analyzed using Excel and ArcGIS. Using Kriging method, the variations of chosen elements' concentration are interpolated and the maps and charts are drawn. The results show that concentrations of copper, molybdenum, lead and cadmium in the soil of this region, on average, are respectively 235ppm, 13ppm, 65ppm and 7.1ppm which exceeded the limits and according to international standard, soil is unfavorable. The concentration of Aluminum, lead, molybdenum and cadmium in river water source on average, are respectively 0.73ppm, 0.8ppm, 1.32ppm and 0.42ppm; and in groundwater on average are respectively 0.9ppm, 0.4ppm, 0.8ppm and 0.2ppm. The comparison of concentration of these elements in surface and groundwater with global quality criteria standards indicates that the concentration of these elements according to different uses are not desirable. The analysis indicates an increase in the concentration of these elements in the southern part of the map area (mine), the source of the river downstream and adjacent to the mine fields to other parts of the region.

**Keywords:** heavy metals, soil, groundwater, mine, Sarcheshmeh Copper, contamination.