

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: علوم زمین  
گروه: زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در منابع آب و خاک در اثر معدنکاری ذغال در  
مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر)

مرتضی رحیمی

اساتید راهنما:  
بهناز دهرآزما  
احمد خدادادی دربان

استاد مشاور:  
فرج الله فردوست

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۸۸

## دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

گروه : زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مرتضی رحیمی

تحت عنوان: ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در منابع آب و خاک در اثر معدنکاری ذغال در مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر)

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : فرج الله فردوست		نام و نام خانوادگی : بهناز دهرآزما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : احمد خدادادی دربان

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : ناصر حافظی مقدس
			نام و نام خانوادگی : علی عباسپور
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به تمامی

پویندگان

راه علم و دانش

## تقدیر و تشکر

گام برداشتن در جهت کسب علم و دانش، مسیری است که جز با توفیق الهی میسر نمی‌گردد. این توفیق، با بهره‌گیری از علم و یاری جستن از تجربه‌ی اساتید، همت و تلاش انسان و حمایت دوستان به ثمر خواهد رسید. لذا قبل از هر سخن بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که مرا در جهت نگارش این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم. در ابتدا از زحمات بی‌دریغ، نظرات کارگشا، صبر و حوصله‌ی فراوان و دلسوزی روزافزون استاد راهنمای خود، سرکار خانم دکتر دهرآزما که نسبت به اینجانب لطف و بزرگواری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم. از جناب آقای دکتر خدادادی و جناب آقای دکتر فردوست که خالصانه علم و تجربه‌ی خود را در اختیار این حقیر قرار داده‌اند قدردانی می‌نمایم. از الطاف تمامی اساتید و کارکنان دانشکده‌ی علوم زمین بویژه جناب آقای دکتر صادقیان، آقای شاه حسینی، آقای میرباقری و سرکار خانم سعیدی که بر همگان روشن می‌باشد و این تحقیق و نگارنده‌ی آنرا نیز در بر گرفته و مورد عنایت قرار داده‌اند، تشکر می‌نمایم. از آقای شاکری، مسئول آزمایشگاه آب و خاک گروه کشاورزی که همیشه با اینجانب همکاری نموده‌اند نیز تشکر می‌نمایم. شایسته است از زحمات بی‌دریغ و همکاری‌های صمیمانه‌ی ریاست محترم مجموعه‌ی معدنی طزره، جناب آقای مهندس خدایی، مسئول محترم بخش HSE جناب آقای مهندس قنبری و مدیریت محترم کیفیت شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، جناب آقای مهندس صالحی تشکر و قدردانی نمایم. لطف اساتید محترم دانشکده‌ی شیمی بویژه جناب آقای دکتر سلیمانی و آقای دکتر بهرامیان، نیز شامل حال اینجانب گردیده است و از ایشان تشکر می‌نمایم. همکاری‌های شبانه‌روزی و بی‌مانند دوستان عزیزم چون آقایان نورافکن، زارع، نعیمی، رخشانی، سیری، خدابخشی، اکرمیان و صبر و تحمل پدر و مادر گرامی و همسر عزیزم در طی تکمیل این رساله نیز در خور ستایش می‌باشد.

امید است که این تحقیق مورد استفاده‌ی تمامی علاقه‌مندان علم و دانش زمین‌شناسی (بویژه ژئوشیمی و ذغالسنگ) قرار گرفته و زمینه را در جهت ادامه‌ی تحصیل این حقیر فراهم سازد.

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه ( رساله ) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه ( رساله ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

تیر ماه ۱۳۸۸

## چکیده

معدنکاری ذغالسنگ از جمله مواردی است که با آزادسازی موادی از قبیل فلزات سنگین، عناصر نادر خاکی، عناصر غیرفلزی و انواع آنیون ها و کاتیون ها، آلودگی های آب و خاک را در بسیاری از نقاط جهان به دنبال داشته است. فعالیت های طولانی مدت معدنکاری ذغالسنگ در مجموعه معدنی طزره که در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود واقع شده و دارای حجم گسترده استخراج (روزانه تا ۲۰۰۰ تن) و سابقه طولانی معدنکاری (۳۰ سال) می باشد، باعث شده تا آلودگی آب و خاک مناطق پایین دست این مجموعه (بویژه به فلزات سنگین) محتمل به نظر برسد. در این تحقیق در ابتدا با انجام مطالعات زمین شناسی، تهیه نقشه، مشاهدات صحرایی، تهیه مقاطع نازک و انجام آنالیز XRD به شناسایی شرایط و خصوصیات زمین شناسی منطقه پرداخته شد. جهت بررسی نحوه تأثیرگذاری منابع آلاینده از ذغالسنگ، باطله های ذغال و سینه کار (سطحی و عمقی)، زهاب خروجی تونل، فاضلاب انسانی و همچنین به منظور ارزیابی نحوه توزیع عناصر سنگین و آلودگی در آب زیرزمینی و خاک منطقه از آب و خاک بالادست، مجاور و پایین دست بخش تونل مادر از معدن ذغالسنگ طزره نمونه برداری صورت پذیرفت. پارامتر های فیزیکوشیمیایی نظیر pH، EC، ماده آلی، غلظت آنیون ها و کاتیون ها در نمونه ها اندازه گیری گردید. غلظت فلزات سنگین و عناصر مختلف شامل Cu, Pb, Zn, Fe, As, Cd, Sb, Hg, Sr, Se, Ba, S, Na, K, Ca و Mg با استفاده از روش ICP-MS مشخص گردید. انجام مطالعات کانی شناسی با استفاده از مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک سنگی، آنالیز XRD و مشاهدات صحرایی صورت پذیرفت. غلظت عناصر و پارامترهای مورد بررسی در نمونه های گرفته شده با استفاده از نرم افزار Excel و توزیع آنها توسط نرم افزار Surfer نمایش داده شد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ذغالسنگ بیشترین فاکتورهای غنی شدگی شامل ۴۶۸، ۷۷، ۶۲، ۲۲/۵ و ۱۸/۲ را برای عناصر Se, Pb, Hg, Ca و Sr دارا می باشد. گوگرد و آرسنیک با میانگین فاکتور غنی شدگی ۴۱ و ۳۴ در باطله ها، فاکتورهای غنی شدگی بیشتری نسبت به ذغالسنگ را نشان داده اند. به دلیل فراوانی مواد کربناته و آلکالین، زهاب های خروجی از تونل استخراجی به صورت NAMD (زهاب های قلیایی) با  $\text{pH} = 7/6$  مشخص گردید. قلیایی بودن محیط مانع حلالیت برخی عناصر سنگین در آب منطقه شده و گسترش آنها را بسیار کم و ناچیز نموده است. گوگرد، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و استرانسیوم که حلالیت بیشتری در آب دارند به ترتیب ۹/۳، ۷/۶۹، ۴/۴۴، ۱/۷۸، ۲/۶ و ۴/۲ برابر افزایش را در آب زیرزمینی پایین دست و ۱/۵۶، ۱/۴۳، ۱/۱۲ و ۴/۳۵ برابر افزایش را در خاک های پایین دست منطقه معدنکاری نسبت به بالادست منطقه معدنکاری نشان دادند. معدنکاری بیش از همه باعث افزایش غلظت یون های سولفات و Ca (به ترتیب: ۴۴/۴ ppm و ۴/۲ ppm)

در آب های پایین دست گردیده است. مشاهدات صحرائی و حضور کانی های کلسیت و ژیپس مقدار بالای کربنات و سولفات خنثی شده توسط عناصری مانند Ca را در محیط مشخص می سازند. نتایج XRD و مطالعه مقاطع نازک حضور کانی های کلسیت، کانی های رسی و کوارتز را در محیط معلوم می سازند. آنالیز نمونه های باطله ذغال و سینه کار برداشت شده مشخص کرد که باطله های ذغال مقادیری بیشتر از مس، آنتیموان و باریم با میانگین غلظت (برحسب ppm) ۴۹/۳۵، ۰/۴۶ و ۹۸/۱ را نسبت به باطله های سینه کار در خود جای داده اند. از آنجایی که گوگرد، آرسنیک و آهن ارتباط بسیار زیادی با هم نشان می دهند، فراوانی آنها به محتوای پیریتی نمونه ها نسبت داده شد. به دلیل بالا بودن pH باطله ها (به طور میانگین ۷/۷۷) بسیاری از فلزات سنگین تغییرات اندکی را نشان می دهند، در صورتی که عناصر متحرک تر مانند گوگرد که در باطله جدید سینه کار به میزان ۲۰۰۰ ppm وجود دارد در افق ۰-۲۰ cm و ۲۰-۶۰ cm روی دامنه باطله های سینه کار قدیمی (۲۵ ساله) به ترتیب غلظت ppm ۴۴۰۰ و ۷۶۰۰ را یافته است. به طور کلی با توجه به ادامه فعالیت معدنکاری، آلودگی شدید آب و خاک منطقه در آینده پیش بینی می شود.

**کلمات کلیدی:** معدنکاری ذغالسنگ، آلودگی، منابع آب و خاک، عناصر سنگین، مجموعه معدنی طزره



## مقاله های ارائه شده:

رحیمی م، دهرآزما ب، خدادادی ا، فردوست ف؛ (۱۳۸۷). ارزیابی اثرات توسعه معدن ذغالسنگ طزره بر بهداشت آب منطقه. یازدهمین همایش بهداشت محیط ایران- زاهدان

رحیمی م، دهرآزما ب، خدادادی ا، فردوست ف؛ (۱۳۸۷). ارزیابی خطرات آلودگی آب های زیرزمینی در اثر معدنکاری (مجموعه معدنی طزره). هشتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی ایران- تهران

رحیمی م، دهرآزما ب، فردوست ف، خدادادی؛ (۱۳۸۷). بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی پراکندگی و گسترش عناصر S, Fe, Mn, Sr و Ba در محدوده معدنی ذغالسنگ طزره. دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

## مقاله های در دست تهیه:

رحیمی م، دهرآزما ب، خدادادی ا، فردوست ف؛ (۱۳۸۷). بررسی تغییرات عناصر U, Sr و Rb در آبهای زیرزمینی محدوده معدنی ذغالسنگ طزره. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست ایران. ارسال جهت داوری و تایید چکیده

رحیمی م، دهرآزما ب، خدادادی ا، فردوست ف؛ (۱۳۸۷). بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی و تغییرات عناصر در منابع آب مجموعه معدنی طزره. در دست تهیه جهت مجله علمی پژوهشی مهندسی معدن

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۲	۱-۱- کلیات.....
۲	۲-۱- بیان مسئله.....
۳	۳-۱- اهداف تحقیق.....
۳	۴-۱- لزوم انجام تحقیق.....
۴	۵-۱- روش انجام تحقیق.....
۴	۶-۱- خصوصیات منطقه مورد مطالعه.....
۴	۱-۶-۱- خصوصیات جغرافیایی.....
۵	۲-۶-۱- آب و هوا.....
۷	۳-۶-۱- پوشش گیاهی.....
۷	۴-۶-۱- ژئومورفولوژی.....
۸	۷-۱- سازمان بندی پایان نامه.....
	<b>فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین</b>
۱۰	۱-۲- کلیات.....
۱۱	۲-۲- ذغالسنگ در ایران و جهان.....
۱۳	۳-۲- اهمیت و کاربرد ذغالسنگ.....
۱۴	۴-۲- معدنکاری ذغالسنگ و محیط زیست.....
۱۵	۱-۴-۲- گوگرد در ذغالسنگ ها.....
۱۷	۲-۴-۲- ژئوشیمی ذغالسنگ ها.....
۱۹	۳-۴-۲- زهاب خروجی از معادن ذغالسنگ.....
۱۹	۱-۳-۴-۲- زهاب اسیدی (AMD).....
۲۰	۲-۳-۴-۲- تولید زهاب خنثی یا قلیایی (NAMD).....
۲۱	۴-۴-۲- خنثی سازی اسیدپتته و تولید آلکالینیتته.....
۲۴	۵-۲- آلودگی آب و خاک در اثر معدنکاری ذغالسنگ.....
۲۵	۶-۲- مروری بر تحقیقات گذشته در منطقه مورد مطالعه.....
	<b>فصل سوم: زمین شناسی مجموعه معدنی طزره</b>
۲۹	۱-۳- کلیات.....
۲۹	۲-۳- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۳۰	۱-۲-۳- سازند الیکا.....

۳۲	..... سازند شمشک ۲-۲-۳
۳۳	..... سازند طزره ۱-۲-۲-۳
۳۳	..... بخش اِکراسر ۱-۱-۲-۲-۳
۳۴	..... بخش لّله بند ۲-۱-۲-۲-۳
۳۴	..... بخش کلاریز ۳-۱-۲-۲-۳
۳۴	..... بخش آلاشت ۴-۱-۲-۲-۳
۳۵	..... سازند گانو ۲-۲-۲-۳
۳۵	..... بخش شیرین دشت ۱-۲-۲-۲-۳
۳۵	..... بخش انن ۲-۲-۲-۲-۳
۳۵	..... بخش دانسیریت ۳-۲-۲-۲-۳
۳۶	..... سازند دلیچای ۳-۲-۳
۳۷	..... سازند آهکی لار ۴-۲-۳
۳۷	..... ویژگی های اقتصادی سازند شمشک ۳-۳
۳۸	..... ذغالخیزی ۱-۳-۳
۳۹	..... کیفیت ذغالسنگ های منطقه ۲-۳-۳
۳۹	..... رطوبت ۱-۲-۳-۳
۳۹	..... خاکستر ۲-۲-۳-۳
۴۰	..... گوگرد ۳-۲-۳-۳
۴۱	..... سنگ شناسی و کانی شناسی واحدهای منطقه پشکلات ۴-۳
۴۳	..... کانی شناسی ذغالسنگ ۱-۴-۳
۴۳	..... کانی شناسی باطله ذغال ۲-۴-۳
۴۴	..... کانی شناسی باطله سینه کار ۳-۴-۳
۴۷	..... آبشناسی ۵-۳
۴۹	..... تکتونیک ۶-۳
۴۹	..... شیب و امتداد لایه ها ۱-۶-۳
۵۰	..... غسل ها ۲-۶-۳
۵۲	..... شکستگی ها و درزه ها ۳-۶-۳

#### فصل چهارم: مواد و روش های مورد استفاده در تحقیق

۵۴	..... کلیات ۱-۴
۵۴	..... نمونه برداری ۲-۴
۵۴	..... فاز جامد ۱-۲-۴
۵۵	..... ذغالسنگ ۱-۱-۲-۴

۵۵	.....۲-۱-۲-۴ باطله ها
۵۶	.....۳-۱-۲-۴ رسوب
۵۷	.....۴-۱-۲-۴ خاک
۵۷	.....۲-۲-۴ فاز مایع
۵۸	.....۳-۴ روش های تعیین کیفیت نمونه ها
۶۰	.....۱-۳-۴ فاکتور غنی شدگی
۶۰	.....۲-۳-۴ اندازه گیری pH
۶۱	.....۳-۳-۴ اندازه گیری EC
۶۱	.....۴-۳-۴ اندازه گیری درصد مواد آلی
۶۲	.....۵-۳-۴ دانه سنجی رسوبات
۶۵	.....۶-۳-۴ اندازه گیری غلظت آنیون ها و کاتیون ها
۶۵	.....۷-۳-۴ تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین
۶۵	.....۱-۷-۳-۴ نمونه های فاز مایع
۶۶	.....۲-۷-۳-۴ نمونه های فاز جامد
۶۶	.....۴-۴ کانی شناسی
۶۶	.....۱-۴-۴ انجام آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)
۶۸	.....۲-۴-۴ تهیه مقاطع نازک سنگی

### فصل پنجم: ارزیابی غلظت عناصر در منابع آلاینده

۷۰	.....۱-۵ کلیات
۷۱	.....۲-۵ توزیع عناصر در منابع آلاینده
۷۱	.....۱-۲-۵ ذغالسنگ، باطله های ذغال و سینه کار
۷۹	.....۱-۱-۲-۵ همبستگی عناصر در ذغالسنگ، باطله های ذغال و سینه کار
۸۲	.....۲-۱-۲-۵ غنی شدگی در ذغالسنگ، باطله های ذغال و سینه کار
۸۸	.....۲-۲-۵ زهاب خروجی تونل
۹۰	.....۳-۲-۵ خروجی فاضلاب
۹۲	.....۱-۳-۲-۵ COD و BOD در خروجی فاضلاب
۹۳	.....۲-۳-۲-۵ همبستگی عناصر در زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی
	.....۳-۳-۲-۵ تغییرات غلظت عناصر در آب و رسوب زهاب خروجی تونل
۹۶	..... و فاضلاب انسانی

### فصل ششم: ارزیابی توزیع عناصر در منابع آب و خاک منطقه

۱۰۲	.....۱-۶ کلیات
-----	----------------

۱۰۳	..... ۲-۶- همبستگی عناصر در منابع آب زیرزمینی
۱۰۷	..... ۳-۶- تغییرات غلظت عناصر، آنیون ها و کاتیون ها در منابع آب زیرزمینی منطقه
۱۰۷	..... ۱-۳-۶- تغییرات غلظت عناصر در منابع آب زیرزمینی
۱۱۴	..... ۲-۳-۶- تغییرات آنیون ها و کاتیون ها در منابع آب زیرزمینی
۱۱۶	..... ۳-۳-۶- تغییرات pH و EC در منابع آب زیرزمینی
۱۱۹	..... ۴-۶- همبستگی عناصر در نمونه های خاک منطقه
۱۲۴	..... ۵-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه های خاک منطقه
۱۳۳	..... ۶-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه های رسوب منطقه

### فصل هفتم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۳۷	..... ۱-۷- کلیات
۱۳۷	..... ۲-۷- انجام مطالعات و بررسی زمین شناسی منطقه
۱۳۸	..... ۳-۷- ارزیابی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و خاک منطقه
۱۳۸	..... ۱-۳-۷- ارزیابی تغییرات pH در منطقه
۱۳۹	..... ۲-۳-۷- ارزیابی تغییرات EC در منطقه
۱۳۹	..... ۳-۳-۷- ارزیابی تغییرات مواد آلی در خاک منطقه
۱۳۹	..... ۴-۳-۷- ارزیابی تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب منطقه در اثر معدنکاری
۱۴۰	..... ۴-۷- ارزیابی توزیع عناصر در آب و خاک منطقه در اثر معدنکاری
۱۴۰	..... ۱-۴-۷- غنی شدگی عناصر در منابع آلاینده
۱۴۱	..... ۲-۴-۷- همبستگی عناصر در منابع آلاینده و آب و خاک منطقه
۱۴۲	..... ۳-۴-۷- توزیع عناصر در آب و خاک منطقه
۱۴۳	..... ۵-۷- پیشنهادات
۱۴۴	..... منابع

## فهرست اشکال

صفحه

۶		شکل ۱-۱- موقعیت مجموعه معدنی طزره و راه های دسترسی به آن .....
۷		شکل ۲-۱- نمودار آمپروترمیک بلند مدت (۳۰ ساله) شاهرود.....
۱۰		شکل ۱-۲- روند ذغالی شدن و مدت زمان مورد نیاز این فرآیند.....
۳۱		شکل ۱-۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.....
۳۲		شکل ۲-۳- افق لاتریتی - بوکسیتی قرمز رنگ قاعده شمشک.....
۳۶		شکل ۳-۳- برش چینه شناسی گروه شمشک در ناحیه البرز شرقی.....
۴۲		شکل ۴-۳- پیریت سین ژنتیک تشکیل شده در باطله های سینه کار.....
۴۳		شکل ۵-۳- پیریت اپی ژنتیک تشکیل شده در سطح باطله های سینه کار.....
۴۴		شکل ۶-۳- فراوانی فیلو سیلیکات ها(زمینه سنگ) و چین خوردگی های کوچک موجود در باطله های ذغال (بزرگنمایی ۴۰x - میکروسکوپ پلاریزان) .....
۴۴		شکل ۷-۳- رگه های کوچک ذغال و فراوانی مسکویت های آتره شده(سریسیت) در باطله سینه کار(بزرگنمایی ۴۰x - میکروسکوپ پلاریزان).....
۴۵		شکل ۸-۳- شکستگی های پر شده توسط کلسیت در باطله های سینه کار(بزرگنمایی ۴۰x - میکروسکوپ پلاریزان).....
۴۵		شکل ۹-۳- پرشدگی شکستگی ها (باطله سینه کار) توسط محلولهای کربناته (کلسیت).....
۴۶		شکل ۱۰-۳- کانی های سولفات(ژیپس) تشکیل شده در سطح باطله های سینه کار.....
۴۷		شکل ۱۱-۳- بلورهای ژیپس تشکیل شده در دامنه های سازند شمشک.....
۴۹		شکل ۱۲-۳- محدوده حوضه آبریز دربرگیرنده منطقه مورد بررسی.....
۵۱		شکل ۱۳-۳- نمونه ای از گسلش معکوس در سازند شمشک (شرق منطقه پشکلات).....
۵۱		شکل ۱۴-۳- نقشه پراکندگی گسل های منطقه مورد مطالعه.....
۵۹		شکل ۱-۴- .....
۶۶		شکل ۲-۴- نمودار حاصل از آنالیز XRD ذغالسنگ و کانی های عمده موجود در آن.....
۶۷		شکل ۳-۴- نمودار حاصل از آنالیز XRD باطله ذغال و کانی های عمده موجود در آن.....
۶۷		شکل ۴-۴- نمودار حاصل از آنالیز XRD باطله سینه کار و کانیهای عمده موجود در آن.....
۶۷		شکل ۱-۵- غلظت عناصر مختلف در ترکیب ذغالسنگ تونل مادر از معدن طزره.....
۷۱		شکل ۲-۵- تغییرات غلظت Cu در نمونه های شماره ۲-۱۳.....
۷۲		شکل ۳-۵- تغییرات غلظت Pb در نمونه های شماره ۲-۱۳.....
۷۲		شکل ۴-۵- تغییرات غلظت Zn در نمونه های شماره ۲-۱۳.....
۷۲		شکل ۵-۵- تغییرات غلظت Fe در نمونه های شماره ۲-۱۳.....

۷۲	..... شکل ۵-۶- تغییرات غلظت As در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۲	..... شکل ۵-۷- تغییرات غلظت Cd در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۸- تغییرات غلظت Sb در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۹- تغییرات غلظت Hg در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۱۰- تغییرات غلظت Sr در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۱۱- تغییرات غلظت Se در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۱۲- تغییرات غلظت Ba در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۳	..... شکل ۵-۱۳- تغییرات غلظت S در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۴	..... شکل ۵-۱۴- تغییرات غلظت Na در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۴	..... شکل ۵-۱۵- تغییرات غلظت K در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۴	..... شکل ۵-۱۶- تغییرات غلظت Ca در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۴	..... شکل ۵-۱۷- تغییرات غلظت Mg در نمونه های شماره ۲-۱۳
۷۷	..... شکل ۵-۱۸- تغییرات pH در نمونه ذغال و باطله مورد بررسی
	..... شکل ۵-۱۹- نمودار تغییرات غلظت عناصر محل خروج و محل ناپدید شدن زهاب
۹۶	..... خروجی تونل مادر معدن طزره
	..... شکل ۵-۲۰- نمودار تغییرات غلظت عناصر در رسوب محل خروج و محل ناپدید شدن
۹۶	..... زهاب خروجی تونل مادر معدن طزره
	..... شکل ۵-۲۱- نمودار تغییرات غلظت عناصر در فاضلاب انسانی در محل خروج به سطح
۹۷	..... زمین و محل ناپدید شدن در محدوده تونل مادر معدن طزره
	..... شکل ۵-۲۲- نمودار تغییرات غلظت عناصر در رسوب فاضلاب انسانی در محل خروج به
۹۷	..... سطح زمین و محل ناپدید شدن در محدوده تونل مادر معدن طزره
۱۰۸	..... شکل ۶-۱- روند تغییرات Sr در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۰۸	..... شکل ۶-۲- روند تغییرات Ba در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۰۸	..... شکل ۶-۳- روند تغییرات S در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۰۹	..... شکل ۶-۴- روند تغییرات $SO_4^{-2}$ در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۰۹	..... شکل ۶-۵- روند تغییرات Na در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۰۹	..... شکل ۶-۶- روند تغییرات K در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۱۰	..... شکل ۶-۷- روند تغییرات Ca در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
۱۱۰	..... شکل ۶-۸- روند تغییرات Mg در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb
	..... شکل ۶-۹- تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب بالادست معدنکاری طی سالهای
۱۱۵	..... ۱۳۸۷-۱۳۷۷
	..... شکل ۶-۱۰- تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در محل دمپ باطله ها طی سالهای
۱۱۵	..... ۱۳۸۷-۱۳۷۷

۱۱۵	شکل ۱۱-۶- تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب پایین دست معدنکاری طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷.....
۱۱۸	شکل ۱۲-۶- روند تغییرات EC در سال های ۱۳۷۷-۱۳۸۷ در نمونه های آب زیرزمینی منطقه.....
۱۱۸	شکل ۱۳-۶- روند تغییرات pH در سال های ۱۳۷۷-۱۳۸۷ در نمونه های آب زیرزمینی منطقه.....
۱۲۵	شکل ۱۴-۶- روند تغییرات Cu در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۵	شکل ۱۵-۶- روند تغییرات Pb در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۶	شکل ۱۶-۶- روند تغییرات Zn در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۶	شکل ۱۷-۶- روند تغییرات Fe در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۶	شکل ۱۸-۶- روند تغییرات As در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۷	شکل ۱۹-۶- روند تغییرات Cd در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۷	شکل ۲۰-۶- روند تغییرات Sb در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۷	شکل ۲۱-۶- روند تغییرات Hg در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۸	شکل ۲۲-۶- روند تغییرات Sr در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۸	شکل ۲۳-۶- روند تغییرات Se در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۸	شکل ۲۴-۶- روند تغییرات Ba در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۹	شکل ۲۵-۶- روند تغییرات S در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۹	شکل ۲۶-۶- روند تغییرات Na در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۲۹	شکل ۲۷-۶- روند تغییرات K در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۳۰	شکل ۲۸-۶- روند تغییرات Ca در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۳۰	شکل ۲۹-۶- روند تغییرات Mg در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ بر حسب ppm.....
۱۳۴	شکل ۳۰-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه های رسوب بالادست و پایین دست معدنکاری.....



## فهرست جداول

صفحه	
۱۲	جدول ۱-۲- میزان ذخیره ذغالسنگ در کشورهای مختلف تا سال ۲۰۰۵ .....
۱۳	جدول ۲-۲- میزان تولید ذغالسنگ در سطح جهان.....
۲۶	جدول ۳-۲- ویژگی های فیزیکوشیمیایی ذغالسنگ های منطقه طزره.....
۳۳	جدول ۱-۳- سازندها و بخش های مختلف گروه شمشک در منطقه طزره..... جدول ۲-۳- میزان استخراج وانواع ذخیره ذقال سنگ (بر حسب تن) در منطقه طزره
۳۹	.....وسایر مناطق ذغالی محدوده شرکت ذغالسنگ البرزشرقی.....
۴۰	جدول ۳-۳- انواع ذغالسنگ ها بر اساس درصد خاکستر.....
۵۸	جدول ۱-۴- شماره، نوع، ویژگی ها و محل نمونه های گرفته شده از منطقه معدنی طزره.....
۶۰	جدول ۲-۴- بررسی شدت غنی شدگی رسوبات..... جدول ۳-۴- درصد مواد آلی در نمونه های جامد (ذغالسنگ، باطله ها، خاک و رسوب)
۶۱	.....برداشت شده از منطقه مورد مطالعه.....
۶۳	جدول ۴-۴- اندازه، نام ذرات و روش جداسازی انواع ذرات از یکدیگر.....
۶۴	جدول ۵-۴- نتایج دانه سنجی و هیدرومتری رسوبات و خاک ها.....
۷۹	جدول ۱-۵- پتانسیل یونی عناصر..... جدول ۲-۵- همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH ومواد آلی (OM)، در نمونه ذغال
۸۰	.....وباطله های معدنی.....
۸۳	جدول ۳-۵- غلظت وفاکتور غنی شدگی عناصر در نمونه های ذغال و باطله ها..... جدول ۴-۵- غلظت عناصر محلول در زهاب خروجی تونل در محل خروج از تونل ومحل
۸۸	.....ناپدید شدن در سطح زمین.....
۸۹	جدول ۵-۵- pH ، EC نمونه های شماره ۱۴ تا ۱۷.....
۹۱	جدول ۶-۵- غلظت عناصر محلول در فاضلاب انسانی در محل خروج و محل ناپدید شدن در سطح زمین.....
۹۴	جدول ۷-۵- همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH و EC در آب تونل و فاضلاب انسانی در محل خروج و ناپدید شدن در سطح زمین .....
۱۰۳	جدول ۱-۶- غلظت عناصر در نمونه های آب زیر زمینی (نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱) نمونه های برداشت شده از منطقه.....
۱۰۴	جدول ۲-۶- مقادیر pH و EC نمونه های آب زیر زمینی(نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱) برداشت شده از منطقه.....

۱۰۶	جدول ۳-۶- همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH و EC در نمونه‌های آب زیرزمینی (نمونه‌های شماره ۱۸ تا ۲۱).....
۱۱۴	جدول ۴-۶- مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های ۱۸، ۲۰ تا ۲۱ (آب زیرزمینی) برحسب ppm.....
۱۱۷	جدول ۵-۶- تغییرات pH و EC در نمونه‌های ۱۸، ۲۰ تا ۲۱ (آب زیرزمینی) منطقه درسال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷.....
۱۲۰	جدول ۶-۶- غلظت عناصر در نمونه‌های خاک ( شماره ۳۰ تا ۳۳) برداشت شده از منطقه.....
۱۲۱	جدول ۷-۶- مقدار مواد آلی، pH و دانه بندی خاک در نمونه‌های شماره ۳۰ تا ۳۳.....
۱۲۲	جدول ۸-۶- همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH، مواد آلی (OM) و محتوای رس (Clay) نمونه‌های خاک منطقه (نمونه شماره ۳۰ تا ۳۳).....
۱۳۴	جدول ۹-۶- غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب قبل و بعد از معدنکاری (برحسب ppm).....

# فصل اول

مقدمه

## ۱-۱- کلیات

بررسی تأثیرات سوء زیست محیطی حاصل از معدنکاری ذغالسنگ یکی از مباحث مورد بررسی در تحقیقات زیست محیطی می باشد و در این فصل به بیان مسئله و موضوع تحقیق، اهداف تحقیق، لزوم انجام تحقیق، روش انجام تحقیق و خصوصیات منطقه پرداخته شده است.

## ۱-۲- بیان مسئله

فعالیت‌های معدنکاری ذغالسنگ از جمله مواردی بوده که با آزادسازی فلزات سنگین، عناصر نادر خاکی و عناصر غیرفلزی، آلودگی‌های شدید آب و خاک را ایجاد می‌نمایند. به دلیل وجود کانی‌ها و ترکیبات بسیار متنوع و پیچیده موجود در ذغالسنگ‌ها که ناشی از محیط رسوبی و ترکیب گیاهان ذغال ساز اولیه بوده و یا در اثر دیاژنز به آن اضافه شده‌اند، تنوع و فراوانی عناصر همراه با آن نیز قابل توجه می‌باشد.

استخراج ذغالسنگ، تعادل ژئوشیمیایی اولیه واحدهای سنگی را بر هم زده و با تغییر شرایط اکسیدان (تغییر Eh و ...) محیط، عناصر موجود در لایه‌های ذغالی و سنگهای دربرگیرنده آنها (در اثر شستشو و هوازگی) آزاد شده و وارد محیط می‌گردند. تخلیه زهاب اسیدی آلوده، هوازگی و شستشوی باطله‌ها، شستشوی ذغال‌های دپو شده و ... از جمله مواردی است که باعث آزاد سازی فلزات سنگین به آب و خاک و آلودگی محیط زیست، در معدنکاری ذغالسنگ می‌شوند.

در این تحقیق پس از مطالعه ذغالسنگ و اهمیت و کاربرد آن، به بررسی مشکلات زیست محیطی حاصل از استخراج آن در مجموعه معدنی طزره پرداخته شده و با انجام نمونه‌گیری، آنالیز و تجزیه و تحلیل داده‌ها به بررسی گسترش و میزان آلودگی آب و خاک مناطق پایین دست معدنکاری به فلزات سنگین پرداخته شده است. نتایج حاصل از نوع و چگونگی توزیع آلودگی‌ها توسط نرم افزارهای Excel و Surfer نمایش داده شده است.

### ۱-۳- اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق بررسی آلودگی آب و خاک منطقه معدنی طزره (تونل مادر) به فلزات سنگین در اثر معدنکاری ذغالسنگ می باشد. جهت رسیدن به این هدف، اهداف جزئی نیز دنبال می گردد که به شرح زیر می باشد:

- مطالعه جامع زمین شناسی منطقه و بررسی تأثیر آن در توزیع آلودگی
- تعیین تأثیر معدنکاری بر میزان آلودگی آب و خاک منطقه
- تأثیر باطله ها بر گسترش آلودگی
- تأثیر شرایط آب و هوایی و زمان بر میزان شستشو و پراکندگی عناصر مختلف موجود در باطله ها
- نمایش نحوه و میزان گسترش آلودگی در آب و خاک

### ۱-۴- لزوم انجام تحقیق

معدنکاری، از جمله فعالیت های انسانی است که سبب ایجاد تغییرات قابل توجه در محیط زیست انسان می گردد. به دلیل پتانسیل بسیار بالای ذغالسنگ در آلودگی محیط زیست (هوازدگی و شستشوی سطحی ذغال ها و باطله های دپو شده، تخلیه زهاب های خروجی تونل های استخراجی، ایجاد زون های اکسیداسیونی در داخل زمین و در محل تونل های استخراجی و ...) این ماده می تواند آلودگی های گسترده ای را در مراحل مختلف از جمله اکتشاف، استخراج و فرآوری ایجاد نماید. با توجه به اثرات سوء زیست محیطی معدنکاری ذغالسنگ و با توجه به سابقه طولانی معدنکاری در مجموعه معدنی طزره (از سال ۱۳۵۳) و حجم بالای استخراج (روزانه حدود ۲۰۰۰ تن) مطالعه بر روی این منطقه ضروری به نظر می رسد.

با توجه به هوازدگی و شستشوی طولانی مدت (۲۵ سال) باطله های دپوشده (در محل نامناسب) که چندین برابر حجم ذغالسنگ استخراجی را دارا بوده و بدون توجه به مسائل زیست محیطی دپو شده اند، به همراه آلودگی های حاصل از تخلیه روزانه زهاب (اسیدی یا قلیایی) تونل های استخراجی به

محیط زیست و گسترش آلودگی حاصل از گرد و غبار معدنکاری توسط جریان‌های هوا و بادهای غالب منطقه، ضرورت مطالعه دقیق محدوده را که تاکنون مطالعات گسترده‌ای پیرامون میزان آلودگی آب و خاک آن، نحوه پراکندگی و گسترش آلودگی‌ها (بویژه فلزات سنگین) و ... در آن صورت نگرفته است، دوچندان می‌نماید.

### ۱-۵- روش انجام تحقیق

جهت میل به اهداف این تحقیق، در ابتدا مطالعات وسیعی در ارتباط با تاثیرات سوء معدنکاری ذغالسنگ در ایران و جهان صورت گرفت. سپس به مطالعه ساختار زمین شناسی و ویژگی‌های معدنکاری منطقه و تأثیر آنها در توزیع آلودگی‌ها پرداخته شد. در مرحله بعد محلهای نمونه‌گیری با توجه به نوع و محل معدنکاری مشخص گردید و از ذغال، آب، خاک، زهاب تولید شده، فاضلاب انسانی و باطله‌ها (در اعماق مختلف) نمونه‌گیری (در مجموع ۳۳ نمونه) انجام گرفت. نمونه‌ها به منظور آنالیز به روش ICP-MS به آزمایشگاه Acme کانادا جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین و عناصر مختلف دیگر، آزمایشگاه پارک علم و فناوری استان سمنان جهت تعیین کاتیونها و آنیونها، آزمایشگاه کانسارن بینالود جهت انجام XRD و شرکت مهد زمین شاهوار برای تهیه مقاطع نازک سنگی، به منظور تعیین کانی‌های موجود در ذغال و باطله‌ها ارسال گردید.

نتایج بدست آمده از آنالیزها مورد تجزیه و تحلیل دقیق قرار گرفته و ارتباط پارامترهای مختلف زمین شناسی، خصوصیات آب و خاک منطقه و معدنکاری با نحوه توزیع آلودگی عناصر تعیین و نمودارها و شکلهای متنوعی جهت نمایش این توزیع ترسیم گردیدند. از نرم افزارهای Excel و Surfer نیز جهت نمایش نتایج آنالیزها استفاده شد.

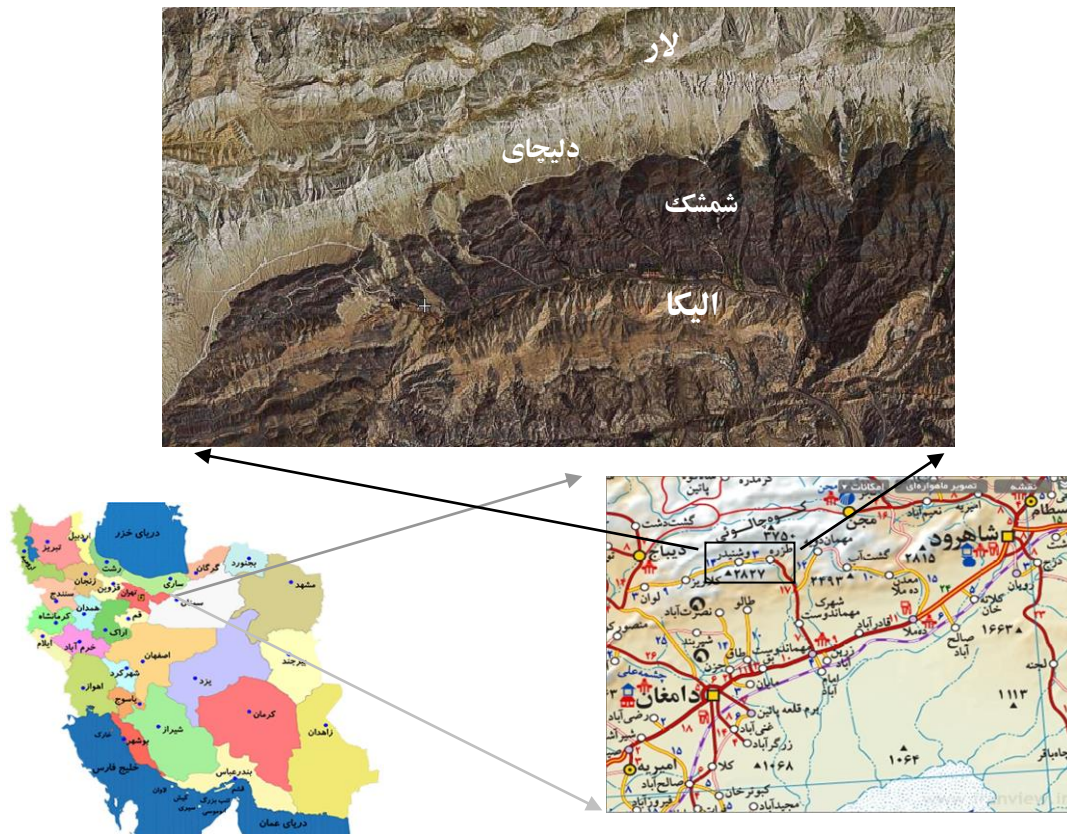
### ۱-۶- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

#### ۱-۶-۱- خصوصیات جغرافیایی

معدن ذغالسنگ طزره یکی از مجموعه های معدنی تحت پوشش شرکت ذغالسنگ البرز شرقی بوده که محدوده وسیعی با مساحت حدود ۲۷۰ کیلومتر مربع را در بر می گیرد و از شمال شرق شهرستان دامغان تا شمال غرب شهرستان شاهرود گسترش یافته است. دسترسی به منطقه مورد نظر از طریق جاده ی انحرافی که در کیلومتر ۴۵ جاده ی شاهرود - دامغان به طول ۳۰ کیلومتر به طرف شمال کشیده شده است، امکان پذیر می باشد. منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی مجموعه معدنی ذغالسنگ طزره بوده که تحت نام تونل مادر شناخته می شود و در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود و ۴۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان دامغان بین طول های  $54^{\circ}, 30', 45''$  و  $54^{\circ}, 18', 48''$  و عرض های  $36^{\circ}, 22', 30''$  تا  $36^{\circ}, 25', 50''$  به مساحت ۷۲ کیلومتر مربع واقع شده است. سابقه معدنکاری منطقه به ۳۰ سال و میزان استخراج روزانه ذغالسنگ به ۲۰۰۰ تن در روز می رسد. نقطه مرکزی مجموعه تونل مادر با گمانه اکتشافی که با طول  $54^{\circ}, 25', 30''$  و عرض  $36^{\circ}, 25', 00''$  حفر شده است، مشخص می باشد (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). محدوده منطقه مورد بررسی و راه های دسترسی به آن به همراه سازندهای زمین شناسی اطراف محدوده که در تصویر ماهواره ای مشخص شده اند، در شکل شماره ۱-۱ آورده شده است.

#### ۱-۶-۲- آب و هوا

منطقه مورد مطالعه کوهستانی بوده و تابستان های نسبتاً خنک و خشک و زمستان های سرد همراه با نزولات جوی نه چندان فراوان (حداکثر ۳۱۵ mm در سال) از ویژگی های آن می باشد (اداره هواشناسی شاهرود، ۱۳۸۶). در فصل تابستان تغییرات دمایی بین  $+10$  تا  $+35$  درجه سانتی گراد در هر شبانه روز می باشد، در حالی که در زمستان دمای هوا عموماً از  $+10$  تا  $-20$  سانتی گراد تغییر می کند. بارش حدود ۱۵ cm برف به همراه وزش بادهایی با جهت غالب غرب به شرق تا شمال غرب به جنوب شرق، از دیگر ویژگی های منطقه می باشد (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹).



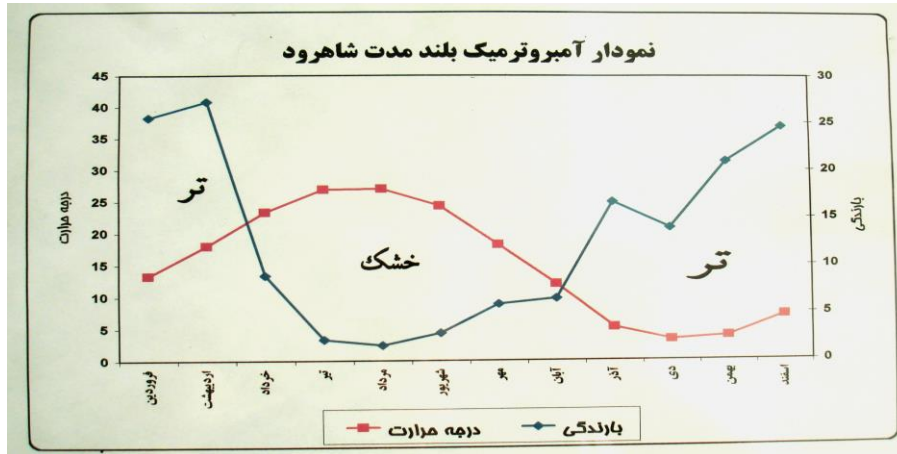
شکل ۱-۱: موقعیت مجموعه معدنی طزره و راه های دسترسی به آن ([www.gitashenasi.ir](http://www.gitashenasi.ir))

با توجه به نفوذ پذیری بالای منطقه (به ویژه ارتفاعات و مخروط افکنه های پای دامنه ها) نزولات جوی به جز در موارد نادر، آن هم به مدت بسیار کم رواناب تشکیل نداده و تمامی آبراهه های موجود در منطقه خشک بوده و حالت مسیل دارند. البته در دامنه های سازند لار و در قسمت شمال غرب منطقه چند چشمه با دبی حداکثر ۴ لیتر بر ثانیه جریان داشته که به دلیل حجم کم آب و فاصله زیاد تا منطقه مورد نظر، بررسی آنها در این تحقیق حائز اهمیت نمی باشد.

با توجه به قدمت کم ایستگاه های هواشناسی و نامنظم بودن اطلاعات ثبت شده منطقه طزره، از اطلاعات هواشناسی بلند مدت شاهرود جهت انجام مطالعات و نمونه برداری ها استفاده شده است. نمودار آمبروترمیک بلند مدت (۳۰ ساله) شاهرود در شکل شماره ۱-۲ آورده شده است. محل تلاقی نمودار درجه حرارت و بارندگی، دو فصل خشک و تر را از یکدیگر جدا می نمایند. در زمان هایی که



خط بارندگی در بالای خط حرارت قرار گرفته، فصل تر و در زمان هایی که عکس این حالت اتفاق افتد، فصل خشک نامیده می شود (اداره هواشناسی شهرستان شاهرود، ۱۳۸۷).



شکل ۱-۲: نمودار آمبروترمیک بلند مدت (۳۰ ساله) شاهرود (اداره هواشناسی شهرستان شاهرود، ۱۳۸۷)

### ۱-۶-۳- پوشش گیاهی

به دلیل گستردگی مجموعه معدنی طزره، تنوع و تفاوت پوشش گیاهی در قسمت های مختلف آن به چشم می خورد. در بخش های شمال غربی این مجموعه (شمال کلاریز) درختچه های به صورت پراکنده مشاهده می گردند، در صورتی که در قسمت های جنوب شرقی آن، بجز در مجاورت چشمه ها، پوشش گیاهی خاصی (بجز بوته های گون) به چشم نمی خورد. البته به خاطر مجاورت منطقه با روستای طزره در محل هایی که امکان کشاورزی و باغداری وجود داشته به صورت مصنوعی پوشش گیاهی ایجاد شده است.

### ۱-۶-۴- ژئومورفولوژی

منطقه مورد نظر قسمتی از زون البرز شرقی محسوب می شود که به دلیل رخنمون سازندهای کربناته الیکا، دلیچای و لار، به طور کلی دارای توپوگرافی خشن و مورفولوژی مرتفع می باشد. بلندترین ارتفاعات منطقه در قسمت شمال و شرق آن و مربوط به سازند لار با ارتفاعی در حدود ۳۷۵۰ متر و پست ترین نقطه در بستر آبراهه اصلی، در مجاورت دهانه تونل مادر با ارتفاع ۲۲۵۰ متر قرار دارد. البته با حرکت به سمت اراضی پایین دست معدنکاری از ارتفاع منطقه کاسته شده به طوری که ارتفاع

دورترین محل نمونه گیری از دهانه تونل مادر (چشمه سرخان) ۱۶۶۸ متر ثبت گردیده است. منطقه مورد مطالعه در حد فاصل سازندهای الیکا در سمت جنوب و دلیچای و لار در سمت شمال واقع شده است.

## ۱-۷- سازمان بندی پایان نامه

مراحل و نتایج انجام تحقیق حاضر به صورت زیر در پایان نامه سازمان بندی شده است :

- فصل اول: مقدمه
  - فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته
  - فصل سوم: زمین شناسی
  - فصل چهارم: مواد و روش ها
  - فصل پنجم: توزیع آلودگی در منابع آلاینده
  - فصل ششم: گسترش آلودگی در آب و خاک منطقه
  - فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
- در انتها نیز منابع و مراجع مورد استفاده آورده شده است.

# فصل دوم

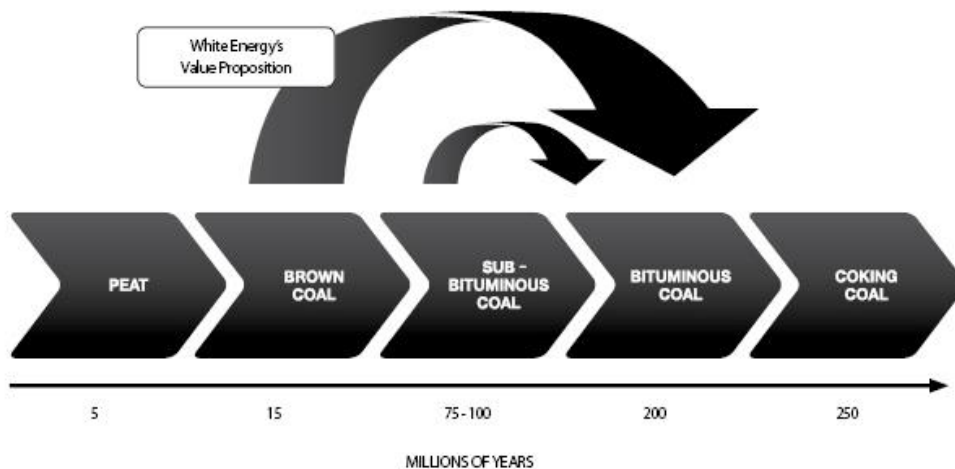
## مروری بر

## مطالعات پیشین

## ۲-۱- کلیات

ذغالسنگ از جمله سوخت‌های فسیلی و کانسارهای رسوبی بیوشیمیایی بوده که از تجمع و مدفون شدن باقیمانده گیاهان در زیر رسوبات قدیمی، در حوضه های رسوبی کم عمق حاصل شده اند (یزدی، ۱۳۸۲).

اختلاط شیمیایی پیچیده اتم های کربن، هیدروژن و اکسیژن، به همراه تعداد کمی از اتم های کوچک گوگرد و نیتروژن در محیط رسوبی اولیه و مراحل مختلف دیاژنز، ذغالسنگ را به وجود آورده است (www.worldcoal.com). به عبارت دیگر ذغال ماده ای نامتجانس است که از تجزیه گیاهان در شرایط مختلف رطوبت، فشار و دما به وجود می آید. بسته به نوع گیاه، میزان تجزیه شدن مواد، فعل و انفعالات صورت گرفته و شرایط محیط، محصول تولید شده یکسان نبوده و از طیف گسترده ای برخوردار می باشد. این محصولات می توانند شامل اسیدهیومیک، پیت، ذغال قهوه ای، لیگنیت، ساب بیتومن، بیتومن، آنتراسیت (نیمه آنتراسیت، آنتراسیت، فوق آنتراسیت) و نهایتاً گرافیت باشد. شایان ذکر است که حرکت پیشرونده از سمت پیت (ذغالسنگ نارس که مقداری آثار گیاهی بر روی آن مشاهده می گردد) به سمت آنتراسیت، با افزایش مقدار کربن و کاهش اتم های اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن همراه بوده که تحت نام ذغالی شدن (شکل شماره ۲-۱) خوانده می شود (رضایی، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۱: روند ذغالی شدن و مدت زمان مورد نیاز این فرآیند (www.WCI coal.com)

در صورتی که شرایط رطوبت، دما، میزان تجزیه و نوع گیاهان اولیه تشکیل دهنده ذغالسنگ‌ها مشابه باشند انتظار می‌رود ذغالسنگ‌هایی با ویژگی‌های مشابه تشکیل شوند، در صورتی که عواملی از قبیل نحوه تشکیل گیاهان اولیه، شرایط رسوبگذاری محیط انباشت، گسل‌ها و درز و شکاف موجود در سنگ‌های دربرگیرنده لایه‌های ذغالسنگی باعث می‌شوند که ذغالسنگ‌هایی با ویژگی‌های متفاوت (تفاوت در گوگرد، درصد کربن، درصد رطوبت و ...) ایجاد گردند (اصانلو، ۱۳۷۸).

تبدیل گیاه به ذغالسنگ عموماً طی دو مرحله بیوشیمیایی و ژئوشیمیایی صورت می‌گیرد. در مرحله بیوشیمیایی، گیاهان و مواد آلی برای مدت زمان بسیار طولانی، در محیط‌های رسوبی انباشته شده و با گذشت زمان دستخوش تغییراتی می‌گردند که مهمترین آنها به حداقل رسیدن میزان اکسیژن موجود و افزایش درصد کربن می‌باشد. محصول تولید شده در این مرحله تحت نام پیت خوانده می‌شود. در مرحله ژئوشیمیایی، پیت تحت شرایط متفاوت رطوبت، فشار و دما (و سایر پارامترها) قرار گرفته و ضمن تغییر ماهیت اولیه خود، انواع ذغال‌های امروزی را تشکیل می‌دهد (رضایی، ۱۳۸۰). افزایش دما، زمان تشکیل ذغالسنگ را کاهش و افزایش عمق، میزان کربن آنها را افزایش می‌دهد. کاهش کربن، کاهش درصد مواد فرار و مقدار رطوبت را به دنبال خواهد داشت (Kural, 1994). در این فصل پس از معرفی ذغالسنگ، به بررسی جایگاه و اهمیت آن در ایران و جهان پرداخته شده و آثار زیست محیطی سوء معدنکاری آن مورد بحث قرار گرفته است.

## ۲-۲- ذغالسنگ در ایران و جهان

ذغالسنگ‌ها سنگ‌هایی رسوبی هستند که عموماً در مرداب‌های واقع در دشت‌های سیلابی، دلتای رودخانه‌ها، سدهای ساحلی و مناطق دارای زهکشی کم واقع شده‌اند. بزرگترین ذخایر ذغالسنگ دنیا در مرداب‌های معتدل حاوی آب شیرین و یا حداکثر لب شور، تشکیل یافته‌اند. چنین مرداب‌هایی در محیط‌های نزدیک به دریا از قبیل کولاب‌ها، خورها و پهنه‌های ساحلی قرار گرفته‌اند (مر و شرفی، ۱۳۸۳ - Britanic 2007).

لایه های ذغالی که در مناطق مختلف جهان تشکیل شده اند، سن های متفاوتی را دارا می باشند. قدیمی ترین لایه های ذغالی که عموماً به گرافیت تبدیل شده اند، مربوط به پره کامبرین بوده و دارای گستردگی بسیار اندک می باشند. آثار محدودی هم در توالی های سیلورین و دونین، در مناطق مختلف جهان مشاهده شده است. با اینکه بزرگترین ذخایر ذغالسنگ ایران که در ناحیه البرز (البرز غربی، مرکزی و شرقی) و ایران مرکزی (حوضه های کرمان و طبس) قرار گرفته اند، به سازند شمشک و نایبند، با سن تریاس فوقانی – ژوراسیک زیرین مربوط می شوند، بزرگترین ذخایر ذغالسنگ دنیا متعلق به کربونیفر می باشند ([www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)). ذخیره کل ذغالسنگ جهان حدود ۱۰۶۰ میلیارد تن یعنی بیش از ۵ برابر معادل ذخایر نفت جهان می باشد. آمریکا ۲۷/۱۳٪، روسیه ۱۷/۲۷٪ و چین ۱۲/۶۰٪ از ذخایر ذغالسنگ جهان را دارا می باشند. کل ذخایر ذغالسنگ ایران در حدود ۱۱/۳ میلیارد تن برآورد شده که بالغ بر ۱/۱٪ سهم جهانی است. ۴۴/۷٪ ذخایر ذغالی ایران کک شو (آنتراسیت) و ۵۵/۳٪ آن حرارتی (لیگنیت، ساب بیتومن و بیتومن) می باشد (قربانی، ۱۳۸۶). جدول شماره ۱-۲ میزان ذخیره ذغالسنگ را در سطح جهانی نشان می دهند ([www.worldcoal.com](http://www.worldcoal.com)).

جدول ۱-۲: میزان ذخیره ذغالسنگ در کشور های مختلف تا سال ۲۰۰۵ ([www.worldcoal.com](http://www.worldcoal.com))

rank	country	anthracite & bituminous	sub-bituminous & lignite	total	percent of total
1	USA	111,338	135,305	246,643	27.13%
2	Russian Federation	49,088	107,922	157,010	17.27%
3	China	62,200	52,300	114,500	12.60%
4	India	90,085	2,360	92,445	10.17%
5	Australia	38,600	39,900	78,500	8.64%
6	South Africa	48,750	-	48,750	5.36%
7	Ukraine	16,274	17,879	34,153	3.76%
8	Kazakhstan	28,151	3,128	31,279	3.44%
9	Poland	14,000	-	14,000	1.54%
10	Brazil	-	10,113	10,113	1.11%
11	Germany	183	6,556	6,739	0.74%
12	Colombia	6,230	381	6,611	0.73%

میزان تولید ذغالسنگ جهان در سال ۲۰۰۵ حدوداً معادل ۲۸۸۷/۲ میلیون تن نفت خام بوده و چین با تولید ۱۱۰۷ میلیون تن رتبه اول جهان را به خود اختصاص داده و ایالات متحده امریکا با تولید ۵۷۶ میلیون تن، رتبه دوم تولید جهان (www.worldcoal.com) را در اختیار گرفته است (جدول ۲-۲).

جدول ۲-۲: میزان تولید ذغالسنگ در سطح جهان (www.worldcoal.com)

rank	country	1981	1990	2000	2004	2005	percent of total
1	China	309.9	542.6	656.7	1,007.30	1,107.70	38.37%
2	USA	459.4	561.4	565.6	567.9	576.2	19.96%
3	Australia	65.1	109	166.2	197	202.4	7.01%
4	India	64.2	104.9	157	191	199.6	6.91%
5	South Africa	74.9	100.1	126.6	136.9	138.9	4.81%
6	Russian Federation	na	176.2	115.8	128.6	137	4.75%
7	Indonesia	0.2	6.6	47.4	81.4	83.2	2.88%
8	Poland	98.1	94.5	71.3	70.5	68.7	2.38%
9	Germany	146.3	117.3	56.5	54.7	53.2	1.84%
10	Kazakhstan	na	67.7	38.5	44.4	44	1.52%
11	Ukraine	na	83.9	42.2	41.9	40.7	1.41%
12	Colombia	2.6	13.3	24.9	34.9	38.4	1.33%

### ۲-۳- اهمیت و کاربرد ذغالسنگ

اهمیت ذغالسنگ بعنوان مهمترین و فراوانترین منبع سوختی جهان بر هیچ کس پوشیده نیست. با اینکه ذغالسنگ از مدت ها قبل از میلاد مسیح به عنوان ماده سوختی مورد استفاده قرار گرفته است، مصرف گسترده آن، همزمان با انقلاب صنعتی و بعد از آن به شدت افزایش یافت (رضایی، ۱۳۸۰) و امروزه به یکی از مهمترین منابع سوختی جهان تبدیل شده است، به طوری که در بسیاری از کشورهای توسعه یافته حدود ۲۰٪ و در چین حدود ۸۰٪ از کل انرژی مورد نیاز از ذغالسنگ بدست می آید (داهی و معلمی، ۱۳۸۲). با توجه به مقدار مصرف کنونی، نفت جهان حداکثر تا ۴۰ سال و گاز

تا ۶۰ سال آینده به پایان خواهد رسید، در صورتیکه معادن ذغال حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ سال دیگر جوابگوی تأمین انرژی خواهند بود.

به دلیل کاربرد های بسیار گسترده و متنوع ذغالسنگ از قبیل: تولید بخار در نیروگاه های برق، صنایع فولاد سازی، تبدیل به گاز به منظور استفاده در شبکه گاز شهری، تبدیل به سوخت مایع یا ماده اولیه صنایع شیمیایی آلی، تهیه مواد شیمیایی، تولید قطران و مواد مشابه برای تهیه کود شیمیایی، تولید ذغالسنگ فعال به عنوان جذب کننده، تولید کربن خالص جهت تهیه گرافیت و الماس مصنوعی و بسیاری مصارف دیگر (اروعی، ۱۳۸۰ - Mishra et al., 2007)، محققین به ذغال نه تنها به عنوان سوخت بلکه به عنوان جایگزینی طولانی مدت جهت تولید مواد شیمیایی مختلف جهت مصرف در صنایع گوناگون نگاه می کنند (Wolela, 2007)؛ در نتیجه پیش بینی می شود در آینده ای نه چندان دور مصرف آن به شدت افزایش یافته به طوری که در سال ۲۰۲۰ به ۴ برابر مصرف کنونی خود برسد (World Bank, 1998).

در حال حاضر مصرف سالانه جهانی ذغالسنگ ۲۹۲۹/۸ میلیون تن بوده که چین با ۳۷٪، آمریکا با ۱۹/۶٪ و هندوستان با ۷٪ بزرگترین مصرف کنندگان این ماده معدنی محسوب می شوند. ایران با مصرف سالانه ۱/۱ میلیون تن، ۰/۰۴ مصرف جهانی را دارا می باشد. ذوب آهن اصفهان، صنایع فروآلیاژ، ریخته گری، آهنگری، تهیه کربید، کارخانجات قند و صنایع نسوز، مهمترین مصرف کنندگان ذغالسنگ در ایران می باشند (قربانی، ۱۳۸۶).

## ۲-۴- معدنکاری ذغالسنگ و محیط زیست

عملیات معدنکاری (بویژه ذغالسنگ) تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی را در محیط زیست ایجاد می نماید. تغییر مورفولوژی منطقه معدنکاری شده در اثر احداث راه های دسترسی و انباشت باطله، تخریب سطح زمین در اثر معدنکاری روباز و فرو نشست زمین در اثر معدنکاری زیر زمینی، تولید زهاب اسیدی در اثر خروج آب زیر زمینی از منطقه معدنکاری شده، شستشوی سطحی باطله ها و به دنبال آن آلودگی آب های سطحی، زیر زمینی و خاکهای اطراف، آلودگی هوا ناشی از



گرد و غبار و گازهای آزاد شده در حین معدنکاری، تخریب پوشش گیاهی، ایجاد آلودگی صوتی، تغییر حیات وحش و اکوسیستم منطقه ([www.worldcoal.com](http://www.worldcoal.com)) از جمله آلودگی های زیست محیطی معدنکاری ذغالسنگ محسوب می شوند. کارگران معدن و ساکنان اراضی اطراف مناطق معدنکاری ذغالسنگ نیز عموماً دستخوش بیماری های گوناگونی شده که موضوع این تحقیق نمی باشد. از مهمترین عوامل آلوده کننده معدنکاری ذغالسنگ می توان به گوگرد و فلزات سنگینی اشاره کرد که به صورت ترکیبات گوناگون در کانی های مختلف موجود در ذغالسنگ ها قرار گرفته و همزمان با تغییرات فیزیوشیمیایی ناشی از استخراج ذغالسنگ و باطله های همراه با آن (باطله های ذغال و سینه کار)، در اثر هوازدگی و شستشو، در سطح و یا داخل زمین در زون اکسیداسیون آزاد شده و آلودگی آب و خاک مناطق پایین دست را ایجاد می نماید (رضایی، ۱۳۸۰; Mishra et al., 2007).

## ۲-۴-۱- گوگرد در ذغالسنگ ها

گوگرد موجود در ذغالسنگ ها عموماً به صورت کانی های سولفیدی، کانی های سولفات و گوگرد با پیوند آلی مشاهده می گردد (امیری مقدم، ۱۳۸۶).

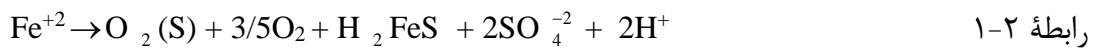
گوگرد آلی در حدود ۵۰ درصد از کل گوگرد ذغالسنگ ها را شامل شده و با عناصر موجود در ذغال ها از قبیل C, H, O و N، پیوندهای کووالانسی برقرار می نماید. سیستین مرسوم ترین ترکیب آلی گوگردار موجود در ذغالسنگ محسوب می شود (Klein, 1994; Morrison 1981; Boushka, 1981).

پیریت ( $FeS_2$ )، مارکازیت ( $FeS_2$ )، اسفالریت ( $ZnS$ )، گالن ( $PbS$ )، آرسنوپیریت ( $FeAsS$ )، کالکوپیریت ( $CuFeS_2$ ) و پیروتیت ( $FeS$ ) فراوانترین کانی های سولفیدی و ژئوپس ( $O_2, 2H_4 CaSO$ )، باریت ( $BaSO_4$ )، سلسنتین ( $SrSO_4$ ) و سولفات فریک ( $Fe(SO_4)_3$ ) فراوانترین کانی های سولفات موجود در ذغالسنگ ها محسوب می شوند (Boushka, 1981; Butler et al., 2000).

از آنجایی که شکل سولفیدی گوگرد در هنگام اکسایش و تبدیل شدن به یون سولفات، تولید یون  $H^+$  نموده که کاهش pH محیط را به دنبال خواهد داشت، کانی های سولفیدی موجود در

ذغالسنگ ها نسبت به کانی های سولفات از اهمیت بیشتری جهت تولید زهاب های اسیدی برخوردارند (Cravotta et al., 1994).

پیریت و مارکازیت علاوه بر اینکه عمده ترین کانی های سولفیدی موجود در ذغالسنگ ها محسوب می شوند، به همراه پیروتیت در میان سایر کانی های سولفیدی بیشترین نرخ اکسیداسیون را دارا بوده و مهمترین نقش را در تولید زهاب اسیدی ایفا می نماید (Alan, 1981; Butler et al., 2000). اکسیداسیون کانی های سولفیدی ممکن است در داخل زمین (زون های اکسیداسیونی) و یا سطح دمپ های باطله رخ دهد. مراحل مختلف اکسیداسیون پیریت (کانی های سولفیدی) به شرح زیر می باشد (Stumm & Morgan, 1981):



تولید زهاب های اسیدی معدن یا AMD (Acidic Mine Drainage) طی ۳ مرحله متوالی ایجاد می شود. در مرحله اول، در حالی که pH محیط نزدیک به خنثی می باشد، اکسیداسیون پیریت به کمک واکنش ۱-۲، با ترکیب مکانیسم های ارگانیک (باکتریایی) و غیرارگانیک انجام می شود. تمام اکسیداسیون باکتریایی پیریت، غالباً در سطح دانه های پیریت صورت می گیرد. در مرحله دوم در حالی که pH محیط بین ۳ تا ۴/۵ قرار دارد، اکسیداسیون  $\text{Fe}^+$  عموماً توسط باکتری T.Ferrooxidans صورت گرفته و اکسیداسیون غیرآلی بسیار کند می گردد. اکسیداسیون پیریت در این مرحله با ترکیبی از دو واکنش ۱-۲ و ۳-۲ صورت می گیرد. در مرحله سوم که pH محیط به کمتر از ۳ رسیده و آهن به صورت  $\text{Fe}^{+3}$  به فراوانی یافت می شود، واکنش ۳، مکانیسم اصلی در تولید اسید محسوب می شود. در مرحله اول و دوم میزان تولید AMD نسبتاً آرام و آهسته و در مرحله سوم بسیار سریع می باشد. این مرحله مسئول تولید بیشترین مقدار AMD می باشد. البته باید

توجه نمود که این واکنش‌ها برای سیستم‌های غیراشباع با حضور مقدار کافی اکسیژن و کمبود مواد آلكالین انجام پذیر می‌باشد و در صورت کمبود  $O_2$  یا فراوانی کربنات‌ها و سایر مواد آلكالین، واکنش‌های دیگری را خواهیم داشت (Stumm & Morgan 1981).

## ۲-۴-۲- ژئوشیمی ذغالسنگ‌ها

با اینکه ترکیبات و عناصر آلی موجود در ذغالسنگ‌ها از قبیل کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن، بیشترین سهم (بویژه کربن) را در ترکیب ذغالسنگ‌ها دارا می‌باشند، بخش معدنی (سولفیدها، سولفات‌ها، رس‌ها، کربنات‌ها و سیلیکات‌ها) به دلیل ارتباط مستقیمی که با عناصر سنگینی از قبیل Fe, As, Hg, Cd, Mn, U, Co و ... نشان می‌دهد، از اهمیت زیست‌محیطی بیشتری برخوردار می‌باشد. کوارتز، کلسیت، کانی‌های رسی و پیریت فراوانترین کانی‌های موجود در ذغالسنگ‌ها می‌باشند (Boushka, 1981).

مطالعات گسترده‌ای پیرامون ژئوشیمی و ارتباط عناصر سنگین با بخش‌های مختلف ذغالسنگ‌ها صورت گرفته است. همبستگی مثبت (ارتباط) عناصر جزئی و محصول خاکستر ذغالسنگ‌ها در تحقیقات وسیعی به اثبات رسیده است (Finkelman, 1983; Goodarzi, 1988; Spears and Zheny, 1999; Dia et al., 2005). (Zheny, 1999; Dia et al., 2005) P و Al, Be, V, Sb, Pb, Th, Se, Cr, Mo, (Zheny, 1999; Dia et al., 2005) هستند که همبستگی مثبت بالایی با محتوای خاکستر ذغالسنگ‌ها نشان داده‌اند (Song et al., 2007).

نتایج تحقیقی که بر روی ذغالسنگ‌های جنوب غربی ایالت Guizhou انجام شد نشان داد که کانی‌های رسی غلظت‌های بسیار زیادی از Zr, U, Th, Rb, Nb, Ga, F, Cs, Be, Ba را دارا می‌باشند. پیریت مقادیر زیادی از عناصر As, Cd, Hg, Mo, Sb, Se, Tl و Zn را در خود جای داده است. ژنزه‌های مختلف کلسیت، عناصر مختلفی را در خود جای داده‌اند؛ Ba, Co, Cr, Hg, Ni, Rb و Zn در کلسیت‌هایی با منشأ هیدروترمال و Mn و Sr در کلسیت‌هایی با منشأ رسوبی غنی شدگی نشان دادند.

Zhang et al., ) در توده ذغالی عهده دار بود ( Zhang et al., 2002). مطالعه بر روی ذغالسنگ های حوضه خوزه دلچوف بلغارستان معلوم نمود که عناصر Be, Ge, As, Mn, Cl و Br به مقدار زیاد و عناصر Co, B, Sr, Ba, Sb, U, Th, Mo, La, Ce, Sm, Tb و Yb به مقدار کمتر دارای همبستگی مثبت (ارتباط مستقیم) با مقدار مواد آلی موجود در ذغالسنگ ها می باشند. همچنین محلول های گرمابی، مسئول غنی شدگی عناصر W, Ge, Be و As و سنگ های آذرین دگرگون شده عامل غنی شدگی عناصر Mo, Sb, Hf, U, Th, As, Li و Rb شناخته شدند (Eskenazy and Stefanova, 2007).

در مورد ژئوشیمی ذغالسنگ های ایران در حوضه البرز نیز مطالعات جامعی توسط محققین صورت پذیرفته و معلوم گردیده که سیلیکات های آلومینیوم و کانی های سولفیدی مهمترین اجزاء جهت تجمع عناصر سنگین در ذغالسنگ ها می باشند. فراوانی عناصر Ca, Mg, Mn, Ba و Sr به محتوای کربنات و فسفات ذغالسنگ ها ارتباط دارد و مقادیر Ni, Ca, Zn و As به مقدار کانی های سولفیدی موجود در ذغالسنگ ها مربوط می باشد. همبستگی های مثبت بالایی که بین آهن و گوگرد وجود دارد را نیز به ارتباط این عناصر با کانی های سولفیدی (بویژه پیریت) مربوط شده است ( Yazdi & Shirvani, 2004).

عناصر نادر خاکی، فلزات سنگین و گوگرد ذخیره شده در بخش های معدنی ذغالسنگ ها توسط آب های زیرزمینی (در داخل زمین) و یا شستشوی دمپ های باطله (در سطح زمین) حل شده و با تولید و پراکندگی زهاب های اسیدی (AMD)، اکوسیستم منطقه را برهم می زند (Zhao et al., 2007). در مورد غلظت و رفتار فلزات سنگین در زهاب های اسیدی (AMD) مطالعاتی بسیاری صورت گرفته و تأثیر سوء این زهاب ها بر محیط زیست نیز مورد بررسی واقع شده است (Zhao et al., 2007).

## ۲-۴-۳- زهاب خروجی از معادن ذغالسنگ

### ۲-۴-۳-۱- زهاب اسیدی (AMD)

قبل از شروع فعالیت های معدنکاری، نرخ اکسیداسیون کانی های سولفیدی از هوازدگی طبیعی تبعیت می کند. با انجام عملیات معدنکاری و شروع استخراج مواد و باطله های معدنی به دلیل بالا رفتن سطح تماس کانی های سولفیدی با آب و اکسیژن، سرعت واکنش های اکسیداسیون افزایش می یابد. در نتیجه حجم زهاب ایجاد شده افزایش و pH آن کاهش می یابد.

نرخ اکسیداسیون کانی های سولفیدی جهت تولید زهاب اسیدی به عواملی از قبیل: نوع کانی های سولفیدی، اندازه دانه های سنگ یا باطله حاوی سولفیدها، درجه حرارت، رطوبت، زمان، غلظت و درصد اکسیژن، شرایط pH و Eh محیط، فراوانی سولفور یا سولفید و حضور کاتالیزور هایی مانند باکتری ها وابسته می باشد (Arture et al., 1999).

فلزات سنگین و بسیاری از عناصر و ترکیباتی که در pH های خنثی تا قلیایی توانایی حل شدن در آب را ندارند، همزمان با کاهش pH محیط (در اثر اکسیداسیون کانی های سولفیدی) در آب زیرزمینی و یا سطحی منطقه حل شده و مشکلات گسترده زیست محیطی را ایجاد می نمایند.

کاهش pH منابع آب منطقه و به دنبال آن افزایش قابلیت حلالیت، خوردگی، افزایش درصد یون های فلزی، به ویژه فلزات سنگین، افزایش TSS و TDS آب، تغییر اکوسیستم موجود در آب و از بین رفتن بعضی از آبزیان و به طور کلی آلودگی آب زیرزمینی، آلودگی خاک، آلودگی گیاهان و آلودگی بافتی جانوران تغذیه کننده از گیاهان، از جمله خطرات تشکیل و جابه جایی زهاب های اسیدی می باشند (رضایی، ۱۳۸۰؛ Mishra et al., 2007; Laus et al., 2007). در صورتی که کارخانجات فرآوری ذغالسنگ نیز در کنار معادن استخراجی قرار گیرند، زهاب هایی بسیار خطرناکتر و آلوده کننده تر ایجاد می نماید (Komnitsas & Modis, 2006) به طوری که pH این محل ها به حدود ۳ و غلظت عناصری از قبیل Pb, Fe, Al, Mn, Ca و Zn نیز در آنها به شدت افزایش می یابند (Laus et al., 2007).

نتایج تحقیقی که بر روی زهاب های اسیدی معدن سنگ آهن دوگ به انجام رسید، کمترین pH زهاب های اسیدی ( $pH < 1$ ) را مشخص نموده و نشان داد که زهاب این معدن به حالت فوق اشباع از Fe و  $SO_4^{-2}$  قرار گرفته است. عناصر Cr, V, Ni, Co, Ca, Zn, Al و Cd نیز غلظت های بسیار بالایی را در این زهاب نشان دادند (Williams & Smith, 2000).

آبهای سطحی زهکشی شده در مناطق خشک و نیمه خشک، در نهشته هایی که توانایی تولید اسید را دارا می باشند (مانند دмп های باطله)، نسبت به آب و هوای مرطوب، اسیدی تر بوده و میزان فلزات بیشتری را در خود جای می دهند. در این مناطق نمک های محلولی که عمدتاً سولفات های آبدار فلزاتی مانند Fe (ملانزیت)، Al (پالوتریجیت)، Ca (ژیپس)، Mn (پینکریت)، Cu (کالکانتیت و بروکانتیت) و Zn (گوسلاریت) می باشد در اثر تبخیر در حدفاصل دو بارندگی، بر روی دامنه های باطله های دیو شده تشکیل می شوند. این نمک ها می توانند اسید و فلزات را در حالت جامد در خود ذخیره کرده و در طی دوره مرطوب بعدی (مانند ذوب برف، ایجاد رواناب و ...) به آسانی به صورت محلول درآورده و وارد محیط نمایند. یون هایی که در اثر هیدرولیز در آب حل می شوند، با ایجاد یونهای  $H^+$ ، کاهش pH محیط را به دنبال خواهند داشت (Arture et Nordstorm & alpers, 1999- al., 1999).

## ۲-۳-۴-۲- تولید زهاب خنثی یا قلیایی (NAMD)

در مقابل زهاب اسیدی (AMD)، که با pH های کم و تمرکز فلزات سنگین (Fe, Al, Mn و ...) و فراوانی یون  $SO_4^{-2}$  مشخص می شود، زهاب های خنثی یا آلكالی (NAMD) می تواند دارای آلكالینیتته ای برابر یا بیشتر از اسیدیتته باشند. NAMD (Natural Alkaline Mine Drainage) می تواند از AMD های خنثی شده توسط کانی های کربناته (مانند کلسیت و دولومیت) و یا از سنگ های حاوی مقدار کم پیریت تشکیل گردد. انحلال کانی های کربناته باعث تولید آلكالینیتته شده که حذف Fe و Al و دیگر یون های فلزی از محلول را سرعت بخشیده و اسیدیتته را خنثی می کنند. با این حال خنثی سازی AMD تأثیری روی تجمع  $SO_4^{-2}$  نداشته و فراوانی  $SO_4^{-2}$  در زهاب های

قلیایی، نشان دهنده تولید AMD اولیه می باشد (Arture et al., 1999). نوع سنگ میزبان، نوع آلتراسیون در سنگ میزبان، ماهیت معدن و کانه، میزان عناصر جزئی سنگ میزبان و کانسار، فعالیت دوباره کانی های تولید کننده و خنثی کننده اسید و میزان اکسیداسیون قبل از معدنکاری تعیین کننده اسیدی و یا قلیایی بودن زهاب تولید شده می باشند (Plumlee et al., 1998). در زهاب هایی با pH اسیدی فلزات معمولاً به صورت یون های فلزی ساده و یا کمپلکس های سولفات مشاهده می شوند در صورتی که در pH خنثی و کمی آلكالی کمپلکس های هیدروکسیدی و یا کربناته فلزات از اهمیت بیشتری برخوردارند (Plumlee et al., 1998).

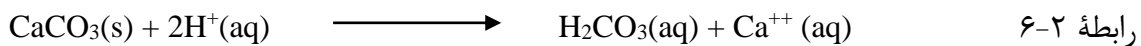
#### ۲-۴-۴- خنثی سازی اسیدیته و تولید آلكالینیته

خاصیت آلكالینیتی، ظرفیت یک محلول برای خنثی سازی مقدار اسیدیته یا یون  $H^+$  می باشد. اگر چه کربنات ها و برخی از ترکیبات هیدروکسیدها، سولفیدها، فسفات ها، بورات ها، سیلیکات ها و آمونیوم می توانند در ایجاد خاصیت بازی مؤثر باشند، اما گونه های کربنی غیرارگانیک یعنی یون های کربنات ( $CO_3^{2-}$ ) و بی کربنات ( $HCO_3^-$ )، بیشترین تأثیر در قلیائیت آب های طبیعی را دارا می باشند (Hem, 1985). در pH های پایین تر از ۴/۵، خاصیت کربناته صفر در نظر گرفته می شود (Greenberg et al., 1992). با افزایش کربنات ها و بالا رفتن غلظت یون  $Ca^{+2}$ ، خاصیت بازی و مقدار  $HCO_3^-$  افزایش و مقدار دی اکسید کربن حل شده و اسید کربنیک ( $H_2CO_3$ ) موجود در محلول کاهش می یابد. با افزایش روند قلیائیت، غلظت یون  $HCO_3^-$  بسیار ناچیز شده و یون  $CO_3^{2-}$  افزایش می یابد (Plummer et al., 1979; Stumm & Morgan, 1996).

یون  $Ca^{+2}$  (و  $Mg^{+2}$ ) در توالی های ذغالی عموماً از انحلال سنگ های کربناته ای مانند سنگ آهک و دولومیت که به صورت لایه های کوچک موجود در بخش های کمربالا و کمرپایین رگه های ذغالسنگی رسوب نموده اند، رگه های کلسیتی که با زوایای مختلف توالی های ذغالی را قطع نموده و

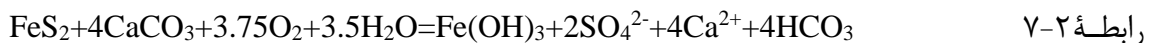
شکستگی ها را به صورت ثانویه پر نموده اند و یا از انحلال سیمان آهکی ماسه سنگ ها و سیلت استون ها ناشی می شوند (Arture et al., 1999).

معادله های ۲-۵ و ۲-۶ به ترتیب خنثی سازی اسید تولید شده از سولفید آهن در pH بیشتر از ۶/۴ و خنثی سازی در pH کمتر از ۶/۴، توسط انحلال سنگ آهک را نشان می دهند (butler et al., 2000).

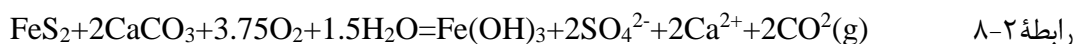


در صورتی که بخواهیم مقادیر کلسیت مورد نیاز جهت خنثی سازی میزان AMD خاصی را محاسبه نماییم، با اضافه کردن مواد آلكالینیت به داخل باطله های پیریتی به منظور جلوگیری از تشکیل AMD، واکنش های ۲-۷ و ۲-۸ را خواهیم داشت. البته مقدار کلسیت مورد نیاز برای خنثی سازی مقدار خاصی از زهاب اسیدی معدن به رفتار  $\text{CO}_2$  در طی فرآیند خنثی سازی، فشار اکسیژن و میزان pH که به آن خواهد رسید وابسته می باشد.

اگر AMD (که با  $\text{pH} \leq 4/5$  مشخص می شود) به  $\text{pH} 6/3$  و بالاتر خنثی شده (یعنی  $\text{HCO}_3^-$  عمده ترین محصول کربناته ایجاد شده باشد) و اجازه ورود  $\text{CO}_2$  به فاز گازی داده نشود واکنش بصورت زیر خواهد بود.



تحت این شرایط، خنثی سازی محصولات اکسیداسیون یک مول پیریت، نیازمند ۴ مول  $\text{CaCO}_3$  خواهد بود. در مقابل اگر تمام  $\text{CO}_2$  به فاز گازی درآید یا اینکه AMD تا pH حدود ۵ خنثی شود واکنش به صورت زیر خواهد بود:



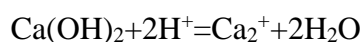
تحت این شرایط خنثی سازی AMD ایجاد شده به وسیله اکسیداسیون یک مول پیریت به ۲ مول



CaCO<sub>3</sub> نیاز خواهد داشت (Cravota et al., 1994). شایان ذکر می باشد که بیشتر واکنش های

طبیعی در حدی بین این دو واکنش انجام می پذیرند.

اگر ماده خنثی کننده سنگی باشد که عمدتاً از CaO یا Ca(OH)<sub>2</sub> تشکیل شده باشد واکنش خنثی سازی به صورت زیر خواهد بود (Cravotta et al., 1994).



البته Ca(OH)<sub>2</sub> (در حضور رطوبت) تمایل زیادی به ترکیب با CO<sub>2</sub> هوا داشته که منجر به تشکیل CaCO<sub>3</sub> می گردد. این ترکیب (CaCO<sub>3</sub>) نیز جهت خنثی سازی AMD مصرف می گردد (Rose et al., 1995).

با اینکه سیدریت در بسیاری از توالی های ذغالدار مشاهده می گردد، اما انحلال آن و ته نشست Fe(OH)<sub>3</sub> تقریباً هیچ آلكالینیتی را ایجاد نکرده و تأثیر چندانی در خنثی سازی AMD ندارد (Morison et al., 1990). به دلیل واکنش بسیار کند AMD با کانی های سیلیکاته، معمولاً نقش این کانی ها در خنثی سازی اسید ناچیز و قابل چشم پوشی می باشد (Arture et al., 1999). در هر حال هنگامی که زهاب خروجی معدن به شرایط آلكالینیت رسیده باشد، یون SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ایجاد شده به وسیله انحلال پیریت در محلول باقی مانده و شاخص خوبی برای پیریت اکسید شده می باشد. باید توجه داشت که در حضور کلسیت و سایر کانی های کلسیم دار، ژپس می تواند ته نشست پیدا کرده و SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> را از محلول حذف کند. تحقیقات نشان می دهند که در باطله هایی که مقداری آهک به آنها اضافه شده است، همزمان با تشکیل ژپس، SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> محیط کاهش یافته است. ته نشست ترکیبات سولفات آهن، آلومینیوم و منیزیم نیز کاهش SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> و یون های Fe، Al و Mg را به دنبال خواهد داشت (Arthur et al., 1999).

البته واکنش های تبادل یونی که در زون اشباع، بین کانی های رسی موجود در سنگ ها (از قبیل کائولینیت و ایلیت) با یون های H<sup>+</sup> و فلزات محلول در AMD صورت می گیرد نیز نقش قابل توجهی در خنثی سازی AMD و کاهش مقدار یون های فلزی موجود در این محلول ها را دارا می باشند.

تجمع بالای فلزات سنگین در توالی های ذغالی شاهدهی بر این تبادل می باشند ( Winters et al., 1999). از طرفی تبادل یونی بین کلسیم و سدیم نیز با افزایش انحلال  $\text{CaCO}_3$  (در صورت وجود) تولید آلکالینیتی نموده و خنثی سازی AMD را به دنبال خواهد داشت (Cravata et al., 1994).

## ۲-۵- آلودگی آب و خاک در اثر معدنکاری ذغالسنگ

عناصر سبک (Be, Li و ...)، عناصر غیرفلزی (Bi, As, Se و ...)، فلزات سنگین (Fe, Co, Cr, Cu و ...) و عناصر نادر خاکی (Eu, Ce, La و ...) موجود در ترکیب ذغالسنگ ها، در اثر فعالیت های معدنکاری (زهاب های خروجی از تونل های استخراجی و شستشوی دمپ های باطله)، آماده سازی، فرآوری، حمل و نقل و احتراق (در نیروگاه ها)، از مواد در برگیرنده خود جدا شده و با ورود به محیط زیست، تولید آلودگی می نمایند ( Swaine & Goodarzi, 1995; Finkelman et al., 2002; Yiwei et al., 2007).

در تحقیقی که در سال ۱۹۸۶ بر روی معادن ذغالسنگ روباز آمریکا انجام گرفت، مشخص گردید که بسیاری از پارامترهای کیفی آب های سطحی و زیرزمینی پایین دست معدنکاری، کاهش چشمگیری را نشان می دهند. TSS، TDS، کربنات کلسیم و فلزات سنگین، بیشترین افزایش را در اراضی پایین دست نشان دادند (Laus et al., 2007). پساب های اسیدی تولید شده از باطله ها و زون های اکسیداسیون ذغالسنگ های ولیز در ایالت ولشی که با pH در حدود ۴/۲ به رودخانه نیت وارد می شدند، باعث نابودی حیات آبی تا مسافت ۱۲ کیلومتری پایین دست معدنکاری شده بود ( Bulter et al., 1994). پساب های اسیدی معدن ذغالسنگ Siti در استان Shanxi در شمال چین نیز مسئول افزایش قابل توجهی در غلظت عناصر نادر خاکی (REE) و یون سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) در اراضی پایین دست معدنکاری شناخته شد (Zhao et al., 2006). در تحقیقی که آقای امیری مقدم (۱۳۸۶) بر روی ذغالسنگ های منطقه آنگ انجام داد، مشخص گردید که شستشوی باطله ها و زهاب های خروجی معادن باعث افزایش مقادیر As, Cr, Fe،  $\text{SO}_4^{2-}$  و EC در آب های سطحی پایین دست معدنکاری شده است.

## ۲-۶- مروری بر تحقیقات گذشته در منطقه مورد مطالعه

به دلیل اهمیت اقتصادی و کاربردهای گسترده ذغالسنگ، مجموعه معدنی طزره با داشتن ذخیره ۲۵ میلیون تن، که یکی از بزرگترین منابع ذغالی در البرز شرقی محسوب شد (گزارشات آماری شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۸۶) و از سال ۱۹۷۳ مورد توجه کارشناسان شرکت ملی فولاد قرار داشته است.

شروع مطالعات جامع زمین شناسی شامل: سنگ شناسی، چینه شناسی، ذغالخیزی، محیط رسوبی، تکتونیک و آبشناسی در مجموعه معدنی طزره، توسط نبوی در سال ۱۹۷۵ انجام گرفت. ایشان سازند شمشک را به گونه ای که در بخش ۳-۲-۱ عنوان گردیده است، معرفی نمود که بعدها توسط آقانباتی (۱۳۷۷) و سایر کارشناسان مورد تأیید واقع شد. کورسن و استامفلی در سال ۱۹۷۷ و ۱۹۷۸ نیز مطالعات گسترده ای را در منطقه طزره انجام داده و ستون چینه شناسی این منطقه را به طور دقیق ترسیم نمودند (که در این تحقیق نیز در شکل ۳-۳ مورد استفاده قرار گرفته است).

معین السادات و رضوی ارمغانی در سال ۱۳۷۲ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی اکثر مناطق ذغالخیز کشور، از جمله مجموعه معدنی طزره را مورد بررسی قرار دادند (که نتایج آن در جدول شماره ۲-۳ آورده شده است).

پتانسیل سنگ منشأ، جهت تولید نفت و گاز سازند شمشک در منطقه طزره، توسط شکاری فرد و همکاران در سال ۱۳۸۳ انجام گرفت. آنها بیان نمودند مواد آلی در این سازند دمای بالایی را طی تدفین تحمل کرده و نسبت به تولید هیدروکربن های مایع، فوق بالغ می باشند. بررسی پارامترهای نفت شناسی (از قبیل  $S, T_{max}$  و...)، سازند شمشک در منطقه طزره را یک سنگ منشأ با پتانسیل ضعیف جهت تولید نفت نشان داد. در مورد زمان، محیط رسوبی و فون های پلاژیک سازند شمشک در منطقه طزره نیز مطالعات گسترده ای صورت گرفته است (Fursich et al., 2005).

جدول شماره ۲-۳: ویژگی های فیزیکوشیمیایی ذغالسنگهای منطقه طزره (معین السادات و رضوی ارمغانی، ۱۳۷۲)

پارامتر	میزان متوسط (٪)	پارامتر	میزان متوسط (٪)
درصد مواد فرار	۴۱-۳۷	کربن	۹۲-۸۱
خاکستر	۳۶-۹/۲	فسفر	۰/۰۰۲
رطوبت	۰/۹-۱	پلاستومتری	۲۲-۱۸
گوگرد	۶/۷-۱/۳	هیدروژن	۶/۴-۳/۷

کنگی در سال ۱۳۸۶، تکامل درزه ها در رسوبات گروه شمشک را در مجموعه معدنی طزره مورد بررسی قرار داد و ۳ نوع درزه اصلی، شامل درزه های قبل از گسل خوردگی، درزه های همزمان با گسل خوردگی و درزه های بعد از گسل خوردگی (در ارتباط با گسلش اصلی منطقه - گسل  $F_1$ ) را تشخیص داده و معرفی نمود. این در حالی است که در مورد ژئوشیمی و ارزیابی اثرات سوء زیست محیطی معدنکاری در مجموعه معدنی طزره، تاکنون مطالعات جامعی (در ارتباط با موضوع این تحقیق) صورت نگرفته است. امیری مقدم از معدود محققانی است که در سال ۱۳۸۶ اثرات زیست محیطی معدنکاری ذغالسنگ را در محدوده البرز شرقی در منطقه آنگ (واقع در استان گلستان) مورد بررسی قرار داده است. ایشان پارامترهای  $EC$ ،  $pH$ ،  $PO_4^{-2}$ ،  $SO_4^{-2}$ ،  $NO_3^-$ ،  $COD$ ،  $BOD$  و عناصر سنگینی از قبیل  $As$ ،  $Zn$ ،  $Cu$ ،  $Cr$ ،  $Ni$  و  $Fe$  را در منطقه آنگ مورد بررسی قرار داد. البته دمپ های باطله و اثرات سوء آنها در اطراف کارخانه ذغالشویی شرکت ذغالسنگ البرز شرقی که در قسمت پایین دست مجموعه معدنی طزره قرار گرفته است، مورد توجه بسیاری واقع شده است. سهرابی و همکاران (۱۳۸۳) پتانسیل تولید زهاب های اسیدی از باطله های کارخانه ذغالشویی البرز شرقی را (با استفاده از ABA اصلاح شده) مورد بررسی قرار داده و بیان نمودند که تقریباً تمامی باطله ها دارای  $pH$  قلیایی می باشند. جدیری شکری (۱۳۸۵) نیز پیش بینی پتانسیل آلودگی را در دمپ های باطله ذغالشویی این شرکت (شرکت ذغالسنگ البرز شرقی) انجام داده است. ایشان به تلفیق مدلسازی ریاضی و انجام

مطالعات ژئوفیزیکی زیست محیطی مواد حاصل از شستشوی کارخانه ذغالشویی البرز شرقی نیز پرداخته است. مهدی زارع و همکاران (۱۳۸۷) نیز ضمن شبیه سازی و آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر در اکسیداسیون پیریت باطله های جیگ ذغالشویی البرز شرقی، بیان نمودند که استفاده از پوشش های مناسب در سطح باطله ها جهت کاهش نرخ نفوذ اکسیژن به داخل دمپ باطله، می تواند راهکاری مناسب جهت کاهش اکسیداسیون پیریت در این باطله ها باشد. برخلاف مجموعه معدنی طزره، در ناحیه البرز مرکزی بررسی های ژئوشیمیایی گسترده ای توسط گودرزی و همکاران (۲۰۰۵)، یزدی و شیروانی (۲۰۰۴) و رضوی ارمغانی و معین السادات (۱۹۹۴)، صورت گرفته است. ذغالسنگ های ایران مرکزی نیز توسط زاده کبیر (۱۳۷۰)، سالاری شریفی (۱۹۸۳ و ۱۹۹۲)، شهاب پور (۱۹۹۱ و ۱۹۹۲) و شهاب پور و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج این تحقیقات جهت تحلیل و بررسی رفتار عناصر در منابع آب و خاک مجموعه تونل مادر (منطقه مورد مطالعه) مورد استفاده قرار گرفته است.

# فصل سوم

زمین شناسی مجموعه

معدنی طوره

### ۳-۱- کلیات

وجود توالی های ذغالی در رسوب های مزوزوئیک ایران سبب گردیده تا در سال های ۱۹۷۳-۱۹۷۶، این نهشته ها از نگاه چینه شناسی، دیرینه شناسی و به ویژه از نظر اقتصادی مورد توجه خاص زمین شناسان مختلف از جمله کارشناسان شرکت ملی فولاد ایران قرار گیرد. برای اولین بار این کارشناسان نهشته های ساحلی، آبرفتی، دلتایی و دریایی تریاس پسین-ژوراسیک پایینی-میانی ایران را، به دلیل داشتن نشانه و یا ذخایر ذغالسنگ اقتصادی، رسوب های ذغالدار ایران نام نهادند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

مجموعه های رسوبی ذغالدار یا حوضه های ذغالی ایران در دو بخش بزرگ زمین شناسی یعنی پهنه البرز و ایران مرکزی گسترش یافته اند و به طور تخمینی ۱۰-۷ میلیارد تن ذغال را در خود جای داده اند (Yazdi & Shirvani, 2004).

این حوضه ها اغلب در محیط های زمین ساختی فعال و عموماً ناودیسی تشکیل شده اند. کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل، سیلت استون، مادستون و ماسه سنگ های آهکی از مرسوم ترین لایه های کمربالا و کمربالین لایه های ذغالی در این مناطق می باشند (شریعت نیا، ۱۳۷۴). منطقه مورد مطالعه (مجموعه تونل مادر) در زون البرز (البرز شرقی) قرار داشته که در این فصل به بررسی ویژگی های زمین شناسی و ذغالخیزی آن پرداخته خواهد شد.

### ۳-۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (مجموعه تونل مادر) بخشی از منطقه پشکلات در مجموعه معدنی طزره بوده و جزئی از زون البرز شرقی محسوب می گردد. این زون (البرز شرقی) از شرق سمنان تا نواحی خراسان با روندی تقریباً غربی - شرقی کشیده شده است. تقریباً تمامی فازهای کوهزایی در البرز شرقی مشاهده می گردد اما کوهزایی سیمین پسین را مسئول بالآمدگی سازند های شمشک (ودلیچای و لار) در نظر گرفته اند. زون البرز شرقی از لحاظ تکتونیکی فعال بوده و با فراوانی گسل های معکوس و نرمال (عموماً به صورت عرضی) مشخص می گردند (آقانباتی، ۱۳۸۳). واحدهای سنگی بسیاری با

سن های متفاوت در این زون وجود داشته که از این میان به معرفی سازندهای اصلی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه پرداخته می شود. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که با استفاده از نرم افزار GIS و با بهره گیری از نقشه های ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود و دامغان، تصویر ماهواره ای منطقه و نقشه راههای منطقه طزره که توسط شرکت البرز شرقی ترسیم شده است تهیه گردیده است در شکل ۳-۱ آورده شده است.

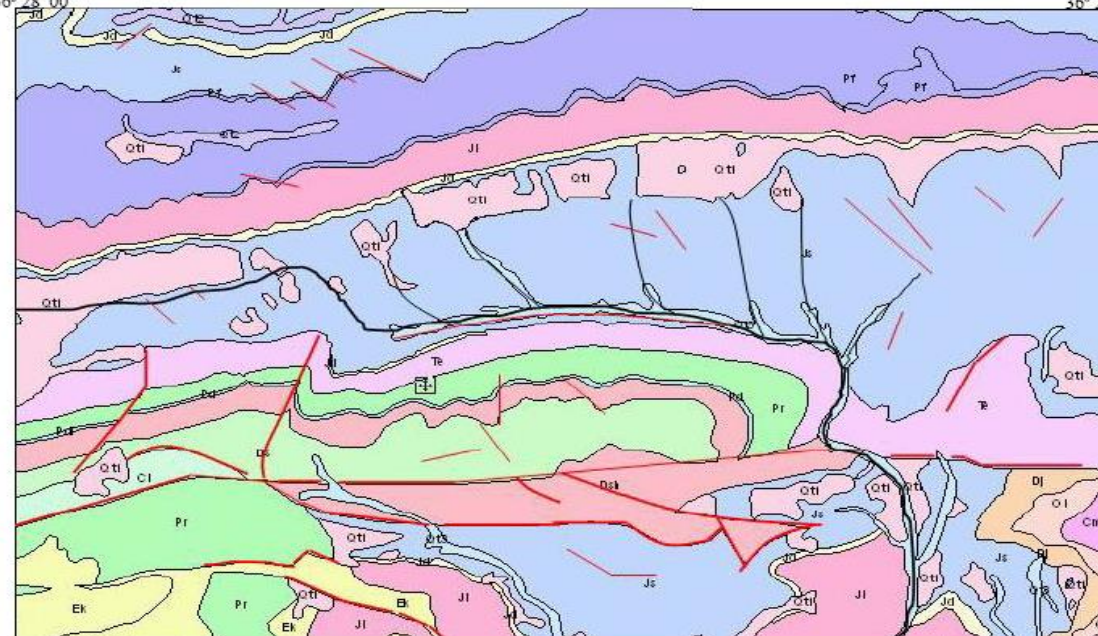
### ۳-۲-۱- سازند الیکا

سازند آهکی - دولومیتی الیکا از جمله واحدهای سنگی و کوهساز تریاس پایینی - میانی البرز می باشد. بخش پایینی سازند الیکا دارای ضخامتی متغیر از سنگ آهک های نازک لایه و آهک های مارنی است که میان لایه های دولومیت در آن قرار گرفته اند. لایه بندی نازک، رنگ متمایل به خاکستری روشن و فراوانی ساخت های کرم مانند از ویژگی های بخش پایینی سازند الیکا است که شناسایی و تفکیک آنرا از دولومیت های ضخیم لایه بخش بالایی فراهم می سازد (آقناباتی، ۱۳۸۳). بخش بالایی سازند الیکا در منطقه طزره گستردگی و ضخامت بیشتری را نسبت به بخش زیرین، به خود اختصاص داده و معمولاً از آهک و آهک های دولومیتی روشن و در برخی نقاط خاکستری و قهوه ای تشکیل شده است. آقناباتی (۱۳۸۳) ضخامت بخش بالایی این سازند را تا ۱۰۰۰ متر معرفی نموده است. الیکا در منطقه کلاریز (غرب منطقه مورد مطالعه) به طور کلی ضخامت بیشتری را نسبت به بخش پشکلات به خود اختصاص داده است. کوهزایی سیمین پیشین که بین تریاس میانی و فوقانی و حد فاصل دو سازند الیکا و شمشک رخ داده است (آقناباتی، ۱۳۸۳)، باعث بوجود آوردن ناپیوستگی در منطقه شده که با افق های قرمز رنگ لاتریتی و بوکسیتی مشخص می شوند. این ناپیوستگی در منطقه مورد مطالعه نیز با شیل های بوکسیتی و لاتریت های قرمز رنگ مشخص می باشد (شکل ۳-۲). تفاوت در شکل اولیه حوضه رسوبی و اختلاف در گسل خوردگی و شکستگی های موجود در قسمت های مختلف این افق در منطقه طزره باعث شده تا ضخامت آن از صفر تا ۳۰ متر تفاوت نماید.



54° 18' 00"  
36° 28' 00"

54° 36' 40"  
36° 28' 00"



Q <sub>3</sub>	Recent alluvium and river beds.
Q <sub>2</sub>	Young terraces and alluvial deposits.
Q <sub>1</sub>	Old terraces and gravel marl.

EOCENE		E <sub>k</sub>	tuff, limeston, tuffaceous shale, sandstone, gyps lava (KARAJ F.)
PALEOCENE		P <sub>f</sub>	Basaltic, spilitic lava and conglomerate, limestone (FAJAN F.)
JURASSIC	U	J <sub>L</sub>	Thick bedded and massive limestone. (LAR.)
	M	J <sub>d</sub>	Thick bedded limestone, marl limestone (DALICHAY F.)
	L-M	J <sub>s</sub>	Dark shale, sandstone, coal by herbaceous leftover (SHEMSHAK F.)
TRIASSIC	L-M	T <sub>s</sub>	Dolomite, vermicular limestone (ELIKA F.)
PERMIAN	M	P <sub>r</sub>	Thick bedded massive limestone. (ROTHE F.)
	L	P <sub>d</sub>	Sandstone, quartzite shale. (DORODE F.)
DEVONIAN	M-U	D <sub>3</sub>	Alternations of sandstone, red micaceous shale, andesite (JIRUD F.)
	M	D <sub>2</sub>	SIBZAR dolomite

D <sub>4</sub>	Limestone, marl, shale, silstone (SHISHTU F.)
----------------	---

54° 33' 40"  
36° 19' 15"

Scale 1:100000

ORDOVICIAN		O <sub>L</sub>	Alternations of dark green micaceous sandstone with thick and thin bedded limestone (LASHKARAK F.)
CAMBRIAN	M-U	C <sub>u</sub>	Dark grey dolomites, yellow shale and marl, grey thin bedded limestone (MILA F.)
	L	C <sub>L</sub>	Red sandstones. (LALUN F.)

- Fault Major
- Fault Minor
- Major road
- Minor road
- TM Major tunnel

شکل شماره ۳-۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

سست تر بودن افق لاتریتی - بوکسیتی نسبت به واحد های سازند الیکا باعث شده تا هوازدگی و فرسایش از ارتفاع آن تا حد قابل توجهی کاسته و در بعضی نقاط در کف و یا مجاور کف آبراهه اصلی منطقه قرار گیرد.



شکل ۳-۲: افق لاتریتی - بوکسیتی قرمز رنگ قاعده شمشک

### ۳-۲-۲- سازند شمشک

داده های زمین شناسی نشانگر تشکیل شرایط کولابی - دلتایی در تریاس پسین تا اوایل ژوراسیک می باشد. در این زمان با بالا آمدن زمین و گسترش محیط های آبرفتی، شرایط لازم جهت ته نشست رسوبات آواری و توسعه تورب زارها فراهم گردید. مجموعه رسوبات ته نشست پیدا کرده در این شرایط و زمان تحت نام سازند شمشک نامگذاری گردیدند. سازند شمشک یکی از گسترده ترین و شاخص ترین واحدهای چینه شناسی و اقتصادی ایران بوده که با توالی های تیره رنگی از ماسه سنگ، شیل، سیلت استون و ذغالسنگ مشخص می شوند (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند از خراسان شمالی و ارتفاعات شهرستان بجنورد شروع شده و تا حوالی زنجان (حتی آذربایجان شرقی) ادامه یافته است (یزدی، ۱۳۸۳). به دلیل اهمیت اقتصادی بالا، این سازند توسط گروه های مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و به بخش های مختلفی تقسیم گردیده است. سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه (البرز شرقی - محدوده طزره) توسط کارشناسان شرکت ملی فولاد به سازندهای طزره و گانو

تقسیم گردیده است. سازند طزره به بخش های اکراسر، لله بند، کلاریز و آلاشت تفکیک شده و شیرین دشت (انن) و دانسريت، بخش های مختلف سازند گانو را تشکیل داده اند (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱: سازند ها و بخش های مختلف گروه شمشک در منطقه طزره (آقناباتی، ۱۳۸۳)

رویداد زمین ساختی	سمنان	البرز مرکزی - البرز شرقی				البرز شمالی	زمان					
سیمرین میانی	دیکتاش شه میرزاد	سازند گانو	سازند دلیچای				گروه مگو	کالوین	میان	ژوراسیک	مزوزوئیک	
			بالایی	دانسريت		سازند جواهرده						باتونین
				پایینی	آنن							
			بالایی	شیرین دشت		آلاشت						توآرسین
					پایینی							
			بالایی (پشکلات)	پایینی (آسیاب)	گروه شمشک	سینه مورین						
												پایینی (آسیاب)
			آسیاب	کلاریز	سازند طزره	کلاریز						هتانژین
			آکراسر	بازالت جابان	سیمرین پیشین	آکراسر						نورین

### ۳-۲-۲-۱- سازند طزره

### ۳-۲-۲-۱-۱- بخش اکراسر

بخش اکراسر توالی سنگی همگنی از سیلت استون های خاکستری و آرژیلیت ها با تناوبی اتفاقی از رسوبهای ذغالدار است که در پایه آن لایه ای از بوکسیت (واحد پرور) همراه با سنگ های رسی قرار گرفته اند. افق بوکسیتی نیز بر روی دولومیت های سازند الیکا (تریاس میانی) قرار گرفته است. این بخش دارای ضخامت های مختلفی بوده که تا ۱۰۰۰ متر هم می رسد اما در محدوده مورد بررسی در حدود ۳۹۰ متر می باشد (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). فراوانی دینوفلاژلاها در بخش هایی از اکراسر، دلالت بر آن دارد که رسوبات نورین تحتانی - میانی در یک محیط دریایی تشکیل شده اند. این دریای کم عمق تحت تأثیر نهشته های رودخانه ای قرار داشته و تنوع میکروفسیل های

بنتیک و پلاژیک، دلیلی بر وجود مواد غذایی فراوان در آن محیط می باشد ( Ghasemi nejad et al., 2004).

### ۳-۲-۲-۱-۲- بخش لله بند

این بخش شامل تناوبی از سیلت استون های خاکستری رنگ، آرژیلیت و ماسه سنگ های ریزدانه است که دارای سیمای نواری شکل بوده و خاستگاه مردابی - دلتایی داشته اند. البته تغییر رخساره هایی از آبرفتی تا مردابی - دریاچه ای نیز در آن مشاهده شده اما لایه ذغالی قابل توجهی در آن مشاهده نمی گردد. حد پائینی بخش لله بند در روی آرژیلیت های خاکستری تیره بخش اکراسر و بدون وقفه رسوبگذاری قرار گرفته است. شایان ذکر است ستبرای بخش لله بند از ۵۰ متر تا ۱۱۰۰ متر در نوسان بوده و در منطقه مورد مطالعه در حدود ۴۵۰ متر می باشد (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹- کنگی، ۱۳۸۶).

### ۳-۲-۲-۱-۳- بخش کلاریز

بخش کلاریز شامل رسوبات ذغالدار است که به دلیل داشتن ذغالسنگ، دارای رنگ خاکستری تیره می باشد. این نهشته ها خاستگاه دریاچه ای- آبرفتی داشته و از ماسه سنگ، سیلت استون، آرژیلیت و ذغالسنگ تشکیل یافته اند. برش های گوناگون این بخش ۱۱ افق ذغالدار با ضخامت اقتصادی را نشان می دهند.

این بخش که به صورت پیوسته بر روی نهشته های بخش لله بند قرار گرفته و در محل برش الگو در منطقه کلاریز دارای ضخامتی حدود ۶۰۰ متر می باشد که با حرکت به سمت شرق (دهملا) از ضخامت آن به مقدار قابل توجهی کاسته شده است (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹- کنگی ۱۳۸۶).

### ۳-۲-۲-۱-۴- بخش آلاشت

بخش آلاشت شامل ماسه سنگ هایی با دانه بندی متغیر و به رنگ خاکستری است که در بعضی نقاط دارای تناوب هایی از کنگلومرا، سیلت استون، آرژیلیت و ذغال می باشد. در البرز مرکزی رسوبات این

بخش از نوع دریاچه ای - آبرفتی ذغالدار است ولی به سوی جنوب به انباشته هایی که بیشتر مردابی - دلتایی و بدون ذغال هستند تبدیل می شود. با توجه به ناهمگنی و تفاوت های سنگی موجود، بخش آلاشت در البرز جنوبی به دو زیر بخش آسیاب (در زیر) و زیر بخش پشکلات (در بالا) تقسیم شده است. حد پائینی بخش آلاشت با سیلت استون های خاکستری رنگ بخش کلاریز پیوسته بوده و دارای رخساره آبرفتی - باتلاقی - دریاچه ای - مردابی است که در محل برش الگو ضخامتی برابر ۳۷۵ متر را دارا می باشد.

زیر بخش پشکلات بیشتر از سیلت استون، آرژیلیت و مقدار کمی ماسه سنگ تشکیل شده و به طور گسترده حاوی لایه های اقتصادی ذغالی می باشند. ضخامت زیر بخش پشکلات در منطقه مورد مطالعه (تونل مادر) به ۵۹۰ تا ۶۵۰ متر می رسد. مجموعه تونل مادر نیز در این بخش واقع شده است.

### ۳-۲-۲-۲-۳ سازند گانو

#### ۳-۲-۲-۲-۱-۱ بخش شیرین دشت

بخش شیرین دشت بیشتر از نوع رسوب های دریایی (ماسه سنگ، سیلت استون، آرژیلیت و لایه های کوچکی از سنگ آهک) بوده که داشتن سنگواره های به نسبت فراوان جانوری، از ویژگی های بارز آن محسوب می شود. البته این بخش در زون های رسوبی - ساختاری البرز شمالی و البرز مرکزی رخنمون ندارد.

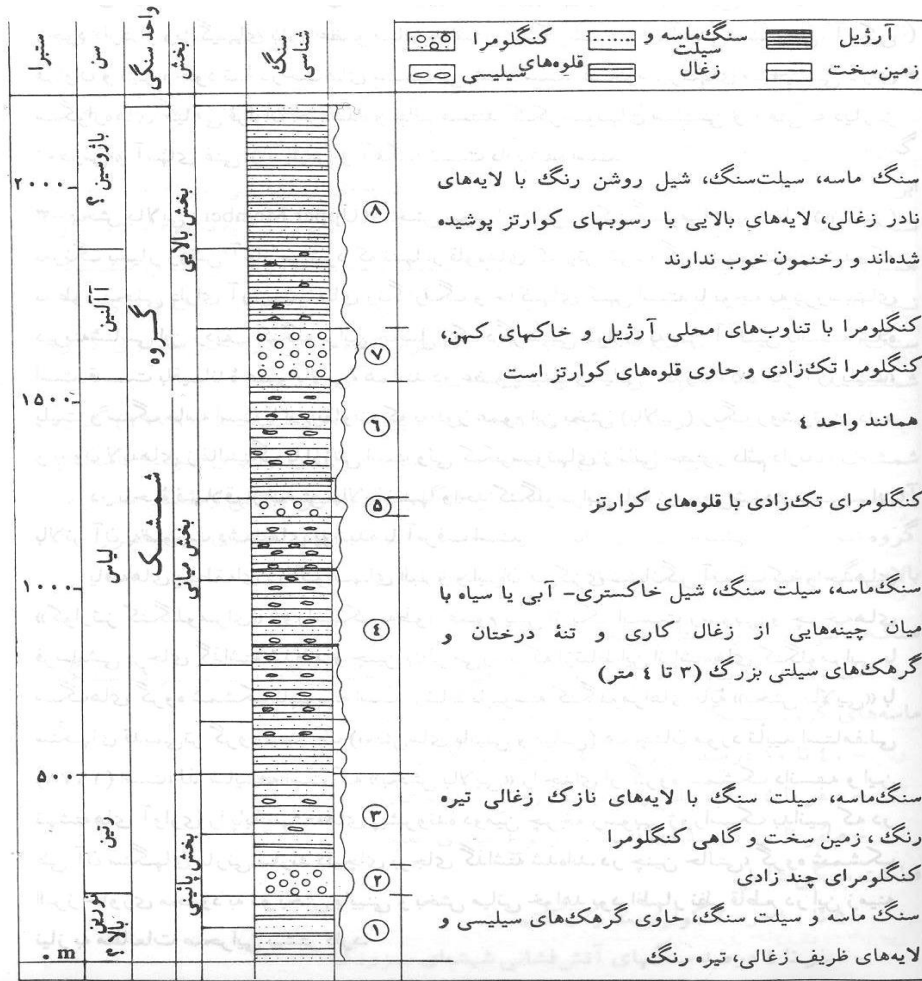
#### ۳-۲-۲-۲-۲-۲ بخش انن

ویژگی های سنگی بخش انن مشابه بخش شیرین دشت بوده و به همین دلیل این دو بخش هم ارز جانبی یکدیگر در نظر گرفته می شوند.

#### ۳-۲-۲-۲-۳ بخش دانسیریت

بخش دانسیریت به دو زیر بخش پایینی و بالایی تقسیم می گردد. زیر بخش پائینی (دانسیریت I) از نوع ماسه سنگ با دانه بندی متغیر است و همراهانی از کنگلومرا، گرینستون و آرژیلیت های ذغالی دارد. زیر بخش بالایی (دانسیریت II) شامل ماسه سنگ های ذغالدار ریز تا متوسط دانه و به رنگ

خاکستری روشن است که میان لایه هایی از سیلت استون در آن قرار گرفته است. میان لایه های سیلتی این زیر بخش دارای آرژیل های ذغالی عدسی شکل و ذغالسنگ می باشند که ارزش اقتصادی چندانی را دارا نمی باشند. ستون چینه شناسی منطقه در شکل شماره ۳-۳ آورده شده است.



شکل ۳-۳: برش چینه شناسی گروه شمشک در ناحیه البرز شرقی (Corsin and Stampfli, 1977)

### ۳-۲-۳- سازند دلیچای

سازند دلیچای معرف نخستین و قدیمی ترین واحد سنگی با رخساره دریایی ژوراسیک در البرز است که به ویژه در دامنه جنوبی این کوه ها برونزد دارد. در این سازند، نوع سنگ ها و سنگواره ها نشانگر

رسوب در یک محیط دریایی است که با شرایط دریاچه ای - مردابی نهشته های زیر آن (گروه شمشک) و ردیف های کربناتی ستبر لایه رویی (سازند لار) تفاوت آشکار دارد. به گونه ای که سازند مارنی دلیچای نقش یک لایه راهنمای زودفرسای مایل به سبز دارد که ردیف های تیره رنگ ذغالدار پایینی را از صخره های بلند رویی جدا می کند (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند در بخش های شمالی تا شمال غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و با رنگ زرد مایل به قهوه ای (که ضخامت آن از ۳۰۰ متر تجاوز نمی کند) مشخص می شود. واریزه ها و مخروط افکنه های پرشیب از دیگر ویژگی های این سازند می باشد.

### ۳-۲-۴- سازند آهکی لار

این سازند به طور پیوسته بر روی سازند دلیچای واقع شده است و به طور معمول در بخش پایینی از آهک های سفید یا قهوه ای کم رنگ با لایه بندی نازک (۵ تا ۲۰ سانتی متر) که گاهی گرهک های چرتی سفید رنگ تا عنابی دارد، تشکیل شده است (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). بخش بالایی سنگ آهک های لار به نسبت توده ای و مقاوم بوده و دارای قله و یا لایه های چرت فراوان می باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳). سازند لار در منطقه طزره با رنگ روشن و به صورت بلندترین ارتفاعات منطقه که در قسمت شمالی سازند شمشک قرار گرفته است، مشخص می باشد. به دلیل شیب زیاد (در حدود ۶۰ درجه) و رو به شمال لایه های این سازند، در دامنه جنوبی آن (دامنه رو به سازند شمشک) پرتگاه هایی که در پای دامنه آنها واریزه هایی با شیب نسبتاً زیاد (۴۵ - ۵۵ درجه) تشکیل شده اند، مشاهده می گردد.

### ۳-۳- ویژگی های اقتصادی سازند شمشک

بخش های سازند طزره (اکراسر، لله بند و ...) و سازند گانو (شیرین دشت و ...) در منطقه مورد مطالعه دارای ویژگی های مختلف اقتصادی می باشند که به توضیح آنها پرداخته شده است.

## ۳-۳-۱- ذغالخیزی

بخش اکراسر که در پایین سازند شمشک جای گرفته است، به علت نداشتن لایه های ذغالی و بخش لله بند که در برگیرنده لنزهای ذغالی و آرژیلیتی می باشد، بخش ذغالخیز به حساب نمی آیند و بخش کلاریز با ضخامت ۶۰۰ متر، قسمت اعظم لایه های ذغالی منطقه را در بر گرفته و لایه های  $k_5$  و  $k_6$  و  $k_8$  و  $k_9$  و  $k_{10}$  و  $k_{12}$  و  $k_{13}$  و  $k_{14}$  و  $k_{19}L$  و  $k_{19}u$  و  $k_{21}$  و  $k_{23}$  و  $k_{25}$  که ضخامت کل آنها به ۸/۱۷ متر و ضخامت متوسط لایه های ذغالی قابل استخراج در حدود ۰/۶۳ متر می باشد را شامل می شود.

در قسمت تحتانی زیر بخش آلاشت (آسیاب) به ندرت لایه های کوچک ذغال و ذغال های آرژیلیتی مشاهده می گردد که فاقد ارزش اقتصادی می باشند؛ این در حالی است که رسوبات قسمت فوقانی زیر بخش آلاشت که تحت نام بخش پشکلات مورد مطالعه قرار گرفت حاوی لایه های ذغالی کوچک و بزرگ بوده و لایه ذغالی  $p_{10}$  یکی از گسترده ترین لایه های ذغالی قابل استخراج آن می باشد.  $P_3, P_{10}, P_{15}, P_{18}$  نیز سایر لایه های ذغالی قابل استخراج این بخش بوده که ضخامت کل آنها به ۲/۶۱ متر می رسد. بخش شیرین دشت نیز به خاطر دریایی بودن فاقد لایه های ذغالی بوده و بخش ذغالخیز به حساب نمی آید.

در بخش دانسریت که بالاترین بخش ذغالخیز منطقه می باشد، حدود ۷ لایه ذغالی کوچک و بزرگ مشاهده می گردد که تنها دو لایه ذغالی آن ضخامت قابل استخراج را دارا بوده و حداکثر به یک متر می رسند. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه (پشکلات)، ۲۸ لایه ذغالی اقتصادی و غیر اقتصادی وجود دارد که ضخامت کل آنها به ۱۵/۲ متر می رسد (گزارشات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). در جدول شماره ۳-۲ میزان استخراج و ذخیره ذغالسنگ در منطقه طزره (و سایر مجموعه های معدنی شرکت ذغالسنگ البرز شرقی) آورده شده است (گزارشات آماری شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۸۷).



جدول ۳-۲: میزان استخراج و انواع ذخیره ذغالسنگ (برحسب تن) در منطقه طزره و سایر مناطق ذغالی محدوده

شرکت ذغالسنگ البرز شرقی (گزارشات آماری شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۸۷)

منطقه معدنی	ذخیره قطعی اولیه	استخراج شده	ذخیره قطعی فعلی	ذخیره آماده شده
طزره	25000000	10000000	15000000	530000
آلنگ	13500000	1750000	11750000	75000
قشلاق	4500000	1050000	3450000	220000
تخت	25000000	150000	24850000	175000
جمع کل	68000000	12950000	55050000	1000000

### ۳-۳-۲- کیفیت ذغالسنگ های منطقه

برای تعیین چگونگی کیفیت ذغال های منطقه پشکلات از نتایج آنالیز نمونه های گرفته شده از چاه های حفاری، اکلون ها و همچنین تونل ها استفاده شده است. رطوبت، درصد خاکستر، درصد گوگرد، مقدار فسفر، مواد فرار، انرژی حرارتی و پلاستیسیته از جمله پارامترهای مورد مطالعه در بررسی کیفیت ذغالسنگ ها محسوب می شوند که از این میان رطوبت، درصد خاکستر و درصد گوگرد از اهمیت بیشتری برخوردارند (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹).

### ۳-۳-۲-۱- رطوبت

رطوبت تجزیه ای لایه های ذغالی منطقه پشکلات از ۳/۱ تا ۰/۳ درصد در نوسان بوده و به طور متوسط (۱٪ تا ۰/۶٪) می باشد. در منطقه اکسیده و در نزدیکی سطح زمین رطوبت در اکثر نمونه ها به شدت افزایش یافته و به بیش از ۳/۸ درصد نیز می رسد (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). رطوبت ذغالسنگ مورد بررسی در این تحقیق ۰/۶٪ بوده که توسط آزمایشگاه ذغالشویی شرکت ذغالسنگ البرز شرقی اندازه گیری شده است..

### ۳-۳-۲-۲- خاکستر

ذغالسنگ های منطقه پشکلات مانند دیگر حوضه های ذغالی البرز از لحاظ ناخالصی و درصد خاکستر به گروه های زیر قابل تقسیم می باشند:

- ۱- ذغال خاکستر تا ۴۰ درصد
- ۲- ذغال ناخالص خاکستر ۴۰ تا ۴۵ درصد
- ۳- ذغال آرژیلیتی خاکستر ۴۵ تا ۷۵ درصد
- ۴- آرژیلیت ذغالی خاکستر بیشتر از ۷۵ درصد

ذغال ها (خاکستر کمتر از ۴۰٪) نیز با توجه به درصد خاکستر همراه (اولیه و ثانویه) براساس جدول شماره ۳-۳ تقسیم بندی می گردند (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹).

جدول ۳-۳: انواع ذغالسنگ ها بر اساس درصد خاکستر (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹)

مقدار ناخالصی (درصد خاکستر)	گروه ذغال بر حسب ناخالصی
$\leq 12/5$	۱- کم خاکستر
$12/6 - 20$	۲- خاکستر متوسط
$20/1 - 31/5$	۳- خاکستر زیاد
$> 31/5$	۴- خاکستر خیلی زیاد

خاکستر نمونه ذغالسنگ مورد بررسی که از لایه های  $K_{23}$  و  $P_{10}$  برداشت شده است توسط آزمایشگاه ذغالشویی شرکت ذغالسنگ البرز شرقی اندازه گیری شده و خاکستری در حدود ۲۵٪ را نشان داد. این نمونه با توجه به جدول ۳-۳ در رده ذغال خاکستر بالا (زیاد) جای می گیرد. شایان ذکر است در اثر اختلاط آرژیلیت های ذغالی و سنگ های سستی که در هنگام استخراج با ذغالسنگ مخلوط می شوند مقدار خاکستر ذغال ها افزایش چشمگیری پیدا می کند.

### ۳-۳-۲-۳- گوگرد

گوگرد به خاطر اثرات منفی که در شکنندگی فولاد، کم شدن بازده کوره های بلند و تخریب محیط زیست (در هنگام حمل و نقل، شستشو و سوزاندن) دارد، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

گوگرد موجود در لایه های ذغالی منطقه مورد مطالعه به طور متوسط از ۰/۵٪ تا ۲/۴٪ متغیر می باشد. لایه های ذغالی  $K_{14}$  -  $K_{19}$  -  $K_{21}$  -  $K_{23}$  -  $K_{25}$  -  $P_1$  -  $P_3$  -  $P_{10}$  بالایی و  $K_{19}$  پایینی و  $K_{14}$  دارای مقدار کم گوگرد (۰/۸٪ - ۰/۵٪) بوده اما درصد گوگرد در لایه های  $P_{15}$  -  $P_{18}$  و  $K_8$  -  $K_{10}$  -  $K_{12}$  به ۲/۴ درصد می رسد. حداقل گوگرد در قسمت پایین بخش آلاشت و ماکزیمم آن در قسمت پایینی بخش کلاریز مشاهده می گردد. مقدار گوگرد در ذغالسنگ مورد بررسی توسط روش ICP-MS اندازه گیری گردید که مقداری کمتر از حد آشکارسازی دستگاه (۰/۵٪) را نشان داد.

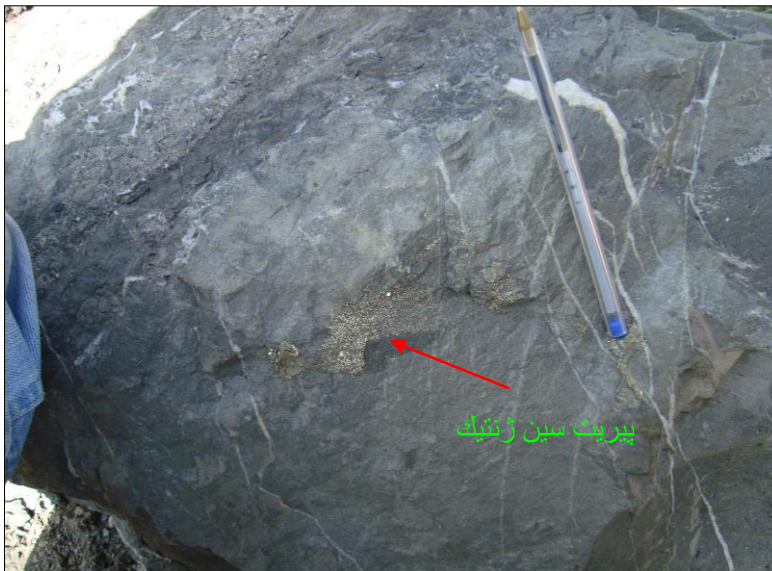
### ۳-۴- سنگ شناسی و کانی شناسی واحدهای منطقه پشکلات

همانطور که بیان گردید بیشتر واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه، سنگ های رسوبی محیط های دلتایی، آبرفتی و مردابی، شامل شیل، ذغالسنگ، سیلت استون، ماسه سنگ های ریز و درشت دانه و لایه های نازک کربناته می باشند.

با اینکه مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمی نسبتاً گسترده ای در ذغالسنگ های البرز مرکزی توسط تیچ مولر (۱۹۸۲)، استاسیک و همکاران (۲۰۰۳)، زاده کبیر (۱۹۹۱)، رضوی ارمغانی و معین السادات (۱۹۹۶)، یزدی و شیروانی (۲۰۰۴) و گودرزی و همکاران (۲۰۰۵) صورت گرفته است، ولی در منطقه البرز شرقی (و در محدوده مورد مطالعه) تاکنون تحقیق جامعی در این زمینه انجام نشده است.

جهت مطالعه کانی های موجود در منطقه، علاوه بر مشاهدات دقیق صحرایی، ۷ نمونه مقطع نازک از باطله های ذغال و سینه کار تونل مادر تهیه گردید. این باطله ها (ذغال و سینه کار) به همراه ذغالسنگ منطقه، مورد آنالیز XRD قرار گرفتند. نتایج حاصل از کانی شناسی منطقه البرز شرقی (مجموعه تونل مادر)، شباهت های بسیار زیادی را با مطالعات انجام شده در البرز مرکزی نشان داد. گودرزی و همکاران (۲۰۰۵) با جمع آوری و مطالعه بر روی چند نمونه ذغال برداشت شده از غرب، مرکز و شرق البرز مرکزی، کانی های کائولینیت (هالوسیت) و کربنات هایی مانند کلسیت، دولومیت، آنکریت و سیدریت را کانی های غالب این ذغالسنگ ها معرفی نمودند و محیطی دریاچه ای (به همراه

فعالیت های آتشفشانی) تا دلتایی - آبرفتی را برای مناطق مختلف مورد بررسی خود در نظر گرفتند. آنها دو نوع گوگرد اپی ژنتیک (سخت و درشت دانه) و سین ژنتیک (نرم و ریزدانه) را در منطقه مورد مطالعه خود تشخیص داده که به دلیل مقدار کم ( $0.07\%$  تا  $0.35\%$ ) و تأثیر اندک آنها در آلودگی محیط زیست، به مطالعه آنها پرداختند. گوگردهایی سین ژنتیک (شکل شماره ۳-۴) و اپی ژنتیک (شکل شماره ۳-۵) در منطقه طزره نیز مشاهده گردیدند. محققین، حضور عناصری مثل Mg, Ca, Mn, Ba و Sr موجود در منطقه لوشان (البرز مرکزی) را به کانی های کربناته (کلسیت و دولومیت) و فسفات‌ها مرتبط می دانند. آنها Ni, Ca, Zn, As, Fe و S را به محتوای سولفیدی (پیریت) این منطقه وابسته دانسته و بیان نمودند Si و Al اندازه گیری شده، از سیلیکات های آلومینیوم موجود در لایه های ذغالی ناشی شده اند (Yazdi and Shirvani, 2004). پیریت همچنین عامل اصلی فراوانی عناصر سرب و جیوه شناخته شده و فراوانی اورانیوم، کبالت و مولیبدن به کانی های رسی و فسفاتی مرتبط می شوند (Song et al., 2007).



شکل شماره ۳-۴: پیریت سین ژنتیک تشکیل شده در باطله های سینه کار



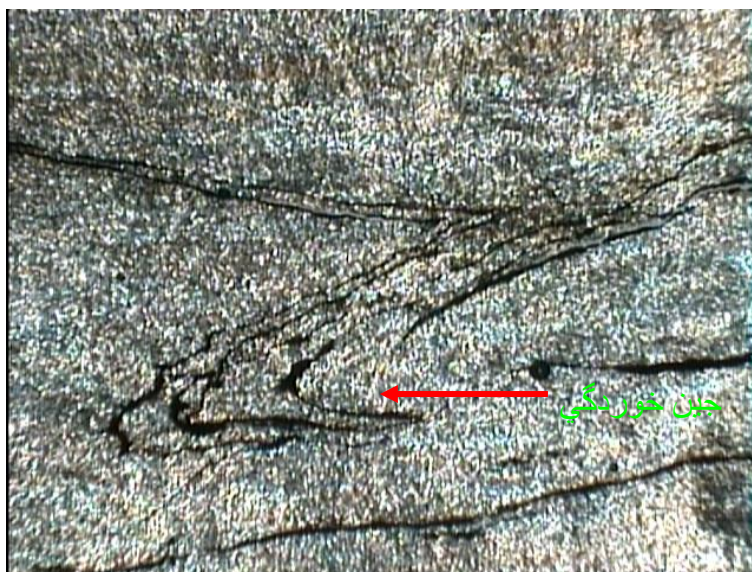
شکل شماره ۳-۵: پیریت اپی ژنتیک تشکیل شده در سطح باطله های سینه کار

### ۳-۴-۱- کانی شناسی ذغالسنگ

آنالیز XRD انجام شده بر روی نمونه ذغالسنگ از منطقه مورد مطالعه، کائولینیت را به عنوان کانی غالب در ذغالسنگ منطقه مشخص نموده و نشان می دهد کوارتز و مسکویت (تا سریسیت) سایر کانی های فراوان ذغالسنگ منطقه می باشد (شکل ۴-۱).

### ۳-۴-۲- کانی شناسی باطله ذغال

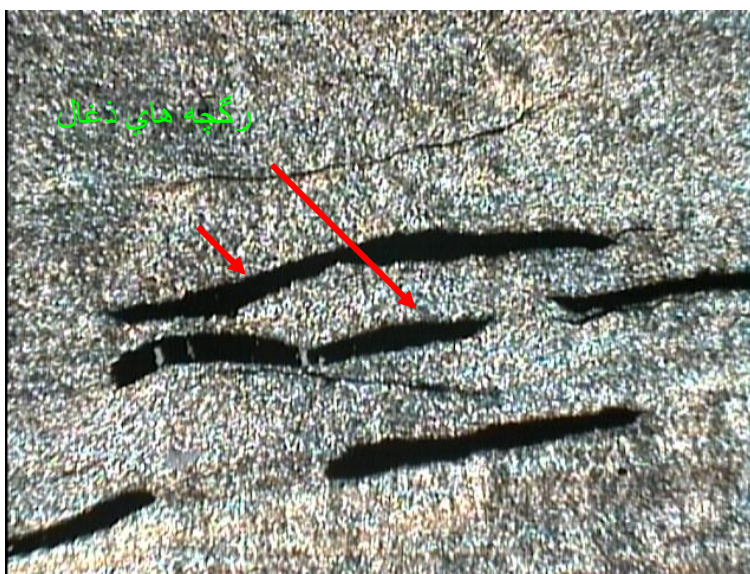
باطله های ذغال در آنالیز XRD انجام شده (شکل ۴-۲) فراوانی کوارتز، ایلیت و کلینوکلر را نشان دادند. مقاطع نازک تهیه شده از قطعات سخت تر و قابل برش لایه ذغالسنگ (باطله ذغال) نیز فراوانی کانی های رسی و فیلوسیلیکات هایی از قبیل سریسیت، مسکویت و بیوتیت هایی که به کلریت تبدیل شده اند را نشان می دهد. فولیاسیون بالا و خم شدگی های کانی های فیلوسیلیکاته به همراه چین خوردگی های کوچک مشاهده شده در این مقاطع (شکل شماره ۳-۶) نیز با تکتونیک منطقه نیز مطابقت دارد را نشان می دهند. دانه های کوچک زیرکن و مگنتیت نیز از دیگر اجزاء مشاهده شده در این نمونه ها می باشد.



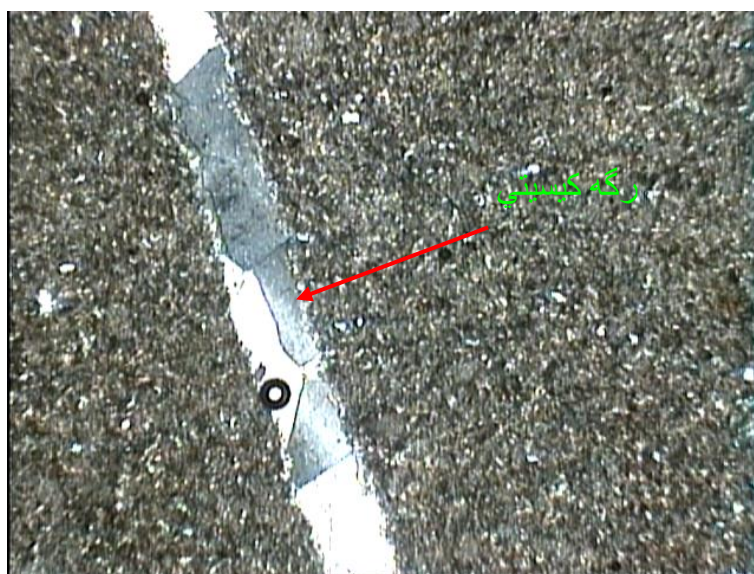
شکل شماره ۳-۶: فراوانی فیلو سیلیکات ها (زمینه سنگ) و چین خوردگی های کوچک موجود در باطله های ذغال (بزرگنمایی X ۴۰ - میکروسکپ پلاریزان)

### ۳-۴-۳- کانی شناسی باطله سینه کار

مقاطع تهیه شده از باطله های سینه کار، طیف گسترده ای از کانی ها و سنگ ها را مشخص نمود. شیل های ذغالی که رگه های کوچک ذغال و فراوانی مسکویت، کوارتز و اکسید آهن (به صورت سیمان پرکننده) را نشان می دهند (شکل شماره ۳-۷)، ماسه سنگ های حاوی پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکویت، با سیمانی از جنس اکسید آهن، سنگ آهک های میکرایتی حاوی قطعات کوارتز و رگچه های کلسیت که در شکستگی ها دارای آغستگی به اکسید آهن می باشند، به همراه سیلت استون هایی که با لایه های شیلی به صورت متناوب قرار گرفته و حاوی کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی های رسی می باشند و دگرگونی تدفینی را نشان می دهند، نمونه هایی از کانی شناسی باطله های سینه کار می باشند. کوارتز، مسکویت، آلبیت و شاموزیت نیز کانی های مشخص شده توسط آنالیز XRD باطله های سینه کار بوده (شکل ۳-۴) که منطبق بر مطالعات مقاطع نازک این باطله ها می باشد.



شکل شماره ۷-۳: رگه های کوچک ذغال و فراوانی مسکویت های آلتره شده (سریسیت) در باطله های سینه کار (بزرگنمایی  $40\times$  - میکروسکپ پلاریزان)  
 فراوانی کانی های کربناته از جمله کلسیت و دولومیت که در مطالعات میکروسکوپی (شکل شماره ۸-۳) و مشاهدات صحرائی (شکل شماره ۹-۳) تایید گردیدند، در هنگام هوازدهی و شستشو (در سطح و یا داخل زمین) سبب آزادسازی عناصری مثل  $Ca$  و  $Mg$  در آب شده و اسید حاصل از اکسیداسیون کانی های سولفیدی را خنثی می نماید.

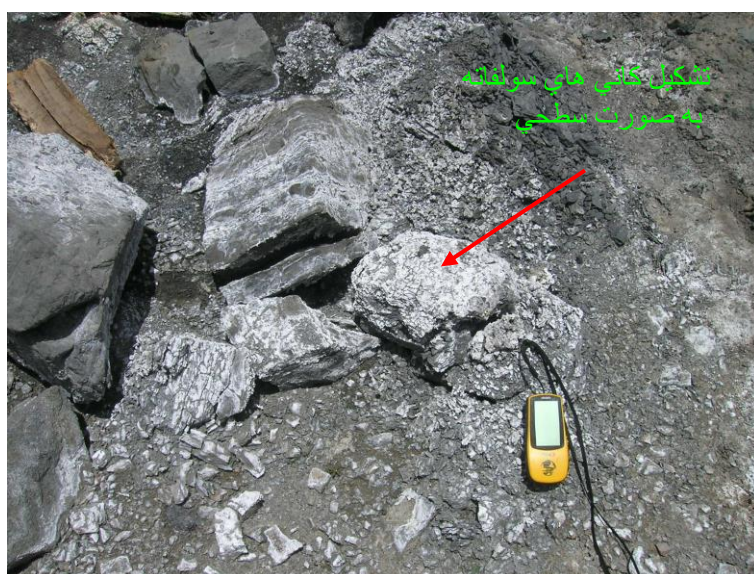


شکل ۸-۳: شکستگی های پر شده توسط کلسیت در باطله سینه کار (بزرگنمایی  $40\times$  - میکروسکپ پلاریزان)



شکل ۳-۹: پرشدگی شکستگی ها (باطله سینه کار) توسط محلول های کربناته (کلسیت)

از آنجایی که این خنثی سازی تأثیری در فراوانی  $SO_4^{-2}$  محلول ندارد، یون سولفات در محیط پراکنده شده و با عناصری مانند Ca واکنش می دهد. فراوانی ژئوپس هایی که به صورت ثانویه در سطح باطله ها و مجاور مناطق اکسیده شده سازند شمشک تشکیل شده اند، شاهدهی بر این واکنش ها می باشد (شکل های شماره ۳-۱۰ و ۳-۱۱).



شکل شماره ۳-۱۰: کانی های سولفات (ژئوپس) تشکیل شده در سطح باطله های سینه کار





شکل ۳-۱۱: بلور های ژئیس تشکیل شده در دامنه های سازند شمشک

کانی های موجود در ذغالسنگ و باطله های همراه با آن، فلزات سنگین و دیگر عناصر آلاینده محیط زیست را در خود جای داده که در هنگام استخراج و همزمان با تغییرات فیزیکوشیمیایی که در سطح (و داخل زمین، در زون اکسیداسیون) در اثر هوازدگی رخ می دهد، از خاستگاه خود جدا شده و پراکنده می گردند. پراکندگی و توزیع این آلاینده ها در محیط زیست (آب و خاک) منطقه در فصل های ۵ و ۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

### ۳-۵- آبشناسی

منطقه مورد بررسی بخشی از حوضه آبریزی است که توسط سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای و لار احاطه شده است و از همین سازندها نیز تغذیه می شود (شکل شماره ۳-۱۲). به دلیل ریز دانه بودن واحد های سنگی سازند شمشک (شیل، ذغال، سیلت استون و ماسه سنگ) این سازند بجز در واریزه ها، مخروط افکنه ها، درزه ها و گسل ها، نقش چندانی در هدایت آب سطحی به آب زیرزمینی ندارد؛ در مقابل سازند های الیکا، دلیچای و لار که کربناته بوده و دارای شکستگی ها (و حفرات انحلالی)

فراوان می باشند، به همراه مخروط افکنه ها و آبرفت های موجود در منطقه که عموماً گراول ماسه ای گلی تا گراول ماسه ای بوده (جدول ۴-۵) و دارای نفوذپذیری ۵ تا ۵۰ متر در روز می باشند (اداره آب دامغان، ۱۳۷۷)، بیشترین نقش در تغذیه سفره آب زیرزمینی منطقه را دارا می باشند. این نفوذ پذیری باعث شده تا به جز شرایط طوفانی و بارانی شدید، رواناب تشکیل نشده و آبهای زیرزمینی تنها منابع آبی منطقه محسوب گردند. جهت حرکت آب زیر زمینی از جهت زهکشی سطحی حوضه تبعیت نموده و حدوداً شمال غرب - جنوب شرق تا شمالی - جنوبی می باشد.

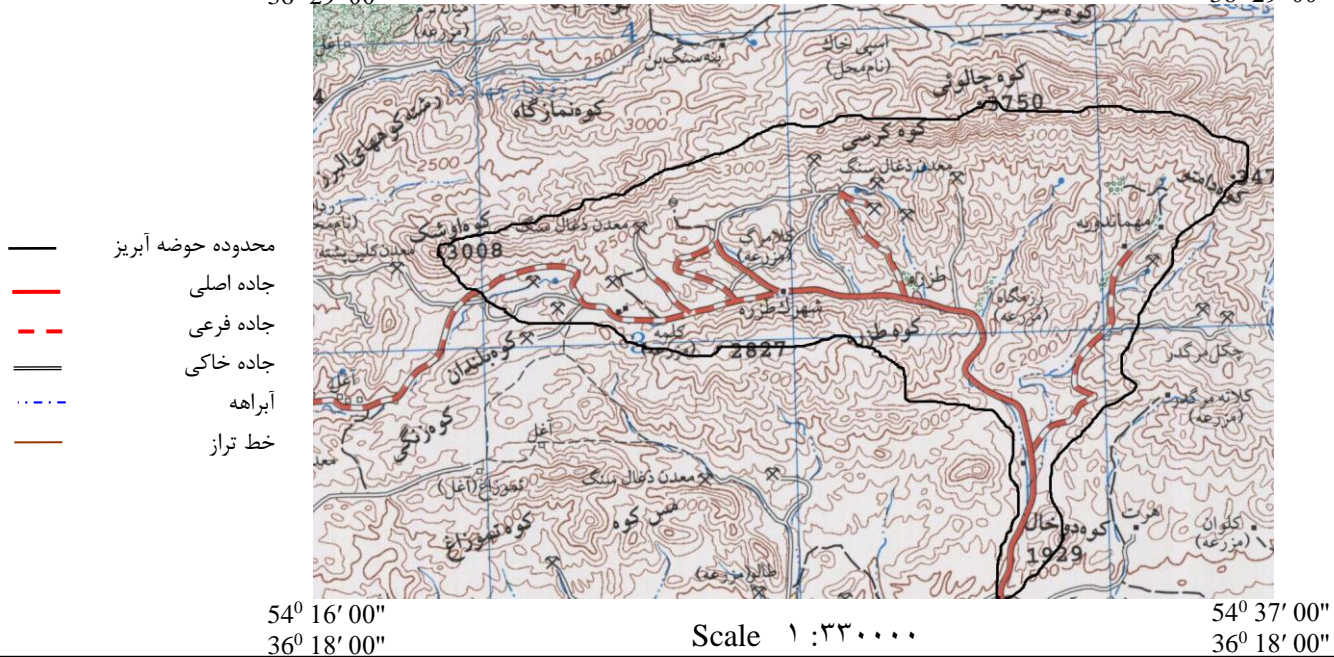
با اینکه میزان بارندگی در این حوضه از ۳۰۰ میلیمتر در سال تجاوز نمی کند ولی یکی از پر بارانترین نقاط استان سمنان محسوب می شود (اداره هواشناسی شاهرود، ۱۳۸۶). سطح آب زیر زمینی و کیفیت آن قبل از معدنکاری و بعد از آن و حتی همگام با توسعه این معدن تغییرات بسیار زیادی نموده است. از آنجا که استخراج ذغالسنگ در منطقه به صورت تونلی و زیر زمینی صورت می گیرد، لذا جهت تسهیل در امر استخراج باید سطح آب زیر زمینی توسط پمپاژ پایین بیافتد. شدیدترین میزان این تغییرات در محدوده تونل مادر در سازند شمشک در حدود ۳۰۰ متر مشاهده می گردد. در واقع آبی که در هسته کوهستان حدود ۳۰ متر بالاتر از سطح زمین قرار داشته اکنون به علت حفر اکلون های استخراج در ۲۷۰ متری از سطح زمین (پس از حدود ۳۰ سال) قرار گرفته و تمامی چشمه های اطراف را که به دلایل مختلف (گسلی و ...) ایجاد شده بودند را خشک نموده (گزارشات آماری شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۸۶) و سطح آب در چاه های اطراف را پایین انداخته و در نتیجه کشاورزی در مناطق پایین دست (در روستای طزره و زمین اطراف آن) با مشکل مواجه شده است.

54° 16' 00"

فصل سوم: زمین شناسی مجموعه معدنی طزره

36° 29' 00"

36° 29' 00"



54° 16' 00"

Scale ۱:۳۳۰۰۰۰

54° 37' 00"

36° 18' 00"

36° 18' 00"

شکل ۳-۱۲: محدوده حوضه آبریز در برگیرنده منطقه مورد بررسی

### ۳-۶- تکتونیک

همان طور که ذکر گردید، زون البرز از لحاظ تکتونیک بسیار فعال بوده و فراوانی چین خوردگی،

گسلش، شکستگی و ... از ویژگی های آن محسوب می گردد.

رسوبات منطقه طزره، یال جنوبی یک ناودیس بزرگ به نام میاناب را تشکیل می دهند. این ناودیس،

خود جزئی از چین خوردگی البرز بوده که در اواخر مزوزوئیک اتفاق افتاده است.

محور این ناودیس در ناحیه طزره تقریباً افقی و امتداد آن حدوداً شرقی - غربی می باشد. شیب

متوسط این ناودیس در شرق (منطقه پشکلات) ۳۵ درجه بوده و با حرکت به سمت غرب به شیب آن

افزوده می شود به طوری که در کلاریز به حدود ۸۰ درجه می رسد.

### ۳-۶-۱- شیب و امتداد لایه ها

براساس برداشت های صحرائی مشخص گردید که امتداد طبقات در منطقه پشکلات عموماً شرقی -

غربی بوده و آزیموت ۲۴۰ تا ۲۹۰ درجه را نشان می دهند. شیب لایه ها نیز بین ۳۵ تا ۵۰ درجه به

سمت شمال در نوسان می باشد. فعالیت های تکتونیک به صورت موضعی تغییرات زیادی را در این

روندها اعمال نموده است. وجود لایه هایی با شیب تقریباً ۹۰ درجه و چین خوردگی های فراوان، شاهد این تغییرات می باشند.

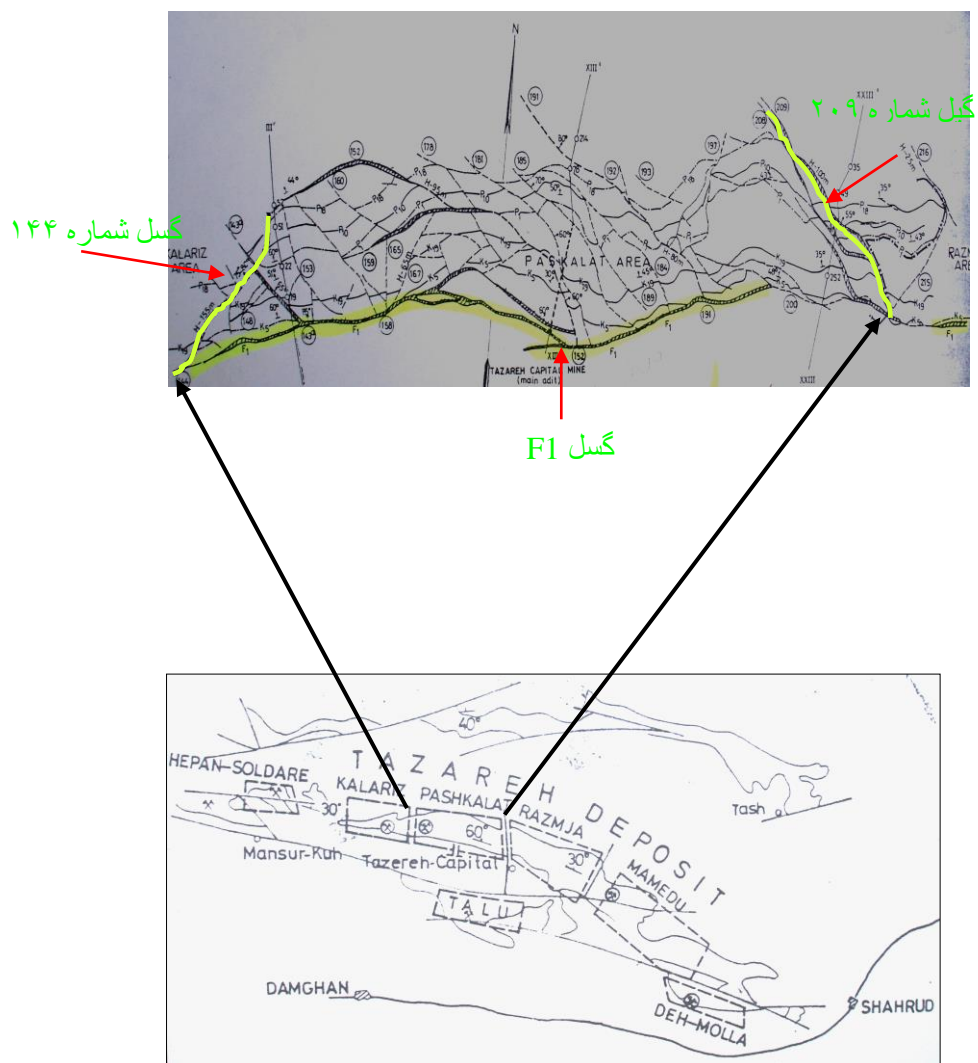
### ۳-۶-۲- گسل ها

از آنجایی که واحدهای سنگی منطقه پشکلات از رسوبات نرم و لغزنده ای چون شیل، سیلت استون، ذغالسنگ و ماسه سنگ هایی با ین لایه های شیلی تشکیل شده است، نیروهای تکتونیکی (که در منطقه البرز دارای فعالیت شدیدی می باشند) تغییرات زیادی در آنها به وجود آورده است. گسل های معکوس (شکل ۳-۱۳) و نرمال (بزرگ و کوچک) فراوان به همراه سیستم درزه هایی که با زوایا و اشکال مختلف در منطقه مشاهده می گردند، از نتایج فعالیت های تکتونیکی می باشد. کنگی (۱۳۸۶) بیان می کند این گسل ها و شکستگی ها با جابجایی محلول ها و مواد فعال و متحرک (شکل ۳-۸) به داخل و خارج لایه های ذغالسنگی، افزایش و یا کاهش کیفیت ذغالسنگ ها را در بخش هایی از منطقه به دنبال داشته اند. به دلیل زیاد بودن گسل های (معکوس و نرمال) موجود در منطقه که اکثراً به صورت همشیب با لایه بندی عمل نموده اند، کارشناسان شرکت ملی فولاد آنها را با شماره و نام های لاتین نامگذاری کرده و بر روی نقشه پیاده نموده اند. گسل  $F_1$  بزرگترین و مهمترین گسل منطقه پشکلات بوده که در مرز جنوبی این واحد قرار گرفته است. این گسل که در تمامی منطقه از غرب به شرق کشیده شده است، طولی در حدود ۷ کیلومتر را دارا بوده و جابجایی به اندازه ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر را نشان می دهد. سازوکار این گسلش معکوس و شیب آن به سمت شمال می باشد.

گسل های شماره ۱۴۴ و ۲۰۹ نیز که از نوع نرمال بوده و جابجایی در حدود ۸۰ تا ۱۱۰ متر را نشان می دهند نیز از گسل های مهم منطقه بوده و به ترتیب حد غربی (مرز پشکلات و کلاریز) و شرقی (مرز پشکلات و رزمجا) را مشخص می نماید (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹). این گسل ها در شکل شماره ۳-۱۴ آورده شده است.



شکل ۳-۱۳: نمونه ای از گسلش معکوس در سازند شمشک (شرق منطقه پشکلات)



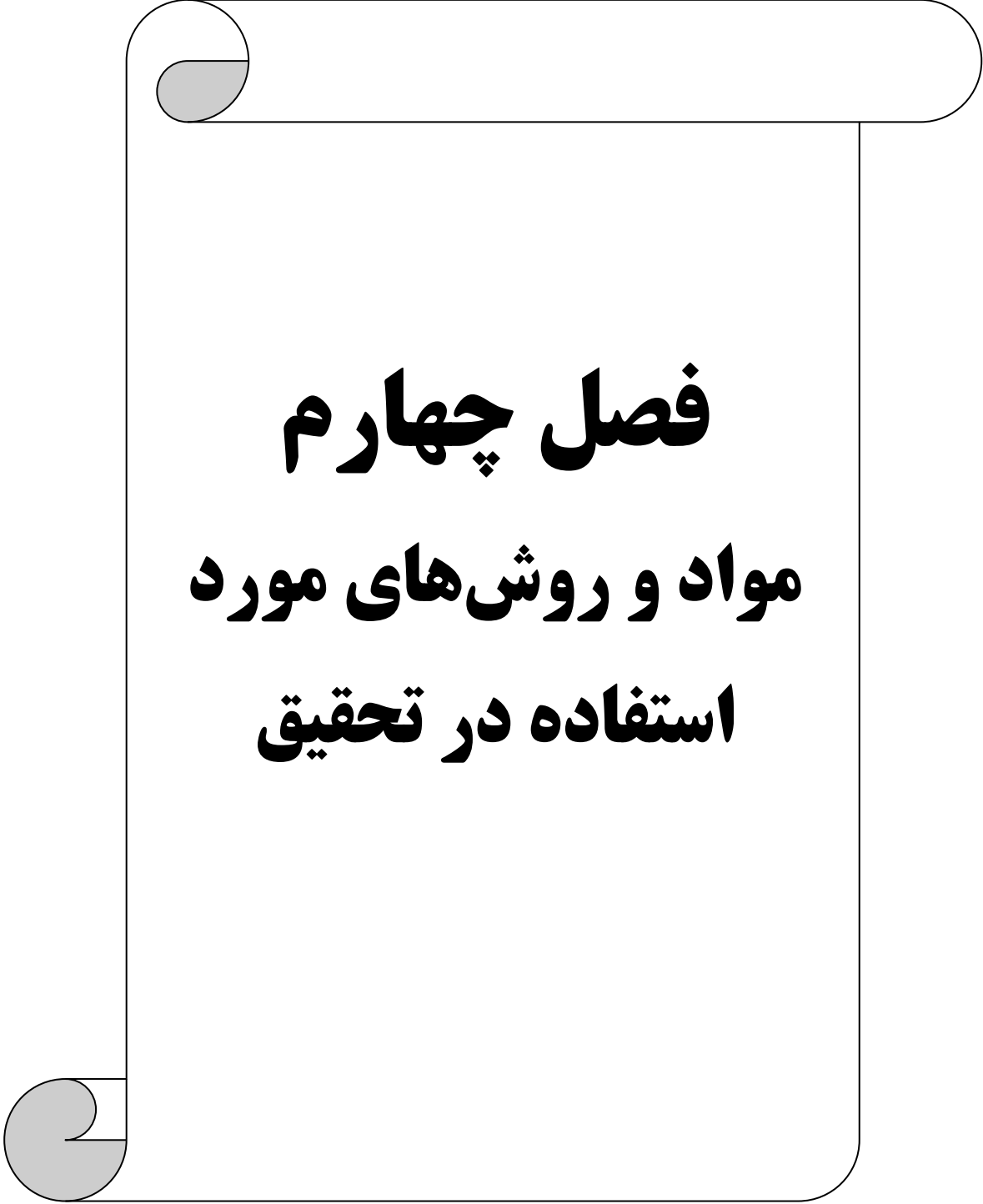
شکل شماره ۳-۱۴: نقشه پراکندگی گسل های منطقه مورد مطالعه (اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات، ۱۳۵۹)

## ۳-۶-۳- شکستگی ها و درزه ها

به دلیل سست و کم مقاوم بودن (در برابر برش و بازشدگی) فصل مشترک واحدهای رسوبی موجود در منطقه، شکستگی های فصل مشترک (Fracture Intersection) همانند گسل های فصل مشترک، فراوانترین نوع شکستگی های موجود در منطقه می باشند (کنگی، ۱۳۸۶). عمق تدفین، استرس های فشاری و طول شکستگی مهمترین عوامل کنترل کننده شکستگی های فصل مشترک لایه ها می باشند (Renshaw and Pollord, 1995).

در مورد درزه های موجود در منطقه پشکلات، مطالعات جامعی توسط کنگی (۱۳۸۶) صورت گرفته است. در این تحقیق درزه های منطقه به درزه های قبل از گسل خوردگی، درزه های همزمان با گسل خوردگی و درزه های بعد از گسل خوردگی تقسیم شده است.

شکستگی های پرشده (توسط کلسیت و کوارتز) که در قسمت های مختلف پشکلات (بوپژه در قسمت جنوبی تونل مادر) با مختصات های  $45SE$  ,  $N20E$  تا  $55SE$  ,  $N43E$  مشاهده می گردند. و ارتباط خاصی را با گسل  $F_1$  نشان نمی دهند، را می توان معادل شکستگی های قبل از گسل خوردگی که توسط کنگی معرفی شده اند، در نظر گرفت. شکستگی هایی که در منطقه پشکلات در اطراف گسل  $F_1$  مشاهده شده تقریباً با روند این گسل (شرقی - غربی تا شمال غربی - جنوب شرقی) هم راستا بوده و با دور شدن از آن فراوانی کم و با نزدیک شدن به آن فراوانی زیاد را نشان داده و مختصاتی بین  $45NE$  ,  $N68W$  تا  $55NE$  ,  $N80W$  را دارا می باشند، با شکستگی های همزمان با گسل خوردگی معرفی شده توسط کنگی هم خوانی دارند. البته شکستگی هایی هم در اطراف این گسل و سایر گسل های موجود در منطقه مشاهده می گردد که در ظاهر ارتباطی با گسل خوردگی ندارند. اختلاف فشار منفذی سیالات، خواص مکانیکی سنگ ها، ضخامت لایه ها و بزرگی استرس و استرین ایجاد شده باعث اختلاف روند و بزرگی در شکستگی های اطراف گسل ها می گردند (Rawnsley et al., 1992).

A decorative scroll frame with rounded corners and a grey shadow effect on the top and bottom edges.

# **فصل چهارم**

## **مواد و روش‌های مورد**

### **استفاده در تحقیق**

## ۴-۱- کلیات

انتخاب روش مناسب نمونه برداری و نحوه صحیح آنالیز نمونه‌ها، دو شرطی هستند که در هر مطالعه و تحقیق علمی باید مورد توجه واقع شوند تا بتوان تحلیلی صحیح از نتایج بدست آمده انجام داد. در این بخش کلیه مواد و روش‌های استفاده شده جهت نمونه برداری و آنالیز نمونه‌های برداشت شده (نمونه‌های ذغال، باطله‌های معدنی، زهاب خروجی تونل، فاضلاب انسانی، آب و خاک) از منطقه مشخص شده است. نتایج بدست آمده از آنالیز کیفی نمونه‌ها در فصول آینده (فصل ۵ و ۶) مطرح و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

روش‌های تعیین پارامترهای مختلف، آنالیزهای شیمیایی و موادی که در این تحقیق مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند به طور عمده در دو گروه کلی فاز جامد و فاز مایع تقسیم بندی می‌شوند. فاز جامد شامل ماده معدنی (ذغالسنگ)، باطله معدنی، خاک و رسوب منطقه معدنکاری می‌باشد. فاز مایع نیز شامل زهاب خروجی تونل و سرریز تانک‌های فاضلاب انسانی و آب زیرزمینی بالادست و پایین دست منطقه معدنکاری تونل مادر در معدن طزره می‌باشد.

## ۴-۲- نمونه برداری

با توجه به کاهش چشمگیر (در حدود ۵۰ درصد) میزان بارندگی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ (اداره هواشناسی شاهرود، ۱۳۸۶) نمونه برداری از فاز جامد و مایع در نقاط مختلف منطقه تونل مادر در مجموعه معدنی ذغالسنگ طزره، طی یک مرحله و در انتهای فصل تر یعنی هفته سوم اردیبهشت ماه صورت گرفت. محل قرار گرفتن، شماره نمونه‌ها و موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه برداری در جدول شماره ۴-۱ و شکل شماره ۴-۱ مشخص گردیده است.

## ۴-۲-۱- فاز جامد

علاوه بر دقتی که در برداشت نمونه‌ای که شاخص و نماینده ویژگی‌های ماده مورد نظر باشد، توجه به مساحت دربرگیرنده آن ماده نیز از ضروریات انجام نمونه برداری‌های صحیح می‌باشد. به دلیل



گسترده‌گی مساحت نمونه‌های مورد نظر، به ازاء هر نمونه، از چهار محل نمونه برداری صورت گرفت تا میانگین صحیحتری از کیفیت و ویژگی‌های ماده مورد نظر در هر ایستگاه نمونه برداری بدست آید. پس از نمونه‌گیری، نمونه‌ها از طریق کیسه‌های پلاستیکی که با برچسب، ماده داخل خود را مشخص می‌کردند به آزمایشگاه حمل شدند. پس از خشک شدن (در هوای آزمایشگاه) و مخلوط سازی نمونه‌ها، جهت بدست آوردن یک نمونه واحد از میانگین ۴ نمونه برداشت شده، حجم مورد نظر (در حدود ۵۰۰ گرم) با استفاده از تکنیک  $\frac{1}{4}$  جدا گردید. در این روش ابتدا تمامی نمونه‌هایی که برای تعیین کیفیت یک محل (۴ نمونه) گرفته شده، خوب با هم مخلوط کرده و به صورت مخروطی روی یک سطح صاف ریخته می‌شود. سپس با یک صفحه فلزی (یا هر سطح نازک دیگر)، نمونه آنقدر به ۲ و سپس ۴ قسمت تقسیم می‌گردد تا حجم ماده مورد نظر بدست آید. جهت تعیین غلظت عناصر و انجام آنالیز ICP نمونه بدست آمده باید توسط هاون چینی کوبیده شده و از الک شماره ۶۰ عبور داده شود.

#### ۴-۲-۱-۱- ذغالسنگ

از آنجایی که بیشترین حجم ذغال، در مجموعه تونل مادر از دو لایه K<sub>23</sub> و P<sub>10</sub> استخراج می‌گردد، نمونه‌گیری از این دو لایه در محل خروجی تونل (با شرایط ذکر شده در بالا)، انجام پذیرفت (جدول ۴-۱).

#### ۴-۲-۱-۲- باطله‌ها

در محل استخراج معادن ذغالسنگ عموماً ۲ نوع باطله با ماهیت، ویژگی و محل انباشت متفاوت مشاهده می‌گردد که تحت نام باطله‌های ذغال و باطله‌های سینه کار خوانده می‌شوند. باطله ذغال که عموماً به همراه ذغالسنگ استخراج می‌شوند، ناخالصی‌ها و مواد جامد سخت شده موجود در لایه ذغالی بوده که جهت کاهش خاکستر ذغال، در محل دپو ذغال‌ها (به وسیله سرنده نمودن) از آن جدا می‌شوند. این باطله‌ها معمولاً شامل تکه‌های آنتراسیت، شیل‌های موجود در لایه

های ذغالی، شیل ذغالی و موادی از این قبیل می باشند که عموماً سخت بوده و ظاهری سنگ مانند دارند. جهت مقایسه میزان تغییرات این باطله ها در اثر هوازدگی و شستشو در طی زمان، از جدیدترین باطله ها (باطله های در حال تخلیه)، باطله های ۳ ساله و باطله های ۲۵ ساله نمونه گیری انجام شد. جهت بررسی تغییرات عمقی هوازدگی و شستشو در باطله های قدیمی (۲۵ ساله) ۲ پروفیل از اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۶۰ سانتی متر، در رو و پای دمپ باطله ها برداشت گردید (جدول ۴-۱).

باطله سینه کار شامل سنگ هایی از قبیل شیل، شیل ذغالی، ماسه سنگ، سیلت استون، سنگ های کربناته و خاک های استخراج شده از تونل های پیشروی می باشند. در صورتی که پیشروی در تونل ها به صورت دنبال لایه انجام شود، این باطله ها به صورت مشخص، شامل واحدهای بالایی و پایینی (کمر بالا و کمر پایین) لایه ذغالی می باشند که جنس آنها عموماً ماسه سنگ، سیلت استون و شیل می باشد. نمونه برداری از این باطله ها نیز به صورت نمونه گیری از جدیدترین باطله ها، باطله های ۳ ساله و باطله های ۲۵ ساله با حفر ۲ پروفیل، یکی بر روی دامنه باطله های ۲۵ ساله و دیگری در پای آنها با عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۶۰ سانتی متر انجام گرفت (جدول ۴-۱).

#### ۴-۲-۱-۳- رسوب

با توجه به عدم وجود رواناب سطحی در منطقه به دلیل کم بودن میزان بارش (در حدود نصف میانگین ۳۰ ساله بارش در منطقه) در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ (اداره هواشناسی شاهرود، ۱۳۸۷)، آب های سرریز شده از تانک های فاضلاب انسانی و آب خروجی از تونل های استخراجی، عمده ترین خروجی های آبی قابل برداشت در سطح زمین، در مجموعه تونل مادر محسوب می شدند. جهت بررسی میزان تغییرات رسوب بستر این آب ها، از رسوب هر کدام از خروجی های فاضلاب و زهاب تونل و محل ناپدید شدن این آبها (محلی که آب به طور کامل به داخل زمین فرو می رود و ادامه جریان آبی در سطح زمین وجود ندارد) نمونه برداری صورت گرفت (جدول ۴-۱). جهت بررسی تغییرات بستر آبراهه

اصلی منطقه (که به صورت مسیل می باشد) از بالادست و پایین دست معدنکاری نیز دو نمونه رسوب برداشت گردید (جدول ۴-۱).

#### ۴-۱-۲-۴ - خاک

به منظور بررسی تغییرات کیفی خاک منطقه در اثر معدنکاری، یک نمونه از بالا دست و ۳ نمونه خاک از پایین دست منطقه معدنکاری شده در محدوده مجموعه تونل مادر برداشت گردید. در اینجا نیز به دلیل گستردگی محدوده نمونه برداری در بالادست و پایین دست منطقه سعی شده است تعدادی بیش از یک نمونه (۴ نمونه) از هر ایستگاه نمونه برداری جهت تعیین یک میانگین صحیح و واقعی تر از منطقه گرفته شود تا تأثیر تغییرات نقطه ای در محل نمونه برداری به حداقل برسد. در این نمونه ها انجام نمونه گیری و آماده سازی آنها از روشی که در ابتدا بیان گردید، تبعیت می نماید (جدول ۴-۱).

#### ۴-۲-۲-۴ - فاز مایع

مقایسه تغییرات کیفی و کمی آب زیر زمینی در بالادست و پایین دست منطقه معدنکاری شده، یکی از شاخص‌هایی است که توسط آن می توان میزان آلودگی یک معدن و محدوده اطراف آن را طی دوران معدنکاری مشخص نمود. شستشوی اراضی تخریب شده (معدنکاری شده)، شستشوی دمپ های باطله و ذغالسنگ های دپو شده به همراه نفوذ آب های خروجی از تونل های استخراجی و فاضلاب انسانی به داخل زمین، از جمله مواردی هستند که باعث آلودگی سفره آب زیرزمینی در پایین دست مناطق معدنکاری می شود. نمونه های فاز مایع از زهاب خروجی تونل مادر، در محل خروج و ناپدید شدن در سطح زمین، فاضلاب انسانی، از محل ورود به محیط و محل ناپدید شدن، آب های زیرزمینی از بالادست محل معدنکاری، مجاور دهانه تونل استخراجی (تونل مادر)، مجاور دمپ های باطله و در فاصله ۹ کیلومتری از پایین دست معدنکاری (چشمه سرخان) برداشت گردید (جدول ۴-۱). محل های نمونه های برداشت شده در شکل شماره ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱: شماره، نوع، ویژگی‌ها و محل نمونه‌های گرفته شده از منطقه معدنی طزره

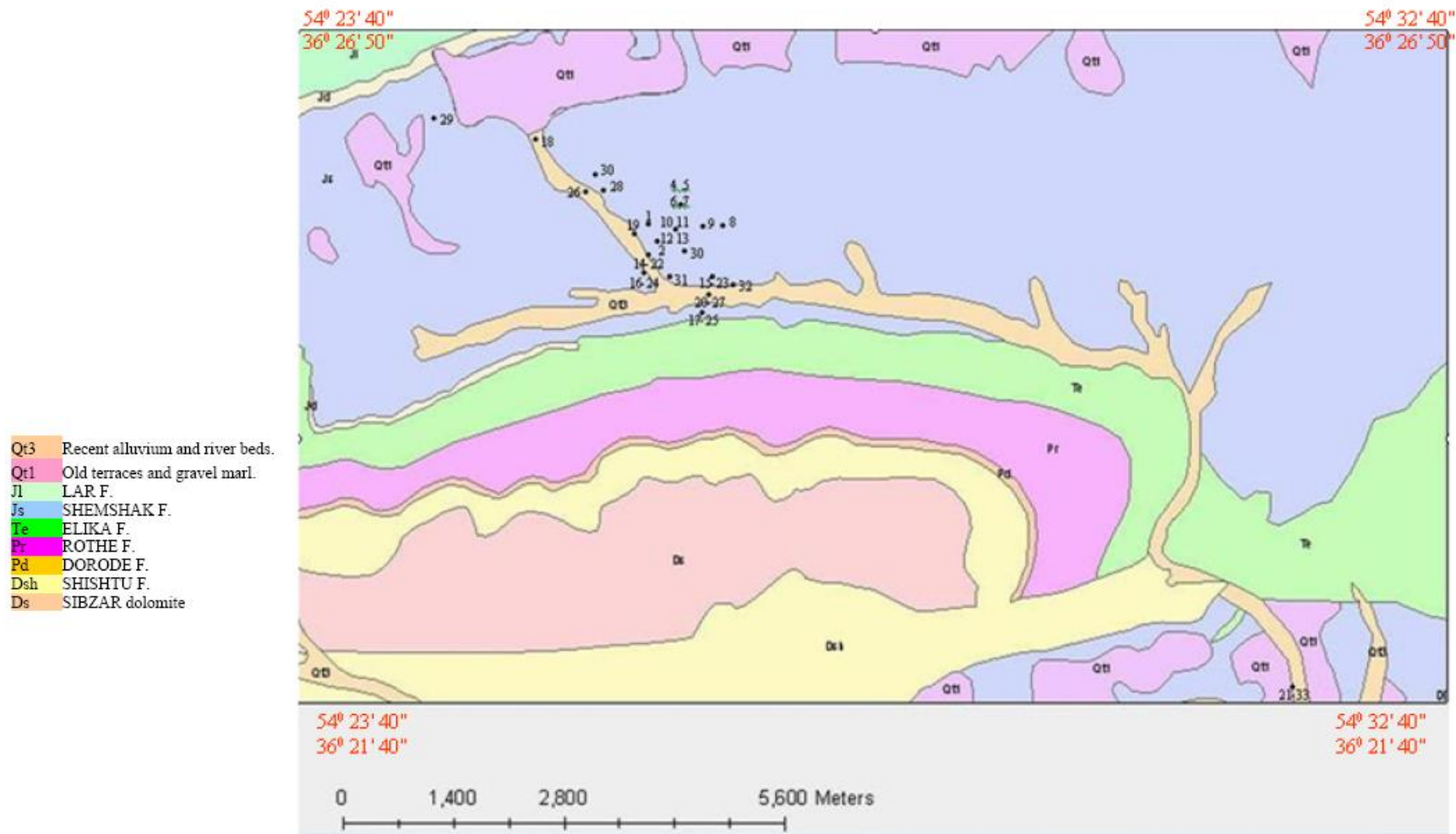
شماره نمونه	محل - توضیحات	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	مخلوطی از لایه های ذغالسنگ استخراجی تونل مادر	۲۶۸۸۵۵	۴۰۳۲۱۴۵
۲	باطله های ذغال مربوط به لایه های مورد بررسی	۲۶۸۸۵۳	۴۰۳۲۱۱۴
۳	دمپ باطله های قدیمی ذغال (۳ ساله)	۲۶۸۹۸۴	۴۰۳۱۷۹۹
۴	روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۹۰۸	۴۰۳۲۳۲۸
۵	روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۹۰۸	۴۰۳۲۳۲۸
۶	پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله ذغال - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۹۰۸	۴۰۳۲۳۲۸
۷	پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله ذغال - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۹۰۸	۴۰۳۲۳۲۸
۸	باطله های سینه کار مربوط به تونل مادر	۲۶۸۹۹۷	۴۰۳۱۸۱۹
۹	دمپ های باطله قدیمی سینه کار (۳ ساله)	۲۶۸۹۸۴	۴۰۳۱۷۹۹
۱۰	روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۸۹۸	۴۰۳۱۹۰۷
۱۱	روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۸۹۸	۴۰۳۱۹۰۷
۱۲	پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۸۹۸	۴۰۳۱۹۰۷
۱۳	پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه - افق ۰-۲۰ cm (۲۵ ساله)	۲۶۸۸۹۸	۴۰۳۱۹۰۷
۱۴	زهاب خروجی تونل در محل تخلیه به سطح زمین	۲۶۸۸۴۷	۴۰۳۲۰۸۰
۱۵	زهاب خروجی تونل در محل ناپدید شدن و نفوذ کامل به داخل زمین	۲۶۹۴۶۵	۴۰۳۱۴۰۶
۱۶	فاضلاب انسانی در محل تخلیه به سطح زمین (بعد از خروج و بارگذاری در تانکهای فاضلاب)	۲۶۸۸۷۷	۴۰۳۱۹۷۸
۱۷	فاضلاب انسانی در محل ناپدید شدن و نفوذ کامل به داخل زمین	۲۶۹۶۷۵	۴۰۳۱۳۱۱
۱۸	آب زیرزمینی بالادست معدنکاری	۲۶۷۶۱۶	۴۰۳۳۵۱۸
۱۹	آب زیرزمینی مجاور با دهانه تونل استخراجی	۲۶۸۸۵۱	۴۰۳۲۰۱۲
۲۰	آب زیرزمینی مجاور با دمپ های باطله	۲۶۹۴۴۲	۴۰۳۱۳۲۸
۲۱	آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری (۹ کیلومتر)	۲۷۷۱۰۹	۴۰۲۷۳۸۱
۲۲	رسوب آب تونل مادر در محل تخلیه به سطح زمین	۲۶۸۸۴۷	۴۰۳۲۰۸۰
۲۳	رسوب آب تونل مادر در محل نفوذ کامل به داخل زمین	۲۶۹۴۶۵	۴۰۳۱۴۰۶
۲۴	رسوب فاضلاب انسانی در محل تخلیه به سطح زمین	۲۶۸۷۷۷	۴۰۳۱۹۷۸
۲۵	رسوب فاضلاب انسانی در محل نفوذ کامل به داخل زمین	۲۶۹۶۷۵	۴۰۳۱۳۱۱
۲۶	رسوب اصلی ترین آبراهه منطقه - بالادست معدنکاری (۷۰۰ متر)	۲۶۸۰۹۵	۴۰۳۲۶۰۸
۲۷	رسوب اصلی ترین آبراهه منطقه - بعد از معدنکاری (۷۰۰ متر)	۲۶۹۸۸۰	۴۰۳۱۶۶۴
۲۸	خاک میانگین ترکیب سازند شمشک در محدوده مورد مطالعه	۲۶۸۴۳۷	۴۰۳۲۴۵۴
۲۹	خاک واریزه ها و مخروط افکنه های سازند دلیچای - بالادست معدنکاری	۲۶۶۳۱۷	۴۰۳۳۹۱۵
۳۰	خاک مناطق بالادست معدنکاری (۷۰۰ متر)	۲۶۸۱۲۹	۴۰۳۲۶۳۶
۳۱	خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۳۰۰ متر)	۲۶۸۹۶۰	۴۰۳۱۷۷۴
۳۲	خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۷۰۰ متر)	۲۶۹۲۶۷	۴۰۳۱۴۷۰
۳۳	خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۹ کیلومتر)	۲۷۷۱۰۹	۴۰۲۷۳۸۱

\* تذکر: مبنای فاصله های ذکر شده، دهانه تونل مادر می باشد.

### ۴-۳- روش های تعیین کیفیت نمونه ها

با استفاده از روش های مختلف استاندارد، نمونه های برداشت شده، جهت اندازه گیری پارامترهای

مختلف آماده سازی شده و مورد آنالیز قرار گرفتند.



شکل شماره ۴-۱: محل نمونه های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۳-۱- فاکتور غنی شدگی

جهت بررسی میزان تجمع یک عنصر در رسوب یا یک سنگ می توان از فاکتور غنی شدگی

(Enrichment Factor) استفاده نمود که به صورت  $EF = \frac{c_1 Me^{+n}}{c_{1n}} / \frac{c_2 Me^{+n}}{c_{2n}}$  بیان می

شود. پارامترهای مختلف این فرمول به صورت زیر تعریف می شوند:

فاکتور غنی شدگی :  $EF =$

غلظت عنصر در محیط مورد بررسی :  $c_1 Me^{+n}$

غلظت عنصر مبنا در محیط مورد بررسی :  $c_{1n}$

غلظت همان عنصر در یک محیط مبنا :  $c_2 Me^{+n}$

غلظت عنصر مبنا در محیط مبنا :  $c_{2n}$

عنصر مبنا معمولاً Al و محیط مبنا نیز پوسته زمین در نظر گرفته می شوند.

با استفاده از این فاکتور، می توان شدت غنی شدگی (جدول شماره ۴-۲) ماده مورد نظر (رسوب،

سنگ و ...) به هر عنصر را در ۶ دسته جای داد (Chen et al., 2007).

جدول شماره ۴-۲: بررسی شدت غنی شدگی رسوبات (Chen et al, 2007)

EF	شدت غنی شدگی رسوب
<1	بدون غنی شدگی
1-3	غنی شدگی اندک
3-5	غنی شدگی متوسط
5-10	غنی شدگی نسبتاً شدید
10-25	غنی شدگی شدید
25-50	غنی شدگی خیلی شدید
>50	غنی شدگی بینهایت شدید

#### ۴-۳-۲- اندازه گیری pH

تعیین pH نمونه های مایع

به دلیل تغییراتی که pH با زمان نشان می دهد، تعیین pH نمونه های آب برداشت شده توسط pH

سنج (Jenway) با دقت اندازه گیری ۰/۰۱ در محل نمونه برداری صورت گرفت.

### تعیین pH نمونه های جامد

pH نمونه های جامد با استفاده از روش استاندارد METHOD 9045 EPA sw-846 اندازه گیری و تعیین گردید. بر طبق این روش مقداری از پودر همگن نمونه جامد که بعد از آماده سازی از الک شماره ۶۰ عبور داده شده است، همراه با آب مقطر در بشر ریخته شده و به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه استیرر (مدل IKA. RH. Basic 2) مخلوط می گردد. pH عصاره مخلوط شده توسط pH سنج (مدل Jenway 3510) اندازه گیری گردید.

### ۴-۳-۳- اندازه گیری EC

EC نمونه های مایع توسط دستگاه EC سنج (مدل Jenway) اندازه گیری شد.

### ۴-۳-۴- اندازه گیری درصد مواد آلی

درصد ماده آلی نمونه ها بر طبق روش استاندارد Standard Methods 209f, APHA, 1995 تعیین گردید. بر طبق این روش ۵ گرم از نمونه رسوب و یا هر نمونه جامد دیگر برداشت شده از منطقه را وزن کرده و به مدت ۱۲ ساعت در داخل کوره، در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از گذشت این مدت، نمونه ها دوباره وزن شدند. تفاضل وزن نمونه قبل و بعد از ورود به کوره، مقدار مواد آلی نمونه را نشان داد. مقدار (درصد) مواد آلی نمونه های جامد برداشت شده در جدول شماره ۴-۳ آورده شده است.

جدول شماره ۴-۳: درصد مواد آلی در نمونه های جامد (ذغالسنگ، باطله ها، خاک و رسوب) برداشت شده از منطقه

مورد مطالعه

شماره نمونه	1	2	3	4	5	6	7	8	9
درصد مواد آلی (OM/.)	62.74	11.87	16.31	34.43	24.3	24.23	27.4	12.78	10.99
شماره نمونه	10	11	12	13	22	23	24	25	26
درصد مواد آلی (OM/.)	24.45	30.95	24.23	19.17	14.8	10.18	9	5.14	9.84
شماره نمونه	27	28	29	30	31	32	33	-	-
درصد مواد آلی (OM/.)	10.48	7.67	4.73	8.93	15.92	17.04	10.43	-	-

### ۴-۳-۵- دانه سنجی رسوبات

جهت اندازه گیری دانه بندی ذرات رسوبی از دو مقیاس میلی متر (Udden & Wentworth) و لگاریتمی  $\phi$  (Krumbein) استفاده می گردد. گراول (gravel)، ماسه (sand) و گل (mud) سه گروه اصلی اجزاء رسوبی می باشند که در جدول شماره ۴-۴ آورده شده است.

از آنجایی که گراول و ماسه بیشتر خصوصیات فیزیکی خاک (بافت، ساخت، نفوذپذیری و ...) را تحت تأثیر قرار داده و ویژگی های شیمیایی آن از قبیل تبادل، جذب و نگهداری یونی به بخش گل مربوط می شود، تفکیک مقدار گراول از ماسه و ماسه از گل (با استفاده از استاندارد الک انگلیسی) به ترتیب توسط الک های شماره ۱۰ و ۲۳۰ (جدول شماره ۴-۴) انجام شد و دانه سنجی در مورد محتوای گل نمونه ها (تفکیک انواع سیلت و رس) توسط روش هیدرومتری صورت پذیرفت.

جهت تفکیک انواع دانه های رسوبات (گراول، ماسه و گل) ابتدا مقدار مشخصی از رسوب یا خاک (در حدود ۵۰۰ گرم) توسط ترازوی دقیق وزن می شود و قبل از هر عمل، نمونه داخل هاون ریخته شده و با حرکات بالا و پایین دسته هاون اجزاء بهم پیوسته از هم جدا می گردند (باید توجه نمود که قدرت ضربات به قدری زیاد نباشد که در شکل و اندازه اولیه ذرات تغییری حاصل نموده و آنها را ریز و خرد نماید). نمونه خرد شده بر روی الک های شماره ۱۰ و ۲۳۰ که بر روی پن (زیر الک) قرار گرفته اند، ریخته شده و در دستگاه شیکر (Shaker) قرار داده می شوند. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه، دستگاه را خاموش نموده و مقدار باقی مانده بر روی پن و هر الک وزن می گردد (اهری پور و مصدق ۱۳۸۵).

در مرحله بعد جهت تفکیک و دانه سنجی انواع سیلت و رس نمونه ها، با استفاده از مقدار رسوب باقی مانده در پن (عبور داده شده از الک ۲۳۰) هیدرومتری صورت می پذیرد. جهت انجام هیدرومتری، از روش استاندارد ASTM D422-63, ROPME, 1999 استفاده گردید. در این روش ۵۰ گرم نمونه ای که از الک ۲۳۰ عبور کرده است را داخل استوانه مدرج یک لیتری ریخته و ۱۰۰ میلی گرم محلول هگزامتافسفات سدیم ۲٪ به آن اضافه می گردد. پس از مخلوط سازی محلول معلق کننده (هگزامتافسفات سدیم) با رسوب داخل استوانه، استوانه مدرج ۱ لیتری به حجم رسانده می شود.



جدول شماره ۴-۴: اندازه، نام ذرات و روش جداسازی انواع ذرات از یکدیگر (اهری پور و مصدق ۱۳۸۵)

شماره الک ( Mesh )	اندازه‌ی ذرات		نام ذرات
	بر حسب ( Ø )	بر حسب ( mm )	
اندازه گیری	۸-	۲۵۶	تخته سنگ ( Boulder )
توسط	۷-	۱۲۸	قلوه سنگ ( Cobble )
متر	۶-	۶۴	
یا	۵-	۳۲	ریگ ( Pebble )
کولیس	۴-	۱۶	
	۳-	۸	شن ( Granule )
۵	۲-	۴	
۱۰	۱-	۲	ماسه‌ی خیلی درشت ( Very coarse sand )
اندازه گیری	۰	۱	ماسه‌ی درشت ( Coarse sand )
۱۸	۰	۱	
توسط	۱	۰/۵	ماسه‌ی متوسط ( Medium sand )
۳۵	۱	۰/۵	
الک	۲	۰/۲۵	ماسه‌ی ریز ( Fine sand )
۶۰	۲	۰/۲۵	
یا	۳	۰/۱۲۵	ماسه‌ی خیلی ریز ( Very fine sand )
۱۲۰	۳	۰/۱۲۵	
غریبال	۴	۰/۰۶۲۵	سیلت درشت ( Coarse silt )
۲۳۰	۴	۰/۰۶۲۵	سیلت متوسط ( Medium silt )
اندازه گیری	۵	۰/۰۳۱	
توسط	۶	۰/۰۱۵۶	سیلت ریز ( Fine silt )
۶۰	۶	۰/۰۱۵۶	
پیت یا	۷	۰/۰۰۷۸	سیلت خیلی ریز ( Very fine silt )
۱۲۰	۷	۰/۰۰۷۸	
هیدرومتری	۸	۰/۰۰۳۹	رس ( Clay )

سپس دما اندازه‌گیری شده و پس از چند بار تکان دادن (سر و ته کردن) استوانهٔ مدرج، استوانهٔ مدرج بر روی میز آزمایشگاه قرار داده شده و با ثبت زمان، هیدرومتر داخل آن قرار داده می‌شود. هیدرومتر در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ دقیقه پس از شروع رسوبگذاری (سکون استوانه) قرائت می‌شود.

پس از اعمال تصحیحات حرارتی، کشش سطحی، چگالی، صفر و مادهٔ پراکنده‌کننده، قطر ذرات با استفاده از قانون استوک،  $D=k\sqrt{\frac{l}{t}}$  (D: قطر ذرات؛ k: ضریب ثابت و وابسته به درجه حرارت، وزن مخصوص نسبی ذرات آب و خاک و ویسکوزیتهٔ آب؛ l: طول فرورفتگی هیدرومتر در مخلوط آب و خاک؛ t: زمان فرو رفتن طول l) بدست می‌آید. نتایج حاصل از دانه‌سنجی و هیدرومتری نمونه‌های مورد بررسی در جدول شمارهٔ ۴-۵ آورده شده است. نوع رسوب (و خاک) نیز با استفاده از مثلث فولک (Folk) تعیین گردید (اهری پور و مصدق، ۱۳۸۵).

جدول ۴-۵: نتایج دانه‌سنجی و هیدرومتری رسوبات و خاک‌ها

محل نمونه برداری	شماره نمونه	Gravel(%)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Sediment Name
رسوب آب تونل مادر در محل تخلیه به سطح زمین	22	15.73	60.49	10.09	13.69	گراول ماسه ای گلی
رسوب آب تونل مادر در محل نفوذ کامل به داخل زمین	23	31.27	49.63	11.17	7.93	گراول ماسه ای گلی
رسوب فاضلاب انسانی در محل تخلیه به سطح زمین	24	31.25	62.61	6.14		گراول ماسه ای
رسوب فاضلاب انسانی در محل نفوذ کامل به داخل زمین	25	35.45	56.05	8.45		گراول ماسه ای گلی
رسوب اصلی ترین آبراهه منطقه - بالادست معدنکاری (۷۰۰متر)	26	68.25	20.28	2.29	9.17	گراول ماسه ای گلی
رسوب اصلی ترین آبراهه منطقه - بعد از معدنکاری (۷۰۰متر)	27	47.76	48.48	3.76		گراول ماسه ای
میانگین ترکیب سازند شمشک در محدوده مورد مطالعه	28	-	-	-	-	-
واریزه ها و مخروط افکنه های سازند دلیچای - بالادست معدنکاری	29	42.02	37.21	9.98	10.79	گراول ماسه ای گلی
خاک مناطق بالادست معدنکاری (۷۰۰متر)	30	52.27	31.84	4.16	11.27	گراول ماسه ای گلی
خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۳۰۰متر)	31	34.23	48.25	11.05	6.27	گراول ماسه ای گلی
خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۷۰۰متر)	32	56.17	35.32	4.42	4.1	گراول ماسه ای گلی
خاک مناطق پایین دست معدنکاری (۹ کیلومتر)	33	56.69	33.24	3.8	6.3	گراول ماسه ای گلی

#### ۴-۳-۶- اندازه گیری غلظت آنیون ها و کاتیون ها

نمونه های آب شامل زهاب خروجی تونل استخراج در محل تخلیه به زمین (نمونه شماره ۱۴)، آب زیرزمینی بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸)، آب زیرزمینی مجاور دمپ های باطله (نمونه شماره ۲۰) و آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) جهت تعیین غلظت آنیون ها ( $\text{CO}_3^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ) و کاتیون های ( $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Ca}^{+2}$ ،  $\text{Mg}^{+2}$ ) رایج آب در نظر گرفته شدند. جهت اندازه گیری مقادیر پارامترهای فوق الذکر، نمونه ها به آزمایشگاه پارک علم و فن آوری استان سمنان ارسال گردیدند.

#### ۴-۳-۷- تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین

##### ۴-۳-۷-۱- نمونه های فاز مایع

به منظور اندازه گیری غلظت عناصر و فلزات سنگین موجود در نمونه های آب (از قبیل سرب، روی، کادمیوم، جیوه و ...) نمونه ها به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال گردیده و در آنجا توسط روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند. ICP یا پلاسمای جفت شده القایی، یک سیستم آنالیز عنصری است که نوع طیف بینی آن، طیف بینی نشری و روش اتم سازی آن از طریق پلازما صورت می گیرد. پلازما، مجموعه ای از الکترون ها و یون های مثبت گاز آرگن دارای انرژی بالا و دمایی در حدود  $10000^{\circ}\text{K}$  است. این محیط بوسیله امواج رادیویی با توان بالا ایجاد می شود. این روش علاوه بر توانایی اندازه گیری تمامی عناصر کمیاب، ایزوتوپ ها را نیز می تواند تعیین نماید. در این روش یون های موجود در پلازما از طریق یک سوراخ بسیار ریز به داخل سیستم خلاء کشیده شده و توسط یک عدسی یونی در درون طیف سنج جرمی متمرکز شده و تعیین می گردد (Date & Jarvis, 1989).

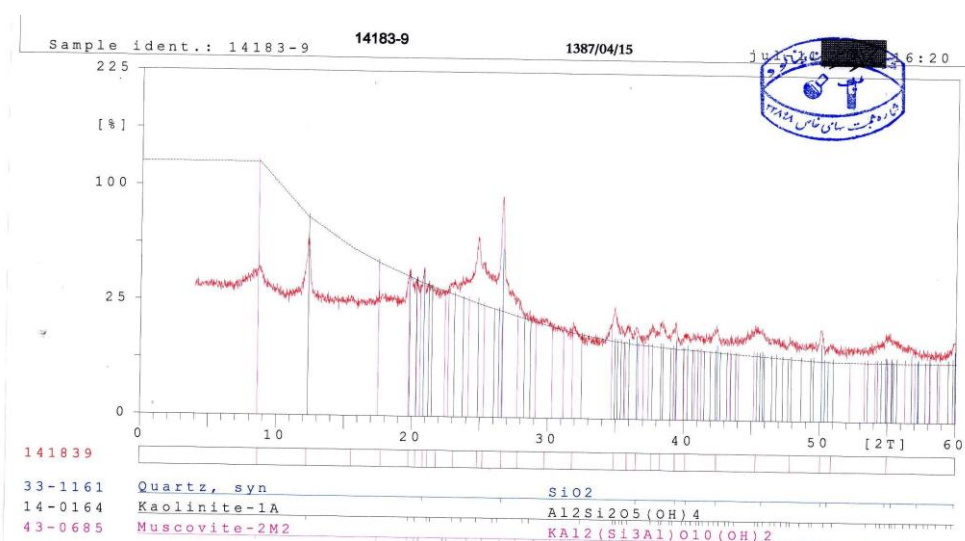
#### ۴-۳-۲- نمونه های فاز جامد

جهت اندازه گیری غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر مورد نظر از نمونه همگن پودر شده که از الک شماره ۶۰ عبور داده شده است، استفاده گردید. نمونه ها جهت آنالیز به روش ICP-MS به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال گردیدند.

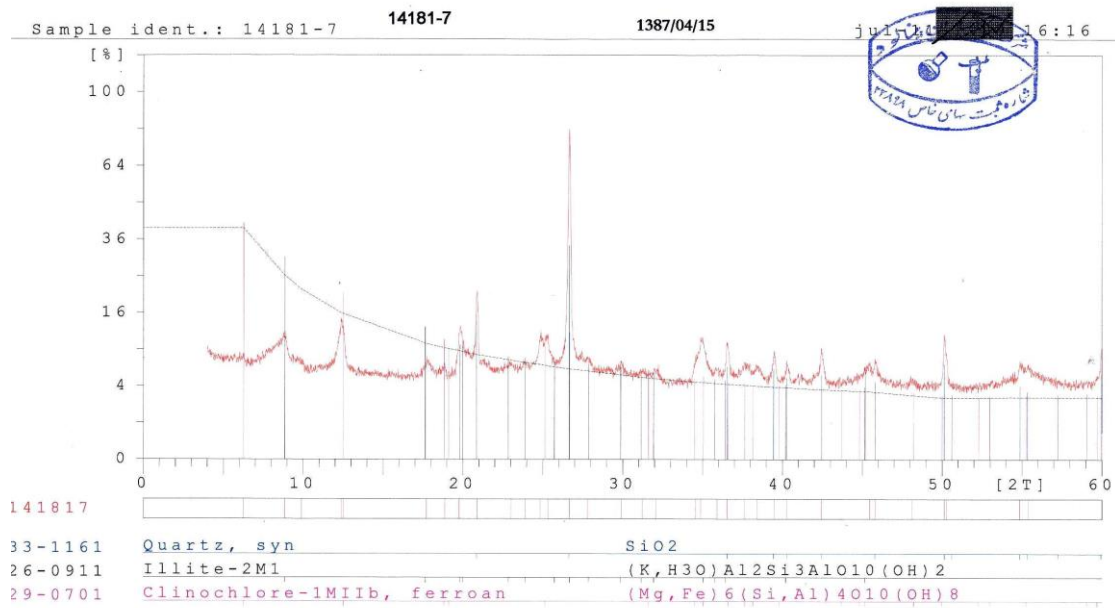
#### ۴-۴- کانی شناسی

##### ۴-۴-۱- انجام آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)

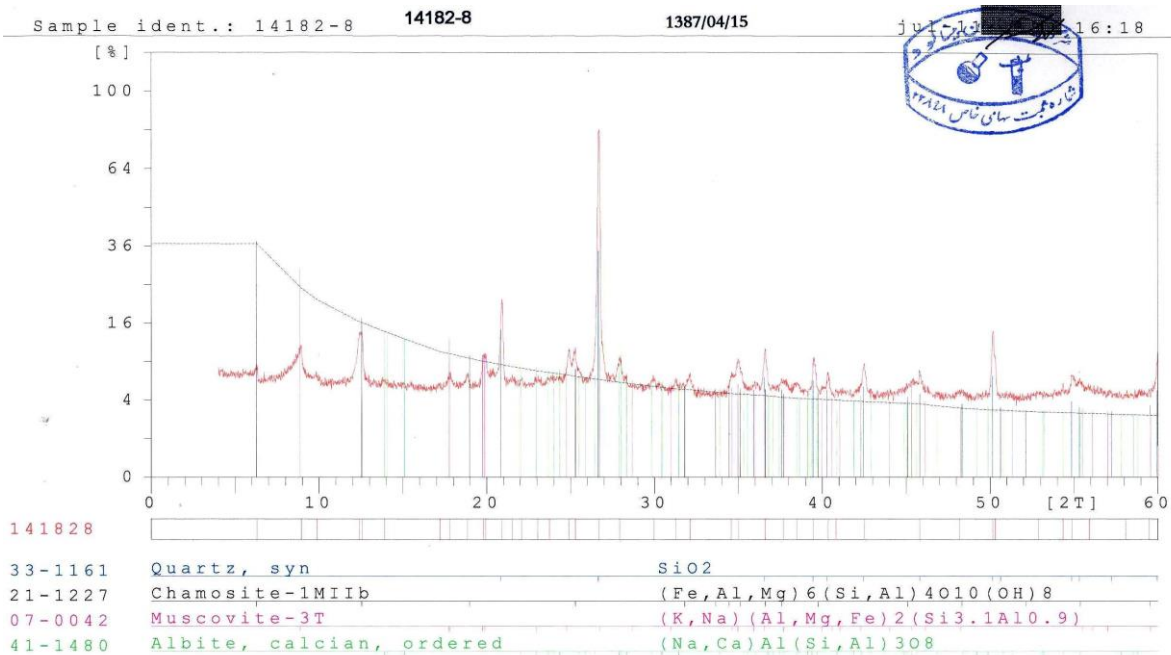
جهت مشخص شدن انواع کانی های موجود در نمونه های جامد با استفاده از روش XRD، نمونه ها (ذغالسنگ، باطله سینه کار و باطله ذغال) به آزمایشگاه کانساران بینالود ارسال گردیدند. در این نوع آنالیز با استفاده از پراش اشعه ایکس بر روی پودر ماده مورد نظر (مش ۲۰۰ مورد نیاز می باشد) انواع کانی های موجود در آن که دارای فراوانی بالای ۲٪ باشند، به صورت انعکاس های مرکب، بر روی یک ورقه چاپ شده تعیین می گردند. شکل های شماره ۲-۴، ۳-۴ و ۴-۴ به ترتیب نمودارهای حاصل از آنالیز XRD و کانی های موجود در نمونه های ذغالسنگ (نمونه شماره ۱)، باطله ذغال (نمونه شماره ۲) و باطله سینه کار (نمونه شماره ۸) را نشان می دهند.



شکل شماره ۲-۴: نمودار حاصل از آنالیز XRD ذغالسنگ (نمونه شماره ۱) و کانی های عمده موجود در آن



شکل شماره ۴-۳: نمودار حاصل از آنالیز XRD باطله ذغال (نمونه شماره ۲) و کانی‌های عمده موجود در آن



شکل شماره ۴-۴: نمودار حاصل از آنالیز XRD باطله سینه کار (نمونه شماره ۸) و کانی‌های عمده موجود در آن

#### ۴-۴-۲- تهیه مقاطع نازک سنگی

جهت مطالعه کانی‌های موجود در سنگ‌ها و همچنین تعیین بافت و ساخت آنها می‌توان از مقاطع نازک میکروسکوپی استفاده نمود. در این روش برشی از سنگ به ضخامتی در حدود ۱۰ میکرون بر روی لام قرار گرفته و در زیر میکروسکوپ پلاریزان، توسط نورهای عبوری مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در این تحقیق ۷ نمونه مقطع نازک که از باطله‌های سینه کار (نمونه شماره ۸) و باطله‌های ذغال (نمونه شماره ۲) که توسط شرکت مهد زمین شاهوار تهیه گردیده است، مورد مطالعه قرار گرفت. این روش برای مطالعه سنگ‌های گرانولار بسیار مفید بوده ولی در مورد مطالعه کانی‌ها و سنگ‌های رسی توانایی تشخیص و تفکیک خوب اجزاء و کانی‌ها را دارا نمی‌باشد.

# فصل پنجم

ارزیابی غلظت عناصر در

منابع آلاینده

## ۵-۱- کلیات

فعالیت های معدنی و صنعتی بسیاری در سطح جهان وجود دارد که آلودگی های زیست محیطی را ایجاد می نماید. معدنکاری ذغالسنگ از جمله مواردی است که با آزادسازی فلزات سنگین، عناصر نادر خاکی و عناصر غیرفلزی آلودگی های شدید آب و خاک را ایجاد می نماید.

به دلیل وجود کانی ها و ترکیبات بسیار متنوع و پیچیده موجود در ذغالسنگ که ناشی از محیط رسوبی و گیاهان ذغال ساز اولیه بوده و یا در اثر دیاژنز به آن اضافه شده اند، عناصر و مواد همراه با آن نیز از تنوع بالایی برخوردار می باشند. استخراج ذغالسنگ، تعادل ژئوشیمیایی اولیه واحدهای سنگی را بر هم زده و با تغییر شرایط اکسیداسیون (تغییر Eh , ... ) محیط باعث آزادسازی عناصر موجود در لایه های ذغالی و سنگهای دربرگیرنده آنها (داخل و خارج زمین) شده که این عناصر با توجه به ویژگی های ژئوشیمیایی در محیط زیست پراکنده می گردند.

تخلیه زهاب های معدنی، هوازگی و شستشوی باطله ها، شستشوی ذغال های دپوشده و... از جمله مواردی است که باعث آزادسازی عناصر و بویژه فلزات سنگین می شوند. پراکندگی و گسترش عناصر آزاد شده در آب و خاک یک منطقه، آلودگی های شدید زیست محیطی را ایجاد نموده و پایداری اکوسیستم های طبیعی و سلامت انسان را تهدید می نماید.

در این فصل به مطالعه و بررسی عناصر سنگینی از قبیل Cu, Pb, Zn, Sb, Cd, As, Fe و Hg و همچنین عناصری مانند Ca, K, S, Ba, Se, Sr و Mg در منابع آلاینده (ذغال و باطله های همراه با آن، زهاب تونل و فاضلاب انسانی) مجموعه معدنی ذغالسنگ طزره-بخش تونل مادر پرداخته شده و تأثیر منابع آلاینده و پساب های ناشی از آنها بر نوع و میزان آلودگی های ایجاد شده در آب و خاک منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



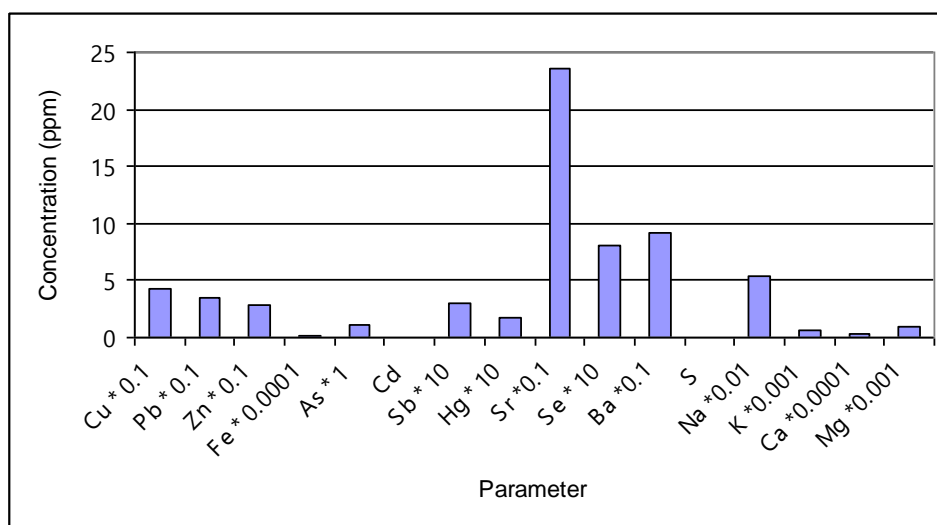
## ۵-۲- توزیع عناصر در منابع آلاینده

### ۵-۲-۱- ذغالسنگ، باطله های ذغال و سینه کار

با توجه به آلودگی های ناشی از ذغالسنگ و باطله های همراه با آن می توان معادن ذغالسنگ را به دلیل پتانسیل بسیار بالا در غنی سازی عناصر آلاینده و فلزات سنگین، در آب و خاک منطقه منبع آلاینده برشمرد. (PECH, 1980; Valkovic, 1983; Swaine, 1990; Swaine & Goodarzi 1995;

Filkelman et al., 2002; Eskenazy & Stefanova 2007)

در منطقه مورد مطالعه، باطله ها به دلیل انباشت طولانی مدت (در حدود ۲۵ سال) و حجم بسیار زیادشان از اهمیت ویژه ای برخوردارند. بدین منظور علاوه بر مطالعه غلظت عناصر موجود در ذغالسنگ منطقه که در شکل شماره ۵-۱ آورده شده است، تغییرات غلظت عناصر در طی ۲۵ سال در باطله های ذغال و سینه کار نیز مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۵-۲ الی شکل ۵-۱۷).

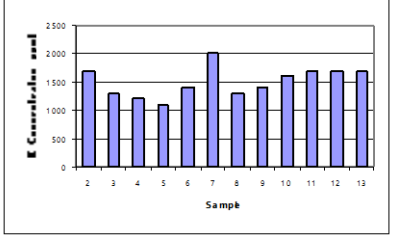
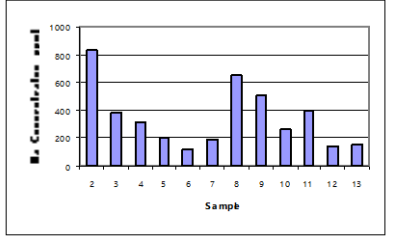
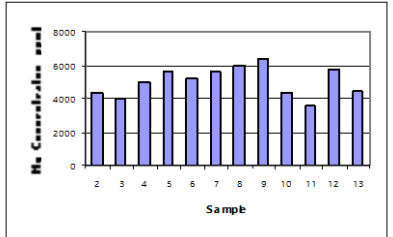
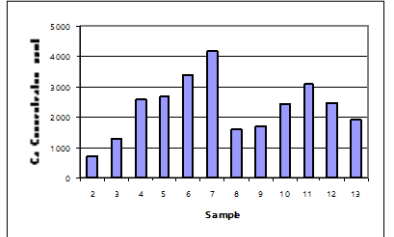


شکل ۵-۱: غلظت عناصر مختلف در ترکیب ذغالسنگ تونل مادر (نمونه شماره ۱) از معدن طزره

غلظت کم گوگرد (پایین تر از حد اندازه گیری دستگاه) و آهن (۲۱۰۰ ppm) در ذغال، نشان دهنده درصد کم پیریت در این ذغالسنگ ها می باشد.





 <p><b>شکل ۵-۱۵: تغییرات غلظت K در نمونه های شماره ۲-۱۳</b></p> <p>نمونه ۲: (باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۵: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۶۰، نمونه ۶: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۲۰، نمونه ۷: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۱۱: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۲: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۳: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰ (۲۰)</p>	 <p><b>شکل ۵-۱۴: تغییرات غلظت Na در نمونه های شماره ۲-۱۳</b></p> <p>نمونه ۲: (باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۵: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۶۰، نمونه ۶: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۲۰، نمونه ۷: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۱۱: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۲: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۳: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰ (۲۰)</p>
 <p><b>شکل ۵-۱۷: تغییرات غلظت Mg در نمونه های شماره ۲-۱۳</b></p> <p>نمونه ۲: (باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۵: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۶۰، نمونه ۶: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۲۰، نمونه ۷: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۱۱: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۲: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۳: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰ (۲۰)</p>	 <p><b>شکل ۵-۱۶: تغییرات غلظت Ca در نمونه های شماره ۲-۱۳</b></p> <p>نمونه ۲: (باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۵: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰۰-۶۰، نمونه ۶: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۲۰، نمونه ۷: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰۰-۲۰۰، نمونه ۱۱: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۲: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰، نمونه ۱۳: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- اقی ۲۰-۶۰ (۲۰)</p>

با اینکه غلظت عناصر Na، K، Ca و Mg (شکل ۵-۱) که جزء عناصر لیتوفیل و سنگ ساز محسوب می شوند در ذغالسنگ (به ترتیب برحسب ppm: ۵۴۰، ۷۰۰، ۲۴۰۰ و ۹۰۰) به نسبت غلظت این عناصر در میانگین پوسته ای (به ترتیب برحسب ppm: ۲۸۳۰۰، ۳۶۳۰۰، ۲۵۹۰۰ و ۲۰۹۰۰) کمتر می باشد، اما به همراه عناصری همانند Al و Si، درصد بالای خاکستر این ذغالها (۲۵٪) را ایجاد می نماید. البته غلظت عناصر سنگینی مانند Pb، Hg و Se در ذغالسنگ منطقه به ترتیب ۳/۲۵، ۲/۱ و ۱۶ برابر میانگین پوسته ای می باشد (شکل ۵-۱) که عاملی منفی جهت آلودگی آب و خاک منطقه محسوب می شوند.

تفاوت در ویژگی های فیزیکوشیمیایی (ژئوشیمیایی) عناصر، تجمع و یا پراکندگی آنها را به دنبال خواهد داشت. هرچه گذشت زمان جهت بررسی ژئوشیمیایی یک توده (دمپ های باطله جدید و قدیم) بیشتر شود، این تفاوت ها بهتر مشاهده می گردند. بدین منظور باطله ذغال حال حاضر (نمونه شماره ۲) و باطله های سینه کار حال حاضر (نمونه شماره ۸) به عنوان شاهدی جهت بررسی تغییرات عناصر در طی زمان، در باطله ها در نظر گرفته شده اند. به دلیل تفاوت هایی که در نفوذپذیری آب، اکسیژن و دی اکسید کربن و همچنین اختلافی که در میزان شستشوی مواد و عناصر از روی دامنه دمپ های باطله با بخش های پائینی آنها (مجاور با زمین) وجود دارد، نمونه گیری از دو افق ۰-۲۰ cm و ۲۰ cm-۶۰ cm، در رو و پای دمپ های باطله (باطله ذغال و سینه کار) صورت گرفته که تغییرات عناصر در آنها، در اشکال ۲-۵ الی ۵-۱۷ منعکس شده است.

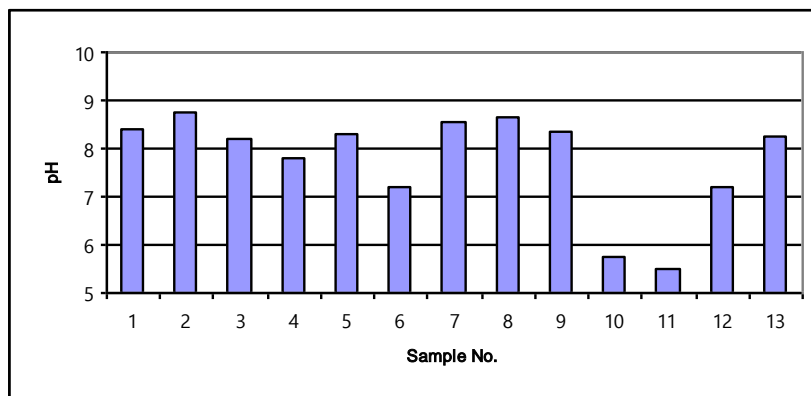
آهن، تغییرات منظمی را در باطله های ذغال و سینه کار، در ارتباط با زمان نشان داده است. شستشوی این عنصر از افق ۰-۲۰ cm رو (۱۹۰۰ ppm) و پای (۲۲۵۰۰ ppm) باطله های ذغال (نمونه های شماره ۴ و ۶) و تجمع آن در افق ۲۰ cm-۶۰ cm رو (۲۴۱۰۰ ppm) و پای (۲۳۶۰۰ ppm) این باطله ها (نمونه های شماره ۵ و ۷) گویای این تغییرات می باشد.

تغییراتی که در غلظت آرسنیک در افق های ۰-۲۰ cm رو (۴/۹ ppm) و پای باطله های ذغال (۵/۴ ppm) نسبت به افق ۲۰ cm-۶۰ cm (به ترتیب برحسب ppm: ۵/۴ و ۶/۱) در این باطله ها مشاهده می گردد مشابهت رفتار این عنصر، با آهن را نشان می دهد. گوگرد نیز مشابه آهن شستشوی قابل توجهی را طی هوازگی ۲۵ ساله باطله های ذغال از خود نشان داده است، با این تفاوت که گوگرد در اثر شستشو از محیط خارج شده و تجمعی را در افق ۲۰ cm-۶۰ cm این باطله ها نشان نمی دهد. این شستشو در فراوانی این عنصر در افق های ۰-۲۰ cm و ۲۰ cm-۶۰ cm رو (به ترتیب برحسب ppm: ۳۱۰۰ و ۱۹۰۰) و پای (به ترتیب برحسب ppm: ۱۳۰۰ و ۱۰۰۰) دامنه مشاهده می گردد.

اکسیداسیون پیریت در طول ۲۵ سال، در باطله های سینه کار (نمونه های ۱۰ و ۱۱) باعث آزاد شدن گوگرد و یون هیدروژن شده و pH محیط کاهش یافته است. از آنجایی که با کاهش هر واحد pH حلالیت یون آهن ۱۰۰۰ برابر افزایش می یابد (مُر و شرفی، ۱۳۸۳)، کاهش pH از ۸/۶۵ در باطله های سینه کار جدید (نمونه شماره ۸) به ۵/۷۳ در سطح باطله های سینه کار ۲۵ ساله (نمونه شماره ۱۰) در شکل ۱۸ شرایط انحلال این یون، در سطح باطله های قدیمی سینه کار را فراهم نموده است. مقداری از آهن انحلال یافته به افق زیرین خود (۲۰-۶۰) نفوذ کرده و غلظت ppm ۴۱۹۰۰ آهن در این افق را ایجاد نموده است. شیب زیاد دامنه (۴۵ درجه) باعث شده تا تمامی آهن حل شده به داخل نفوذ نکرده بلکه در سطح دامنه باطله ها جریان یافته و در افق ۰-۲۰ پای دامنه باطله های سینه کار (۲۵ ساله) که به دلیل بالا رفتن pH آنها (۷/۲) توانایی حرکت خود را از دست داده و تجمع (ppm ۳۲۷۰۰) پیدا کند. با اینکه pH افق ۲۰-۶۰ روی دامنه باطله های ۲۵ ساله سینه کار (۵/۵۱) نسبت به افق ۰-۲۰ روی دامنه این باطله ها (۵/۷۳)، اسیدی تر شده است، به دلیل کاهش شدیدی که در نفوذپذیری افق ۰-۲۰، در اثر شستشوی اجزاء ریزدانه از افق ۰-۲۰ و تجمع آنها در این افق ایجاد شده است، آهن توانایی خروج از محیط را پیدا نکرده و تجمع یافته است. گوگرد نیز با افزایش غلظتی که در افق ۰-۲۰ روی دامنه باطله های ۲۵ ساله سینه کار (ppm ۷۶۰۰) نسبت به افق ۰-۲۰ روی دامنه این باطله ها (ppm ۴۴۰۰) نشان می دهد، کاهش نفوذپذیری افق ۰-۲۰ را تأیید می نماید (شکل شماره ۱۳).

غلظت استرانسیوم و باریوم در افق ۰-۲۰ روی دامنه باطله های ذغال (به ترتیب برحسب ppm: ۲۵/۲ و ۹۵/۶) و سینه کار (به ترتیب برحسب ppm: ۲۰/۷ و ۷۱/۹) نسبت به غلظت این عناصر در افق ۰-۲۰ ۶۰ روی دامنه باطله های ذغال (ppm ۲۲/۳ و ppm ۷۵/۳) و در باطله های سینه کار ppm ۱۹/۳ و ppm ۵۴/۷) نشان دهنده تجمع این عناصر در افق ۰-۲۰ روی دامنه باطله ها (ذغال و سینه کار) و در واقع عدم نفوذ این عناصر در اثر شستشو به عمق باطله ها می باشد. این در حالی است که Sr و Ba در افق ۰-۲۰ پای دامنه باطله های ذغال (به ترتیب برحسب ppm: ۲۲/۹ و ۹۳) و سینه کار (به

ترتیب برحسب ppm: ۲۲/۷ و ۵۴) غلظتی کمتر از افق ۲۰-۶۰ این باطله ها (۲۷/۲ ppm و ppm (۱۰۷) در باطله های ذغال و ۲۸/۷ ppm و ۸۱/۴ ppm در باطله های سینه کار) را نشان داده است. این موضوع گویای تجمع این عناصر در افق ۲۰-۶۰ پای دامنه باطله ها (ذغال و سینه کار) می باشد.



شکل ۵-۱۸: تغییرات pH در نمونه ذغال و باطله های مورد بررسی

(نمونه ۱: ذغالسنگ، نمونه ۲: باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۵: باطله ذغال- روی دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۶: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۷: باطله ذغال- پای دامنه قدیمی ترین باطله های ذغال منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۱۱: باطله سینه کار- روی دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۱۲: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- افق ۲۰-۶۰، نمونه ۱۳: باطله سینه کار- پای دامنه قدیمی ترین دمپ های باطله سینه کار منطقه- افق ۲۰-۶۰)

نبود زمان کافی و شرایط مورد نیاز (از جمله شیب زیاد دامنه ۴۵- درجه) برای انحلال Ba و Sr در روی دامنه و تأمین شدن این شرایط در پای باطله ها را شاید بتوان دلیل این امر ذکر نمود. با اینکه سلنیوم در pH های قلیایی، تمایل به تحرک و جابجایی نسبتاً بالایی از خود نشان می دهد (شکل شماره ۵-۱۱)، به دلیل تمایل زیاد این عنصر به ترکیب شدن با نافلزاتی مانند S (SeS<sub>2</sub>) و Sb (Se<sub>2</sub>Sb) که ایجاد ترکیبات نامحلول می نماید (Atkins, 1993)، تغییرات زیادی را در باطله های ذغال و سینه کار قدیمی (۲۵ ساله) نشان نداده است.

کمتر بودن پتانسیل یونی کاتیون های فعالی چون پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم (به ترتیب: ۰/۷۵ ، ۱ ، ۲ و ۳) نسبت به عناصر هیدرولیزات ها (مس، سرب، آهن و ...) باعث فعالیت و تحرک این عناصر شده و شرایط تغییرات زیاد آنها را فراهم نموده است. کاهش مقدار غلظت سدیم از ۸۳۰ ppm در

باطله های جدید ذغال (نمونه شماره ۲) به ۳۱۰ ppm در افق ۰-۲۰ روی دامنه باطله های ۲۵ ساله ذغال (نمونه شماره ۴) و همچنین غلظت ۱۲۰ ppm (نمونه شماره ۶) این عنصر در افق ۰-۲۰ پای دامنه باطله های قدیمی ذغال، این شستشو را به خوبی نشان می دهد (شکل ۵-۱۴). فعالیت پتاسیم نسبت به سدیم را می توان به سری انتخابگری  $Li^+ > Na^+ > K^+ > Rb^+ > Cs^+$  که جهت جذب کاتیون ها، در سطح مواد جذب کننده (کلوئیدها و رس ها) وجود دارد، مرتبط دانست. در واقع شستشوی کمتر پتاسیم نسبت به سدیم را می توان به ارتباط پتاسیم با سایر عوامل جابجایی از قبیل درصد مواد آلی و مقدار رس نمونه مرتبط دانست. پتاسیم به دلیل ارتباط مثبتی که با مواد آلی و کلوئیدها و ارتباط منفی که با pH نشان می دهد به گونه ای متفاوت از سدیم، انحلال و تجمع خود را بروز می دهد (اوستان، ۱۳۸۳). به طور کلی پتاسیم از افق ۰-۲ روی دامنه های باطله های ذغال و سینه کار که به ترتیب فراوانی های ۱۲۰۰ ppm و ۱۶۰۰ ppm را در آنها نشان داده است، شسته شده و در افق های ۰-۲۰ و (بویژه) ۲۰-۶۰ پای دامنه ها تجمع یافته و غلظت های ۱۴۰۰ ppm و ۲۰۰۰ را در پای دامنه باطله های ۲۵ ساله ذغال و غلظت های ۱۷۰۰ ppm و ۱۷۰۰ ppm را در پای دامنه باطله های ۲۵ ساله سینه کار نشان داده است.

کلسیم و منیزیم در افق ۰-۲۰ رو و پای دامنه باطله های ذغال ۲۵ ساله غلظت های ۲۶۰۰ ppm و ۳۴۰۰ ppm (برای Ca) و ۵۰۰۰ ppm و ۵۲۰۰ ppm (برای Mg) را نشان می دهند. تفاوت بسیار زیاد غلظت Ca و Mg با باطله جدید ذغال (نمونه شماره ۲)، که فراوانی این عناصر در آنها (به ترتیب برحسب ppm) ۷۰۰ و ۴۳۰۰ می باشد، تغییرات شدید این عناصر را در ارتباط با زمان نشان می دهد (شکل های شماره ۵-۱۶ و ۵-۱۷). چنین افزایش غلظت هایی در افق ۰-۲۰ رو و پای دامنه باطله های سینه کار ۲۵ ساله (به ترتیب برحسب ppm: ۲۴۰۰ و ۲۵۰۰) نسبت به باطله های جدید سینه کار (۱۶۰۰ ppm) برای یون  $Ca^{++}$  نیز نشانگر تغییرات شدید آنها، نسبت به زمان می باشد.



### ۵-۲-۱-۱- همبستگی عناصر در ذغالسنگ و باطله های ذغال و سینه کار

با اینکه هر عنصر رفتار نسبتاً هدفمندی را در افق های مختلف انواع باطله ها و ذغالسنگ منطقه در طی مدت ۲۵ سال از خود بروز می دهد، اما این عناصر ارتباط قابل توجهی را نیز با یکدیگر داشته که جهت بررسی این رابطه ها از جدول همبستگی استفاده می گردد. از آنجایی که مشابهت در پتانسیل یونی از جمله مهمترین عوامل مؤثر در ایجاد همبستگی بین عناصر می باشد، پتانسیل یونی تعدادی از عناصر در جدول شماره ۵-۱ آورده شده است. هر چه پتانسیل یونی دو عنصر به هم نزدیکتر باشد رفتار آنها نیز بیشتر مشابه یکدیگر خواهد بود.

جدول شماره ۵-۱: پتانسیل یونی عناصر (مر و شرفی، ۱۳۸۳)

کاتیون	پتانسیل یونی	کاتیون	پتانسیل یونی
Cs <sup>+</sup>	0.60	Lu <sup>3+</sup>	3.5
Rb <sup>+</sup>	0.68	Sc <sup>3+</sup>	3.7
K <sup>+</sup>	0.75	Th <sup>4+</sup>	3.9
Na <sup>+</sup>	1.0	Ce <sup>4+</sup>	4.3
Li <sup>+</sup>	1.5	Fe <sup>3+</sup>	4.7
Ba <sup>2+</sup>	1.5	Zr <sup>4+</sup>	5.1
Sr <sup>2+</sup>	1.8	Be <sup>2+</sup>	5.7
Pb <sup>2+</sup>	1.9	Al <sup>3+</sup>	5.9
Ca <sup>2+</sup>	2.0	Ti <sup>4+</sup>	5.9
Cd <sup>2+</sup>	2.06	Mn <sup>4+</sup>	6.7
Cu <sup>2+</sup>	2.1	Nb <sup>5+</sup>	7.5
Mn <sup>2+</sup>	2.5	Si <sup>4+</sup>	9.5
La <sup>3+</sup>	2.6	Mo <sup>6+</sup>	9.7
Zn <sup>2+</sup>	2.7	B <sup>3+</sup>	13
Fe <sup>2+</sup>	2.7	P <sup>5+</sup>	14
Co <sup>2+</sup>	2.8	S <sup>6+</sup>	20
Mg <sup>2+</sup>	3.0	C <sup>4+</sup>	25

همبستگی عناصر با یکدیگر و با مواد ارگانیکی و pH، در نمونه های ذغالسنگ و انواع باطله های ذغال و سینه کار (نمونه های شماره ۱ تا ۱۳) در جدول شماره ۵-۲ آورده شده است. همبستگی های مثبت و منفی بالا که روابط مستقیم و یا عکس پارامترها را با یکدیگر بهتر نشان می دهند از اهمیت ویژه ای برخوردارند. به طور کلی هر چه شباهت ژئوشیمیایی بین عناصر بیشتر باشد، همبستگی بین آنها مثبت تر (به ۱ نزدیکتر) خواهد بود.

جدول شماره ۵-۲: همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH و مواد آلی (OM)، در نمونه ذغال و باطله های معدنی منطقه (نمونه شماره ۱ تا ۱۳)

	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Cd	Sb	Hg	Sr	Se	Ba	S	Na	K	Ca	Mg	pH	OM
Cu	1																	
Pb	0.439	1																
Zn	-0.251	-0.425	1															
Fe	-0.381	-0.432	0.621	1														
As	-0.335	-0.239	0.519	0.798	1													
Cd	0.183	-0.272	0.724	-0.400	-0.556	1												
Sb	0.437	0.942	-0.324	-0.383	-0.145	-0.312	1											
Hg	-0.016	0.503	-0.615	-0.28	-0.044	0.768	0.596	1										
Sr	-0.170	0.227	-0.673	-0.654	-0.524	0.705	0.012	0.193	1									
Se	0.094	0.544	-0.572	-0.737	-0.811	0.071	0.443	0.406	0.612	1								
Ba	0.461	0.681	-0.234	-0.612	-0.448	0.288	0.610	0.041	0.170	0.561	1							
S	-0.338	-0.182	-0.295	0.645	0.681	-0.628	-0.234	0.263	-0.638	-0.213	-0.328	1						
Na	-0.001	0.046	-0.622	-0.393	-0.348	-0.643	0.144	0.779	0.234	0.664	-0.511	0.247	1					
K	0.223	-0.264	0.432	0.597	0.436	0.035	-0.240	-0.255	-0.656	-0.670	-0.111	0.100	-0.223	1				
Ca	-0.268	-0.258	0.421	0.348	0.192	0.259	-0.407	-0.653	0.017	-0.099	0.073	0.132	-0.68	0.2	1			
Mg	-0.067	-0.382	0.754	0.508	0.340	0.427	-0.153	-0.331	-0.800	-0.451	-0.332	-0.609	-0.227	0.434	0.073	1		
pH	0.126	0.145	-0.205	-0.659	-0.558	0.402	0.264	0.271	0.209	0.564	0.367	-0.631	0.422	-0.293	-0.334	0.054	1	
OM	-0.223	0.103	-0.377	0.366	-0.359	0.237	-0.179	-0.147	-0.092	-0.176	-0.309	0.864	0.051	0.217	0.251	-0.243	-0.130	1

بر اساس جدول ۵-۲، همبستگی های مثبت بالایی بین روی با آهن، آرسنیک، کادمیوم و منیزیم ( $r = 0.754, 0.724, 0.519, 0.621$  به ترتیب) وجود دارد. Zn همچنین همبستگی های منفی قابل توجهی را نیز با جیوه، استرانسیوم، سلنیوم و سدیم ( $r = -0.622, -0.572, -0.673, -0.615$  به ترتیب) نشان می دهد.

سرب همبستگی مثبت بالایی را با آنتیموان، جیوه و باریم ( $r = 0.681, 0.503, 0.942$  به ترتیب) نشان می دهد. همچنین سرب همبستگی مثبتی را با استرانسیوم ( $0.227$ ) برقرار نموده است. پتانسیل یونی عموماً برای فلزات تعریف شده (یون های با بار مثبت) و در بررسی نافلزاتی مانند As Se و Sb کاربرد چندانی ندارد. همبستگی مثبت فلزات با نافلزات و نافلزات با نافلزات را می توان به تمایل آنها نسبت به تشکیل ترکیبات یونی ( $ZnS, PbS$  و ...) و یا ترکیبات کووالانسی ( $Sb_2 S_3$  و  $SeS_2$ ) مرتبط دانست (Atkin, 1993). بدین ترتیب همبستگی های مثبت بالای آرسنیک با روی، آهن و گوگرد ( $r = 0.681, 0.788, 0.519$  به ترتیب) معنی دار می گردد.

به دلیل فراوانی مواد آلی در ترکیب ذغالسنگ و باطله های همراه با آن، همبستگی عناصر با مواد آلی از اهمیت بسیاری برخوردار است. مواد آلی موجود در ترکیب تورب (ذغال نارس) نقش بسیار مؤثری در بدام انداختن و تجمع بسیاری از عناصر سنگین را به عهده دارند. گوگرد با همبستگی  $0.864$  بیشترین همبستگی را با مواد آلی نشان می دهد. همبستگی های مثبت نیز بین مواد آلی با Ca, Fe, K و Pb ( $r = 0.103, 0.217, 0.251, 0.366$  به ترتیب) وجود دارد. در تحقیقی که بر روی ذغالسنگ های خوزه دلچوف بلغارستان صورت گرفت، عناصر As, Br, Co, Fe و Na همبستگی های مثبت قابل توجهی را با مواد آلی نشان دادند (Eskenazy & Stefanova, 2007).

همبستگی منفی pH با عناصر دارای پتانسیل یونی کم در ذغال و باطله ها مانند کلسیم و پتاسیم ( $r = -0.293, -0.334$  به ترتیب) و همبستگی مثبت آن با عناصر سنگین مانند سلنیوم، کادمیوم، آنتیموان و جیوه ( $r = 0.277, 0.264, 0.402, 0.564$  به ترتیب) نقش pH در شستشو و یا غنی شدگی این عناصر را به خوبی نشان می دهد.

گوگرد، آهن و آرسنیک همبستگی های مثبت قابل توجهی را با یکدیگر برقرار نموده اند. گوگرد همبستگی مثبت بالایی با آهن (۰/۶۴۵) و آرسنیک (۰/۶۸۱) نشان داده و هر سه عنصر همبستگی های منفی قابل توجهی را با pH نشان می دهند. همبستگی گوگرد، آهن و آرسنیک با pH به ترتیب برابر ۰/۶۳۱-، ۰/۶۵۹- و ۰/۵۵۸- می باشد. در صورتی که همبستگی بالای Fe و S به کانی پیریت ارتباط داشته باشد، همبستگی بالای As با S و Fe را نیز می توان به همراه بودن آرسنیک با محتوای پیریتی نمونه ها مربوط دانست. Se, Co و Hg نیز رابطه مستقیمی با محتوای پیریتی ذغالسنگ ها نشان می دهند (Song et al., 2007). تحقیقات بسیاری از محققین، ارتباط آرسنیک با محتوای پیریت نمونه های ذغال را تأیید نموده است (Dai et al., 2006).

#### ۵-۲-۱-۲- غنی شدگی در ذغالسنگ و باطله های ذغال و سینه کار

غنی شدگی فاکتور دیگری است که در کنار همبستگی، در تفسیر های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد و مفاهیم موجود در همبستگی ها و تغییرات عناصر را معنادار تر می نماید. غلظت و فاکتور غنی شدگی هر یک از عناصر مورد بررسی، برای نمونه های ذغال و باطله های ذغال و سینه کار (نمونه های شماره ۱ تا ۱۳) در جدول شماره ۵-۳ آورده شده است.

همان طور که در جدول شماره ۵-۳ مشاهده می گردد، تقریباً تمامی نمونه های ذغال و باطله ها نسبت به عناصری همچون S, Se, Hg, As و Pb فاکتور غنی شدگی شدید را نشان می دهند. افق ۶۰-۲۰ cm روی دامنه باطله های ۲۵ ساله سینه کار (نمونه شماره ۱۱) بیشترین فاکتور غنی شدگی را در مورد گوگرد (۱۴۴) و آرسنیک (۵۸) نشان می دهد. سلنیوم، سرب و جیوه نیز بیشترین غنی شدگی را (به ترتیب: ۴۶۸/۳۸، ۷۷/۰۱ و ۶۱/۵۹) در ذغالسنگ منطقه یافته اند.

## فصل پنجم: ارزیابی غلظت عناصر در منابع آلاینده

جدول ۳-۵: غلظت و فاکتور غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های ذغال و باطله‌ها (نمونه ۱: ذغالسنگ، نمونه ۲: باطله جدید ذغال، نمونه ۳: باطله ۳ ساله ذغال، نمونه ۴: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۵: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۶: باطله ذغال - روی دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۷: باطله ذغال - پای دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۸: باطله جدید سینه کار، نمونه ۹: باطله ۳ ساله سینه کار، نمونه ۱۰: باطله سینه کار - روی دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۱۱: باطله سینه کار - روی دامنه قدیمی ترین باطله‌های ذغال منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۱۲: باطله سینه کار، نمونه ۱۳: باطله سینه کار، نمونه ۱۴: باطله سینه کار، نمونه ۱۵: باطله سینه کار، نمونه ۱۶: باطله سینه کار، نمونه ۱۷: باطله سینه کار، نمونه ۱۸: باطله سینه کار، نمونه ۱۹: میانگین ترکیب سازنده‌های سازنده‌های دالچای و لار). کار منطقه - اقیانوس ۲-۳-۴، نمونه ۲۰: میانگین ترکیب واریزه‌های سازنده‌های شمشک، نمونه ۲۱: میانگین ترکیب سازنده‌های سازنده‌های دالچای و لار).

Element	شماره سینه‌ها																												
	C <sup>۱</sup> (ppm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	28	29	158	158	156	134	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208
Cu	C	42.3	55.7	55.4	44.6	47.6	44	48.8	37.1	40.6	50.2	38.3	46.7	44.2	46.9	15.8	15.8	15.6	13.4	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	22.55	9.34	11.81	9.94	7.48	8.11	7.36	5.71	5.72	7.43	6.72	6.45	6.94	4.70	1.56	1.56	1.56	1.34	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Pb	C	34.5	24.5	56.9	25.8	23.3	24.6	26.6	22.8	23.9	22.7	25.7	27.6	24.4	44.1	13.4	13.4	13.4	13.4	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	77.01	17.21	50.80	24.08	15.32	18.96	16.78	14.69	14.09	14.02	18.93	15.97	16.03	18.50	5.55	5.55	5.55	5.55	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Zn	C	29	44	58	96.1	81.7	82.7	92.3	90	73	79.5	69.5	89.7	91.3	96	40	40	40	40	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	12.04	5.75	9.63	16.68	10.00	11.87	10.84	10.79	8.01	9.15	9.51	9.66	11.18	7.49	3.08	3.08	3.08	3.08	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Fe	C	2100	13000	13500	19000	24100	22500	23600	24300	25800	26400	41900	32700	25100	32600	19200	19200	19200	19200	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	1.23	2.39	3.16	4.65	4.16	4.55	3.91	4.11	3.99	4.29	8.08	4.96	4.33	3.59	2.08	2.08	2.08	2.08	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
As	C	1.1	1.4	5.8	4.9	5.4	5.4	6.1	7.3	8.9	11.4	10.9	6	8.5	10.5	8.6	8.6	8.6	8.6	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	17.86	7.15	37.66	33.24	25.84	30.30	28.01	34.21	38.16	51.31	58.29	25.25	40.67	32.03	25.89	25.89	25.89	25.89	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Cd	C	-	-	0.1	0.24	0.18	0.19	0.21	0.1	-	0.12	0.04	0.18	0.24	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	-	-	5.95	14.83	7.89	9.77	8.84	4.30	-	4.95	1.96	6.94	10.53	2.80	8.28	8.28	8.28	8.28	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Sb	C	0.3	0.2	2	0.15	0.16	0.15	0.11	0.3	0.3	0.03	0.05	0.07	0.08	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	44.64	9.36	119.05	9.33	7.02	7.72	4.63	12.89	11.79	1.24	2.45	2.70	3.51	8.39	5.52	5.52	5.52	5.52	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Hg	C	0.17	0.18	0.23	0.087	0.077	0.074	0.2	0.17	0.11	0.17	0.177	0.062	0.098	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	61.95	20.64	33.53	13.25	8.27	9.07	7.63	21.04	16.37	11.11	21.25	5.86	10.53	4.11	1.35	1.35	1.35	1.35	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Sr	C	235	23	26	25.2	22.3	22.9	27.2	21	25	20.7	19.3	22.7	28.7	33	170.7	170.7	170.7	170.7	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	18.25	0.56	0.81	0.82	0.51	0.61	0.60	0.47	0.51	0.45	0.49	0.46	0.66	0.48	2.55	2.55	2.55	2.55	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Se	C	0.8	-	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	-	-	0.4	0.5	0.5	0.4	-	-	-	-	-	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	468.38	-	163.93	171.27	103.54	101.19	99.35	-	-	64.92	96.43	75.90	69.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Ba	C	92	86	132	95.6	75.3	93	106.9	50	50	71.9	54.7	54	81.4	104	112	112	112	112	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	6.32	1.86	3.63	2.74	1.52	2.21	2.08	0.99	0.91	1.37	1.24	0.96	1.65	1.34	1.43	1.43	1.43	1.43	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
S	C	-	-	1400	3100	1900	1300	1000	2000	1700	4400	7600	1100	1400	-	-	-	-	-	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	-	-	32.26	74.63	32.26	25.89	16.29	33.26	25.87	70.27	144.21	16.43	23.77	-	-	-	-	-	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Na	C	540	830	380	310	210	120	190	660	510	260	400	140	160	140	120	120	120	120	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	0.55	0.27	0.16	0.13	0.06	0.04	0.05	0.19	0.14	0.07	0.13	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
K	C	700	1700	1300	1200	1100	1400	2000	1300	1400	1600	1700	1700	2000	1900	1900	1900	1900	1900	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	0.78	0.60	0.58	0.56	0.36	0.54	0.63	0.42	0.41	0.50	0.63	0.49	0.56	0.42	0.39	0.39	0.39	0.39	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Ca	C	2400	700	1300	2600	2700	3400	4200	1600	1700	2400	3100	2500	1900	7000	2E+05	2E+05	2E+05	2E+05	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	1.90	0.17	0.41	0.86	0.63	0.93	0.94	0.37	0.36	0.53	0.81	0.51	0.44	1.04	29.32	29.32	29.32	29.32	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
Mg	C*	900	4300	4000	5000	5600	5200	5600	6000	6400	4300	3600	5700	4400	5800	7500	7500	7500	7500	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86
	Ef	1.24	1.86	2.20	2.87	2.27	2.47	2.18	2.38	2.32	1.64	1.63	2.03	1.78	1.50	1.91	1.91	1.91	1.91	555	96	40	308	749	308	19200	19200	208	86

غنی شدگی های قابل توجهی نیز در مورد Zn, Sb و Cu و به مقدار کمتر در مورد Fe و Ba نیز در بسیاری از نمونه های ذغال و باطله مشاهده می گردد. به طور کلی می توان گفت که نمونه ذغالسنگ و باطله های قدیمی سینه کار و ذغال بیشترین غلظت و تمرکز عناصر را در خود جای داده اند. هوازگی و شستشوی باطله ها در سطح زمین به غنی شدگی باطله های ذغال و سینه کار قدیمی (۲۵ساله) کمک بسیار زیادی نموده اند.

دقت و بررسی در شرایط تشکیل ذغالسنگ ها و ترکیب کانی شناسی آنها (بویژه در منطقه طزره)، بسیاری از عوامل تمرکز عناصر در لایه های ذغالی و سنگ های دربرگیرنده آنها (باطله ها) را مشخص می نماید. فعالیت های تکتونیکی شدید و طولانی مدتی که در رسوبات ذغالدار غیر دریایی (رودخانه ای، دلتایی، مردابی - دریاچه ای) منطقه پشکلات (تونل مادر) رخ داده، باعث جابجایی سیالات و شستشوی عناصر فعال و غنی سازی عناصر غیر محلول در آن شده است (کنگی ۱۳۸۶ - Fursich et al., 2005). غالب بودن کانی های رسی همچون کائولینیت و ایلیت در ترکیب ذغالسنگ (بخش ۳-۳-۱) و توالی های همراه با آن (البته در باطله ها، کانی های رسی بعد از کوارتز، درجه دوم فراوانی را به خود اختصاص داده اند)، از دیگر عواملی است که باعث غنی شدگی اولیه و ثانویه عناصر (بویژه فلزات سنگین) در آن شده اند. به خاطر بالا بودن pH در محیط های رسوبی احیایی (یزدی، ۱۳۸۲) عناصری مانند Na, K و Ca که از فعالیت بالایی برخوردارند همزمان با انجام فرآیند های تراکم و دیاژنز، در حین خروج آب بین لایه های رسوبی، به صورت محلول از محیط خارج می شوند. این خروج با تهی شدگی قابل توجه و فراوانی بسیار کم این عناصر که در ذغالسنگ و باطله های همراه با آن (جدول شماره ۳-۵) وجود دارد، به خوبی مشاهده می گردد. فاکتور غنی شدگی برای عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ذغالسنگ (نمونه شماره ۱) منطقه به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۷۸، ۰/۹۰ و ۱/۲۴ می باشد. این در حالی است که باطله های جدید ذغال (نمونه شماره ۲) فاکتور غنی شدگی به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۶، ۰/۱۷ و ۱/۸۶ و باطله های جدید سینه کار (نمونه شماره ۸) به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۴۲، ۰/۳۷ و ۲/۳۸ را در مورد عناصر فوق نشان می دهند.

ورود و خروج مواد، بعد از اتمام دیاژنز و کوهزایی نیز، از طریق فعالیت های تکتونیکی، هوازدگی و شستشویی که از طریق درزه ها و شکستگی ها صورت می گیرد، همچنان ادامه می یابد. مشاهدات صحرایی منطقه و وجود درزه ها و شکستگی های فراوانی که با کلسیت و ژیپس پر شده اند و همچنین تهی شدگی بیشتر باطله های قدیمی نسبت به باطله های جدید، از این عناصر، گویای این ادعا می باشد (جدول ۵-۳).

در مقابل عناصری از قبیل Hg, Se, Pb و Sb که تنها در pH های اسیدی محلول می باشند ( Kabata & Pendins, 2000)، توانایی حرکت خود را در محیط های احيایی از دست داده و در رسوب باقی مانده و فاکتور غنی شدگی به ترتیب ۶۱/۹۵، ۴۶۸/۳۸، ۷۷/۰۱ و ۴۴/۶۴ را در ذغالسنگ و فاکتورهای غنی شدگی ۲۰/۶، کمتر از حد آشکارسازی دستگاه، ۱۷/۲۱ و ۹/۳۶ را در باطله های جدید ذغال و فاکتورهای غنی شدگی ۲۱، کمتر از حد اندازه گیری دستگاه، ۱۴/۶۹ و ۱۲/۸۹ را در باطله های جدید سینه کار نشان می دهند (جدول ۵-۳). غنی شدگی های بالایی که بسیاری از عناصر در ذغالسنگ و باطله های آن نشان می دهند را می توان به رسوب کردن گوگرد به صورت  $H_2S$  در محیط های احيایی که پتانسیل اکسیداسیونی پایینی دارند مربوط دانست. عناصری مانند Se, As, Ca, Zn, Hg, Sb و Cd که ویژگی کالکوفیلی از خود نشان می دهند، همزمان با رسوب کردن گوگرد به صورت  $H_2S$ ، رسوب کرده و در رسوبات غنی می شوند (مُر و شرفی، ۱۳۸۳).

بجز غنی سازی هایی که در محیط رسوبی اولیه و در حین دیاژنز برای بعضی از عناصر اتفاق می افتد، هوازدگی، فرسایش و در مجموع تغییرات فیزیکوشیمیایی که در محیط جدید (سطح زمین) بر روی آن رخ می دهد نیز غنی شدگی و یا تهی شدگی برخی از عناصر را باعث می گردد. آرسنیک که در باطله های جدید ذغال (نمونه شماره ۲) دارای فاکتور غنی شدگی ۷/۱۵ ( غنی شدگی اندک) و در باطله های جدید سینه کار (نمونه شماره ۸) فاکتور غنی شدگی ۳۴/۲۱ (غنی شدگی خیلی شدید) را به خود اختصاص داده است، بعد از گذشت ۲۵ سال، در افق ۰-۲۰ روی دامنه باطله های ۲۵ ساله ذغال (نمونه شماره ۴) و سینه کار (نمونه شماره ۱۰) به ترتیب فاکتور غنی شدگی ۳۳/۲۴ (غنی

شدگی خیلی شدید) و ۵۱/۳۱ (غنی شدگی بی نهایت) را بدست آورده است یا به عبارتی دیگر گذشت زمان ۲۵ سال باعث به ترتیب ۴/۶۴ و ۱/۵ برابر شدن میزان غنی شدگی آرسنیک در باطله های ذغال و سینه کار شده است.

مقدار گوگرد در باطله های جدید ذغال کمتر از حد اندازه گیری دستگاه بوده و فاکتور غنی شدگی آن در باطله های جدید سینه کار ۳۳/۲۶ می باشد. این در حالی است که فاکتور غنی شدگی این عنصر در افق ۲۰-۰ cm روی دامنه باطله های ۲۵ ساله ذغال (نمونه شماره ۴) و سینه کار (نمونه شماره ۱۰) به ترتیب ۷۴/۶۳ و ۷۰/۲۷ (غنی شدگی بی نهایت) شده است.

باید توجه نمود که افزایش گوگرد در روی دامنه باطله های ۲۵ ساله سینه کار در افق ۲۰-۰ cm (نمونه شماره ۱۰)، در اثر اکسیداسیون و تجمع کانی های سولفیدی بوده است. تجمع بیشتر گوگرد در افق ۲۰-۰ cm روی دامنه ها (نمونه شماره ۱۱) نسبت به افق ۲۰-۰ cm (نمونه شماره ۱۰) را می توان در اثر نفوذ حالت سولفات (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) این یون به افق زیرین خود دانست.

به دلیل شیب توپوگرافیک زیاد (در حدود ۴۵ درجه) و نفوذپذیری اندک باطله ها (ذغال و سینه کار)، آب به مقدار اندکی به داخل زمین نفوذ کرده و شرایط اکسیداسیونی کانی های سولفیدی را فراهم نموده است. نفوذپذیری کمتر افق ۲۰-۰ cm، نسبت به افق ۲۰-۰ cm باعث شده تا با وجود پایین تر بودن pH این افق (۵/۵۱) نسبت به افق ۲۰-۰ cm (pH=۵/۷۳)، تجمع و غنی شدگی های بیشتری از عناصر را در آن شاهد باشیم. غلظت بالای گوگرد، جیوه، روی، آرسنیک و سلنیوم در روی دامنه های باطله های ذغال و سینه کار این مطلب را روشن می سازد (جدول ۳-۵). در صورتی که باطله ها تحت تأثیر شستشوی شدیدی واقع شوند، به طوری که عناصر متمرکز شده در آنها، در آب حل شده و به اراضی و آب های پایین دست حمل شوند، آلودگی های شدید زیست محیطی، نسبت به این عناصر را به دنبال خواهد داشت، این انحلال در باطله های سینه کاری با قدمت ۲۵ ساله در سطح و عمق (نمونه شماره ۱۰ و ۱۱) با pH اسیدی (۵/۷۳ و ۵/۵۱)، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.



جهت بررسی نقش سازندهای مجاور محدوده مورد مطالعه (سازند شمشک، دلیچای و لار) در آزادسازی و پراکندگی عناصر نسبت به فعالیت های معدنی (ذغالسنگ و باطله ها)، نمونه میانگینی از ترکیب سازند شمشک (نمونه شماره ۲۸) و نمونه ای از میانگین واریزه ها و مخروط افکنه های سازندهای دلیچای و لار (نمونه شماره ۲۹) برداشت گردید. غلظت عناصر در این دو نمونه نیز (نمونه های شماره ۲۸ و ۲۹) در جدول شماره ۵-۳ آورده شده است.

همان طور که در جدول ۵-۳ مشاهده می گردد، عناصر Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Hg و K با فاکتور غنی شدگی به ترتیب: ۴/۷۰، ۱۸/۵۰، ۷/۴۹، ۳/۵۹، ۳۲/۰۳، ۸/۳۹، ۴/۱۱ و ۰/۴۲ در واریزه های سازند شمشک (نمونه شماره ۲۸)، مقادیری بیشتر از غنی شدگی این عناصر در نمونه شماره ۲۹ (میانگین واریزه های سازند های دلیچای و لار) را نشان می دهند. عناصر Ca, Na, Ba, Sr, Cd و Mg نیز که عموماً در سنگ های کربناته فراوانی بیشتری نشان می دهند، با غنی شدگی های ۸/۲۸، ۲/۵۵، ۱/۴۳، ۰/۰۲، ۲۹/۳ و ۱/۹۱، مقادیری بیشتر از غنی شدگی این عناصر در سازند شمشک را نشان می دهند. دلیل این امر را می توان به حضور بیشتر و غالب ترکیبات کربناته در سازند دلیچای و لار نسبت به سازند شمشک مربوط دانست. این در حالی است که غنی شدگی تمامی عناصر در سازند شمشک، مقادیر کمتری را نسبت به غنی شدگی این عناصر در ذغالسنگ و باطله های ذغال و سینه کار نشان می دهند. در واریزه های سازند دلیچای و لار نیز فقط غنی شدگی های کادمیوم و کلسیم (به ترتیب: ۲۹/۳۲ و ۸/۲۸) مقادیر بیشتری را نسبت به ذغالسنگ و باطله ها (ذغال و سینه کار) نشان دادند.

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که با توجه به وجود حداکثر تمرکز عناصر در ذغال و باطله ها (باطله های ذغال و سینه کار) این بخش ها را می توان به عنوان منابع اصلی آلاینده آب و خاک منطقه در نظر گرفت.

## ۵-۲-۲- زهاب خروجی تونل

زهاب های خروجی از تونل های استخراجی به دلیل شستشوی توالی های ذغالی و همچنین انحلال عناصر (زیر سطح ایستابی) موجود در واحدهای رسوبی، عمدتاً حاوی غلظت بالایی از عناصر و یون ها بوده و در صورتی که این غلظت ها بالاتر از حد مجاز تخلیه پساب ها به محیط باشند، جزء منابع آلاینده طبیعت محسوب می شوند. غلظت عناصر محلول در آب خروجی تونل مادر، در لحظه ورود آن به طبیعت (نمونه شماره ۱۴) و همچنین در محل نفوذ کامل آن به داخل زمین (نمونه شماره ۱۵) به همراه استاندارد حد مجاز تخلیه به آب های سطحی (سازمان محیط زیست ایران، ۱۳۷۳) در جدول شماره ۴-۵ آورده شده است. اکسیداسیون کانی های سولفیدی که در توالی های ذغالی به مقدار قابل توجهی یافت می شوند، معمولاً با تولید یون  $H^+$  و  $SO_4^{2-}$ ، pH آب را پایین آورده و توانایی آب برای حل نمودن عناصر سنگین را افزایش می دهند (Nordstorn & Alpers, 1999- Arture et al., 1999).

جدول ۴-۵: غلظت عناصر محلول در زهاب خروجی تونل در محل خروج از تونل و محل ناپدید شدن در زمین (نمونه های شماره

۱۴ و ۱۵)

Parameter	Concentration (ppb)		Standard <sup>1</sup>
	شماره نمونه		
	۱۴	۱۵	
<b>Cu</b>	<b>3.1</b>	<b>1.3</b>	<b>1000</b>
<b>Pb</b>	-	-	<b>1000</b>
<b>Zn</b>	-	<b>23.6</b>	<b>2000</b>
<b>Fe</b>	-	-	<b>3000</b>
<b>As</b>	-	<b>0.9</b>	<b>100</b>
<b>Cd</b>	-	-	<b>100</b>
<b>Sb</b>	-	<b>0.08</b>	-
<b>Hg</b>	-	-	<b>10</b>
<b>Sr</b>	<b>2506</b>	<b>1040</b>	-
<b>Se</b>	-	<b>1</b>	<b>1000</b>
<b>Ba</b>	<b>9.2</b>	<b>34.1</b>	<b>5000</b>
<b>S</b>	<b>568000</b>	<b>258000</b>	<b>400000</b>
<b>Na</b>	<b>265342</b>	<b>78599</b>	<b>200000</b>
<b>K</b>	<b>13993</b>	<b>2389</b>	<b>12000</b>
<b>Ca</b>	<b>185802</b>	<b>73409</b>	<b>75000</b>
<b>Mg</b>	<b>231049</b>	<b>29203</b>	<b>100000</b>
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>1600000</b>	-	<b>400000</b>

۱- استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۷۳.

همانطور که در فصل ۲ ذکر گردید، فراوانی کانی های کربناته (کلسیت و دولومیت) و عناصر قلیایی (Ca, Mg, Na و K) در محیط مانع تشکیل AMD و یا باعث خنثی شدن pH های اسیدی شده و زهاب های قلیایی طبیعی (NAMD) را به جای زهاب های اسیدی (AMD) تشکیل می دهند. از آنجایی که افزایش pH کاهش شدید حلالیت بسیاری از عناصر، بویژه فلزات سنگین و خنثی سازی AMD را ایجاد نموده ولی در غلظت  $SO_4^{-2}$  تأثیری ندارد، فراوانی این یون در pH های قلیایی، نشان دهنده خنثی سازی AMD اولیه در محیط می باشد (Arthur et al., 1999).

با افزایش انحلال مواد قلیایی در آب زیرزمینی محدوده تونل مادر، pH نیز (جدول شماره ۵-۵) در زهاب خروجی تونل (نمونه شماره ۱۴) افزایش یافته (۷/۶) و عامل تشدید کننده در کاهش حلالیت عناصر سنگین در آب شده است (جدول ۵-۴). بسیاری از عناصری که در pH های اسیدی به صورت محلول وجود دارند، در pH های خنثی و قلیایی به صورت ترکیباتی همانند سروزیت (Pb)، اسمیت زونیت (Zn)، مالاکیت و آزوریت (Cu) و ژیپس (Ca و S) و ... رسوب کرده و از محیط خارج می شوند، در نتیجه زهاب های قلیایی (NAMD) به طور کلی دارای مقادیر بسیار کمتری از فلزات سنگین می باشند (Plumlee et al., 1998).

جدول شماره ۵-۵: pH و EC نمونه های شماره ۱۴ تا ۱۷

(نمونه ۱۴: زهاب خروجی تونل در محل خروج به سطح زمین، نمونه ۱۵: زهاب خروجی تونل در محل ناپدید شدن در سطح زمین، نمونه ۱۶:

فاضلاب انسانی در محل خروج به سطح زمین، نمونه ۱۷: فاضلاب انسانی در محل ناپدید شدن در سطح زمین)

شماره نمونه	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
14	7.6	3080
15	7.82	2100
16	7.49	2540
17	7.43	1294

پایین بودن غلظت عناصر سنگین در زهاب خروجی تونل، نشانه کاهش انحلال این عناصر در pH قلیایی (۷/۶) و بالابودن غلظت آنیون ها و کاتیون های رایج (Ca, Mg, K و Na) از حد استاندارد،

شاهد تأثیرپذیری کمتر این یونها نسبت به تغییرات pH می باشد؛ به طوری که غلظت  $SO_4^{-2}$  و عناصر Na, K, Ca و Mg (جدول شماره ۵-۴) و میزان EC (جدول شماره ۵-۵)، در زهاب های خروجی (نمونه شماره ۱۴) به ترتیب ۴، ۱/۳۳، ۱/۱۷، ۲/۴۸، ۲/۳ و ۱/۲۳ برابر حد استاندارد خروجی تخلیه فاضلاب به آب های سطحی شده است. فراوانی  $SO_4^{-2}$  (۱۶۰۰ ppm) در زهاب خروجی تونل، نشان دهنده تشکیل اولیه AMD و خنثی سازی آن توسط مواد قلیایی (کانی های کربناته و عناصر قلیایی) می باشد.

به دلیل تغییرات شدید ژئوشیمیایی و ورود زهاب خروجی از محیط احیایی (شرایط اکسیدان ضعیف) به اکسیدان (قوی) که در لحظه خروج آب از تونل به محیط طبیعی صورت می گیرد، برخی از عناصر مانند آهن، سرب و ... حلالیت خود را به مقدار زیادی از دست داده و وارد فاز جامد شده و در رسوب کف این آب تجمع می یابد. تأثیرپذیری افزایش pH با جذب عناصر توسط فاز جامد (رسوب نمودن) به صورت  $Ni < Cd < Zn < Cu < Pb$  معرفی شده است (Plumlee et al., 1998).

عناصری که به صورت یونی (Ca, Mg, Sr و ...) و یا کمپلکسی ( $SO_4^{-2}$ ) در آب حضور داشته و با وجود تغییرات ژئوشیمیایی، همچنان در آب به صورت محلول (به مقداری کمتر از غلظت آنها در لحظه خروج از تونل) باقی مانده اند، به سمت پایین دست حرکت نموده و همزمان با نفوذ کامل زهاب خروجی تونل به داخل زمین، از آن جدا شده و رسوب می کنند. کاهش قابل توجهی که در غلظت عناصر در نمونه شماره ۱۵، نسبت به نمونه شماره ۱۴ (جدول شماره ۵-۴) مشاهده می گردد، گویای این تغییرات می باشد. افزایش ۰/۲ واحدی pH (۷/۸) در نمونه شماره ۱۵ (انتهای زهاب خروجی تونل) نسبت به pH (۷/۶) لحظه خروج آب تونل به سطح زمین (نمونه شماره ۱۴) نیز در این رسوبگذاری مؤثر می باشد.

### ۵-۲-۳- خروجی فاضلاب

غلظت عناصر موجود در آب خروجی فاضلاب انسانی بخش تونل مادر، بعد از ته نشینی املاح و مواد جامد آن در تانک های فاضلاب و ورود به سطح زمین (نمونه شماره ۱۶) به همراه کیفیت این آب در

محل نفوذ کامل آن به داخل زمین (نمونه شماره ۱۷) در جدول شماره ۵-۶ آورده شده است. جهت پی بردن به طبیعی و یا انسانی بودن منشأ عناصر موجود در آب خروجی فاضلاب انسانی، نمونه آب بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) که جهت استحمام کارگران مورد استفاده قرار گرفته و بازمانده آن وارد محیط می گردد (نمونه شماره ۱۶) نیز در این جدول آورده شده است.

جدول ۵-۶ غلظت عناصر محلول در فاضلاب انسانی در محل خروج و ناپدید شدن در سطح زمین (نمونه شماره ۱۶ و ۱۷ به ترتیب) و آب قبل از استفاده فاضلاب (نمونه شماره ۱۸)

Element	Concentration (ppb)			Standard
	شماره نمونه			
	۱۶	۱۷	18	
<b>Cu</b>	<b>5.1</b>	<b>1.4</b>	<b>1</b>	<b>1000</b>
<b>Pb</b>	-	<b>0.3</b>	-	<b>1000</b>
<b>Zn</b>	<b>2.5</b>	<b>4.9</b>	-	<b>2000</b>
<b>Fe</b>	-	<b>74</b>	-	<b>3000</b>
<b>As</b>	<b>5.8</b>	<b>2</b>	<b>0.7</b>	<b>100</b>
<b>Cd</b>	-	-	-	<b>100</b>
<b>Sb</b>	<b>3.48</b>	<b>1.23</b>	<b>3.4</b>	-
<b>Hg</b>	-	-	-	<b>10</b>
<b>Sr</b>	<b>3527</b>	<b>2131</b>	<b>2018</b>	-
<b>Se</b>	<b>2.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.6</b>	<b>1000</b>
<b>Ba</b>	<b>67.3</b>	<b>38.6</b>	<b>53.6</b>	<b>5000</b>
<b>S</b>	<b>301000</b>	<b>37000</b>	<b>46000</b>	<b>400000</b>
<b>Na</b>	<b>273524</b>	<b>170912</b>	<b>100079</b>	<b>200000</b>
<b>K</b>	<b>10430</b>	<b>10023</b>	<b>3131</b>	<b>12000</b>
<b>Ca</b>	<b>146305</b>	<b>38273</b>	<b>37650</b>	<b>75000</b>
<b>Mg</b>	<b>107000</b>	<b>41822</b>	<b>26848</b>	<b>100000</b>

۱- استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۷۳.

با مقایسه نمونه شماره ۱۸ (آب بالادست معدنکاری جهت استفاده فاضلاب و نمونه شماره ۱۶ (خروجی فاضلاب انسانی) مشاهده می گردد که تقریباً تمامی عناصر افزایش قابل توجهی را در خروجی فاضلاب پیدا کرده اند. آرسنیک با افزایش ۸/۳ برابری و گوگرد با افزایش ۶/۵ برابری، بیشترین تأثیر را در فاضلاب انسانی نشان می دهند. فاضلاب انسانی همچنین افزایش های ۵/۱، ۴، ۳/۹، ۲/۷، ۲/۵، ۱/۷، ۱/۶ و ۱/۳ برابری را به ترتیب در غلظت های عناصر مس، منیزیم، کلسیم، سدیم، روی، سلنیوم، استرانسیوم، و باریم را نسبت به آب ورودی به فاضلاب (بالادست معدنکاری) ایجاد نموده است.

افزایش غلظت عناصر Na، Ca و Mg به حدی بوده است که فراوانی آنها در زهاب خروجی فاضلاب به ترتیب ۱/۳۶، ۱/۹۴ و ۱/۰۷ برابر بیشتر از حد مجاز خروجی فاضلاب ها شده است (جدول شماره ۵-۶).

### ۵-۲-۳-۱- BOD و COD در خروجی فاضلاب

مقدار اکسیژن مصرفی در طول فعالیت میکروبی برای تجزیه مواد آلی به نام اکسیژن مورد نیاز شیمیایی یا BOD (Biochemical Oxygen Demand) و مقدار اکسیژن مورد نیاز جهت اندازه گیری مواد آلی غیرقابل تجزیه یا COD (Chemical Oxygen Demand) از شاخص های آلودگی فاضلاب ها محسوب می شوند (کی نژاد و ابراهیمی، ۱۳۸۲). هرچه مقدار BOD و COD اندازه گیری شده در فاضلابی بیشتر باشد، آن فاضلاب آلوده تر محسوب گشته و اکسیژن بیشتری برای تجزیه مواد آلی (BOD) و شیمیایی آن (COD) مورد نیاز می باشد.

BOD و COD فاضلاب انسانی (نمونه شماره ۱۶) توسط شرکت ذغالسنگ البرز شرقی در سال ۱۳۸۷ اندازه گیری گردید. به دلیل بالا بودن نسبت آب به مواد آلی موجود در آب خروجی فاضلاب انسانی (نمونه شماره ۱۶) BOD اندازه گیری شده (۳۰) نسبتاً پایین بوده و مقدار آن از استاندارد خروجی فاضلاب ها (۳۰) فزونی نیافته است. به دلیل فراوانی مواد شیمیایی موجود در نمونه شماره ۱۶ (خروجی فاضلاب انسانی) مقدار COD (۲۵۰) ۴/۲ برابر حد مجاز تخلیه فاضلاب ها (۶۰) اندازه گیری شده است.

با جریان یافتن فاضلاب انسانی در سطح زمین، از غلظت عناصر محلول در آن کاسته شده و بسیاری از عناصر در محل نفوذ کامل این آب به داخل زمین (نمونه شماره ۱۷) نسبت به لحظه خروج فاضلاب به سطح زمین (نمونه شماره ۱۶) کاهش چشمگیری را نشان می دهند. گوگرد، کلسیم، سدیم و منیزیم با کاهش (به ترتیب برحسب ppm) ۲۴۶۰۰۰، ۱۰۸۰۳۲، ۱۰۲۶۱۲ و ۶۵۱۷۸، بیشترین کاهش را بین دو نمونه شماره ۱۷ و ۱۸ نشان داده اند.

### ۵-۲-۳-۲- همبستگی عناصر در زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی

جهت بررسی مشابهت رفتار عناصر و تعیین ارتباط فراوانی و حلالیت آنها با pH و EC آبهای خروجی تونل (نمونه های ۱۴ و ۱۵) و فاضلاب انسانی منطقه (نمونه های ۱۶ و ۱۷) همبستگی آنها با یکدیگر تعیین و نتایج حاصل در جدول شماره ۵-۷ آورده شده است.

همانطور که در جدول شماره ۵-۷ مشاهده می گردد کاتیون های Na، K و Mg علاوه بر همبستگی های مثبتی که با یکدیگر نشان می دهند، دارای همبستگی مثبتی با pH (۰/۴۴۷ و ۰/۲۶۹ و ۰/۴۲۶)  $r=$  به ترتیب) بوده و عناصر سنگینی از قبیل Pb، Fe و Sb همبستگی های منفی بالایی (۰/۶۰۱- و ۰/۶۰۲- و ۰/۶۰۲-  $r=$  به ترتیب) را با pH نشان می دهند. همبستگی های منفی بالایی نیز در مورد pH با عناصر Sr، Se، Ba و As (۰/۴۹۴- و ۰/۶۹۴- و ۰/۳۱۶- و ۰/۶۲۲-  $r=$  به ترتیب) مشاهده می گردد.

بر اساس این همبستگی ارتباط pH با حلالیت عناصر سنگین و کاتیون های فعال به خوبی مشخص می شود. کاتیون های محلول در آب همبستگی مثبت بسیار بالایی را با EC نیز نشان می دهند. کلسیم بیشترین همبستگی های مثبت (۰/۹۳۶) را با EC نشان داده و منیزیم و سدیم و پتاسیم نیز به ترتیب دارای همبستگی ۰/۹۰۵، ۰/۸۹۴ و ۰/۰۶۶ با EC می باشند.

عناصر سنگین عموماً دارای همبستگی منفی با EC بوده که آهن و سرب به ترتیب ۰/۸۴۷- و ۰/۸۴۷- منفی ترین همبستگی ها را با EC نشان می دهند. عناصر به جز همبستگی با pH و EC با توجه به مشابهت ژئوشیمیایی و میزان حلالیتی که در آب از خود نشان می دهند با یکدیگر نیز همبستگی های مثبت و یا منفی قابل توجهی را نشان می دهد. گوگرد که در زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی، جزء عناصر فعال محسوب می شود، با سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و استرانسیوم به ترتیب همبستگی های ۰/۶۵۳، ۰/۲۲۳، ۰/۹۶۸، ۰/۸۴۹ و ۰/۴۹۴ را نشان می دهد. گوگرد همچنین دارای همبستگی مثبت قابل توجهی با مس (۰/۵۹۱) و آرسنیک (۰/۸۸۰) نیز می باشد.

جدول شماره ۷-۵: همبستگی عناصر با یکدیگر و با PH و EC در آب تونل و فاضلاب اسفلی در محل خروج و محل ناپدید شدن در سطح زمین (نمونه های شماره ۱۴ تا ۱۷)

	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Cd	Sb	Hg	Sr	se	Ba	S	Na	K	Ca	Mg	PH	EC
Cu	1.000																	
Pb	-0.495	1.000																
Zn	-0.593	-0.177	1.000															
Fe	-0.495	0.988	-0.177	1.000														
As	0.720	-0.046	-0.266	-0.046	1.000													
Cd	-	-0.046	-	-	-	1.000												
Sb	0.750	0.013	-0.392	0.013	0.991	-	1.000											
Hg	-0.532	-0.333	0.983	-0.333	-0.333	-	-0.459	1.000										
Sr	0.960	-0.231	-0.732	-0.231	0.780	-	0.835	-0.712	1.000									
Se	0.314	0.178	0.123	0.178	0.880	-	0.832	0	0.393	1.000								
Ba	0.661	0.176	-0.421	0.176	0.967	-	0.987	-0.512	0.788	0.844	1.000							
S	0.591	-0.562	-0.626	-0.562	0.880	-	-0.060	-0.470	0.494	-0.580	-0.144	1.000						
Na	0.658	-0.979	-0.008	-0.979	0.181	-	0.142	0.146	0.422	-0.117	-0.019	0.653	1.000					
K	-0.648	0.174	0.032	0.174	-0.968	-	-0.925	0.091	-0.655	-0.913	-0.880	0.223	-0.270	1.000				
Ca	0.734	-0.706	-0.552	-0.706	0.058	-	0.104	-0.394	0.604	-0.401	-0.007	0.968	0.802	0.002	1.000			
Mg	0.227	-0.734	-0.142	-0.734	-0.485	-	-0.471	0.042	0.030	-0.777	-0.579	0.849	0.714	0.465	0.815	1.000		
PH	-0.380	-0.602	0.821	-0.602	-0.494	-	-0.601	0.912	-0.622	-0.316	-0.694	-0.072	0.426	0.269	-0.017	0.447	1.000	
EC	0.613	-0.847	-0.312	-0.847	-0.068	-	-0.053	-0.136	0.422	-0.466	-0.187	0.916	0.894	0.066	0.963	0.905	0.251	1.000



همبستگی مثبت مس و آرسنیک با گوگرد را می توان به تمایل بیشتر کمپلکس های سولفات در نگهداری این یونها مرتبط دانست ( اوستان، ۱۳۸۳ ).

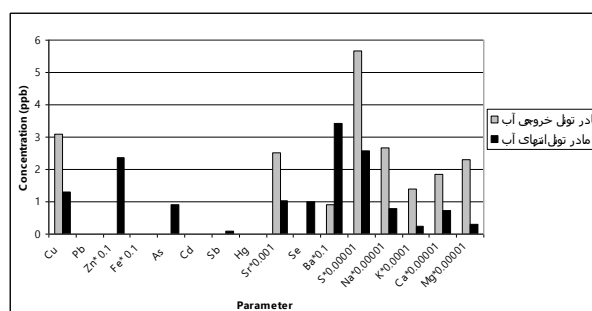
بسیاری از عناصر سنگین که پتانسیل یونی نزدیک به هم دارند، همبستگی مثبتی را با یکدیگر نشان نمی دهند. تفاوت هایی که در میزان حلالیت و شعاع آبپوشی و میزان مواد کلوئیدی موجود در فاز مایع جهت جذب یون ها وجود دارد، ( Barrow, 1985; Kinnburgh & Jackson, 1981 ) باعث شده تا همبستگی های منفی بین بسیاری از عناصر در فاز مایع موجود در منطقه (در زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی ) مشاهده گردد. همبستگی منفی مس با سرب، روی، آهن و جیوه (۰/۵۳۲- و ۰/۴۹۵-، ۰/۵۹۳-، ۰/۴۹۵- به ترتیب) و همچنین همبستگی منفی سرب با روی، آرسنیک، کادمیوم، جیوه، استرانسیوم، کلسیم، منیزیم (۰/۷۳۴- و ۰/۷۰۶-، ۰/۲۳۱-، ۰/۳۳۳-، ۰/۰۴۶-، ۰/۰۴۶- به ترتیب) نمونه هایی از این همبستگی ها می باشند .

$Fe^{+2}$  و  $Pb^{+2}$  به دلیل داشتن پتانسیل های یونی پایین نزدیک به هم (به ترتیب: ۲/۷ و ۱/۹) و شعاع آبپوشی مشابه، شرایط انحلال مشابهی را داشته و همبستگی بالایی (۰/۹۸۸) را نشان می دهند. غلظت های بسیار پایینی که این عناصر در نمونه های شماره ۱۴ تا ۱۷ نشان می دهند، تایید کننده این تشابه ژئوشیمیایی می باشد.

آنتیموان (شبه فلز) همبستگی های مثبت بالایی با نافلزاتی چون آرسنیک (۰/۹۹۱) و سلنیوم (۰/۸۳۲) نشان داده و آرسنیک نیز دارای همبستگی های مثبت بالایی با استرانسیوم، سلنیوم، باریم و گوگرد (۰/۸۸۰ و ۰/۹۶۷، ۰/۸۸۰، ۰/۷۸۰ به ترتیب) می باشد.

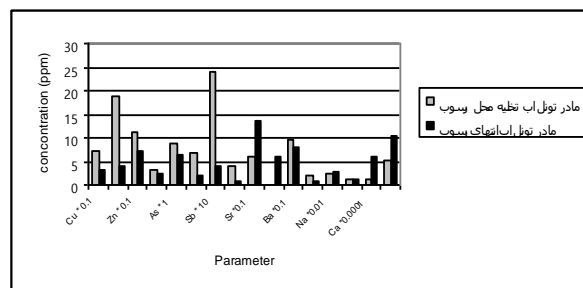
### ۵-۲-۳- تغییرات غلظت عناصر در آب و رسوب زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی

جهت درک بهتر تغییرات عناصر در دو فاز رسوب و آب ابتدا و انتهای زهاب های خروجی تونل (نمونه های شماره ۱۴ و ۱۵) و فاضلاب انسانی (نمونه های شماره ۱۶ و ۱۷) و تحلیل صحیح تر رفتار ژئوشیمیایی عناصر، همزمان با برداشت نمونه های زهاب تونل، نمونه های رسوبی با شماره های ۲۲ و ۲۳ از کف محل تخلیه به سطح زمین و محل نفوذ کامل آن به داخل زمین برداشت گردید. نمونه های شماره ۲۴ و ۲۵ نیز از رسوب کف فاضلاب انسانی، در لحظه تخلیه به سطح زمین و محل ناپدید شدن آن گرفته شده است. شکل شماره ۵-۱۹ و ۵-۲۱ تغییرات عناصر در ابتدا و انتهای زهاب خروجی تونل مادر و فاضلاب انسانی و شکل شماره ۵-۲۰ و ۵-۲۲ تغییرات عناصر در رسوبات این دو محل را نشان می دهد.



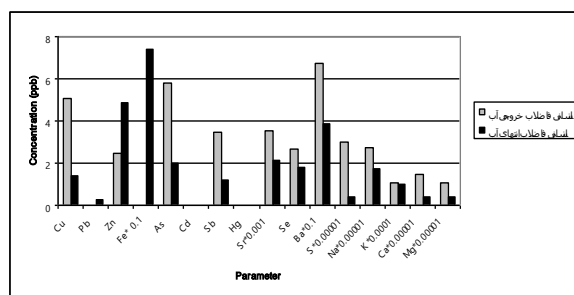
شکل ۵-۱۹: نمودار تغییر غلظت عناصر محل خروج و ناپدید شدن زهاب خروجی تونل مادر معدن طزره (نمونه های

شماره ۱۴ و ۱۵)



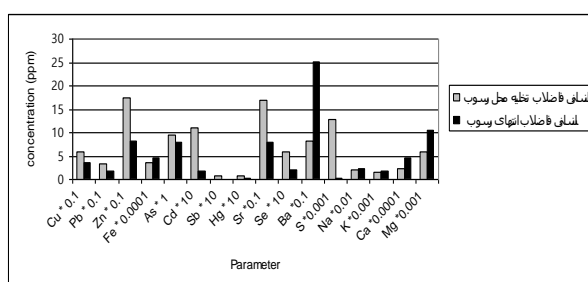
شکل ۵-۲۰: نمودار تغییر غلظت عناصر در رسوب محل خروج و ناپدید شدن زهاب خروجی تونل مادر معدن طزره

(نمونه های شماره ۲۲ و ۲۳)



شکل ۵-۲۱: نمودار تغییر غلظت عناصر در فاضلاب انسانی در محل خروج به سطح زمین و ناپدید شدن در محدوده

تونل مادر معدن طزره (نمونه های شماره ۱۶ و ۱۷)



شکل ۵-۲۲: نمودار تغییر غلظت عناصر در رسوب فاضلاب انسانی، در محل خروج به سطح زمین و ناپدید

شدن در محدوده معدن طزره (نمونه های شماره ۲۴ و ۲۵)

با توجه به شکل شماره ۵-۱۹ مشاهده می گردد به دلیل تغییرات شدید ژئوشیمیایی که بر آب تونل خارج شده از لوله های پمپاژ، در لحظه ورود آن به سطح زمین اعمال می گردد، بسیاری از عناصری که (به ویژه عناصر سنگین) در محیط داخل زمین (پتانسیل اکسیداسیون و احیای کم) به صورت محلول وجود داشته اند، در هنگام ورود به سطح زمین به صورت مستقیم و یا توسط کلوئیدها و کمپلکس های موجود در محلول از مایع جدا شده و رسوب می کنند. کاهش چشمگیری که در میزان فراوانی عناصر در آب خارج شده از تونل مادر (نمونه شماره ۱۴) و محل ناپدید شدن این آب (نمونه شماره ۱۵) مشاهده می گردد، به همراه غلظت بالایی که در میزان عناصر موجود در رسوب آب خروجی تونل مادر (نمونه شماره ۲۲) نسبت به محل ناپدید شدن این آب (نمونه شماره ۲۳) مشاهده می گردد، شاهد این رسوب گذاری می باشد (شکل های شماره ۵-۱۹ و ۵-۲۰).

این تغییرات در نمونه های فاضلاب (نمونه های شماره ۱۶ و ۱۷) و رسوب آن (نمونه های شماره ۲۴ و ۲۵) نیز به خوبی مشاهده می شود.

به طور کلی با جریان یافتن زهاب تونل در سطح زمین از غلظت عناصر موجود فاز مایع کاسته شده و عناصر در بخش جامد (نمونه شماره ۲۲ و ۲۳) متمرکز می شوند. تغییرات pH و ته نشینی عوامل منتقل کننده یون ها، همانند کمپلکس های سولفات، کمپلکس های هیدروکسیدی و کربناته فلزات، از جمله عوامل کاهش غلظت عناصر محلول در آب محسوب می شوند (Plumlee et al., 1998). جذب فلزات سنگین و عناصر جزئی به وسیله ذرات موجود در آب که عموماً کمپلکس های اکسید های آهن و آلومینیوم آبدار هستند، کنترل می شود (Smith et al., 1992<sup>(a)</sup>, 1993<sup>(b)</sup>). جذب بر روی کانی های اکسیدی فلزات به ترتیب زیر صورت می گیرد: (Schultz et al., 1987)

$Cd < Ni < Mn < Co < Cu < Pb < Cr$  ضمناً جذب کاتیونها و آنیونها بر روی کانی های اکسیدی (آبدار) عمدتاً وابسته به pH می باشد، به طوری که با افزایش pH جذب کاتیونها افزایش (تشکیل رسوب) و جذب آنیونها کاهش می یابد (Smith, 1999). بنابراین عناصر خارج شده از فاز مایع، در فاز جامد تجمع یافته که این مطلب در شکل های شماره ۵-۲۰ و ۵-۲۲ به روشنی نشان داده شده است.

در محل ناپدید شدن آب خروجی تونل (نمونه شماره ۱۵) مقدار مس و گوگرد به ۰/۴۲ و ۰/۴۵ مقدار اولیه خود (نمونه شماره ۱۴) رسیده است (شکل ۵-۱۹)، همچنین غلظت های مس و گوگرد در رسوب محل ناپدید شدن آب تونل مادر (نمونه شماره ۲۳) به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۵ مقداری است که در رسوب محل تخلیه زهاب به سطح زمین (نمونه شماره ۲۲) وجود دارد (شکل ۵-۲۰). این در حالی است که مس، آرسنیک، آنتیموان، سلنیوم و گوگرد به ترتیب به ۰/۲۷، ۰/۲۴، ۰/۳۵، ۰/۶۷ و ۰/۱۲ مقدار اولیه خود (نمونه شماره ۱۶) در محل ناپدید شدن آب فاضلاب انسانی (نمونه شماره ۱۷) در منطقه رسیده اند (شکل ۲۰).

چنین کاهش غلظت هایی در رسوب محل ناپدید شدن فاضلاب انسانی (نمونه شماره ۲۵) نسبت به رسوب محل تخلیه فاضلاب به سطح زمین (نمونه شماره ۲۴) نیز مشاهده می گردد که منطبق بر

کاهش این عناصر از آب های برداشت شده (نمونه های شماره ۱۶ و ۱۷) می باشد. مس، آرسنیک و سلنیوم به ترتیب کاهش ۰/۶۱، ۰/۸۵ و ۰/۳۴ را در این دو رسوب نشان میدهد. افزایش ناگهانی مقدار روی و سلنیوم در محل ناپدید شدن آب تونل مادر نسبت به محل تخلیه این آب به سطح زمین را می توان به افزایش pH این دو محل از ۷/۶ (محل تخلیه) به ۷/۸ (محل ناپدید شدن) مربوط دانست. کمترین حلالیت Zn در pH های خنثی تا کمی قلیایی، pH=7.6 بوده و با افزایش تنها ۰/۲ واحد pH، حلالیت آن ۲۰ برابر افزایش یافته و در نتیجه عمل واجذب، مقدار آن در آب افزایش می یابد. این پدیده در افزایش ۲۳/۶ ppb در فراوانی مقدار روی بین دو نمونه شماره ۱۴ و ۱۵ که تفاوت pH آنها ۰/۲ واحد است، قابل مشاهده می باشد (جدول ۵-۵). سلنیوم نیز چنین رفتاری را در منطقه نشان می دهد (Shahabpoor et al., 2005; Kabata & Pendias 2000).

علاوه بر عناصر سنگین، کاتیون های فعال نیز کاهش چشمگیری را در آب های تونل و فاضلاب انسانی در طی مسیر حرکت خود از لحظه تخلیه به سطح زمین، تا نفوذ کامل آنها در زمین نشان می دهند. سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در محل ناپدید شدن آب خروجی تونل در (نمونه شماره ۱۵) به ترتیب به ۰/۲۹، ۰/۱۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۲ مقدار اولیه خود در نمونه شماره ۱۴ رسیده است. این عناصر در فاضلاب انسانی در نمونه شماره ۱۷ نیز به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۹۶، ۰/۲۶ و ۰/۳۸ غلظت اولیه این آب ها در لحظه تخلیه به سطح زمین (نمونه شماره ۱۶) رسیده اند. این کاتیونها که از انحلال بالایی برخوردار بوده و با سرعت کمتری نسبت به فلزات سنگین، از آب خارج می شوند، به صورت محلول در آب وجود داشته و همزمان با کاهش دما، تغییرات pH، Eh و در طی مسیر حرکت آب از آن خارج شده و وارد فاز جامد می گردند. فراوانی عناصر در رسوب انتهای آب خروجی تونل مادر (نمونه شماره ۲۲) نسبت به رسوب آب تونل در لحظه خروج آن به سطح زمین (نمونه شماره ۲۳) نشان دهنده تحرک و حلالیت بالای این عناصر می باشد (شکل های شماره ۵-۱۹ و ۵-۲۰). چنین تغییراتی در شکل شماره ۵-۲۲ نیز مشاهده می گردد. تغییرات استرانسیم در آب و رسوب محل تخلیه و محل

ناپدید شدن آب تونل مادر، با کاتیون های فعالی چون Na ، K ، Ca و Mg تشابه نسبتاً بالایی را نشان می دهد.

با اینکه کاتیون های فلزات قلیایی خاکی و قلیایی به همراه گوگرد، ته نشست قابل توجهی را در محل ناپدید شدن آب خروجی تونل و فاضلاب انسانی نشان می دهند، به دلیل برخورداری از حلالیت و تحرک بالا، به آب زیرزمینی نیز راه پیدا کرده و منتقل می شوند. این انتقال در مورد سایر عناصر که از حلالیت کمتری برخوردارند، به مقدار بسیار اندک صورت می گیرد. میزان و نحوه جابجایی عناصر توسط آب زیرزمینی، در فصل آینده بررسی خواهد شد.

# **فصل ششم**

## **ارزیابی توزیع عناصر در منابع آب و خاک**

## ۶-۱- کلیات

عناصری که در اثر فرآیند هوازدگی و تغییرات ژئوشیمیایی صورت گرفته در سطح زمین، از خاستگاه اولیه خود (ذغالسنگ، باطله‌ها، جریانهای خروجی تونل و فاضلاب) خارج شده و وارد طبیعت می‌گردند، با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی خود پراکنده شده و (به میزان متفاوتی) در کیفیت آب و خاک پایین دست منطقه تأثیر می‌گذارند. هرچه شرایط تحرک این عناصر بیشتر باشد، مسیر بیشتری را طی کرده و گسترش و پراکندگی بیشتری می‌یابند. پتانسیل یونی عناصر، کمپلکس‌های حمل‌کننده یون‌ها، تغییرات pH محیط و اجزاء جاذب یونی موجود در آب (کلوئیدها) و خاک (مواد آلی و رس‌ها) منطقه، مهمترین پارامترهایی هستند که این جابجایی و تحرک را کنترل می‌نمایند. به دلیل حلالیت بالایی که برای عناصر در pH های اسیدی وجود دارد، در محیط‌های با pH پایین (آب و یا خاک)، آلودگی آب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ در صورتی که در pH های بالا (همانند منطقه مورد مطالعه) به دلیل کاهش چشمگیری که در حلالیت عناصر در pH های قلیایی ایجاد می‌شود، آب عموماً آلودگی ناچیزی (بویژه به فلزات سنگین) نشان داده و تنها عناصر کمپلکس‌ساز (گوگرد) و یا عناصر با پتانسیل یونی پایینی که در آب از پایداری بالاتری برخوردارند، ممکن است افزایش قابل توجهی را نسبت به مناطق بالادست معدنکاری نشان دهند. این افزایش در صورتی که به حدی بالاتر از استاندارد حضور آن عناصر در آب برسد، به عنوان امری جدی و خطرناک مطرح شده که باید مورد توجه قرار گیرد. در واقع از آنجایی که آب‌ها توان شستشو و حل نمودن عناصر را در pH های قلیایی ندارند، عناصر در خاک منطقه تجمع یافته و ایجاد آلودگی می‌نمایند. در این فصل با بررسی نمونه‌های آب و خاکی که از مناطق بالادست و پایین دست منطقه معدنکاری شده گرفته شده است، به تجزیه و تحلیل تغییرات غلظت عناصر و میزان آلودگی آب و خاک منطقه به فلزات سنگین و نحوه توزیع آنها و عوامل مؤثر در این توزیع پرداخته شده است.



## ۲-۶- همبستگی عناصر در منابع آب زیرزمینی

جهت بررسی تأثیر معدنکاری بر کیفیت آب منطقه، نمونه‌هایی از آب زیرزمینی بالادست منطقه معدنکاری شده (نمونه شماره ۱۸)، آب زیرزمینی محلی در مجاورت تونل مادر (نمونه شماره ۱۹)، آب زیرزمینی چاهی در مقابل دمپ باطله‌های ذغال و سینه کار منطقه (نمونه شماره ۲۰) و آب یک چشمه (چشمه سرخان) در پایین دست منطقه معدنکاری شده (نمونه شماره ۲۱) برداشت گردید. نمونه شماره ۱۸ در فاصله ۴ کیلومتری در بالادست دهانه تونل مادر و نمونه‌های شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱ به ترتیب در فاصله‌های ۳۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰۰ متری پایین دست این تونل قرار داشتند. غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب برداشت شده (نمونه‌های ۱۸ الی ۲۱) در جدول شماره ۶-۱ آورده شده است.

جدول شماره ۶-۱: غلظت عناصر در نمونه‌های آب زیرزمینی (نمونه‌های ۱۸-۲۱) برداشت شده از منطقه (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر و نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ‌های باطله (باطله جدید ذغال و باطله‌های سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).

Parameter	Concentration (ppb)				Standard <sup>1</sup>
	شماره نمونه				
	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	
<b>Cu</b>	<b>1</b>	<b>1.1</b>	<b>3.8</b>	<b>3.7</b>	<b>2000</b>
<b>Pb</b>	-	-	-	-	<b>10</b>
<b>Zn</b>	-	<b>0.6</b>	<b>1</b>	<b>2.5</b>	<b>3000</b>
<b>Fe</b>	-	-	<b>28</b>	-	<b>200</b>
<b>As</b>	<b>0.7</b>	<b>5.4</b>	<b>0.9</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>
<b>Cd</b>	-	-	-	-	<b>3</b>
<b>Sb</b>	<b>3.4</b>	<b>2.96</b>	<b>3.74</b>	<b>3.84</b>	<b>5</b>
<b>Hg</b>	-	-	-	-	<b>1</b>
<b>Sr</b>	<b>2018</b>	<b>1476</b>	<b>651</b>	<b>8505</b>	—
<b>Se</b>	<b>1.6</b>	<b>1.9</b>	<b>2.2</b>	<b>3</b>	<b>10</b>
<b>Ba</b>	<b>53.6</b>	<b>61.4</b>	<b>13.2</b>	<b>18.2</b>	<b>30</b>
<b>S</b>	<b>46000</b>	<b>87000</b>	<b>171000</b>	<b>430000</b>	<b>250000</b>
<b>Na</b>	<b>100079</b>	<b>158766</b>	<b>169243</b>	<b>117968</b>	<b>200000</b>
<b>K</b>	<b>3131</b>	<b>7984</b>	<b>5670</b>	<b>8223</b>	<b>12000</b>
<b>Ca</b>	<b>37650</b>	<b>36387</b>	<b>72673</b>	<b>289515</b>	<b>200000</b>
<b>Mg</b>	<b>26848</b>	<b>52046</b>	<b>88817</b>	<b>119274</b>	<b>150000</b>
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	<b>192000</b>	—	<b>480000</b>	<b>854400</b>	<b>250000</b>

1: Drinking water standard : WHO 1998

از آنجایی که فراوانی و تغییرات عناصر محلول در آب، ارتباط مستقیمی با مقدار pH نمونه ها داشته و تغییرات برخی از عناصر، EC آب را به شدت تحت تاثیر قرار می دهند، مقدار pH و EC نمونه های برداشت شده اندازه گیری گردیده و در جدول ۶-۲ آورده شده است.

جدول ۶-۲: مقادیر pH و EC نمونه های آب زیرزمینی (نمونه های ۱۸-۲۱) برداشت شده از منطقه (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر و نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله. نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).

شماره نمونه	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
<b>18</b>	<b>7.74</b>	<b>775</b>
<b>19</b>	<b>7.89</b>	<b>1231</b>
<b>20</b>	<b>7.35</b>	<b>1662</b>
<b>21</b>	<b>6.79</b>	<b>2120</b>

همانطور که در این جدول مشاهده می گردد pH آب زیرزمینی بالادست معدنکاری به خاطر سرچشمه گرفتن از سازندهای آهکی دلیچای و لار، قلیایی (۷/۷۴) می باشد. به دلیل فراوانی فلزات قلیایی و قلیایی خاکی موجود در توالی های ذغالی و انحلال آنها در آب زیرزمینی، pH این آب در محل تونل مادر (نمونه شماره ۱۹)، نسبت به بالادست منطقه معدنکاری، افزایش (۷/۸۹) یافته است. البته همزمان با حلالیت یون  $\text{H}^+$  ناشی از اکسیداسیون کانی های سولفیدی در آب زیرزمینی، pH آب ها به سمت پایین دست معدنکاری و در محل نمونه شماره ۲۰ (مقابل دمپ های باطله)، اندکی کم شده (۷/۳۵) و در نمونه شماره ۲۱ که از فاصله ۹ کیلومتری پایین دست معدنکاری برداشت گردیده، اسیدی (۶/۷۹) شده است.

pH های قلیایی در محدوده تونل مادر، مانع حلالیت عناصر در این آب ها شده، به طوری که غلظت Fe، Pb (بجز نمونه شماره ۱۹)، Cd و Hg کمتر از حد اندازه گیری دستگاه شده است (جدول شماره ۱). سایر عناصر (بجز کاتیون ها و گوگرد) نیز غلظتی بسیار پایین (معمولاً کمتر از ۱۰ ppb) نشان می دهند.

جهت درک بهتر ارتباط pH و EC با فراوانی عناصر موجود در نمونه ها و همچنین پی بردن به ارتباط بین رفتار و تغییرات عناصر در نمونه های مورد بررسی، همبستگی عناصر با یکدیگر، با pH و EC، محاسبه شده و نتایج آن در جدول شماره ۶-۳ آورده شده است.

همانطور که در این جدول مشاهده می گردد، تقریباً تمامی عناصر (بجز Ba, Na و As) همبستگی های منفی قابل توجهی را با pH دارا می باشند. گوگرد، کلسیم، روی، منیزیم و آنتیموان بیشترین همبستگی منفی (۰/۸۸۱- و ۰/۹۱۵-، ۰/۹۲۷-، ۰/۹۴۰-، ۰/۹۶۰- به ترتیب) را با pH نشان می دهند.

EC رابطه ای متفاوت از pH را با عناصر (بوپژه کاتیون ها) نشان داده و بجز Ba و As که همبستگی های منفی به ترتیب ۰/۸۰۹- و ۰/۱۱۳- را با EC نشان می دهند، بیشتر عناصر همبستگی های مثبت بالایی را با میزان هدایت الکتریکی آب برقرار نموده اند. همبستگی منفی که بین pH با EC (۰/۸۸۹-) ایجاد شده است، نشان دهنده معکوس بودن ارتباط این پارامترها با یکدیگر و با حلالیت عناصر می باشد.

با اینکه عناصری مانند مس، روی، آهن، آنتیموان و سلنیوم، همبستگی های مثبت بالایی را (۰/۹۶۶ و ۰/۶۷۵، ۰/۲۴۹، ۰/۹۵۹، ۰/۸۸۹ به ترتیب) با EC آب نشان می دهند، اما به دلیل فراوانی بسیار کمی که در آب (جدول ۶-۱) دارند (کمتر از ۱۰ ppb)، تأثیر زیادی بر تغییرات EC نخواهد داشت. هدایت الکتریکی آب به شدت تحت تأثیر غلظت کاتیون هایی از قبیل Mg, Ca, K و Na می باشد که دارای فراوانی های بسیار زیادی (جدول شماره ۶-۱) در آب بوده و همزمان با انحلال و شستشو، بالا رفتن EC را باعث می شوند. این عناصر به ترتیب همبستگی های ۰/۹۹۷، ۰/۸۴۴، ۰/۷۱۱ و ۰/۲۵۰ را با EC برقرار نموده اند.

به طور کلی، تفاوت در ویژگی های ژئوشیمیایی عناصر، مثبت و یا منفی شدن همبستگی عناصر با یکدیگر را باعث شده است.

فصل ششم: ارزیابی توزیع عناصر در منابع آب و خاک

جدول ۳-۶: همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH و EC در نمونه های آب زیرزمینی منطقه (نمونه شماره ۱۸ تا ۲۱)

	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Cd	Sb	Hg	Sr	se	Ba	S	Na	K	Ca	Mg	pH	EC
Cu	1.000																	
Pb		1.000																
Zn	0.776		1.000															
Fe	0.598		-0.016	1.000														
As	-0.463		-0.116	-0.370	1.000													
Cd						1.000												
Sb	0.871		0.651		-0.809		1.000											
Hg								1.000										
Sr	0.429		0.853	-0.463	-0.174		0.522		1.000									
Se	0.806		0.999	0.028	-0.157		0.686		0.840	1.000								
Ba	-0.986		-0.698	-0.639	0.601		-0.926		-0.383	-0.733	1.000							
S	0.770		0.990	-0.048	-0.157		0.714		0.895	0.991	-0.710	1.000						
Na	0.285		-0.003	0.664	0.442		-0.174		-0.498	0.006	-0.204	-0.125	1.000					
K	0.347		0.708	-0.163	0.609		-0.033		0.492	0.682	-0.187	0.614	0.412	1.000				
Ca	0.665		0.956	-0.200	-0.254		0.684		0.959	0.953	-0.616	0.983	-0.297	0.547	1.000			
Mg	0.916		0.955	0.280	-0.190		0.730		0.673	0.966	-0.848	0.932	0.218	0.655	0.850	1.000		
pH	-0.860		-0.927	-0.126	0.480		-0.881		-0.819	-0.941	0.843	-0.960	0.169	-0.396	-0.940	-0.915	1.000	
EC	0.889		0.959	0.249	-0.113		0.675		0.672	0.966	-0.809	0.927	0.250	0.711	0.844	0.997	-0.889	1.000

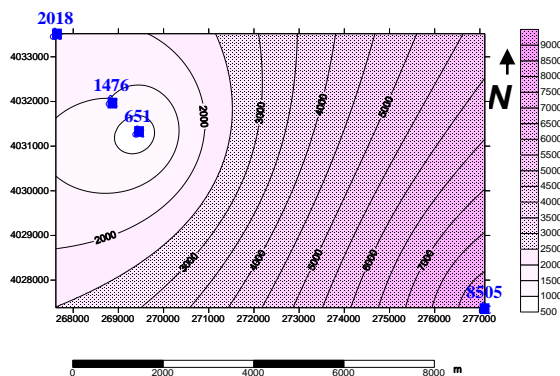
مس که پتانسیل یونی نزدیکی با روی، آهن، استرانسیوم، کلسیم و منیزیم (جدول شماره ۵-۱) دارد، به ترتیب همبستگی های مثبت ۰/۷۷۶ ، ۰/۵۹۸ ، ۰/۴۲۹ ، ۰/۶۶۵ و ۰/۹۱۶ را با این عناصر برقرار نموده است. همبستگی های مثبتی که بین منیزیم با روی (۰/۹۵۵)، آهن (۰/۲۸۰)، استرانسیوم (۰/۶۷۳)، سدیم (۰/۲۱۸)، پتاسیم (۰/۶۵۵) و کلسیم (۰/۸۵۰) وجود دارد نیز به مشابهت پتانسیل یونی این عناصر مرتبط می باشد. علاوه بر پتانسیل یونی، شعاع آبپوشی، تمایل ترکیب شدن عناصر با یکدیگر جهت تشکیل ترکیبات پایدار یا ناپایدار، تمایل عناصر به جذب سطحی شدن توسط کلوئیدها و ذرات رس و دمای محیط، میزان فراوانی عناصر در آب را کنترل می نمایند (اوستان، ۱۳۸۳). بنابراین همبستگی های مثبت و یا منفی بین عناصر و پارامترهای مختلف، تابعی از خصوصیات ذکر شده می باشد.

## ۳-۶- تغییرات غلظت عناصر و آنیون ها و کاتیون ها در منابع آب

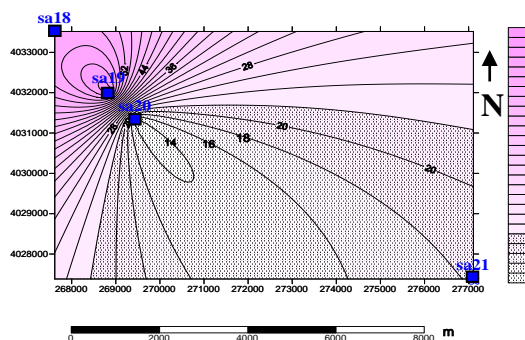
### زیرزمینی منطقه

#### ۳-۶-۱- تغییرات غلظت عناصر در منابع آب زیرزمینی

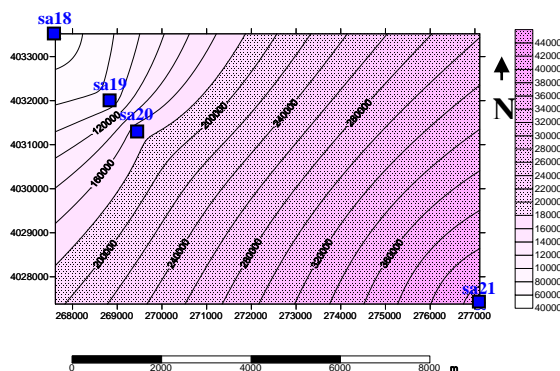
تغییرات عناصر مورد بررسی در نمونه های آب زیرزمینی برداشت شده از منطقه (نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱) در شکل های شماره ۶-۱ تا ۶-۸ آورده شده است. برای عناصری مانند Cd, Fe, Pb و Hg که غلظتی کمتر از حد اندازه گیری دستگاه داشته و یا تغییرات ناچیزی (در حد چند ppb) را نشان می دادند (مانند Cu, As و Fe) نموداری ترسیم نشده است. بالا بودن pH (جدول شماره ۶-۲) باعث نامحلول شدن بسیاری از عناصر و کاهش غلظت آنها در آب شده است. به دلیل سابقه طولانی معدنکاری در منطقه مورد مطالعه و ورود عناصر از طریق رواناب خارج شده از دمپ های باطله و نفوذ آب های سطحی آلوده (آب خروجی تونل و آب خروجی فاضلاب و شستشوی سطوح آلوده توسط سیلاب های فصلی) به آب های زیرزمینی، افزایش قابل توجهی در عناصر مورد بررسی (بوئژه کاتیون ها) در مناطق پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) مشاهده می گردد.



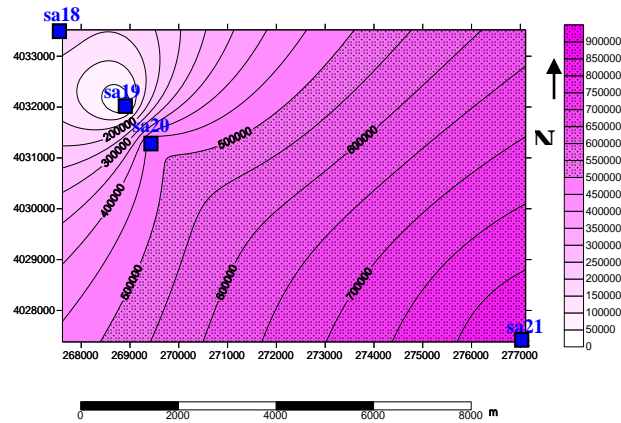
شکل شماره ۶-۱: روند تغییرات Sr در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



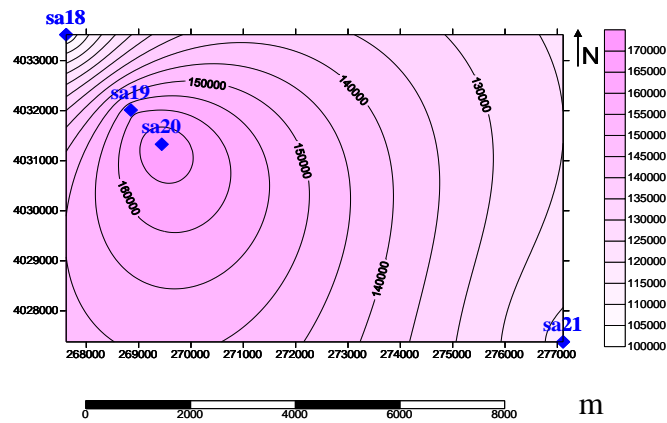
شکل شماره ۶-۲: روند تغییرات Ba در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



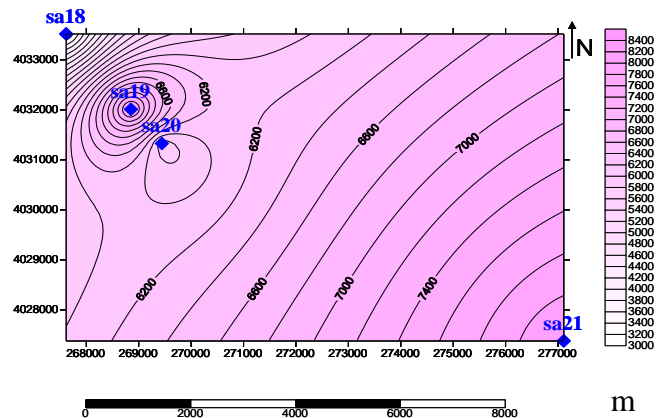
شکل شماره ۶-۳: روند تغییرات S در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



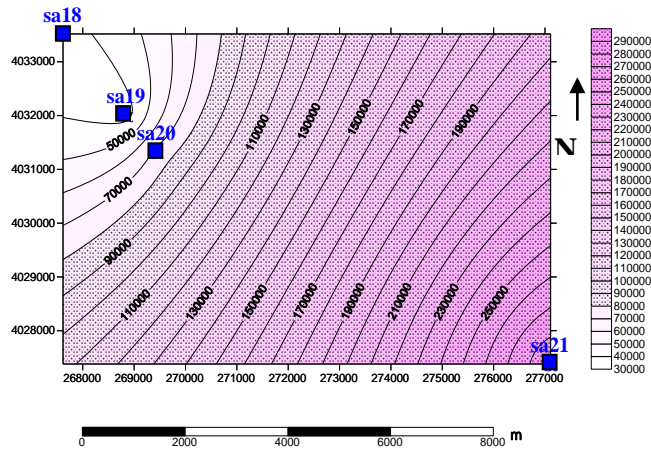
شکل شماره ۴-۶: روند تغییرات  $SO_4^{2-}$  در نمونه های شماره ۱۸، ۲۰ و ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



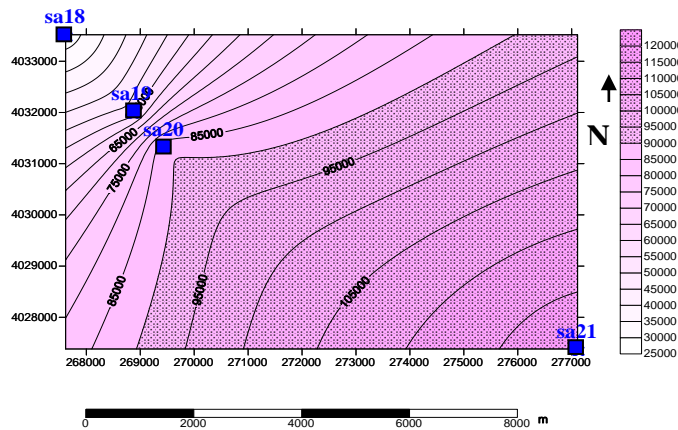
شکل شماره ۵-۶: روند تغییرات Na در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



شکل شماره ۶-۶: روند تغییرات K در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



شکل شماره ۶-۷: روند تغییرات Ca در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).



شکل شماره ۶-۸: روند تغییرات Mg در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱ برحسب ppb (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری. نمونه شماره ۱۹: آب زیرزمینی در مجاورت دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مقابل محل دمپ های باطله (سینه کار قدیمی تا جدید). نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر).

از آنجایی که فراوانی عناصر Sr, Ba, S, Na, K, Ca و Mg بسیار بیشتر از عناصری مانند Cu, Pb, Zn و Fe می باشند (جدول شماره ۶-۱) تغییرات آنها نیز مهمتر بوده و بیشتر به بررسی و تحلیل آنها پرداخته می شود.

تغییرات استرانسیوم و باریم در شکل های شماره ۶-۱ و ۶-۲ آورده شده است. به دلیل پتانسیل یونی کم این یون ها (به ترتیب ۱/۸ و ۱/۵) و جانشینی معمولی که بین Sr و Ba به جای Ca در محیط



های کربناته وجود دارد، این عناصر در آب بالادست معدنکاری که از سازندهای آهکی (دلیچای و لار) سرچشمه گرفته، فراوانی اولیه زیادی (به ترتیب ۲۰۱۸ ppb و ۵۳/۶ ppb) را نشان می دهند.

با ورود آب زیرزمینی به سازند شمشک، استرانسیوم محلول، در لایه های ذغالی به دام افتاده و غلظت آن در نمونه های شماره ۱۹ (۱۴۷۶ ppb) و ۲۰ (۶۵۱ ppb) نسبت به شماره ۱۸ (۲۰۱۸ ppb)، کاهش نشان می دهد. فراوانی استرانسیوم در ذغالسنگ منطقه (۲۳۵ ppm) شاهدهی بر تمایل ذغالسنگ در تجمع این یون می باشد. وجود غلظت بالای استرانسیوم (۲۳۸/۲ ppm) در نمونه خاک شماره ۳۳ (جدول شماره ۶-۶) که در مجاورت نمونه آب شماره ۲۱ قرار گرفته است و شستشوی آن توسط رواناب سطحی که خود حاوی مقدار بالایی از استرانسیومی می باشد که از شستشوی مناطق معدنکاری شده (دمپ های باطله و دپوی ذغال) حاصل شده است، افزایش ۱۳ برابری استرانسیوم در آب چشمه (نمونه شماره ۲۱) را نسبت به آب زیرزمینی مجاور دمپ باطله (نمونه شماره ۲۰) باعث شده است. افزایش استرانسیوم از نمونه شماره ۱۸ (۲۰۱۸ ppb) به نمونه شماره ۲۱ (۸۵۰۵ ppb) را نیز می توان به تأثیر فرآیندهای معدنکاری و کاهش pH ایجاد شده بین این دو نمونه (جدول شماره ۶-۲) که حلالیت بیشتر Sr را به دنبال داشته است، مربوط دانست (شکل ۶-۱).

با توجه به نزدیک بودن پتانسیل یونی Ba و Sr، رفتار مشابه ژئوشیمیایی از دو عنصر پیش بینی می شود. با توجه به تجمع Ba در ذغال (۹۲ ppm) با ورود آب زیرزمینی و گذشت آن از لایه های ذغالی، مقدار Ba در نمونه شماره ۲۰ (پای دمپ باطله و ۷۰۰ متری دهانه تونل مادر) حدود ۴ برابر کاهش را نسبت به Ba در بالادست منطقه معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) نشان می دهد. زیاد شدن مقدار Ba (۱۸/۲ ppb) در آب چشمه (نمونه شماره ۲۱) را می توان ناشی از شستشوی دمپ های باطله، نفوذ Ba از زهاب خروجی تونل و فاضلاب دانست (شکل ۶-۲).

گوگرد از جمله آنیون هایی است که با داشتن پتانسیل یونی بالا (۲۰)، به دلیل توانایی در تشکیل کمپلکس های آنیونی قابل حل مانند سولفات، حلالیت بسیاری از عناصر (از قبیل Cu، As و Sb) را از طریق پیوندهای کووالانسی و تشکیل کمپلکس های سولفات، سبب می شود (اوستان، ۱۳۸۳).

تغییرات گوگرد در نمونه های آب زیرزمینی برداشت شده (نمونه های شماره ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱) در شکل شماره ۶-۳ آورده شده است. مقدار اولیه گوگرد در آب زیرزمینی منطقه (نمونه شماره ۱۸)، نسبتاً کم (۴۶ ppm) می باشد. همزمان با عبور آب زیرزمینی از سازند شمشک و تونل مادر، مقداری ترکیبات گوگردی در آن حل شده و مقدار آن در آب زیرزمینی گرفته شده از محل تونل مادر (نمونه شماره ۱۹) افزایش قابل توجهی را نشان می دهد (۸۷ ppm). این افزایش با نفوذ گوگردی (بیشتر به صورت سولفات) که از آب خروجی تونل و فاضلاب انسانی به همراه گوگرد شسته شده از باطله های قدیمی سینه کار وارد آب زیرزمینی می گردد، در نمونه های شماره ۲۰ (۱۷۱ ppm) و ۲۱ (۴۳۰ ppm) نیز مشاهده می گردد.

همانطور که انتظار می رود، تغییرات غلظت یون سولفات هم که در شکل شماره ۶-۴ آورده شده است، روندی مشابه با گوگرد را نشان می دهد. غلظت این یون در آب بالادست معدنکاری ۱۹۲ ppm بوده که با ورود به محدوده سازند شمشک و محل معدنکاری (نمونه شماره ۲۰)، افزایش ۱۵۰ درصدی پیدا می کند. نفوذ آب هایی که مقدار زیادی یون سولفات ( $SO_4^{-2}$ ) را در خود جای داده اند، از قبیل زهاب خروجی تونل ( $SO_4^{-2} = 1600 \text{ ppm}$ )، خروجی فاضلاب انسانی ( $S = 301 \text{ ppm}$ ) و آب حاصل از شستشوی دمپ های باطله و دپوی ذغالسنگ ها، افزایش ۷۸ درصدی این یون را در آب پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) نسبت به نمونه شماره ۲۰، ایجاد نموده است. در واقع می توان نتیجه گرفت که بخش اعظم گوگرد محلول در نمونه های آب ذکر شده، به صورت سولفات بوده که از طریق اکسیداسیون سولفیدهای موجود در آب خروجی تونل و فاضلاب و یا از هوازدگی باطله ها، و آزادسازی سولفات های موجود و یا تشکیل شده در آنها، به آب های زیرزمینی راه یافته است. افزایش ۳/۷ برابری مس، ۲/۱۴ برابری آرسنیک و ۱/۸۷ برابری سلنیوم که در نمونه های آب زیرزمینی بعد از معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) نسبت به آب زیرزمینی بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) مشاهده می گردد را علاوه بر بالا رفتن حلالیت آنها، همزمان با کاهش pH که در آب پایین دست معدنکاری

(pH = ۶/۷۹) مشاهده می گردد، می توان به افزایش مقدار سولفات در آب پایین دست و توانایی کمپلکس های سولفات، جهت حمل این یون ها مرتبط دانست (جدول شماره ۶-۱).

سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم که جزء فلزات قلیایی و قلیایی خاکی بوده و از حلالیت بالایی برخوردارند، بیشترین افزایش ها را (به همراه گوگرد) در آب زیرزمینی مناطق معدنکاری و پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱) نسبت به آب زیرزمینی بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) از خود نشان می دهند (جدول شماره ۶-۱). نمودار تغییرات سدیم و پتاسیم به ترتیب در شکل های شماره ۶-۵ و ۶-۶ آورده شده است. فراوانی بسیار زیادی که در غلظت سدیم (به ترتیب برحسب ppb: ۱۵۸۷۶۶ و ۱۶۹۲۴۳) و پتاسیم (به ترتیب برحسب ppb: ۷۹۸۴ و ۵۶۷۰) به ترتیب در نمونه های شماره ۱۹ و ۲۰ مشاهده می گردد ناشی از ورود حجم بالای این یون ها از محل دمپ های باطله و آب های خروجی تونل و فاضلاب انسانی به آب زیرزمینی می باشد. با حرکت آب زیرزمینی به سمت چشمه پایین دست (نمونه شماره ۲۱) مقدار سدیم محلول در آب، تعدیل شده و فراوانی ppb ۱۱۷۹۶۸ را در آب چشمه نشان می دهند. در صورتی که پتاسیم به صورت محلول در آب باقی مانده و بر مقدار آن نیز در طی مسیر اضافه گردیده است به طوری که در نمونه شماره ۲۱، فراوانی ppb ۸۲۲۳ را نشان می دهد. کاهش سدیم و افزایش پتاسیم آب در نمونه شماره ۲۱ نسبت به نمونه شماره ۲۰ را شاید بتوان به دلیل حلالیت پتاسیم و جایگزینی احتمالی سدیم با کاتیون های موجود در خاک منطقه دانست.

تغییرات غلظت عناصر کلسیم (برحسب ppb: ۳۷۶۵۰، ۳۶۳۸۷، ۷۲۶۷۳ و ۲۸۹۵۱۵) و منیزیم (برحسب ppb: ۲۶۸۴۸، ۵۲۰۴۶، ۸۸۸۱۷ و ۱۱۹۲۷۲) در نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۱، به ترتیب در شکل های شماره ۶-۷ و ۶-۸ آورده شده است. همانطور که در این شکل ها مشاهده می گردد، معدنکاری باعث افزایش قابل توجهی در میزان غلظت این یون ها، در آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) نسبت به بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) شده است. افزایش ۷/۶۹ برابری برای غلظت کلسیم و ۴/۴۴ برابری برای غلظت منیزیم، در آب پایین دست، نسبت به آب

بالادست معدنکاری نشان دهنده این افزایش می باشد. حضور رگه های کلسیت در مشاهدات صحرایی (شکل ۳-۹) و خنثی سازی AMD و تبدیل آن به NAMD نیز فراوانی کاتیون های قلیایی نظیر Ca و Mg را در منطقه نمایان می سازد.

### ۶-۳-۲- تغییرات آنیون ها و کاتیون ها در منابع آب زیرزمینی

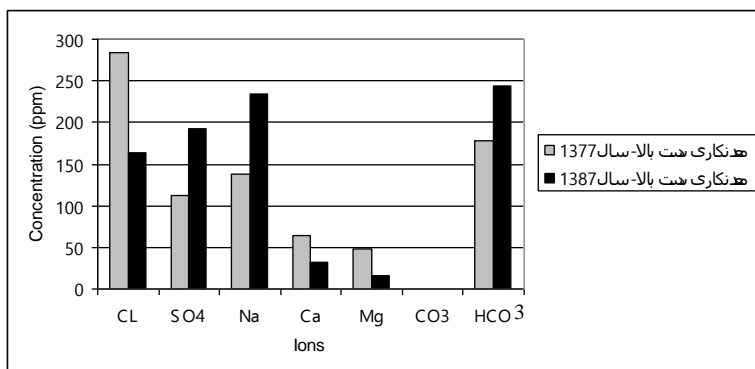
جهت بررسی تأثیر طولانی مدت معدنکاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه، آنیون ها ( $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{CO}_3^{2-}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ ) و کاتیون های ( $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Ca}^{+2}$  و  $\text{Mg}^{+2}$ ) رایج آب در نمونه های شماره ۱۸، ۲۰ و ۲۱ اندازه گیری شد و با میزان آنیون و کاتیونی که در سال ۱۳۷۷، توسط شرکت آب منطقه ای دامغان برداشت گردیده بود، مقایسه گردید (جدول ۶-۴).

جدول شماره ۶-۴. مقایسه غلظت آنیون ها و کاتیون ها در نمونه های شماره ۱۸، ۲۰ و ۲۱ (آب زیرزمینی) برحسب ppm

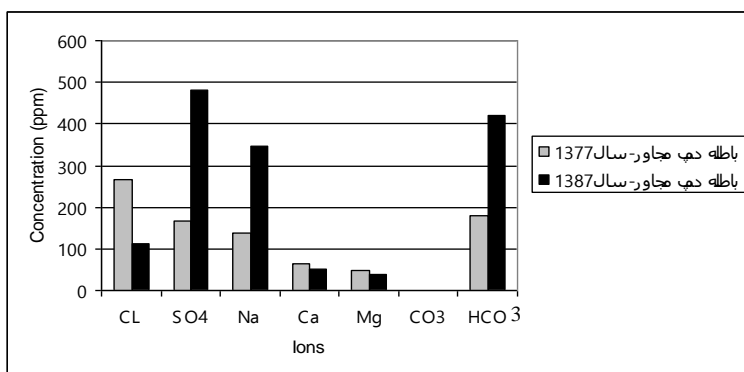
Ions	شماره نمونه						Standard <sup>1</sup>
	۱۸		۲۰		۲۱		
	سال ۱۳۷۷	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۷۷	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۷۷	سال ۱۳۸۷	
Cl <sup>-</sup>	284	163.3	266.25	113.6	14.91	184.6	250
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	112.8	192	168	480	60	854.4	250
Na <sup>+</sup>	138	234.6	138	345	40.25	460	200
Ca <sup>+2</sup>	64	32	64	52	30	135	200
<b>Mg<sup>+2</sup></b>	48	16.8	48	37.2	8.4	39.6	150
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0	0	0	0	0	0	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	178.7	244	178.73	420.9	131.15	396.5	—

1: Drinking water standard : WHO 1998

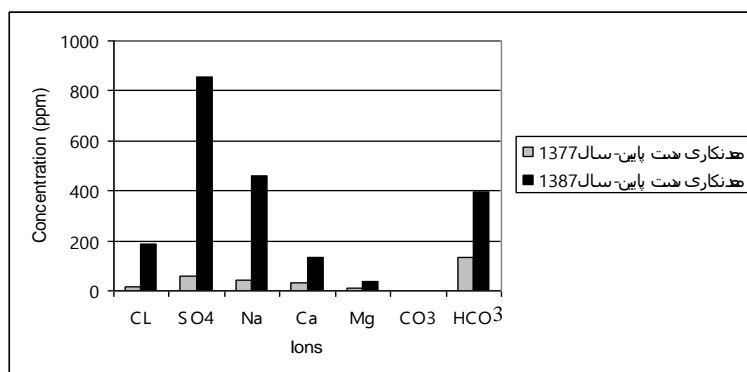
غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب زیرزمینی بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸)، آب زیرزمینی مجاور دمپ های باطله (نمونه شماره ۲۰) و آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) که به صورت چشمه می باشد (چشمه سرخان)، به ترتیب در شکل های شماره ۶-۹، ۶-۱۰ و ۶-۱۱ با نتایج بدست آمده از آنالیز این نمونه ها در سال ۱۳۷۷ (اداره آب منطقه ای دامغان، ۱۳۷۷) مقایسه شده است.



شکل شماره ۶-۹: تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب بالا دست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷ (نتایج سال ۱۳۷۷ برگرفته از اداره آب منطقه ای دامغان می باشد)



شکل شماره ۶-۱۰: تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب محل دمپ باطله های ذغال و سینه کار (نمونه شماره ۲۰) طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷ (نتایج سال ۱۳۷۷ برگرفته از اداره آب منطقه ای دامغان می باشد)



شکل شماره ۶-۱۱: تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷ (نتایج سال ۱۳۷۷ برگرفته از اداره آب منطقه ای دامغان می باشد)

در آب بالادست معدنکاری، یون های سولفات، سدیم و بی کربنات، نسبت به ۱۰ سال گذشته، افزایش قابل توجهی (به ترتیب ۱/۷، ۱/۷ و ۱/۳۷) نشان می دهند. کلسیم و منیزیم، عناصری هستند که

به ترتیب کاهش ۰/۵۷۵، ۰/۵ و ۰/۳۵ برابری را نسبت به سال ۱۳۷۷ نشان می دهند (شکل شماره ۶-۹).

تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در نمونه شماره ۲۰ (آب زیرزمینی مجاور دمپ باطله) طی گذشت ۱۰ سال، مشابه روندی است که در تغییرات آنیون ها و کاتیون ها در نمونه شماره ۱۸ (آب بالادست معدنکاری) در این دوره مشاهده گردید. افزایش ۲/۶۸، ۲/۵ و ۲/۳۵ برابری برای یون های سولفات، سدیم و بی کربنات و کاهش ۰/۴۳، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ برابری برای یونهای کلر، کلسیم و منیزیم گویای این ادعا می باشد (شکل شماره ۶-۱۰).

چشمه سرخان که نمونه آب زیرزمینی برداشت شده در پایین دست منطقه معدنکاری و دمپ های باطله می باشد (نمونه شماره ۲۱) تغییرات بسیار شدید عناصر را نسبت به ۱۰ سال گذشته نشان می دهد (شکل شماره ۶-۱۱). در واقع نتایج نشان می دهند که با گذشت زمان، تأثیرات سوء معدنکاری در محیط محسوس تر شده است. گذشت ۱۰ سال از فعالیت معدنکاری (سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷)، افزایش قابل ملاحظه ای در کلیه آنیون ها و کاتیون های منابع آب زیرزمینی را باعث شده است. افزایش ۱۲/۳۸ برابری در مورد یون کلر، ۱۴/۲۴ برابری در مورد یون سولفات و افزایش های ۱۱/۴۳، ۴/۵، ۴/۷۱ و ۳/۰۲ برابری برای یون های سدیم، کلسیم، منیزیم و بی کربنات، نشان دهنده تأثیر بسیار شدید معدنکاری در افزایش این یون ها می باشد.

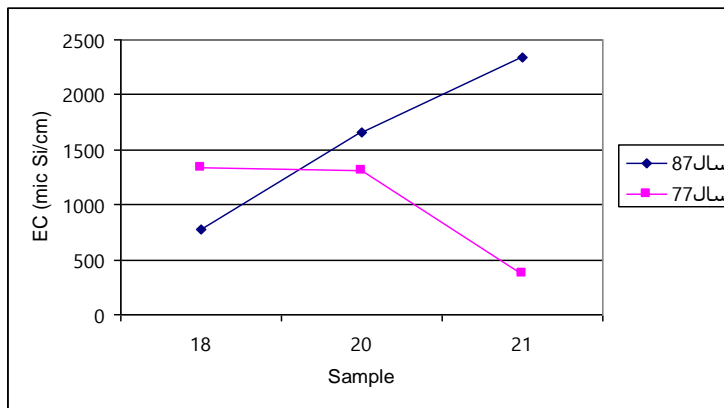
### ۶-۳-۳- تغییرات pH و EC در منابع آب زیرزمینی

همزمان با افزایش آنیونی و کاتیونی که در غلظت یون های آب زیرزمینی، از بالادست منطقه معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) به سمت اراضی مجاور و پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱) رخ می دهد، pH و EC آب نیز تغییر می نماید. مقادیر اندازه گیری شده و روند تغییرات pH و EC در نمونه های آب بررسی شده (نمونه های شماره ۱۸، ۲۰ و ۲۱) به ترتیب در جدول شماره ۶-۵ و شکل های شماره ۶-۱۲ و ۶-۱۳ آورده شده است.

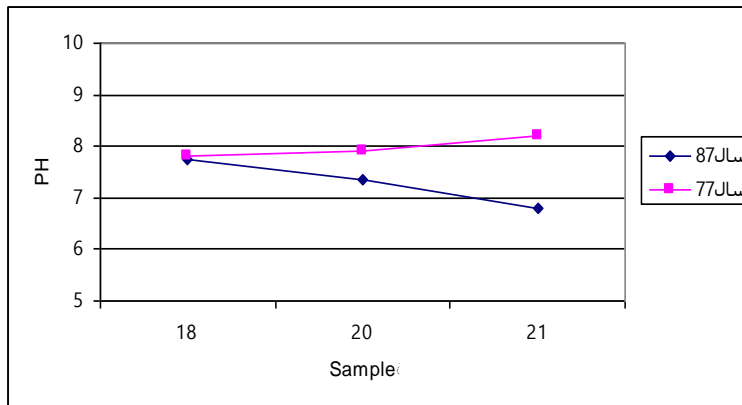
جدول شماره ۶-۵: تغییرات pH و EC در نمونه های شماره ۱۸، ۲۰ و ۲۱ آب زیرزمینی منطقه در سالهای ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ (نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالادست معدنکاری، نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی محل دمپ های باطله، نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹ کیلومتری از تونل مادر)

شماره نمونه	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		pH	
	سال ۸۷	سال ۷۷	سال ۸۷	سال ۷۷
۱۸	<b>775</b>	<b>1338</b>	<b>7.74</b>	<b>7.81</b>
۲۰	<b>1652</b>	<b>1314</b>	<b>7.35</b>	<b>7.92</b>
۲۱	<b>2340</b>	<b>371</b>	<b>6.79</b>	<b>8.2</b>

همانطور که در جدول شماره ۶-۵ مشاهده می گردد، به دلیل افزایش غلظت یون های سخت کننده آب (مانند منیزیم و کلسیم) EC برخلاف سال ۱۳۷۷، در سال ۱۳۸۷ به سمت پایین دست معدنکاری روندی افزایشی را نشان می دهد به طوری که در نمونه شماره ۲۱ که آب زیرزمینی (چشمه) می باشد که در فاصله ۹ کیلومتری از محل معدنکاری گرفته شده است، افزایش ۲/۷۳ برابری را نسبت به نمونه شماره ۱۸ (بالادست معدنکاری) نشان می دهد (شکل شماره ۶-۱۲). همزمان با افزایش انحلال ترکیبات سولفات در آب، یون هیدروژن نیز فراوانی بیشتری در آب زیرزمینی (در سال ۱۳۸۷) پیدا می کند (شکل شماره ۶-۱۲). این افزایش باعث کاهش حدود ۱ واحدی pH، بین دو نمونه شماره ۱۸ (بالادست معدنکاری) و ۲۱ (پایین دست معدنکاری) در سال ۱۳۸۷ شده است (جدول شماره ۶-۵). افزایش ۲/۷۳ برابری EC و کاهش ۱ واحدی pH در طی ده سال، تغییراتی بسیار نگران کننده تلقی می شوند. با توجه به نزدیک بودن مقادیر EC و pH به حدود استاندارد آب شرب، (به ترتیب: ۲۵۰۰ و ۶/۵-۸/۵) در سال ۱۳۸۷ و در صورتی که روند افزایش این پارامترها به همین صورت انجام پذیرد، EC بسیار زیادتر از حد استاندارد و pH پایین تر (اسیدی) از استاندارد تعیین شده برای آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) در سال های آینده پیش بینی می شود. از آنجایی که آب چشمه سرخان (نمونه شماره ۲۱) جهت شرب مورد استفاده قرار می گیرد، حد مجاز غلظت عناصر در آب شرب، در کنار غلظت آنیون ها و کاتیون های این نمونه، در جدول شماره ۶-۴ آورده شده است که با توجه به نتایج، آینده نامطلوبی از نظر شدت آلودگی برای این آب برآورد می شود.



شکل شماره ۶-۱۲: روند تغییرات EC در سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷ در نمونه های آب زیرزمینی منطقه ( نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالا دست معدنکاری. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مجاور دمپ باطله. نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی در فاصله ۹ کیلومتری از معدنکاری) (نتایج سال ۱۳۷۷-اداره آب دامغان)



شکل شماره ۶-۱۳: روند تغییرات pH در سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۷ در نمونه های آب زیرزمینی منطقه ( نمونه شماره ۱۸: آب زیرزمینی بالا دست معدنکاری. نمونه شماره ۲۰: آب زیرزمینی مجاور دمپ باطله. نمونه شماره ۲۱: آب زیرزمینی در فاصله ۹ کیلومتری از معدنکاری) (نتایج سال ۱۳۷۷-اداره آب دامغان)

همان طور که در جدول شماره ۴-۶ مشاهده می گردد یون های سولفات و سدیم غلظتی به ترتیب ۳/۴۱ و ۳/۰۷ برابر حد مجاز آب شرب را در آب پایین دست (نمونه شماره ۲۱) دارا می باشند. این در حالی است که فراوانی آنیون ها و کاتیون های اندازه گیری شده در این نمونه، در ۱۰ سال گذشته، بسیار پایین تر از حد استاندارد آب شرب بوده است. در صورتی که معدنکاری و شرایط محیط انتقال ژئوشیمیایی مواد، به همین ترتیب در منطقه ادامه پیدا کند، در آینده ای نه چندان دور، با آلودگی های شدید آب های زیرزمینی در مناطق پایین دست معدنکاری مواجه خواهیم بود.



## ۴-۶- همبستگی عناصر در نمونه های خاک منطقه

همان طور که معدنکاری، غلظت عناصر و آنیون ها و کاتیون ها محلول در آب های زیرزمینی مناطق پایین دست معدنکاری را به شدت تحت تأثیر قرار داده است، تغییراتی را در میزان عناصر موجود در خاک منطقه نیز اعمال نموده است. از طرفی همانگونه که قبلاً نیز بیان شد با توجه به قلیایی بودن ( $\text{pH} = 7/6$ ) زهاب خروجی تونل (NAMD) و قلیایی بودن خاک منطقه و نامحلول بودن بسیاری از عناصر در این  $\text{pH}$ ، عمل رسوبگذاری افزایش می یابد و بنابراین احتمال آلودگی در خاک منطقه بیش از آب منطقه خصوصاً به فلزات سنگین برآورد می شود.

جهت بررسی تأثیر معدنکاری بر میزان غلظت عناصر موجود در خاک، نمونه های شماره ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳ به ترتیب از بالادست منطقه معدنکاری (در محدوده سازند شمشک)، ۳۰۰ متر بعد از دهانه تونل مادر، ۷۰۰ متر بعد از دهانه تونل مادر و ۹ کیلومتر پایین تر از دهانه تونل مادر برداشت گردید. شایان ذکر است نمونه شماره ۳۳، حاکی است که از مجاورت نمونه شماره ۲۱، یعنی آب زیرزمینی (چشمه) پایین دست منطقه معدنکاری برداشت شده است.

غلظت عناصر در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ در جدول شماره ۶-۶ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می گردد، بیشتر عناصر در نمونه های خاک برداشت شده از اراضی مناطق معدنکاری و پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۳۱، ۳۲ و ۳۳)، مقادیری بیش از غلظت اولیه خود در خاک بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۳۰) را نشان می دهند.  $\text{pH}$ ، مقدار مواد آلی و میزان ذرات رس خاک، از جمله مهمترین پارامترهایی می باشند که فراوانی عناصر موجود در آن را کنترل می نمایند. این پارامترها برای نمونه های خاک برداشت شده (نمونه های ۳۰ تا ۳۳) در جدول شماره ۶-۷ آورده شده است.

جدول شماره ۶-۶: غلظت عناصر در نمونه های خاک (شماره ۳۰ تا ۳۳) برداشت شده از منطقه (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده، نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

Element	Concentration(ppm)			
	شماره نمونه			
	30	31	32	33
<b>Cu</b>	<b>28.88</b>	<b>39.8</b>	<b>33.9</b>	<b>39.8</b>
<b>Pb</b>	<b>24.3</b>	<b>34.7</b>	<b>62</b>	<b>26.4</b>
<b>Zn</b>	<b>82.8</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>83.8</b>
<b>Fe</b>	<b>34700</b>	<b>26600</b>	<b>25800</b>	<b>40000</b>
<b>As</b>	<b>8.3</b>	<b>7.4</b>	<b>6.8</b>	<b>8</b>
<b>Cd</b>	<b>0.17</b>	<b>0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0.15</b>
<b>Sb</b>	<b>0.08</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.17</b>
<b>Hg</b>	<b>0.025</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.028</b>
<b>Sr</b>	<b>54.5</b>	<b>111</b>	<b>150</b>	<b>237.3</b>
<b>Se</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>
<b>Ba</b>	<b>81.4</b>	<b>96</b>	<b>107</b>	<b>238.2</b>
<b>S</b>	<b>400</b>	<b>1000</b>	<b>1100</b>	<b>4200</b>
<b>Na</b>	<b>160</b>	<b>840</b>	<b>3150</b>	<b>230</b>
<b>K</b>	<b>1600</b>	<b>1500</b>	<b>1300</b>	<b>1800</b>
<b>Ca</b>	<b>15100</b>	<b>47600</b>	<b>107400</b>	<b>42900</b>
<b>Mg</b>	<b>5500</b>	<b>11100</b>	<b>18400</b>	<b>8600</b>

همانطور که در این جدول مشاهده می گردد، معدنکاری با پراکنده نمودن گرد ذغال در فضای اطراف، تأثیر بسیار زیادی در افزایش مواد آلی در اراضی پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۳۱، ۳۲ و ۳۳) داشته است. نمونه شماره ۳۳ که از فاصله ۹ کیلومتری دهانه تونل مادر گرفته شده است، به دلیل فاصله گرفتن از منطقه معدنکاری، نسبت به نمونه شماره ۳۲، کاهش ۶۳/۴ درصدی را در غلظت مواد آلی نشان می دهد و نسبت به نمونه شماره ۳۰ که از بالادست معدنکاری گرفته شده است، افزایش ۱۴/۴ درصدی را در غلظت مواد آلی نشان می دهد.

لازم به ذکر می باشد که جهت بادهای غالب منطقه (شمال غرب به جنوب شرق تا غرب به شرق) نیز کمک بسزایی در پراکنندگی گرد ذغال داشته اند که نتیجه این تأثیر در نتایج بدست آمده قابل مشاهده می باشد. جهت بررسی دقیقتر ارتباط pH، مواد آلی و مقدار رس خاک با عناصر موجود در آن، جدول شماره ۶-۸ که همبستگی این پارامترها با عناصر را نشان می دهد، تهیه گردیده است. به

طور کلی عناصری که رابطه همبستگی مثبتی را با یکدیگر نشان می دهند، دارای ویژگی های ژئوشیمیایی مشابه بوده و تجمع و یا پراکندگی مشابهی را نشان می دهند.

جدول شماره ۶-۷: مقدار مواد آلی، pH و دانه بندی خاک (نمونه های شماره ۳۰-۳۳) برداشت شده از منطقه (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

شماره نمونه	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	OM (%)
30	52.27	31.84	4.16	11.27	8.3	8.93
31	34.23	48.25	11.05	6.27	8.44	15.92
32	56.17	35.32	4.42	4.1	9.49	17.04
33	56.69	33.24	3.8	6.3	8.6	10.43

OM: Organic Matter

از آنجایی که همزمان با بالا رفتن pH خاک، از حلالیت و تحرک عناصر کاسته شده و تمایل آنها به باقی ماندن در فاز جامد بیشتر می شود، به عبارتی دیگر در بیشتر مواقع ارتباط pH با فراوانی عناصر در خاک، یک رابطه همسو می باشد که عکس این رابطه در آب برقرار است. در نتیجه انتظار می رود غلظت و فراوانی عناصر با pH خاک رابطه مثبت نشان دهند. این رابطه در همبستگی های مثبت بالایی که بین pH با منیزیم، سدیم، آنتیموان و سرب ( $r = 0.764$  و  $0.807$ ،  $0.956$ ،  $0.935$ ) به ترتیب) و همبستگی های کم تا قابل توجهی که با کلسیم، سلنیوم، استرانسیوم و جیوه ( $0.413$  و  $0.333$ ،  $0.277$ ،  $0.286$ ) به ترتیب) وجود دارد، کاملاً مشاهده می گردد. عناصری مانند پتاسیم، کادمیوم، آرسنیک، آهن و روی به ترتیب همبستگی های منفی  $0.665$ ،  $0.144$ ،  $0.605$ ،  $0.208$  و  $0.108$  را با pH نشان می دهند، این روابط منفی به معنی ارتباط معکوس فراوانی آنها با افزایش pH نبوده بلکه همبستگی های بالای آنها با سایر پارامترهای نگهدارنده عناصر در خاک (مواد آلی و رس) باعث شده است تا تغییرات pH (بین  $8/3$  تا  $9/49$ ) در جابجایی و انتقال عناصر در خاک منطقه نقش کمی ایفا نموده و جذب سطحی کنترل بیشتری در نگهداری آنها داشته باشد.

فصل ششم: ارزیابی توزیع عناصر در منابع آب و خاک

جدول ۸-۶: همبستگی عناصر با یکدیگر و با pH، مواد آلی (OM) و محتوای رس (Clay) نمونه‌های خاک منطقه (نمونه شماره ۳۰ تا ۳۳)

	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Cd	Sb	Hg	Sr	Se	Ba	S	Na	K	Ca	Mg	PH	OM	Clay
Cu	1.000																		
Pb	0.813	1.000																	
Zn	0.923	0.445	1.000																
Fe	0.608	0.011	0.741	1.000															
As	0.234	-0.223	0.222	0.187	1.000														
Cd	-0.035	-0.112	-0.094	-0.440	-0.435	1.000													
Sb	0.270	0.854	0.062	-0.413	-0.448	0.274	1.000												
Hg	0.692	0.844	0.540	-0.099	-0.048	0.282	0.812	1.000											
Sr	-0.289	-0.227	-0.472	-0.023	-0.502	0.035	0.027	-0.393	1.000										
Se	-0.277	-0.910	-0.756	0.987	0.839	-0.978	-0.868	-0.949	0.444	1.000									
Ba	0.219	-0.185	0.078	0.557	-0.086	-0.272	-0.228	-0.315	0.772	0.630	1.000								
S	0.641	-0.264	0.236	0.687	0.209	-0.314	-0.239	-0.364	0.934	0.580	0.998	1.000							
Na	0.059	0.819	-0.035	-0.296	-0.665	0.058	0.886	0.552	0.141	-0.944	-0.168	-0.278	1.000						
K	0.015	-0.541	-0.063	0.153	0.875	-0.360	-0.615	-0.365	-0.058	0.891	0.259	0.697	-0.809	1.000					
Ca	-0.805	-0.247	-0.966	-0.807	-0.277	0.138	0.172	-0.335	0.523	-0.403	-0.051	-0.024	0.210	-0.008	1.000				
Mg	0.047	0.727	-0.103	-0.328	-0.759	0.214	0.893	0.520	0.333	-0.676	-0.022	-0.119	0.966	-0.799	0.295	1.000			
PH	0.030	0.764	-0.108	-0.208	-0.605	-0.144	0.807	0.413	0.333	0.277	0.065	-0.008	0.956	-0.665	0.286	0.935	1.000		
OM	0.760	0.883	0.619	0.071	-0.966	0.367	0.817	0.958	-0.146	-0.901	-0.115	-0.272	0.764	-0.892	-0.395	0.800	0.625	1.000	
Clay	-0.702	-0.913	-0.365	0.135	0.978	-0.291	-0.981	-0.956	-0.283	0.998	-0.333	-0.986	-0.892	0.836	0.076	-0.951	-0.803	-0.924	1.000

رس ها به دلیل داشتن سطح ویژه بالا، توانایی بسیار زیادی در جذب و نگهداری عناصر (بویژه کاتیون ها) را دارا می باشند. سطح بیرونی ۱ گرم رس کلئیدی حداقل ۱۰۰۰ برابر بیش از ۱ گرم ماسه دانه درشت می باشد (عباس نژاد، ۱۳۸۴). با اینکه انتظار می رود تمامی کاتیون ها با مقدار رس نمونه ها همبستگی مثبتی را نشان دهند، به دلیل قوی تر بودن تأثیر سایر پارامترها (pH و مواد آلی) بر فراوانی بعضی از عناصر، این رابطه تنها برای گروهی از عناصری که با pH و با مواد آلی، همبستگی کمتری برقرار نموده اند، صدق می کند. به عنوان مثال آرسنیک و پتاسیم که با pH رابطه منفی نشان داده بودند، با مقدار رس روابط مثبت بالایی (به ترتیب ۰/۹۷۸ و ۰/۸۳۶) را نشان می دهند. سلنیوم، آهن و کلسیم نیز که با pH رابطه ضعیفی برقرار نموده بودند، با مقدار رس نمونه ها همبستگی های بسیار زیاد تا کم (به ترتیب ۰/۹۹۸، ۰/۱۳۵ و ۰/۰۷۶) را نشان داده اند.

مواد آلی از دیگر اجزاء خاک بوده که دارای سطح ویژه بسیار بالا (بالغ بر ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر مربع بر کیلوگرم) و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد (۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی مول بر کیلوگرم) می باشند (اوستان، ۱۳۸۳). از آنجایی که مواد آلی جاذب عناصر (بویژه کاتیون ها) بوده و همزمان با افزایش مقدار آنها در خاک غلظت عناصر نیز افزایش می یابد، انتظار می رود همبستگی مثبتی بین عناصر با مواد آلی برقرار گردد. همبستگی های مثبت بسیار بالایی که بین ماده آلی با عناصر جیوه، آنتیموان، روی، سرب، مس، منگنز و سدیم (۰/۷۶۴، ۰/۸۰۰، ۰/۷۶۰، ۰/۸۸۳، ۰/۶۱۹، ۰/۸۱۷، ۰/۹۵۸ به ترتیب) وجود دارد، نشان دهنده نقش بالای مواد آلی در نگهداری این عناصر می باشد.

تأثیر بسیار زیاد pH و جذب سطحی توسط محتوای رسی، در حفظ و نگهداری و یا انتقال بعضی از عناصر باعث شده تا نقش مواد آلی در تغییرات این عناصر ناچیز شده و همبستگی منفی با آنها نشان دهند. آرسنیک، پتاسیم و سلنیوم که همبستگی های منفی بالایی (۰/۹۰۱، ۰/۸۹۲، ۰/۹۶۶-) را با مواد آلی نشان می دهند، از جمله این عناصر می باشند. عناصری که دارای همبستگی های مثبت و یا منفی قابل توجهی با پارامترهای ذکر شده (pH، مواد آلی و مقدار رس) می باشند، به ترتیب با یکدیگر همبستگی های مثبت و یا منفی نشان می دهند. به عنوان مثال منیزیم که همبستگی مثبت

بالایی را با pH نشان می دهد (۰/۹۳۵)، با بسیاری از عناصری که با pH رابطه مثبت برقرار نموده اند، همبستگی مثبت نشان می دهد. کلسیم، سدیم، استرانسیوم، جیوه، آنتیموان و سرب به ترتیب همبستگی های مثبت ۰/۲۹۵، ۰/۹۶۶، ۰/۳۳۳، ۰/۵۲۰، ۰/۸۹۳ و ۰/۷۲۷ را با منیزیم نشان می دهند. سدیم که بیشترین همبستگی را با pH نشان داده بود (۰/۹۵۶)، بیشترین همبستگی را نیز با منیزیم (۰/۹۶۶) برقرار نموده است.

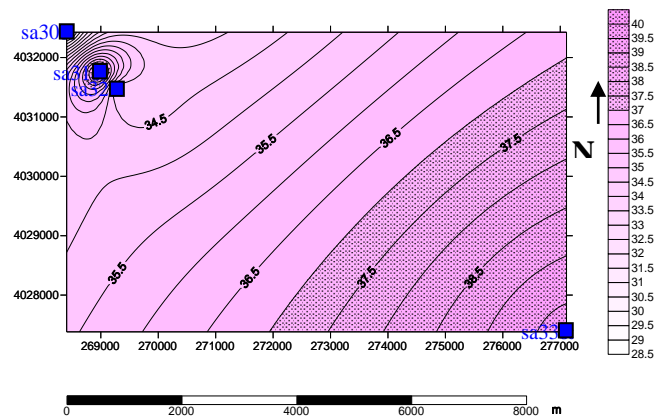
این ارتباط در مورد همبستگی عناصر با سایر مواد کنترل کننده غلظت عناصر (مواد آلی و رس) در خاک نیز صدق می کند. آنتیموان، کادمیوم، روی، سرب، مس، منیزیم و سدیم که ارتباط مثبت و مستقیمی را با مواد آلی ایجاد نموده اند، با جیوه که بیشترین همبستگی را با مواد آلی نشان داده بود (۰/۹۵۸)، به ترتیب همبستگی های ۰/۸۱۲، ۰/۲۸۲، ۰/۵۴۰، ۰/۸۴۴، ۰/۶۹۲، ۰/۵۲۰ و ۰/۵۵۲ را نشان می دهد. سرب و آنتیموان که بعد از جیوه دارای بیشترین همبستگی مثبت با مواد آلی می باشند، بیشترین همبستگی ها را با جیوه نیز برقرار نموده اند. همبستگی مثبتی که بین آرسنیک با آهن، پتاسیم و سلنیوم (۰/۸۳۹، ۰/۸۷۵ و ۰/۱۸۷) وجود دارد را می توان به همبستگی مثبت این عناصر، با محتوای رس نمونه ها مربوط دانست.

## ۵-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه های خاک منطقه

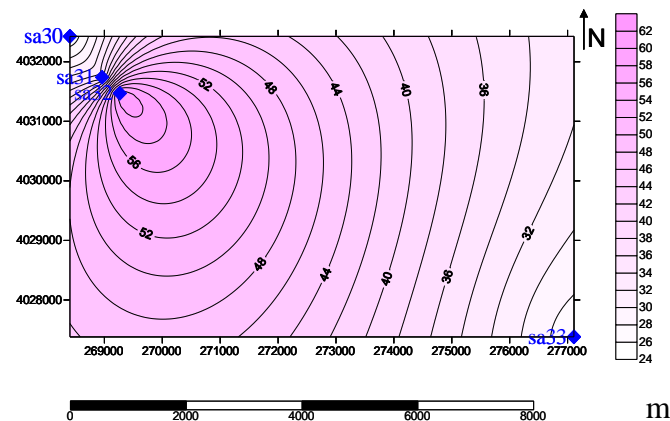
جهت مشاهده بهتر روند تغییرات هر عنصر در بین ۴ نمونه خاک مورد بررسی (نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳) نمودار دو بعدی تغییرات آن، توسط نرم افزار Surfer تهیه گردیده است. این نمودارها در شکل های شماره ۶-۱۴ تا ۶-۲۹ آورده شده است.

رواناب، باد و حمل و نقل ذغال توسط وسایل نقلیه موتوری از جمله عوامل پراکندگی عناصر در خاک منطقه می باشد. به طور کلی در نمونه های خاک پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۳۱ و ۳۲) نسبت به خاک گرفته شده از اراضی بالادست (نمونه شماره ۳۰)، شاهد افزایش قابل توجهی در غلظت عناصر می باشیم و با دور شدن از منطقه معدنکاری، به دلیل کاهش تأثیر عوامل پراکنده کننده عناصر، کاهش دوباره غلظت آنها را مشاهده می نماییم (نمونه شماره ۳۳). البته در بیشتر مواقع

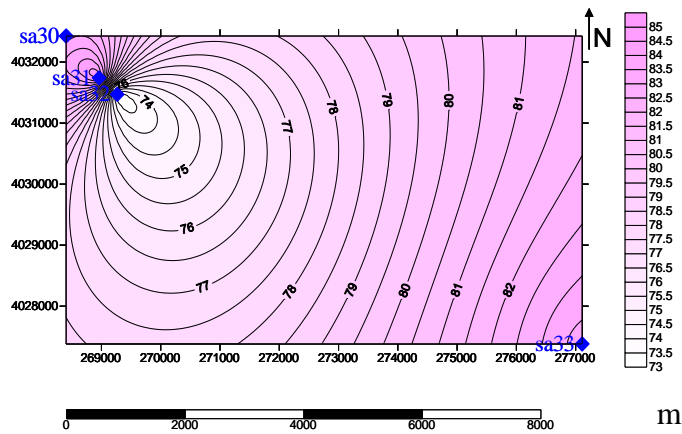
این کاهش آنقدر ادامه پیدا نمی کند که غلظت عنصر در خاک، به غلظت اولیه آن در خاک بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۳۰) برسد. عناصری مانند مس، سرب، روی، کادمیوم، آنتیموان و جیوه که همبستگی مثبتی را با مواد آلی نشان می دهند (جدول شماره ۶-۸)، در نمونه های شماره ۳۱ و ۳۲ که به ترتیب از فواصل ۳۰۰ و ۷۰۰ متری پایین دست معدنکاری گرفته شده اند فراوانی های قابل توجهی را در خاک منطقه نشان می دهند.



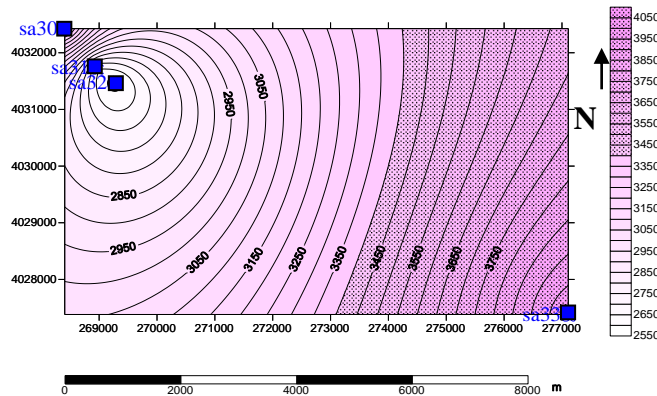
شکل شماره ۶-۱۴: روند تغییرات Cu در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



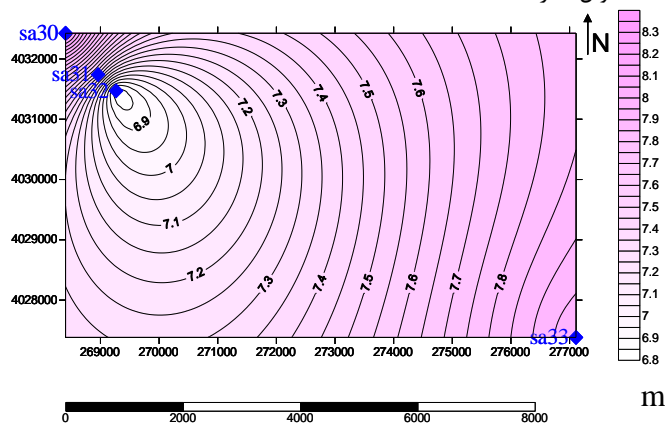
شکل شماره ۶-۱۵: روند تغییرات Pb در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



شکل شماره ۶-۱۶: روند تغییرات Zn در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

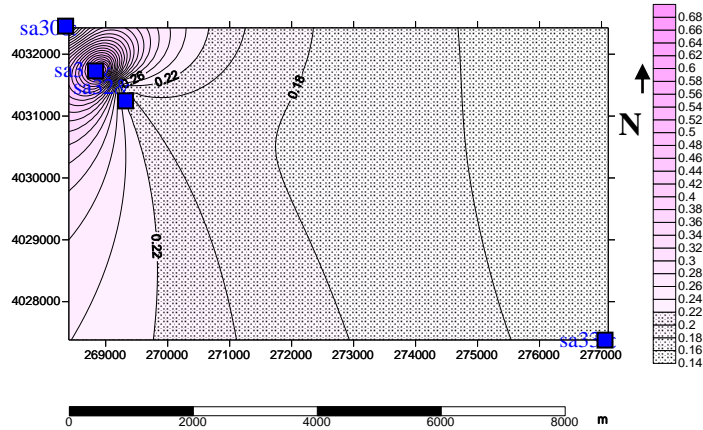


شکل شماره ۶-۱۷: روند تغییرات Fe در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

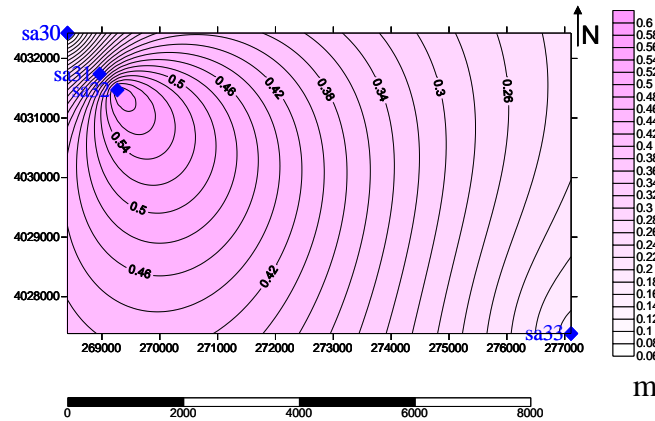


شکل شماره ۶-۱۸: روند تغییرات As در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

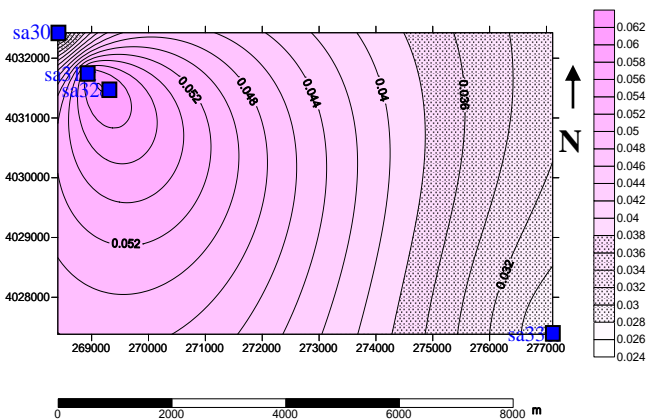




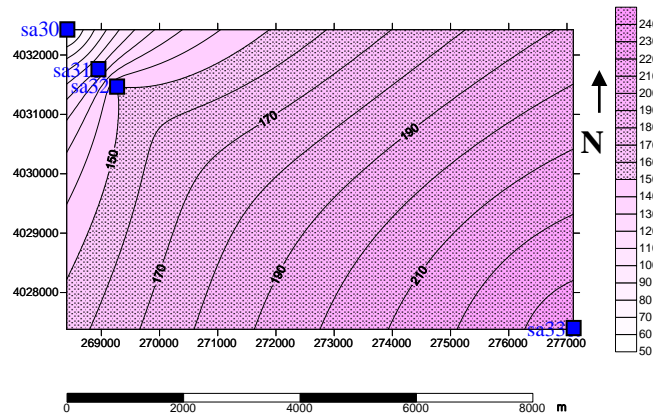
شکل شماره ۶-۱۹: روند تغییرات Cd در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



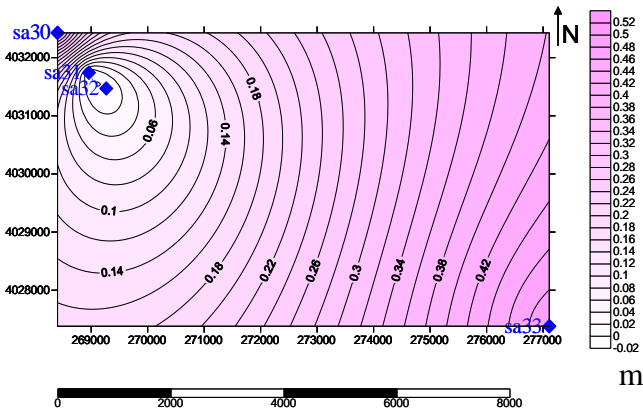
شکل شماره ۶-۲۰: روند تغییرات Sb در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



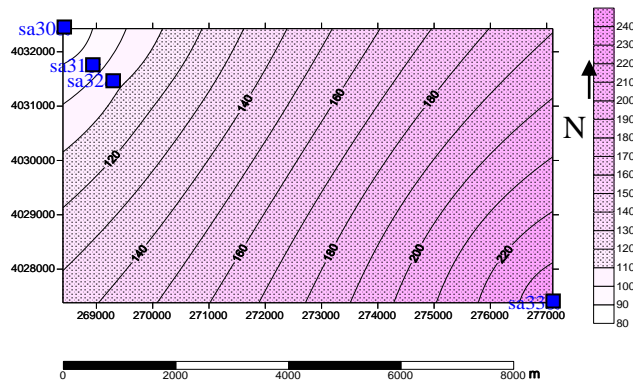
شکل شماره ۶-۲۱: روند تغییرات Hg در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



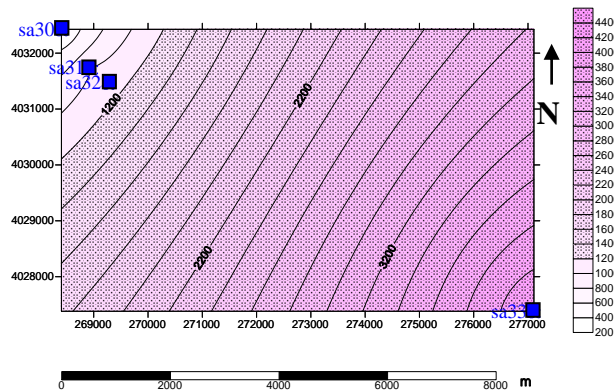
شکل شماره ۶-۲۲: روند تغییرات Sr در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



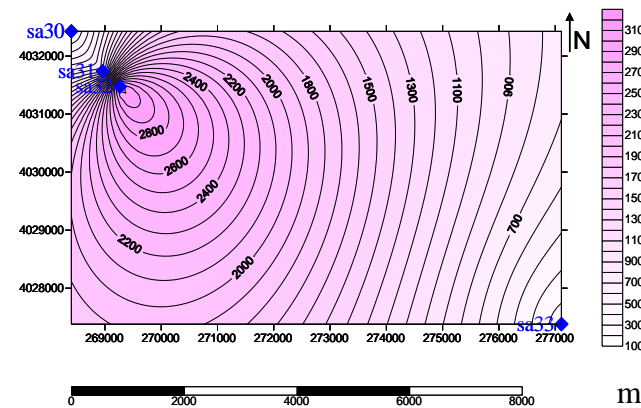
شکل شماره ۶-۲۳: روند تغییرات Se در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



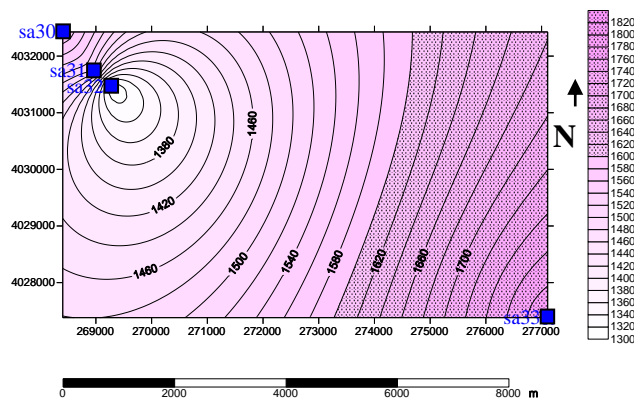
شکل شماره ۶-۲۴: روند تغییرات Ba در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



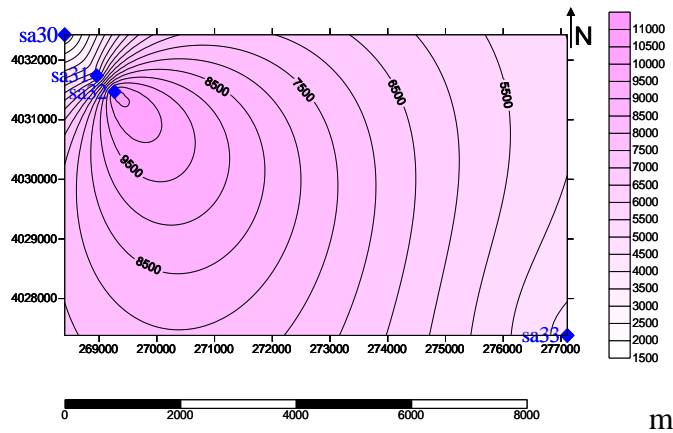
شکل شماره ۶-۲۵: روند تغییرات S در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



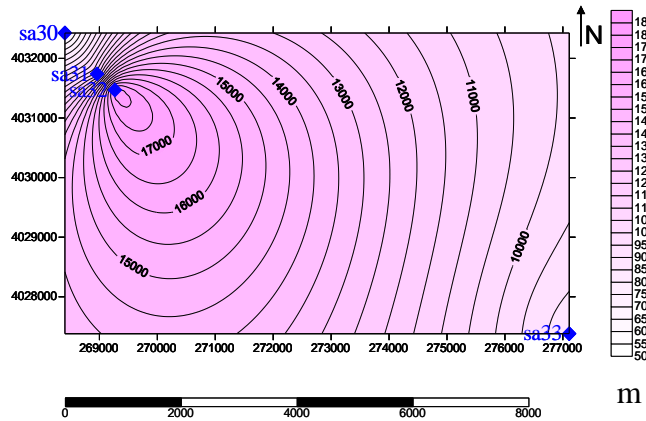
شکل شماره ۶-۲۶: روند تغییرات Na در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



شکل شماره ۶-۲۷: روند تغییرات K در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده. نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر. نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



شکل شماره ۶-۲۸: روند تغییرات Ca در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده، نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)



شکل شماره ۶-۲۹: روند تغییرات Mg در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ بر حسب ppm (نمونه شماره ۳۰: خاک بالادست منطقه معدنکاری شده، نمونه شماره ۳۱: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۲: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۷۰۰ متری از دهانه تونل مادر، نمونه شماره ۳۳: خاک پایین دست معدنکاری و در فاصله ۹۰۰۰ متری از دهانه تونل مادر)

به دلیل کاهش مواد آلی (گرد ذغال)، در نمونه شماره ۳۳ که از فاصله ۹ کیلومتری پایین دست منطقه معدنکاری شده گرفته شده است (جدول شماره ۶-۷)، کاهش دوباره غلظت عناصر را شاهد هستیم. این روند در تغییرات غلظت عنصر سرب که در نمونه های خاک بالادست (نمونه شماره ۳۰) به سمت پایین دست منطقه معدنکاری شده (نمونه های شماره ۳۱، ۳۲ و ۳۳) به ترتیب فراوانی های ۲۴/۳، ۳۴/۷، ۶۲/۰ و ۲۶/۴ را (بر حسب ppm) نشان می دهد و همچنین تغییرات غلظت عنصر کادمیوم (به ترتیب بر حسب ppm: ۰/۱۷، ۰/۷، ۰/۲ و ۰/۱۵) و آنتیموان (بر حسب ppm: ۰/۰۸، ۰/۴،

۰/۶ و ۰/۱۷) در نمونه های فوق، به خوبی مشاهده می گردد (شکل های شماره ۶-۱۵، ۶-۱۹ و ۶-۲۰). مس، روی و جیوه نیز تغییراتی نسبتاً مشابه سرب، آنتیموان و کادمیوم نشان می دهند (شکل های شماره ۶-۱۴، ۶-۱۶ و ۶-۲۱).

آهن، آرسنیک، سلنیوم و پتاسیم، که همبستگی های مثبت قابل توجهی را با مقدار رس نمونه ها نشان داده بودند، به دلیل کم بودن درصد رس روند خاصی را در نمونه های خاک گرفته شده از پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۳۱، ۳۲ و ۳۳) نشان نداده اند و در واقع مقدار رس این نمونه ها (جدول شماره ۶-۷)، بیشترین تأثیر را در توزیع غلظت این عناصر در خاک ایفا نموده است. نمونه شماره ۳۰ (خاک بالادست معدنکاری) و نمونه شماره ۳۳ (خاک پایین دست معدنکاری، مجاور چشمه) که بیشترین مقدار رس (به ترتیب ۱۱/۲۷٪ و ۶/۳۱٪) را در بین سایر نمونه های خاک دارا می باشند، بیشترین غلظت را در مورد آهن (به ترتیب برحسب ppm: ۳۴۷۰۰ و ۴۰۰۰۰)، آرسنیک (به ترتیب برحسب ppm: ۸/۳ و ۸/۰)، سلنیوم (به ترتیب برحسب ppm: ۰/۴ و ۰/۵) و پتاسیم (به ترتیب برحسب ppm: ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰) نشان می دهند (شکل های شماره ۶-۱۷، ۶-۱۸، ۶-۲۳ و ۶-۲۷).

همبستگی مثبت بسیار بالایی که بین آرسنیک و رس (۰/۹۷۸) وجود دارد، به همراه همبستگی منفی آرسنیک با pH و مواد آلی (به ترتیب ۰/۶۰۵- و ۰/۹۶۶-) باعث شده است تا نمونه بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۳۰) با درصد بالاتر رس (۱۱/۲۷٪) غلظتی بیشتر از این عنصر را (۸/۳ ppm) نسبت به نمونه های پایین دست معدنکاری یعنی نمونه های شماره ۳۱ تا ۳۳ (به ترتیب برحسب ppm: ۷/۴، ۶/۸ و ۸/۰) با درصد پایین تر رس دارا باشد.

عناصری مانند استرانسیوم، باریم، گوگرد، سدیم، کلسیم و منیزیم که از حلالیت بالایی برخوردار بوده و غلظت های بالایی را نیز در آب زیرزمینی نشان داده بودند، بیشترین افزایش را نیز بین دو نمونه خاک بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۳۰) و خاک پایین دست اراضی معدنکاری (نمونه شماره ۳۳) نشان می دهند. افزایش ۴/۳۵ برابر برای استرانسیوم، ۲/۹۳ برابر برای باریم و به ترتیب ۱۰/۵، ۱/۴۴،

۲/۸۴ و ۱/۵ برابر برای گوگرد، سدیم، کلسیم و منیزیم مشاهده می گردد (شکل های شماره ۶-۲۲، ۲۴-۶، ۲۵-۶، ۲۶-۶، ۲۸-۶ و ۲۹-۶).

استرانسیوم، باریوم و گوگرد که در آب همبستگی های منفی بالا (به ترتیب ۰/۸۱۹، ۰/۸۴۳ و ۰/۹۶۰) و در خاک (بجز گوگرد)، همبستگی های مثبتی (به ترتیب ۰/۳۳۳، ۰/۰۶۵ و ۰/۰۰۸-) را با pH نشان داده و ارتباطی منفی با میزان رس (به ترتیب ۰/۲۸۳، ۰/۳۳۳- و ۰/۹۸۶-) و مواد آلی (به ترتیب ۰/۱۴۶، ۰/۱۱۵- و ۰/۲۷۴-) در خاک را دارند، روند غلظتی کاملاً افزایشی را در نمونه های شماره ۳۰ تا ۳۳ (به ترتیب خاک بالادست معدنکاری، خاک ۳۰۰ متر بعد از معدنکاری، خاک ۷۰۰ متر بعد از معدنکاری و خاک ۹ کیلومتر بعد از معدنکاری) نشان می دهند. همبستگی های منفی مواد آلی و رس با این عناصر باعث شده است تا تغییرات pH آب و خاک مهمترین نقش را در تجمع این عناصر ایفا نماید. افزایش غلظت استرانسیوم از ۵۴/۵ ppm در نمونه شماره ۳۰ (خاک بالادست معدنکاری) به ۱۱۱ ppm، ۱۵۰ ppm و ۲۳۷/۳ ppm در خاک های پایین دست معدنکاری (به ترتیب نمونه های شماره ۳۱، ۳۲ و ۳۳)، این افزایش را به خوبی نشان می دهد. چنین روندی در مورد افزایش غلظت عناصر باریوم (به ترتیب برحسب ppm: ۸۱/۴، ۹۶، ۱۰۷ و ۲۳۸/۲) و گوگرد (به ترتیب برحسب ppm: ۴۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۴۲۰۰)، در نمونه های فوق الذکر نیز مشاهده می گردد.

انتظار می رود عناصری مانند سدیم و منیزیم که روابطی مشابه با گوگرد، استرانسیوم و باریوم را با pH خاک و آب (بجز سدیم) برقرار نموده اند، روندی افزایشی را به سمت پایین دست منطقه دنبال نمایند. همبستگی مثبتی که بین مواد آلی با منیزیم و سدیم (۰/۷۶۴ و ۰/۸۰۰ = r به ترتیب) وجود دارد، باعث شده تا این عناصر در محل نمونه های شماره ۳۱ و ۳۲ که به ترتیب در فواصل ۳۰۰ و ۷۰۰ متری از تونل مادر گرفته شده اند، افزایش و با دور شدن از محدوده معدنکاری و همزمان با کم شدن مقدار مواد آلی (گرد ذغال) موجود در منطقه، در محل نمونه شماره ۳۳ که در فاصله ۹ کیلومتری از دهانه تونل مادر گرفته شده است، کاهش دوبراره را پیدا کنند. این تغییرات برای عناصر سدیم و منیزیم در نمونه های شماره ۳۰-۳۳ به ترتیب (برحسب ppm) ۱۶۰، ۸۴۰، ۳۱۵۰ و ۲۳۰

برای سدیم و ۵۵۰۰، ۱۱۱۰۰، ۱۸۴۰۰ و ۸۶۰۰ برای منیزیم می باشد. افزایش غلظتی که در مورد Ca از نمونه بالادست معدنکاری (۱۵۱۰۰ ppm) به سمت نمونه های شماره ۳۱ (۴۷۶۰۰ ppm) و ۳۲ (۱۰۷۴۰۰ ppm) مشاهده می گردد را علاوه بر pH، می توان به محتوای کربناتی نمونه ها مربوط دانست. احتمالاً با کاهش محتوای کربناته در نمونه شماره ۳۳، Ca نیز کاهش چشمگیری (۴۲۹۰۰ ppm) نشان می دهد. با توجه به همبستگی هایی که بین Ca با Mg (۰/۲۹۵) و Na (۰/۹۶۶) وجود دارد، تغییرات منیزیم و سدیم را نیز علاوه بر pH و میزان مواد آلی، می توان به محتوای کربناتی نمونه ها مربوط دانست. با اینکه غلظت این عناصر در نمونه شماره ۳۳ نسبت به نمونه شماره ۳۲ کاهش بسیار زیادی پیدا کرده است، اما نسبت به نمونه شماره ۳۰ که از بالا دست منطقه معدنکاری گرفته شده است، افزایش قابل توجهی را نشان می دهد. این افزایش، ۲/۸۴ برابر برای کلسیم و به ترتیب ۱/۵۶ و ۱/۴۴ برابر برای منیزیم و سدیم بوده است.

#### ۶-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه های رسوب منطقه

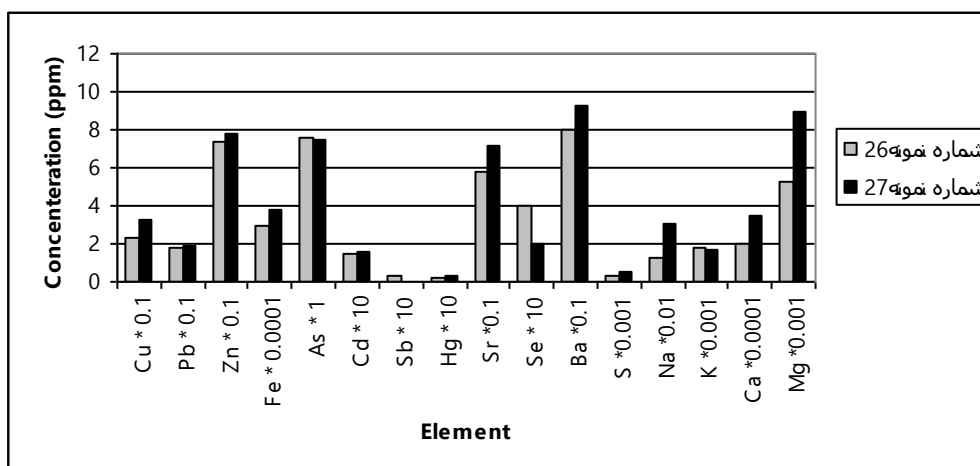
همانطوری که معدنکاری باعث افزایش غلظت عناصر در آب و خاک مناطق پایین دست معدنکاری نسبت به بالادست آن شده است، تغییراتی را نیز در مقدار عناصر موجود در رسوبات آبراهه اصلی منطقه که از سازندهای دلیچای و لار (بالادست معدنکاری) شروع شده و تا اراضی پایین دست معدنکاری ادامه پیدا کرده است، ایجاد نموده است.

غلظت عناصر در نمونه رسوبی که از فاصله ۷۰۰ متری بالادست معدنکاری، از داخل آبراهه اصلی منطقه گرفته شده است (نمونه شماره ۲۶)، به همراه غلظت عناصر در رسوبی که از فاصله ۷۰۰ متری از پایین دست معدنکاری از داخل این آبراهه برداشت شده است (نمونه شماره ۲۷) در جدول شماره ۶-۹ و شکل شماره ۶-۳۰ آورده شده است. همانطور که در جدول ۶-۹ مشاهده می گردد بسیاری از عناصر در رسوب پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۷) اندکی افزایش را نسبت به رسوب بالا دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۶) نشان می دهند.

جدول شماره ۶-۹: غلظت عناصر (بر حسب ppm) در نمونه های رسوب قبل و بعد از معدنکاری (نمونه های شماره

۲۶ و ۲۷)

Element	شماره نمونه	
	۲۶	۲۷
<b>Cu</b>	<b>23</b>	<b>32.5</b>
<b>Pb</b>	<b>18.4</b>	<b>19</b>
<b>Zn</b>	<b>73.8</b>	<b>77.5</b>
<b>Fe</b>	<b>29300</b>	<b>37900</b>
<b>As</b>	<b>7.6</b>	<b>7.5</b>
<b>Cd</b>	<b>0.15</b>	<b>0.16</b>
<b>Sb</b>	<b>0.03</b>	<b>-</b>
<b>Hg</b>	<b>0.024</b>	<b>0.028</b>
<b>Sr</b>	<b>57.7</b>	<b>71.3</b>
<b>Se</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>
<b>Ba</b>	<b>80.4</b>	<b>92.8</b>
<b>S</b>	<b>300</b>	<b>500</b>
<b>Na</b>	<b>130</b>	<b>310</b>
<b>K</b>	<b>1800</b>	<b>1700</b>
<b>Ca</b>	<b>19500</b>	<b>35100</b>
<b>Mg</b>	<b>5300</b>	<b>8900</b>



شکل ۶-۳۰: تغییرات غلظت عناصر در نمونه های رسوب بالادست و پایین دست معدنکاری (نمونه های شماره ۲۶ و

۲۷)

در حالی که عناصری مانند مس، سرب، روی و باریم، که توانایی انحلال بسیار کمی را در pH های قلیایی دارا می باشند، افزایش های اندکی (به ترتیب بر حسب ppm: ۹/۵، ۰/۶، ۳/۷ و ۱۲/۴) را در رسوب پایین دست منطقه نشان می دهند، عناصر فعال و کاتیون ها و آنیون هایی که توانایی انحلال



در آب را داشته اند نظیر Ca، Mg، Na و S به ترتیب ۱۵۶۰۰ ppm، ۳۶۰۰ ppm، ۱۸۰ ppm و ۲۰۰ ppm را نشان می دهند. یون  $Fe^{+2}$  نیز که در pH های نزدیک به خنثی محلول می باشد، افزایش ۸۶۰۰ ppm را در رسوب پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۷) نسبت به رسوب بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۲۶) نشان می دهد. شستشوی سطحی منطقه معدنکاری شده و بخصوص دمپ های باطله را می توان مهمتری عوامل افزایش غلظت این عناصر در رسوبات پایین دست معدنکاری در نظر گرفت.

با توجه به جداول ۱-۶ (غلظت عناصر در نمونه های آب زیرزمینی منطقه) و ۶-۶ (غلظت عناصر در نمونه های خاک منطقه) مشاهده می گردد که عناصری همچون مس، سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم، آنتیموان، جیوه و سلنیوم که در pH های قلیایی (منطقه مورد مطالعه) قابلیت حلالیت و تحرک بسیار کمی را دارا می باشند، در آب و خاک مناطق پایین دست معدنکاری افزایش قابل توجهی را نشان نمی دهند، در صورتی که عناصری چون استرانسیوم، گوگرد، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم که توانایی حلالیت در آب (سطحی و زیرزمینی) را داشته اند، به ترتیب، ۴/۲، ۹/۳، ۱/۷۸، ۲/۶، ۷/۶۹ و ۴/۴۴ برابر افزایش را در آب پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) نسبت به آب بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۱۸) و ۴/۳۵، ۱۰/۵، ۱/۴۳، ۱/۱۲، ۲/۸۴ و ۱/۵۶ برابر افزایش را در خاک پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۳۳) نسبت به خاک بالادست معدنکاری (نمونه شماره ۳۰) نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد گوگرد و استرانسیوم در آب و خاک پایین دست منطقه افزایش نسبتاً یکسانی را نشان می دهند. عناصری چون سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش بیشتری را در آب، نسبت به خاک نشان داده اند. این امر را می توان با حلالیت بالای این عناصر و تمایل بیشتر آنها در باقی ماندن در فاز مایع، توجیه نمود.

# فصل هفتم

جمع بندی، نتیجه گیری

و پیشنهادات

## ۷-۱- کلیات

در این تحقیق جهت ارزیابی اثرات معدنکاری ذغالسنگ در مجموعه معدنی ذغالسنگ طزره (بخش تونل مادر) با مطالعه منابع آلاینده (ذغالسنگ، باطله‌ها، زهاب خروجی از تونل‌های استخراجی و خروجی فاضلاب انسانی) و اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل pH، EC، درصد مواد آلی (OM)، درصد ذرات رسی (Clay)، فراوانی آنیون‌ها و کاتیون‌ها و غلظت عناصر (Hg, Sb, Cd, As, Fe, Zn, Pb, Cu)، (Mg و Ca, K, Na, S, Ba, Se, Sr) موجود در آنها، به بررسی عوامل فیزیکوشیمیایی مؤثر در تجمع (غنی‌شدگی) و شستشوی (تهی‌شدگی و جابجایی) این عناصر پرداخته شد و میزان پراکندگی و گسترش عناصر و تغییرات پارامترهای مورد بررسی در منابع آب و خاک پایین دست معدنکاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شد.

در این فصل به جمع‌بندی مطالب فصول گذشته پرداخته و نتایج حاصل از آزمایشات و اندازه‌گیری‌هایی که در جهت رسیدن به اهداف این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به صورت اجمالی اشاره شده است. پیشنهادهایی نیز جهت کاهش آلودگی اراضی پایین دست و انجام مطالعات تکمیلی، در انتهای این فصل آمده است.

## ۷-۲- انجام مطالعات و بررسی زمین‌شناسی منطقه

جهت انجام یک تحقیق جامع زیست‌محیطی، قبل از هر چیز به انجام مطالعاتی پیرامون ویژگی‌های اقلیمی (میزان بارش، جهت وزش باد و ...) زمین‌شناسی (چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و تکتونیک)، آب‌شناسی (حوضه آبریز، جهت حرکت آب زیرزمینی و ...) و توپوگرافی منطقه پرداخته و عوامل مؤثر در تولید و گسترش آلودگی‌ها شناسایی گردیدند. از مطالعاتی که در مورد ژئوشیمی ذغالسنگ (و عناصر موجود در ذغالسنگ) و آلودگی‌های ناشی از آن در سایر نقاط جهان صورت گرفته است نیز جهت تجزیه و تحلیل بهتر نتایج استفاده شد. منطقه مورد مطالعه (مجموعه تونل مادر) قسمتی از مجموعه معدنی طزره واقع در زون البرز شرقی می‌باشد. سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای و لار

مهمترین واحدهای سنگی منطقه بوده که به دلیل بالا بودن فعالیت‌های تکتونیکی، شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های فراوانی در آن مشاهده می‌گردد. ضخامت زیاد سازند شمشک (۳۹۰۰ متر)، فراوانی گسل‌های عرضی نرمال و شکستگی‌هایی که عموماً توسط کلسیت پر شده‌اند، از ویژگی‌های سازند شمشک و لایه‌های ذغالی که خاکستر بالا (۲۵٪ در نمونه مورد بررسی) و آهن و گوگرد کم را نشان می‌دهند، از ویژگی‌های توالی‌های ذغالی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

پس از شناسایی منابع آلاینده (ذغالسنگ، باطله‌های معدنی، زهاب‌های خروجی از تونل‌های استخراجی و خروجی‌های فاضلاب انسانی) و محیط تحت تأثیر آنها (منابع آب و خاک پایین دست معدنکاری) به انجام نمونه برداری از این منابع پرداخته و پارامترهای مختلفی در آنها اندازه‌گیری و توزیع آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### ۷-۳- ارزیابی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و خاک منطقه

#### ۷-۳-۱- ارزیابی تغییرات pH در منطقه

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقادیر pH تمامی نمونه‌های (جامد و مایع) برداشت شده از منطقه، مشخص نمود که بجز pH باطله‌های ۲۵ ساله سینه کار (روی دامنه) که اسیدی و به‌طور میانگین برابر ۵/۶۲ بودند، سایر مواد جامد، pH‌های قلیایی نشان دادند (شکل ۵-۱۸ و جدول ۶-۷). بیشتر منابع آبی منطقه نیز pH قلیایی نشان دادند (جداول ۵-۵ و ۶-۲). مطلب قابل توجه وجود NAMD در زهاب خروجی تونل بود که با  $pH = 7/6$  مشخص گردید. pH بالای زهاب خروجی باعث کاهش حلالیت برخی عناصر گردیده و عاملی جهت رسوبگذاری این عناصر در خاک منطقه می‌باشد. pH قلیایی حاکم بر منطقه به دلیل وجود مواد کربناته بالا نیز دلیلی دیگر بر رسوبگذاری مواد و عامل تشدید کننده آلودگی خاک در منطقه است. فعالیت‌های معدنی pH آب زیرزمینی پایین دست را کاهش داده و مقدار آن را به ۶/۷۹ می‌رساند که خود عاملی در جهت تغییر غلظت عناصر در منابع آب منطقه می‌باشد.

### ۷-۳-۲- ارزیابی تغییرات EC در منطقه

EC تمام نمونه های مایع برداشت شده، اندازه گیری گردید. آب بالادست معدنکاری کمترین ( $775 \mu\text{s}/\text{cm}$ ) و زهاب خروجی تونل که تأثیر مستقیم معدنکاری بر کیفیت آب های زیرزمینی را نشان می دهد، بیشترین ( $3080 \mu\text{s}/\text{cm}$ ) مقدار EC را نشان دادند. EC آب زیرزمینی پایین دست معدنکاری  $1565 \mu\text{s}/\text{cm}$  افزایش را نیز در اثر فعالیت های معدنی، نسبت به آب بالادست معدنکاری نشان می دهد.

### ۷-۳-۳- ارزیابی تغییرات مواد آلی در خاک منطقه

جهت پی بردن به ارتباط میان تجمع و پراکندگی عناصر با درصد مواد آلی، مقدار مواد آلی در نمونه های جامد اندازه گیری گردید. یکی از منابع اصلی افزایش مواد آلی در خاک منطقه، توزیع پودر ذغالی است که در حین عملیات معدنکاری و همچنین از باطله ها در اثر وزش باد به محیط اطراف پراکنده می گردد. ذغالسنگ که بیشترین مقدار مواد آلی ( $62/74\%$ ) را به خود اختصاص داده بود، با پراکندگی در اراضی پایین دست منطقه معدنکاری (پودر ذغال و باطله ها) افزایش ۷۸ درصدی این مواد را در خاک پایین دست منطقه معدنکاری، نسبت به خاک بالادست معدنکاری ایجاد نموده است. البته با فاصله گرفتن از منطقه معدنکاری (در حدود ۹ کیلومتر) مواد آلی موجود در خاک کاهش قابل توجهی را نسبت به محدوده اطراف معدنکاری نشان دادند.

### ۷-۳-۴- ارزیابی تغییرات غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آب منطقه در اثر

#### معدنکاری

تغییرات مقدار آنیون ها و کاتیون ها قبل و بعد از معدنکاری یکی از شاخص های تأثیرات معدنکاری بر منابع آب یک منطقه بشمار می آید. با مقایسه آب زیرزمینی بالادست (نمونه شماره ۱۸) و پایین دست معدنکاری (نمونه شماره ۲۱) مشخص شد که فعالیت های معدنکاری باعث افزایش یون های کلر، سولفات، سدیم، کلسیم، منیزیم و

بی کربنات مقدار ۱۲/۳۸، ۱۴/۲۴، ۱۱/۴۳، ۴/۵، ۴/۷۱ و ۳/۰۲ برابر در آب پایین دست منطقه معدنکاری شده است. بیشترین تأثیر معدنکاری بر افزایش یون سولفات در آب زیرزمینی پایین دست منطقه می باشد. شستشوی سطحی باطله‌ها را می‌توان مهمترین عامل افزایش آنیون‌ها و کاتیون‌ها دانست.

#### ۷-۴- ارزیابی توزیع عناصر در آب و خاک منطقه در اثر معدنکاری

از آنجایی که عناصر موجود در ذغالسنگ و باطله‌های همراه با آن به طور مستقیم (آزادسازی و پراکنده شدن) و غیرمستقیم (تولید زهاب اسیدی یا قلیایی) بیشترین نقش را در آلودگی محیط زیست عهده دار هستند، در این تحقیق رفتار و تغییرات ۱۶ عنصر در مواد آلاینده (ذغالسنگ و باطله‌ها، زهاب‌های خروجی تونل و فاضلاب انسانی) و آب و خاک اطراف معدنکاری (محیط تحت تأثیر) مورد مطالعه قرار گرفت. عناصر، بیشترین فراوانی‌ها را در باطله‌ها و رسوب پای زهاب خروجی تونل نشان دادند. جهت بررسی میزان نقش هر یک از مواد آلاینده جامد (ذغالسنگ و باطله‌ها) در پراکنده‌گی عناصر و آلودگی محیط زیست، تجمع و تمرکز عناصر مورد بررسی در آنها با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی مشخص گردید. جهت درک بهتر ارتباط عناصر با یکدیگر و با پارامترهایی از قبیل pH، EC، مقدار مواد آلی (OM) و محتوای رسی (Clay) از جداول همبستگی استفاده گردید.

#### ۷-۴-۱- غنی‌شدگی عناصر در منابع آلاینده

غنی‌شدگی عناصر در نمونه ذغالسنگ و ۱۲ نمونه باطله (باطله‌های ذغال و باطله‌های سینه کار) با فاکتورهایی تحت نام فاکتور غنی‌شدگی تعیین گردیدند (جدول شماره ۵-۳). عناصری مانند سلنیوم، سرب، جیوه، مس و استرانسیوم، بیشترین فاکتور غنی‌شدگی خود یعنی (به ترتیب) ۴۶۸، ۷۷، ۶۲، ۲۲/۵ و ۱۸/۲ را در ذغالسنگ منطقه نشان دادند. ذغالسنگ فاکتورهای غنی‌شدگی بالایی را نیز برای عناصر آنتیموان (۴۴/۶)، آرسنیک (۱۷/۹) و روی (۱۲) نشان داد.

گوگرد و آرسنیک با میانگین فاکتور غنی‌شدگی ۴۱ و ۳۴ (غنی‌شدگی خیلی شدید) در باطله‌ها مقادیر بیشتری را نسبت به غنی‌شدگی در ذغالسنگ، نشان دادند. غنی‌شدگی بالای عناصر در ذغال و باطله‌ها نقش آنها را به عنوان منابع آلاینده جهت آلودگی آب و خاک منطقه، روشن می‌سازد.

#### ۷-۴-۲- همبستگی عناصر در منابع آلاینده و آب و خاک منطقه

همبستگی پارامترهای pH، EC و غلظت عناصر در نمونه‌های زهاب تونل و فاضلاب انسانی (جدول شماره ۵-۷) و نیز در نمونه‌های آب‌های زیرزمینی منطقه (جدول شماره ۶-۳) در دو جدول مستقل تعیین گردید.

عناصری از قبیل Cu، Fe، Sb، Sr، Se، S و Ca در زهاب تونل و فاضلاب انسانی و هم در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه، همبستگی منفی با pH نشان دادند. از آنجایی که با افزایش غلظت مواد در آب، EC نیز افزایش می‌یابد، غلظت عناصری مانند Sr، S، Na، K، Ca و Mg که فراوانی قابل توجهی را در منابع آبی منطقه نشان داده بودند، با مقدار EC همبستگی مثبتی را در هر دو جدول نشان دادند. به دلیل تفاوت‌های بسیار زیادی که در ویژگی‌های زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی با آب زیرزمینی وجود دارد، عنصری مانند Cu که همبستگی‌های ۰/۵۹۳، -۰/۴۹۵، ۰/۷۲، ۰/۷۵ و ۰/۶۶۱ را به ترتیب با عناصر Zn، Fe، As، Sb و Ba در زهاب خروجی تونل و فاضلاب انسانی نشان داده بود، با این عناصر به ترتیب همبستگی‌های ۰/۷۷۶، ۰/۵۹۸، -۰/۴۶۳، ۰/۸۷۱ و -۰/۹۸۶ را در آب زیرزمینی نشان داد. به طور کلی pH (حلالیت) و پتانسیل یونی مهمترین عوامل مؤثر در همبستگی عناصر در آب تشخیص داده شدند.

همبستگی پارامترهای pH، مواد آلی (OM) و غلظت عناصر برای نمونه‌های ذغال و باطله‌های همراه با آن (جدول شماره ۵-۲) و همبستگی پارامترهای pH، مواد آلی (OM)، محتوای رسی (Clay) و غلظت عناصر برای نمونه‌های خاک برداشت شده از منطقه (جدول شماره ۶-۸) در دو جدول مستقل تعیین گردید.

مواد آلی که در محیط رسوبی اولیه (جدول شماره ۵-۱) با نشان دادن همبستگی های ۰/۱۰۳، ۰/۳۶۶، ۰/۲۳۷، ۰/۸۶۴، ۰/۰۵۱، ۰/۲۱۷ و ۰/۲۵۱ به ترتیب با عناصر Ca و K، Na، S، Cd، Fe، Pb نقش خود را در تجمع عناصر نشان داده بود، در نمونه های خاک منطقه نیز به ترتیب با این عناصر همبستگی های ۰/۸۸۳، ۰/۰۷۱، ۰/۳۶۷، ۰/۲۷۲، ۰/۷۶۴، ۰/۸۹۲ و ۰/۳۹۵ را نشان داد. البته همبستگی مثبت بین مواد آلی با عناصر بیانگر نقش مواد آلی در توزیع آلودگی عناصر در خاک منطقه می باشد. جیوه بیشترین همبستگی را با مواد آلی (۰/۹۵۸) در نمونه های خاک منطقه نشان می دهد (جدول ۶-۸). از همبستگی بالای رس با عناصر As (۰/۹۷۸)، Se (۰/۹۹۸) و K (۰/۸۳۶) در نمونه های خاک منطقه، می توان به نقش رس در نگهداری و کنترل این عناصر پی برد.

آهن که با آرسنیک و گوگرد همبستگی های ۰/۷۸۸ و ۰/۶۵۴ را در نمونه ذغال و باطله نشان داد که به مقدار پیریت نمونه ها مرتبط می شود، در نمونه های خاک منطقه (جدول شماره ۶-۸) نیز همبستگی های مثبت ۰/۱۸۷ و ۰/۶۸۷ را با این عناصر نشان می دهد. پتانسیل یونی به همراه ارتباط ژئوشیمیایی عناصر با pH، مواد رسی و مقدار مواد آلی بیشترین نقش را در همبستگی های مثبت و یا منفی عناصر و جابجایی آنها نشان دادند.

### ۷-۴-۳- توزیع عناصر در آب و خاک منطقه

به دلیل قلیایی بودن آب و خاک منطقه، بسیاری از عناصر سنگین توانایی جابجایی گسترده را از دست داده و تغییرات اندکی را نشان می دهند. افزایش ۱/۰۸، ۱/۰۱ و ۱/۱۲ برابری برای عناصر Pb، Zn و Hg، در اراضی پایین دست معدنکاری، شاهدهی بر این افزایش اندک می باشد. در مقابل عناصری مانند گوگرد، استرانسیوم، کلسیم و منیزیم که از حلالیت بیشتری نسبت به این عناصر برخوردارند، به ترتیب: ۹/۳، ۴/۲، ۷/۶۹ و ۴/۴۴ برابر در آب و ۱۰/۵، ۴/۳۵، ۲/۸۴ و ۱/۵۶ برابر در خاک مناطق پایین دست معدنکاری، نسبت به بالادست معدنکاری افزایش یافته اند. گوگرد و کلسیم با غلظت ppb ۴۳۰۰۰۰ و ۲۸۹۵۱۵، مقادیری بیشتر از حد مجاز آب شرب را نشان می دهند.



## ۷-۵- پیشنهادات

- راهکارهای زیر جهت کاهش آلودگی ناشی از معدنکاری در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد:
- ۱- جلوگیری از شستشوی سطحی باطله‌ها توسط پوشاندن باطله‌های قدیمی با استفاده از مواد غیرقابل نفوذ مانند مواد پلی اتیلنی.
  - ۲- دیو نمودن ذغالسنگ‌ها در محل‌های مسقف و جابجایی آنها به وسیله ماشین‌های روبسته و یا به حالت مرطوب تا از پراکندگی آنها به وسیله باد جلوگیری گردد.
  - ۳- هدایت زهاب‌های خروجی از تونل‌های استخراجی و فاضلاب انسانی به حوضچه‌هایی جهت ته‌نشست نمودن مواد محلول و معلق آلاینده موجود در آنها (با اضافه نمودن مواد آلی و یا معدنی به این حوضچه‌ها تا ته‌نشین مواد با سرعت بیشتری انجام شود).
  - ۴- کاشت گیاهان جاذب (بوژه جاذب عناصر سنگین) در مسیر حرکت زهاب‌های خروجی، فاضلاب انسانی و محل عبور آب حامل از شستشوی دمپ‌های باطله و دیوی ذغال.
  - ۵- هدایت زهاب‌های خروجی از تونل‌های استخراجی، فاضلاب انسانی و آب حاصل از شستشوی دیوهای ذغال و دمپ‌های باطله به محل‌هایی (حوضچه‌هایی) با نفوذپذیری کم، جهت تبخیر حجم گسترده این آب‌ها و تصفیه طبیعی آلودگی‌ها و عناصر محلول (و یا کمپلکس‌ها)، در حین نفوذ آب به داخل زمین.
- جهت انجام مطالعات تکمیلی در منطقه نیز پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- بررسی گیاهان غالب منطقه و نقش آنها در تجمع عناصر
- ۲- بررسی تأثیر آلودگی آب و خاک بر جانوران منطقه
- ۳- بررسی اثر معدنکاری در سلامت معدنکاران منطقه
- ۴- بررسی استفاده از گیاهان جاذب جهت حذف آلودگی‌های موجود در منطقه.
- ۵- ارزیابی استفاده از روش‌های جدید بیولوژیک جهت حذف آلودگی‌های موجود در منطقه

## منابع:

### منابع فارسی:

- آقانباتی، ع.، (۱۳۷۷)، "چینه‌شناسی ژوراسیک ایران"، جلد ۱، سازمان زمین‌شناسی ایران، ص ۷۱، ۱۰۱.
- آقانباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی ایران واکتشاف معدنی ایران، ص ۲۰۴، ۲۳۴، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸.
- اداره هواشناسی شهرستان شاهرود، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۶. آرشیو گزارشات آماری روزانه.
- اداره امور آب شهرستان دامغان، (۱۳۷۷)، گزارش، "حوضه آبریز طزره".
- اداره امور آب شهرستان دامغان، (۱۳۷۷)، گزارش، "نمونه برداری کیفی آب های شهرستان دامغان".
- استاندارد جمهوری اسلامی ایران، "استاندارد خروجی فاضلاب ها" مصوبه ۱۳۷۳/۹/۵.
- اصانلو، م.، (۱۳۷۸)، "مهندسی زغالسنگ"، انتشارات ناقوس، ص ۲، ۳۲.
- اکتشافات تفصیلی منطقه پستکلات، ۱۳۵۹. شرکت البرز شرقی
- امیری مقدم، ح.ر.، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "اثرات زیست محیطی معدنکاری در منطقه آنگ در استان گلستان"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- اوستان، ش.، (۱۳۸۳)، ترجمه، "شیمی خاک (با نگرش زیست محیطی)"، دانشگاه تبریز، ص ۲۳۱، ۲۳۴، ۲۵۲.
- اهری پور، ر.، مصدق، ح.، (۱۳۸۵)، "مبانی رسوب شناسی"، فرهیختگان علوی، ص ۳۹، ۵۷
- جدیری شکری، ب.، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تلفیق مدلسازی ریاضی و مطالعات ژئوفیزیکی زیست محیطی مواد حاصل از شستشوی کارخانه ذغالشویی البرز شرقی"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۲۳۰.
- جدیری شکری، ب.، (۱۳۸۵)، سمینار کارشناسی ارشد، "مشکلات زیست محیطی پساب های اسیدی معدن و روش پیش بینی پتانسیل آلودگی در ارتباط با آنها"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- داهی، م.، معلمی، ب.، (۱۳۸۲)، ترجمه، "علوم زیست محیطی"، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- رضایی، ب.، (۱۳۸۰)، "تکنولوژی زغال شویی"، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ص ۲، ۲۳۰، ۲۳۱.
- رضایی، ب.، (۱۳۸۰)، "تکنولوژی زغالشویی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- رضوی ارمغانی، م.، معین السادات، ح.، (۱۳۷۲)، گزارش، "ذغالسنگ"، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۷، ص ۲۸۶.

زاده کبیر، ا.، (۱۳۷۰)، گزارش، "طرح مطالعات تأمین ذغال سنگ طرح توسعه فولاد"، شرکت ملی فولاد ایران. زارع، م.، دولتی ارده جانی، ف.، مرادزاده، ع.، سلیمانی، ا.، (۱۳۸۷)، "شبیه سازی و آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر در اکسیداسیون پیریت باطله های جیگ ذغالشویی البرز شرقی"، مجموعه مقالات هشتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، ص ۴۵۷-۴۶۷.

شریعت نیا، م.ح.، (۱۳۷۴)، "ویژگی های زمین شناسی گستره پروده از حوضه ی ذغال دار طبس-ایران مرکزی"، فصل-نامه علوم زمین، شماره ی ۱۶-۱۵، ص ۶۰-۵۰.

شکاری فرد، ع.، سید امامی، ک.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی و پتانسیل سنگ منشاء سازند شمشک"، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان شناسی کشور.

عباس نژاد، ا.، (۱۳۸۴)، "خاکشناسی (برای زمین شناسان)"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

کی نژاد، م.ع.، ابراهیمی، س.، (۱۳۸۲)، ترجمه، "مهندسی محیط زیست"، جلد ۱، دانشگاه سهند، ص ۳۸.

کنگی، ع.، (۱۳۸۶)، "تکامل درزه ها در رسوبات گروه شمشک (منطقه معدنی طزره)"، فصل نامه زمین شناسی کاربردی، شماره ۲.

گزارشات آماری شرکت و ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷، واحد HSE.

مر، ف.، شرفی، ا.، (۱۳۸۳)، "اصول ژئوشیمی"، انتشارات دانشگاه شیراز.

معین السادات، ح.، زاده کبیر، ا.، (۱۳۷۰)، "زمین شناسی رسوبات ذغالدار ایران"، جلد اول.

معین السادات، ح.، رضوی ارمغانی، م.، (۱۳۷۲)، "زمین شناسی ایران - ذغال سنگ"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۲۸۶ ص.

نبوی، م.ح.، (۱۳۵۹)، "دیبچه ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ص ۱۰۹.

یزدی، م.، (۱۳۸۲)، "ذغالسنگ (از منشاء تا اثرات زیست محیطی)"، جهاد دانشگاهی، ص ۵، ۱۳۱، ۱۵۹، ۱۵۵.

## منابع لاتین:

Alan, D., 1981. Sulfur in coal. Earth and mineral science. Pennsylvania state university, university park 51 (2), 13-21.

APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Publish Health Association, Washington, DC.

Arthur, W., Rose., Charles, A., Cravotta, P., 1999. Geochemisry of coal mine drainage. Department of Geoscience, Penn State univ., University park, PA, 1680.

- Atkins, P.W., 1993. The elements of physical chemistry, oxford univrsty press.
- Barrow, N.J., 1985. Reactions of anions and cations with variable- charged soils. *Adv. Agron* 38, 183-230.
- Boushka, V.1981.Geochemistry of Coal. Academia, Prague, 128-141.
- Butler, L.,Grimes, S., Rickard, D., 2000. Pyrite formation in anoxic chemostatic, Reaction system. Department of earth sciences ,Cardif university, Park plase Cardiff, CF10 3YE, UK.
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., Dong, C.D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metal in the sediments of Kaohsiung . *Cheemospher* 66, 1431-1440.
- Corsin, P., Stampfli, G., 1977. Formation de Shemshak dans Elburz Oriental (Iran). *Geobios*, 10, fascicule 4, 509- 571.
- Cravotta, C.A., Dugas, D.L., Brady and Kovalchuk, T.E., 1994. Effects of selective handling of pyretic, acid-forming materials on the chemistry of pore gas and ground waret at a reclaimed surface coal mine in Clarion County. Pa, USA: USBM SP-06A, 365-374.
- Dai, S.F., Chou, C.L., Yue, M., Luo, K.L., Ren, D.Y., 2005. Mineralogy and geochemistry of a late Permian coal in the Dafang coalfield, Guizhou, China: influence from siliceous and iron-rich calcic hydrothermal fluids. *International Journal of Coal Geology* 61, 241-258.
- Date, A.R., and Jarvis, K.E., 1989. The application of inductivity coupled plasma mass spectrometry. Blackie, Glasgow, 43-70.
- Dia, S., Zeng, R., Sun Y., 2006. Enrichment of arsenic, antimoany, mercury and thaliom in Late permian anthracite from Xingren, Guizhou, southwest Chin. *International Journal of coal geology* 66, 217-226.
- EPA, SW-846 METHOD 99045 (Soil), [www. EPA.gov](http://www.EPA.gov).
- Eskenazy G.M., Stefanoa Y.S., 2007. Trace element in the Goze Delchev coal deposite, Bulgaria. *international ojurnal of coal geology* 72, 257-267.
- Finkelman, R.B., 1983. Modes of occurrence of trace elements in coal. U.S.Geological Survey Open-File Report 322, 81-99.
- Finkelman, R.B., Orem, W., Castranova, V., Tatu, C.A., Belkin, H.E., Zheng, B., Lerch, H.E., Maharaj, S.V., Bates, A.L., 2002. Health impacts of coal and coal use: possible solution. *International of coal Geology* 50, 425-443.
- Fursich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Cecca, F., Majidifard, M.R., 2005. The upper Shemshak Formation (Toarcian-Aalenian) of the Eastern Alborz (Iran). *Biota*
- Ghasemi-Nejad, E., Agha-Nabati, A., Dabiri, O., 2004. Last Triassic dinoflagellate cysts from the base of the Shemshak group in north of Alborz mountain Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 132, 207-217.

- Goodarzi, F., 1988. Elemental distribution in coal seams at the Fording coal mine. British Columbia, Canada, *Chemical Geology* 68, 129-154.
- Goodarzi, F., Sanei, H., Stasiuk, L.D., Bagheri-Sadeghi, H., Reyes, J., 2005. A preliminary study of mineralogy and geochemistry of four coal samples from northern Iran. *International Journal of Coal Geology*, 35-50.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., Eaton, A.D., Franson, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Assoc, Washington, D.C.
- Hem, J.D, 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. USGS Water-supply Paper 2254, 263 p.
- Kabata- Pendias, A., 2000. Trace Elements in Soils and Plants (Third Edition), 413.
- Kinniburgh, D.G., and Jackson, M.L., 1981. Cation adsorption by hydrous metal oxides and clay. pp. 91-160 . Ann Arbor Sci., Ann Arbor, MI.
- Klein, J., 1994. Microbial Desulfurization of coal and oil. fuel processing tech. 40, 297-310.
- Komnitsas, K., Modis, K., 2006. Soil risk assessment of As and Zn contamination in a coal mining region using geostatistics. *Science of the total environment* 371, 190-196.
- Kural O., 1994. Coal (Resources, Properties, Utilization, Pollution). *International Journal of Coal Geology* 70, pp. 184-192.
- Laus, R., Geremias, R., Vasconcelos, H.L., Laranjeira, M.C.M., Favere. 2007. Reduction of acidity and removal of metal ions from coal mining effluent using chitosan microspheres . *Journal of Hazardous Materials*, Article in Press.
- Mishra, V.K., Upadhyaya, A.R., Pandey, S.K., Tripathi, 2007. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*, Article in Press.
- Morrison, G.F.,1981. Chemical Desulfurization of coal, Iea Coal. Reserch. London.
- Morrison, J.L., Atkinson, S.D., and Sheetz, B.E., 1990. Delineation of potential manganese sources in the coal overburdens of western Pennsylvania. In: *Proceedings of the 1990 Mining and Reclamation Conference and Exhibition*, Charleston, West Virginia, 1990: Morgantown, W.V., West Virginia University, 1, 249-256.
- Nordstorm, D.K., Alpers, C.N., 1999. Negative pH, efflorescent mineralogy and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain superfund site. *California, Proc Natl Acad Sci USA*, 3455-3462.

PECH (Panel on the trace element geochemistry of coal resource development related to health), 1980. Trace-element Geochemistry of Coal Resource Development Related to Environmental Quality and Health. National Academy Press, Washington, DC, 1-8.

Plumlee, G.S., Smith, K.S., Montor, M.R., Ficklin, W.H., Mosier, E.L., 1998. Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types. *Reviews in economic geology* 6(B), 373-407.

Plummer, L.N., Parkhurst, D.L., and Wigley, M.L., 1979. Critical review of the kinetics of calcite dissolution and precipitation, in Jenne, W.A.(Ed), *Chemical Modeling in Aqueous Systems-Speciation, Sorption, and Kinetics*. American Chemical Soc. Symp. Series 93, 537-573.

Rawnsley, K.D., Rives, T., Petit, J.P., Hencher, S.R., Lumsden, A.C., 1992. Joint development in perturbed stress fields near faults. *J. of Struc. Geol.* 14, 939-951.

Renshaw, C.E., Pollard, D.D., 1995. An experiment tally verified criterion for propagation across unbonded frictional interfaces in brittle, linear elastic materials. *International J. of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts* 32, 237-249.

ROPME (The Regional organization for the prtotection of marine environment),1999. manual of oceanographic observation and pollutant analysis methods, ROPME, Kuwait.

Rose, A.W., Phelps, L.B., Parizek, R.R. and Evans, D.R., 1995. Effectiveness of lime kiln flue dust in preventing acid mine drainage at the Kauffman surface coal mine, Clearfield country, Pennsylvania. Schuman and G.F. Vance, 159-171.

Salari Sharif, H., 1983. Summary report of coal mines of Kerman region. The first Iranian Mining Symposium, Kerman, 43 pp.

Salari Sharif, H., 1992. Situation of coal in Kerman Province. The first Iranian Symposium on coal, Kerman, 20 pp.

Schultz, M.F., Benjamin, M.M., Ferguson, J.F., 1987. Adsorption and desorption of metals on ferrihydrite. *Environ Sci Technol.*, 863-869.

Shahabpour, J., 1991. Some secondary ore formation features of the Sar Cheshme porphyry copper-molybdenum deposit. *Mineralium Deposita*, 275-280.

Shahabpour, J., 1992. Unroofing fragmentites as a reconnaissance exploration tool in the central Iranian porphyry copper belt. *Econ Geol*, 1599-1606.

Shahabpour, J., Doorandish, M., Abbasnejad, A., 2005. Mine-drainage water from coal mines of Kerman region, Iran. *Environ Geol.*, 915-925.

Shahabpour, J., Doorandish, M., Abbasnejad, A., 2005. Mine-drainage water from coal mines of kerman region, Iran. *Environ Geol* 47, 915-925.

Shariat Nia, H., 1994. Geological characteristics of Parvedeh Region of Tabs coal-bearing basin, central Iran. In: Embry, A.F., Beauchamp, B., Glass, D.J. (Eds.), *Pangea, Global Environments and Resources*, Memoir, vol. 17. Canadian Society of petroleum Geologists, Calgary, Alberta, Canada. Geological Survey of Canada paper, 89-94. 145 pp.

Smith, K.S., 1999. Sorption of trace element by earth materials: an overview with examples relating to mineral deposits. *Society of economic geologists, reviews in economic geology* 6A, 161-182.

Smith, K.S., Ficklin, W.H., Plumlee, G.S., Meier, A.L., 1992. Metal and arsenic partitioning between water and suspended sediment at mine-drainage sites in diverse geologic settings. *proceedings, 7th international water-rock interaction conference, Park City*, 443-447.

Smith, K.S., Ficklin, W.H., Plumlee, G.S., Meier, A.L., 1993. Computer simulation of the influence of suspended iron-rich particulates on trace metal-removal from mine drainage water. *proceedings, mined land reclamation symposium, Billings, Mont*, 107-115.

Song, D., Qin, Y., Zhang, J., Wang, W., Zheng, C.H., 2007. Concentration and distribution of trace elements in some coals from Northern China. *International Journal of Coal Geology* 69, 179-191.

Spears, D.A., Zheng, Y., 1999. Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *International Journal of Coal Geology* 38, 161-179.

Stasiuk, V., Bagheri-sadeghi, H., Goodarzi, F., 2003. Petrology rank and liquid petroleum potential of Jurassic coals from the Central Alborz Region, Northern Iran. *Proceeding of 12th International conference on Coal Sciences, 2nd-6th, Cairns, Australia. Paper 12P18*, pp. 10.

Stumm, w. and Morgan, J.J., 1981. *Aquatic chemistry*. Wiley Interscience, 470 p.

Stumm, W., Morgan, J.J., 1996. *Aquatic chemistry-chemical equilibria and rates in natural waters*. 3<sup>rd</sup> Edition: New York, Wiley-Interscience, 1022p.

Swaine, D.j., Goodarzi, F., 1995. *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1-2.

Swaine, D.J., Goodarzi, F., 1995. *Environmental Aspects of Trace Elements in coal*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1-2.

Teichmuller, M., 1982. *Origin of the petrographic constituents of coal*. Berlin, 262-263.

Valkovic, V., 1983. *Trace Element in Coal*. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, p.210.

Williams, T.M., Smith, B., 2000. Hydrochemical characterization of acute and mine drainage et Iran duke mine. mazowe, Zimbabwe, *environmental geology* 39, 272-278.

Winters, W.R., Capo, R.C., Wolinsky, M.A., Weaver, T.J., 1999. Geochemical and hydrogeologic evolution of alkaline discharges from abandoned coal mines. *Facies* 51, 365-384.

Wolela, A., 2007. Fossil fuel energy resources of Ethiopia: Coal deposits . International Journal of coal Geology, Article Press.

World Bank, 1998. Pollution prevention and abatement : coal mining . Draft Technical Background Document. Environmental Department, Washengton, D.C.

[www.gitashenasi.com](http://www.gitashenasi.com)

[www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)

[www.WCIcoal.com](http://www.WCIcoal.com)

[www.who.int](http://www.who.int)

[www.worldcoal.com](http://www.worldcoal.com)

Yazdi, M., Shirvani, A.E., 2004. Geochemical properties of coals in the Lushan coal field of Iran. International Journal of Coal Geology, 73-79.

Yiwei, C., Guijian, L., Yanming, G., Jianli, Y., Cuicui, Q., Lianfei, G., 2007. Release and enrichment of 44 elements during coal pyrolysis of Yima coal China. Journal analytical applied pyrolysis. Article in press.

Zhang, J.Y., Ren, D.Y., Zheng, C.G., Zeng, R.S., Chou, C., Liu, J., 2002. Trace element abundances in major mineral of Late Permian coals from southwestern Guizhou Province, China. International Journal of Coal Geology 53, 55-64.

Zhao, F., Cong, Z., Sun, H., Ren, D., 2007. The geochemistry of rare earth elements (REE) in acid mine drainage from the Sitai coal mine, Shanxi Province, North China, International Journal of Coal Geology 70, 184-192.

Zho, W.F., Xu, S.Q., Shao, P.P., 1997. Investigation on intake allowance of rare earth elements : a study on bio-effect of rare earth elements in South in Jiangsi. China Environmental Science 17, 63-66.



## **Abstract**

Coal mining has caused many water and soil pollutions around the world due to release of heavy metals, trace elements, nonmetallic elements, and variety of anions and cations. Coal mining activities have been running 30 years in Tazareh Mining Complex located 70 km north west of Shahrood, with 2000 metric tone production daily which made pollution in water and soil in the downstream of the complex, possible. In the present research geological characteristics of the region was studied through field observations, thin sections of the rocks, preparation of maps, and XRD tests. In order to investigate the effects of pollution sources, samples were taken from coal, and dumps (surface and deep) and tunnel drainage. Also, samples were taken from water and soil in upstream, downstream, and in the site of the complex (main tunnel) to evaluate the heavy metal distribution in groundwater and soil of the region. Physico-chemical parameters such as pH, EC, concentration of organic matter, cations, and anions were measured. Concentration of heavy metals and other elements including, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Cd, Sb, Hg, Sr, Se, Ba, S, Na, K, Ca, and Mg were determined using ICP-MS. Mineralogical studies were performed using rock thin sections, XRD, and field observations. Concentration of elements and other parameters studied in the present research were plotted using Excel while the distribution of these parameters was plotted by Surfer.

The results show that highest enrichment factors of the coal are 468, 77, 62, 22.5, 18.2 for Se, Pb, Hg, Ca, and Sr respectively. Average enrichment factors of S and As were 41 and 34 in dumps which are higher than in the coal. Due to abundance of carbonated matter and alkaline, the tunnel drainage was identified as natural alkalinity mine drainage (NAMD) with the pH of 7.6. Basic media prevents dissolution and, thus, mobility of heavy elements in the water. Concentration of S, Ca, Mg, Na, K, and Sr, which have a higher solubility in water, were measured in downstream at 9.3, 7.69, 4.44, 1.78, 2.6, and 4.2 times of the upstream in water and 10.5, 2.84, 1.56, 1.43, 1.12, and 4.35 times of the upstream in the soil. Concentrations of sulfate and Ca ions (44.4 and 4.2 ppm) in downstream have been affected the most by mining activities. Field observation and presence of calcite and gypsum minerals indicated a high value of neutralized carbonates and sulfates by the elements such as Ca. XRD tests and thin section samples have shown that calcite, clay minerals, and quartz are exist in the area. Analysis of deep samples from the old coal dumps (25 years) taken from 20-60 cm depth has shown a higher concentration of Cu, Sb, and Ba (with the average of 49.35, 0.46, and 98.1 ppm) in compare with the dump from quarry. The pyrite content of samples was counted for the abundance of S, As, and Fe since they show a high correlation with each other. Variation of concentration of heavy metal is limited due to high pH (an average of 7.77) while more mobile elements such as S has a higher concentration in 25-year quarry dump (4400 and 7600 ppm in the depths of 0-20 and 20-60 cm respectively) in compare with 2000 ppm in current quarry dump. In general, due to continuous coal mine activities, more severe water and soil pollution in the region is expected.

**Key words:** Coal mining, Pollution, Soil and Water resources, Heavy elements, Tazareh Mine Complex



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Earth science..**  
**M.Sc Thesis**

**Evaluation of heavy metals pollution in water and soil by coal mining  
in Tazareh mining complex (mine tunnel)**

**M.rahimi**

**Supervisors:**  
**Dr. B. Dahrazma**  
**Dr. A. Khodadadi Darban**

**Advisors:**  
**Dr. F. Fardoost**

**July 2009**