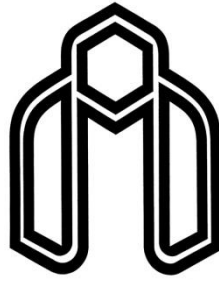


به نام خدای بخشنده مهربان



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کانسار پلی‌متال (سرب، روی، مس، نقره و طلا) چشمه حافظ، منطقه ترود

دانشجو:

محسن محمودی‌نیکو

اساتید راهنما:

دکتر فرج‌الله فردوست

دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور:

دکتر افشین قشلاقی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰



جمهوری اسلامی ایران

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن محمودی نیکو رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان: ارزیابی اثرات زیست محیطی گسلار پلی متال (سرب-روی-مس) چشمه حافظ که در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (یا درجه) : ☒ بسیار خوب (۱۸/۳۳) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

اعضای	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد ارشد	دکتر فرح الله فردوست	۱- استاد ارشد
	استاد ارشد	دکتر فردین موسوند	۱- استاد ارشد
	استاد ارشد	دکتر افشین قشلاقی	۲- استاد مشاور
	استاد ارشد	دکتر عزیزالله طاهری	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد ارشد	دکتر محمود صادقیان	۴- استاد محقق
	استاد ارشد	دکتر غنی فرغانی	۵- استاد محقق

نایب رئیس دانشکده

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

گروه : زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن محمودی نیکو

تحت عنوان: ارزیابی اثرات زیست محیطی کانسار پلی متال (سرب- روی - مس) چشمه حافظ

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

اعضاء	اساتید مشاور	اعضاء	اساتید راهنما
	دکتر افشین قشلاقی		دکتر فرج الله فردوست
			دکتر فردین موسیوند

اعضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	اعضاء	اساتید داور
	دکتر عزیز الله طاهری		دکتر محمود صادقیان
			دکتر گیتی فرقانی

تقدیم ناپختہ:

دستان پر تلاش پدرم

و

چشمان منظر مادرم

شکر و قدردانی

خداوند مهربان را شاکرم که نعمت زیستن و علم آموزی را به من عطا فرموده و همواره باران رحمتش را بی دریغ، بر من ارزانی داشته است. اکنون که بایاری پرورده کار عظیم این کار به سرانجام رسیده، بر خود لازم می دانم تا از کسانی که در این مسیر همراهی نموده اند شکر و قدردانی نمایم تا مگر اندکی از زحمات ایشان را جبران نموده باشم. در ابتدا از پدر و مادر مهربان و برادران و خواهران دلسوزم که نمونه آشکار لطف الهی هستند کمال شکر را دارم و از خداوند مهربان، سلامت، بهروزی و خیر دنیا و آخرت را برایشان مسئلت دارم.

از اساتید ارزنمندم، آقایان دکتر فردوست، دکتر موسوند و دکتر قفلاقی که راهنمایی و مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند و اساتید محترم دانشکده بخصوص دکتر حافظی مقدس، دکتر دهرآزما، دکتر کریمی، دکتر کاظمی، دکتر قاسمی، دکتر جعفری، دکتر صادقیان، دکتر فرقانی و مهندس نادری که در انجام این پژوهش و در طی دوره تحصیلی به نوعی از محضرشان استفاده نمودم، پاسکزارم.

همچنین از کارشناسان زحمتمش دانشکده آقای مهندس میرباقری، مهندس خاغلیراده، خانم مهندس فارسی و خانم مهندس سعیدی و کلیه دوستان و بھگلاسی بایم از جمله آقایان افروغ، کردوانی، رستی، زارع، شمسی، شکری و خانم هارفعی، اسکندری، آذمی و مضوری که از گمشان بهره بردم و بخصوص آقایان قاسمی، قاسم زاده، یزدانی و دهبان که در حین انجام نمونه برداری و محارث پایان نامه مرا همراهی نمودند، قدردانی می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محسن محمودی‌نیگو، دانشجوی دوره کارشناسی رشته رشته زمین‌شناسی زیست محیطی به شماره دانشجویی ۸۸-۲۷۱۴، دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه ارزیابی اثرات زیست محیطی گسترش پلی‌متال (سرب، روی، مس، نقره و طلا) چشمه حافظ، منطقه تروند، تحت راهنمایی آقایان دکتر فرح‌الله فردوست و دکتر فریدین موسیوند متعهد می‌شوم:

- تعهد می‌کنم در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت آن مطلع هستم.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مراجع مورد استفاده اذیت شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه را کلاً توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ سازمانی ارائه نمی‌دهم.
- کلیه حقوق معنوی این اثر منطبق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهند رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در این اثر مشارکت داشته‌اند، به نام دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، شرایط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصول آزادی، حریم خصوصی و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۲۰
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مشخص در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

کانسار پلی‌متال (سرب، روی، مس، نقره و طلا) چشمه حافظ، در بخش شمالی زون ایران مرکزی و در کمر بند آتشفشانی ترو-چاه شیرین واقع شده است. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، آندزی بازالت، تراکیت و تراکی آندزیت، رخنمون‌های اصلی منطقه را تشکیل داده که در نتیجه فرسایش طبیعی، عناصر مختلفی را وارد محیط ثانویه آب، خاک و رسوب می‌کنند. علاوه بر آن، در نتیجه فعالیت معدن کاری قدیمی، حجم قابل توجهی مواد معدنی و باطله معدنی بدون کنترل در منطقه رها شده است. تماس این مواد با هوای آزاد و آب‌های سطحی، آزادسازی و حمل عناصر بالقوه سمی از مواد معدنی را تسهیل نموده و موجب توزیع این عناصر در محیط‌های ثانویه می‌شود. در این مطالعه، آلودگی رسوبات و آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ به عناصر سنگین مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور نمونه‌های آب و رسوب برداشت شده از منطقه جهت تعیین غلظت عناصر جزئی، با استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی، پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه شدند. سپس برخی از عناصر براساس اهمیت زیست‌محیطی و همچنین غلظت آن‌ها، برای ارزیابی شدت آلودگی انتخاب شدند. به این ترتیب عناصر $Ag, Au, Cd, Zn, Pb, Cu, As, Fe, Bi, Sb, Ni, Mn, Cr, Co$ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای کمی کردن شدت آلودگی‌ها از ضرایب ژئوشیمیایی از قبیل ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، ضریب آلودگی (CF) و درجه آلودگی (PLI) استفاده شد. همچنین برای پی‌بردن به میزان ارتباط عناصر با یکدیگر و با پارامترهای دیگر از قبیل pH و درصد مواد آلی، از ضریب همبستگی کدال استفاده شد. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که آلودگی به چند عنصر و فلز سنگین در رسوبات به شدت بالاست که این آلودگی به طور طبیعی در منطقه وجود دارد ولی فعالیت‌های انسان‌زاد (معدنکاری) آن را تشدید کرده است. آلودگی طبیعی آرسنیک در رسوبات به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. فعالیت‌های معدنی بیشترین تأثیر را در انتشار فلزات مس، سرب، روی، نقره و طلا در رسوبات منطقه داشته‌اند. بر اساس میانگین ضریب زمین انباشت، عناصر مورد مطالعه، به طور کلی این منطقه نسبت به سرب آلودگی شدید، نسبت به مس، نقره، کادمیم و روی آلودگی متوسط و نسبت به سایر عناصر فاقد آلودگی است. آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه از نظر پارامترهای کیفی وضعیت نامطلوبی دارند، زیرا غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آن‌ها بسیار بالا و چندین برابر مقادیر استاندارد می‌باشد، به‌طوری که هدایت الکتریکی در آن‌ها به بالاتر از ۱۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است. از نظر غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی یک نمونه نسبت به بیسموت، کادمیم و آنتیموان شدیداً آلوده بوده، یک نمونه کمی به سرب آلوده می‌باشد و سایر نمونه‌ها هیچ‌گونه آلودگی نشان نمی‌دهند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، زیست‌محیطی، آب‌های زیرزمینی، چشمه‌حافظ، پلی‌متال، کانسار.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- بررسی پتانسیل آلودگی محیط به عناصر سمی در کانسار رگه‌ای پلی‌متال چشمه‌حافظ با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی. هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۰.
- ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی چشمه‌حافظ در ارتباط با سنگ‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران، آذر ۱۳۹۰.
- بررسی آلودگی رسوبات منطقه معدنی چشمه‌حافظ به عناصر سنگین (As, Cd, Bi و Sb)، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (در دست داوری).
- ارزیابی عوامل مؤثر بر غلظت عناصر و فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی چشمه-حافظ سمنان، سی‌امین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (در دست داوری).
- ارزیابی نقش انباشته‌ها و باطله‌های معدنی بر توزیع فلزات سنگین (سرب، روی، مس، طلا و نقره) در رسوبات آبراهه‌ای منطقه چشمه‌حافظ، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز (در دست داوری).

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی، راه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی	۳
۱-۲- شرایط آب و هوایی و هیدرولوژی منطقه	۴
۱-۳- زمین ریخت شناسی	۵
۱-۴- ضرورت تحقیق	۶
۱-۵- اهداف تحقیق	۶
۱-۶- تاریخچه مطالعات و کارهای انجام شده قبلی	۶
۱-۷- مطالب تحقیق	۸

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۲- مقدمه	۱۱
۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه	۱۱
۳-۲- واحدهای سنگی دربرگیرنده کانسار	۱۵
۱-۳-۲- واحد سنگی آندزیت، تراکی- آندزیت	۱۵
۲-۳-۲- واحد سنگی آندزی بازالت	۱۵
۳-۳-۲- واحد سنگی آذرآواری	۱۶
۴-۳-۲- واحد سنگی کریستال توف	۱۷
۴-۳-۲- دایک‌ها	۱۸
۶-۳-۲- رگه‌ها	۱۸
۷-۳-۲- رسوبات آبرفتی	۱۹
۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی	۲۰

فصل سوم: مشخصات کانسار

۱-۳- مقدمه	۲۴
۲-۳- مشخصات صحرایی کانسار	۲۴
۱-۲-۳- سنگ‌های دربرگیرنده کانسار	۲۴
۳-۳- رگه‌های معدنی	۲۵
۱-۳-۳- رگه شماره ۱ (رگه اصلی)	۲۶

۳۳	 ۲-۳-۳ رگه شماره ۲
۳۴	 ۳-۳-۳ رگه سیلیسی شرقی- غربی (رگه ۳)
۳۵	 ۴-۳-۳ سایر رگه‌ها
۳۶	 ۴-۳ ذخیره رگه‌ها و دیوهای مواد معدنی
۳۷	 ۵-۳ دگرسانی
۳۷	 ۱-۵-۳ انواع دگرسانی
۳۸	 ۲-۵-۳ دگرسانی پروپلیتیک
۳۹	 ۳-۵-۳ دگرسانی کلریتی
۴۰	 ۴-۵-۳ دگرسانی آرژیلیک
۴۰	 ۵-۵-۳ دگرسانی سیلیسیک
۴۰	 ۶-۵-۳ دگرسانی سربسیتیک (فیلیک)
۴۲	 ۶-۳ کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک
۴۵	 ۷-۳ ژئوشیمی کانسار
۴۷	 ۸-۳ نحوه تشکیل و تیپ کانسار

فصل چهارم: مروری بر مطالعات پیشین

۵۰	 ۱-۴ مقدمه
۵۰	 ۲-۴ اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری
۵۴	 ۳-۴ مطالعات زیست‌محیطی رسوبات آبراهه‌ای
۵۷	 ۱-۳-۴ ژئوشیمی زیست‌محیطی عناصر بالقوه سمی در رسوبات
۵۹	 ۴-۴ هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی
۶۰	 ۵-۴ کلیاتی راجع به برخی عناصر بالقوه سمی
۶۰	 ۱-۵-۴ سرب
۶۰	 ۲-۵-۴ روی
۶۱	 ۳-۵-۴ مس
۶۱	 ۴-۵-۴ آرسنیک
۶۲	 ۵-۵-۴ بیسموت
۶۲	 ۶-۵-۴ کادمیم

فصل پنجم: مواد و روشها

۶۵	 ۱-۵ مقدمه
----	-----------------

۶۵.....	۲-۵- انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری
۶۹.....	۳-۵- برداشت و آماده‌سازی نمونه‌ها
۷۰.....	۴-۵- تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها
۷۰.....	۴-۵- اندازه‌گیری pH نمونه‌های رسوب
۷۱.....	۴-۵- اندازه‌گیری EC و pH نمونه‌های آب
۷۱.....	۴-۵- دانه بندی رسوبات
۷۲.....	۴-۵- تعیین درصد رطوبت و مواد آلی نمونه‌های رسوب
۷۳.....	۵-۵- تعیین غلظت عناصر جزئی
۷۳.....	۵-۶- ارزیابی شدت آلودگی در منطقه
۷۳.....	۵-۶-۱- مقایسه غلظت فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب
۷۴.....	۵-۶-۲- ضریب غنی شدگی
۷۵.....	۵-۶-۳- ضریب زمین انباشت (Igeo)
۷۶.....	۵-۶-۴- ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی
۷۷.....	۵-۶-۵- ضریب همبستگی

فصل ششم: ارزیابی آلودگی رسوب و آب در منطقه مورد مطالعه

۸۰.....	۶-۱- مقدمه
۸۱.....	۶-۲- غلظت برخی از عناصر جزئی در سنگ‌های میزبان و کانسار
۸۲.....	۶-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات منطقه
۸۳.....	۶-۳-۱- دانه بندی و نامگذاری رسوبات منطقه
۸۳.....	۶-۴- غلظت عناصر جزئی در رسوبات منطقه
۸۶.....	۶-۵- ارزیابی کمی شدت آلودگی عناصر و فلزات سنگین در رسوبات منطقه
۸۶.....	۶-۵-۱- مقایسه غلظت فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب
۸۷.....	۶-۵-۲- ضریب غنی شدگی (EF) در رسوبات منطقه
۸۹.....	۶-۵-۳- ضریب زمین انباشت (Igeo) در رسوبات منطقه
۹۱.....	۶-۵-۴- ضریب آلودگی (CF) و ضریب بار آلودگی (PLI) در رسوبات منطقه
۹۴.....	۶-۵-۵- ضریب همبستگی
۹۷.....	۶-۶- آب‌های زیرزمینی منطقه
۹۷.....	۶-۶-۱- بررسی کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه
۹۸.....	۶-۶-۲- تغییرات pH، هدایت الکتریکی (EC) و سختی (TH) منطقه
۹۹.....	۶-۶-۳- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی
۱۰۰.....	۶-۶-۴- ضریب اشباع‌شدگی (SI) نسبت به کانی‌های اصلی

- ۶-۶-۵- مقایسه پارامترهای کیفی در نمونه‌های آب با یکدیگر ۱۰۰
- ۶-۶-۶- تعیین تیپ نمونه‌های آب با استفاده از نمودارهای پایپر و استیف ۱۰۲
- ۶-۶-۷- غلظت عناصر سمی و فلزات سنگین در نمونه‌های آب ۱۰۴

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۷-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۹
- ۷-۲- پیشنهادها ۱۲۱
- پیوست‌ها ۱۱۲
- مراجع ۱۱۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه	۳
شکل ۱-۲: تقسیم‌بندی ساختاری ایران و موقعیت تقریبی کمر بند ترود- چاه شیرین ۱۱	۱۱
شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ترود	۱۳
شکل ۳-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه چشمه‌حافظ	۱۴
شکل ۴-۲: نمایی از واحد سنگی آندزیت، تراکی- آندزیت دگرسان شده و رگه‌های موجود در آن	۱۵
شکل ۵-۲: نمایی از واحد سنگی آندزی بازالت بر روی زمین و مقطع میکروسکپی آن در نور طبیعی	۱۶
شکل ۶-۲: نمایی از واحد آذرآواری با میان لایه‌های آندزی بازالت	۱۷
شکل ۷-۲: تصویری از واحد کریستال توف	۱۷
شکل ۸-۲: تصویری از دایک داسیتی با روند شمال غرب- جنوب شرق	۱۸
شکل ۹-۲: تصویری از رگه سیلیسی در منطقه	۱۹
شکل ۱۰-۲: رسوبات آبراهه‌ای در بستر رودخانه و پادگانه آبرفتی	۱۹
شکل ۱۱-۲: سرباره‌های ذوب ناشی از فعالیت‌های شدادی پایین دست معدن قربان	۲۰
شکل ۱۲-۲: نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه ترود	۲۱
شکل ۱۳-۲: یک گسل با راستای تقریبی شمال غرب- جنوب شرق و آینه گسلی آن از نزدیک	۲۱
شکل ۱۴-۲: نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی گسل‌ها در محدوده چشمه‌حافظ	۲۲
شکل ۱-۳: نمایی از کانسار چشمه‌حافظ، روند رگه اصلی و سنگ دربرگیرنده	۲۵
شکل ۲-۳: تراکی آندزیت با بافت پورفیری، متشکل از کانی‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک دگرسان شده	۲۵
شکل ۳-۳: آندزی بازالت پورفیری حاوی پلاژیوکلاز و اولیوین	۲۵
۴-۳: نمونه‌ای از پروفیل حاصل از حفر یک گمانه. جابه‌جایی رگه معدنی توسط گسل مشخص می‌باشد	۲۶
شکل ۵-۳: موقعیت جغرافیایی بلوک‌های کانی‌سازی در رگه اصلی	۲۷
شکل ۶-۳: نمایی از کانه سازی پلی متال در بلوک شمال گاوی در نمونه دستی و مقطع صیقلی	۲۹

- شکل ۳-۷: نمایی از تونل گاوی و دپوی معدنی آن ۲۹
- شکل ۳-۸: کانی‌سازی در بلوک گاوی، نمونه دستی و مقطع صیقلی ۳۰
- شکل ۳-۹: نمایی از مقطع صیقلی نمونه‌ای از رگه در بلوک آبی در نور طبیعی ۳۱
- شکل ۳-۱۰: نمایی از کانی‌سازی مالاکیت با ساخت کروی در بلوک شمال چهارسنگ و نمایی از وجود باریت همراه رگه‌های بلوک شمال چهارسنگ ۳۲
- شکل ۳-۱۱: کانی‌سازی در رگه‌های سیلیسی بلوک جنوب چهارسنگ ۳۳
- شکل ۳-۱۲: نمایی از رگه سیلیسی کانه‌دار (رگه ۲) با ضخامت نیم‌متر ۳۳
- شکل ۳-۱۳: نمایی از مقطع صیقلی نمونه گرفته شده از رگه ۳، در نور طبیعی ۳۴
- شکل ۳-۱۴: نمایی از مقطع صیقلی نمونه گرفته شده از رگه، در نور طبیعی ۳۵
- شکل ۳-۱۵: نمایی از مقطع میکروسکپی دگرسانی در منطقه ۳۸
- شکل ۳-۱۶: مقطع میکروسکپی دگرسانی پروپلیتیک ۳۹
- شکل ۳-۱۷: مقطع میکروسکپی دگرسانی کلریتی، درشت بلور مافیک در مرکز تصور به طور کامل به کلریت‌های شعاعی و بیوتیت تبدیل شده است ۳۹
- شکل ۳-۱۸: رخنمون سطحی دگرسانی آرژیلیک و مقطع نازک دگرسانی آرژیلیک در پلاژیوکلازها ۴۰
- شکل ۳-۱۹: دگرسانی سیلیسیک در مقطع نازک و سنگ میزبان ۴۱
- شکل ۳-۲۰: مقطع میکروسکپی از سریسیتی شدن پلاژیوکلاز ۴۱
- شکل ۳-۲۱: توالی پاراژنزی در کانسار چشمه‌حافظ ۴۲
- شکل ۳-۲۲: بلور گالن که از اطراف به سوززیت تبدیل شده است ۴۲
- شکل ۳-۲۳: نمودار گل سرخی فراوانی گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه و نمودار گل سرخی فراوانی رگه‌های کانه‌دار در این منطقه ۴۴
- شکل ۳-۲۴: تغییر شکل پیچشی در بلور گالن و خرد شدگی پیریت در اثر حوادث تکتونیکی ۴۵
- شکل ۳-۲۵: نمودار همبستگی بین فلزات مختلف در سنگ‌های میزبان و رگه‌ها ۴۶
- شکل ۳-۲۶: دمای همگن شدن سیالات درگیر کانسار چشمه‌حافظ ۴۷
- شکل ۳-۲۷: نمودار دمای همگن شدن - شوری، کانسار چشمه‌حافظ در این نمودار در تیپ اپی‌ترمال قرار می‌گیرد ۴۸
- شکل ۵-۱: موقعیت ایستگاه‌های پیش‌بینی شده، جهت برداشت نمونه‌ها، بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ۶۷
- شکل ۵-۲: موقعیت نمونه‌های برداشت شده، بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ۶۸
- شکل ۵-۳: نمونه‌برداری از رسوب در عمق حدود ۱۰ سانتیمتر ۶۹

- شکل ۴-۵: نمونه برداری و اندازه گیری pH و EC آب در محل ۷۰
- شکل ۵-۵: نمودار مثلثی تعیین بافت رسوبات ۷۲
- شکل ۱-۶: مقایسه غلظت میانگین عناصر در سنگ های منطقه با میانگین پوسته ۸۱
- شکل ۲-۶: غلظت میانگین عناصر در رگه ها در مقایسه با میانگین پوسته ای آن ها ۸۲
- شکل ۳-۶: نمودار غلظت میانگین عناصر در رسوبات مورد مطالعه و میانگین پوسته ای آن ها ۸۶
- شکل ۴-۶: مقادیر ضریب غنی شدگی نسبت به عناصر مورد بررسی در نمونه های رسوب ۸۸
- شکل ۵-۶: میانگین ضریب غنی شدگی عناصر در منطقه ۸۹
- شکل ۶-۶: تعیین شدت آلودگی در رسوبات مورد مطالعه بر مبنای میانگین ضرایب زمین انباشت (Igeo) ۹۱
- شکل ۷-۶: ضرایب آلودگی عناصر در نمونه های رسوب در منطقه مورد مطالعه ۹۲
- شکل ۸-۶: نمودار ضریب بار آلودگی برای نقاط نمونه برداری شده ۹۳
- شکل ۹-۶: مقایسه غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی نمونه ها با هم و استاندارد آب های آشامیدنی ۹۹
- شکل ۱۰-۶: نمودار ضرایب اشباع شدگی (SI) کانی ها در نمونه های آب منطقه ۱۰۰
- شکل ۱۱-۶: نمودارهای غلظت یون های اصلی در برابر هدایت الکتریکی ۱۰۱
- شکل ۱۲-۶: نمودارهای ترکیبی یون ها در نمونه های آب منطقه ۱۰۲
- شکل ۱۳-۶: نمودارهای استیف نمونه های آب منطقه چشمه حافظ ۱۰۳
- شکل ۱۴-۶: نمودار پایپر نمونه های آب منطقه چشمه حافظ ۱۰۴
- شکل ۱۵-۶: غلظت عناصر جزئی در آب های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ ۱۰۵
- شکل ۱۶-۶: غلظت میانگین عناصر در آب های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ در مقایسه با استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2008) ۱۰۵
- شکل ۱۷-۶: نمودار pH و Eh محیط های طبیعی ۱۰۶
- شکل ۱۸-۶: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم As-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر ۱۰۷
- شکل ۱۹-۶: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Sb-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر ۱۰۸
- شکل ۲۰-۶: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Bi-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر ۱۰۹

- شکل ۶-۲۱: رسوبات قرمز رنگ در نمونه W1 به دلیل رسوب اکسید و هیدرواکسید آهن سه ظرفیتی در نزدیکی این چشمه و نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Fe-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۰
- شکل ۶-۲۲: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Zn-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۱
- شکل ۶-۲۳: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Pb-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۲
- شکل ۶-۲۴: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cu-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۴
- شکل ۶-۲۵: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cd-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۵
- شکل ۶-۲۶: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Au-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر. ۱۱۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: ذخیره کلی کانسار چشمه حافظ	۳۷
جدول ۱-۵: موقعیت نمونه‌های آب و رسوب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه	۶۶
جدول ۲-۵: درصد احتمال اثرات زیان‌بار بوم شناختی هر فلز با توجه به PECQ	۷۴
جدول ۳-۵: طبقه‌بندی شدت غنی‌شدگی	۷۵
جدول ۴-۵: طبقه‌بندی رسوبات بر اساس ضریب زمین انباشت	۷۵
جدول ۵-۵: ارزیابی وضعیت آلودگی بر اساس مقادیر ضریب آلودگی	۷۶
جدول ۶-۵: وضعیت آلودگی محیط بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده	۷۷
جدول ۱-۶: برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات	۸۳
جدول ۲-۶: غلظت برخی از عناصر در رسوبات (برحسب ppm)	۸۵
جدول ۳-۶: ضرایب زمین انباشت (I _{geo}) برای عناصر مورد مطالعه در هر نمونه	۹۰
جدول ۴-۶: ماتریس همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه در رسوبات منطقه چشمه - حافظ (روش کندال)	۹۵
جدول ۵-۶: پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب	۹۸
جدول ۶-۶: غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی	۹۸
جدول ۷-۶: طبقه‌بندی مقادیر سختی در آب‌ها	۹۹

فصل اول

کلیات

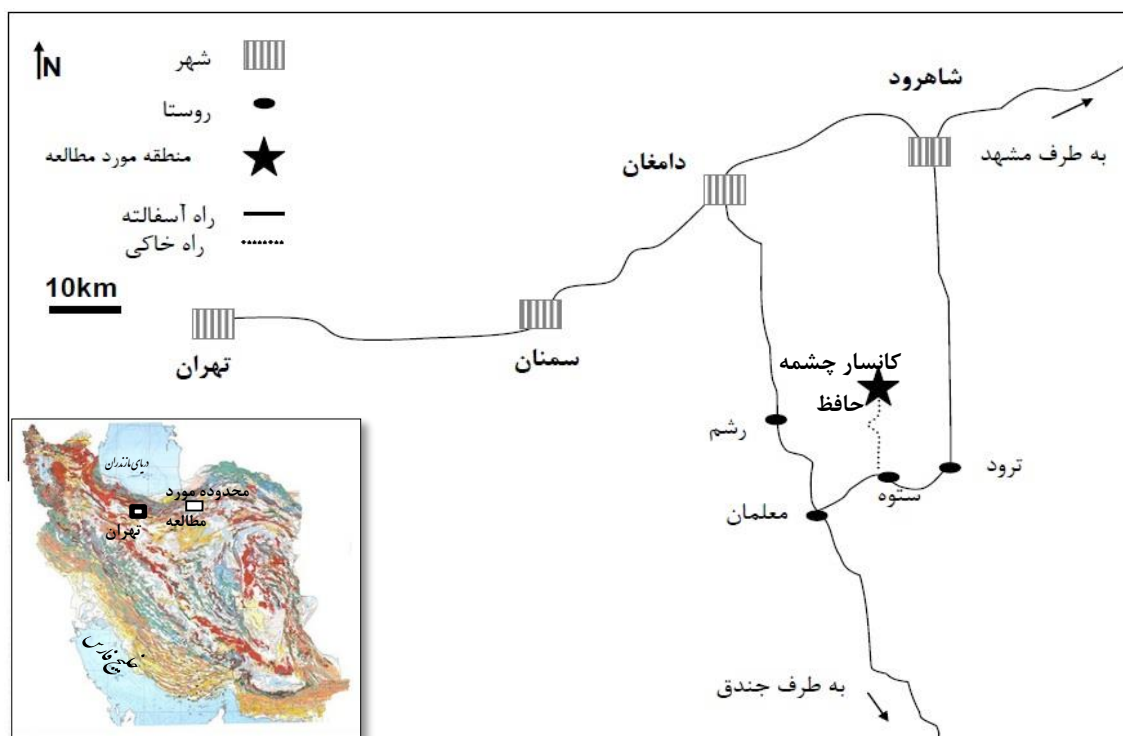
۱-۱- مقدمه

بهره‌مندی از محیط‌زیست سالم، پایه و اساس توسعه پایدار هر جامعه محسوب می‌شود. بنابراین توجه به مسئله محیط‌زیست و حفظ سلامت آن حین انجام فعالیت‌های مختلف، از جمله فعالیت‌های صنعتی و معدن‌کاری امری ضروری است. بهره‌برداری از مواد معدنی، بدون رعایت مسائل زیست-محیطی، اثرات نامطلوب و جبران ناپذیری بر محیط زیست می‌گذارد. هر کدام از انواع فعالیت‌های معدنی، درجه‌ای از تاثیرگذاری زیست محیطی را به همراه دارند (Botkin and Keller, 1998). فرایندهای طبیعی از قبیل دگرسانی، هوازگی و فرسایش در مناطق دارای پتانسیل معدنی (کانسارها) نیز می‌توانند اثرات منفی بر محیط زیست بگذارند.

این مطالعه به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کانسار پلی‌متال (سرب، روی، مس، نقره و طلا) چشمه‌حافظ، کارگاه‌های معدنی متروکه موجود و همچنین عملیات اکتشافی انجام شده در آن می‌پردازد. این کانسار به لحاظ ساختاری، در بخش شمالی زون ایران مرکزی و در کمربند آتشفشانی تروند-چاه‌شیرین واقع شده است. بخش عمده رخنمون‌های منطقه را سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، آندزی بازالت، تراکیت و تراکی آندزیت تشکیل می‌دهند. یک سری فعالیت‌های معدن‌کاری قدیمی در این کانسار انجام شده که حجم زیادی مواد معدنی و باطله‌های ناشی از معدن‌کاری بدون هیچ‌گونه کنترلی در مسیر آبراهه‌ها رها شده است. تماس این مواد با هوای آزاد و آب‌های سطحی، آزادسازی و حمل عناصر بالقوه سمی موجود در آن‌ها را تسهیل نموده که این مسئله موجب توزیع این عناصر در محیط‌های ثانویه مانند آب، خاک و رسوب می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی آلودگی رسوبات و آب‌های زیرزمینی منطقه به فلزات سنگین و تعیین عوامل ایجاد آن می‌باشد. برای دست-یابی به این هدف، پس از مطالعات اولیه، با انجام بازدیدهای صحرایی، نمونه‌های آب و رسوب از منطقه برداشت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته که نتایج آن در فصل‌های آتی به تفصیل آورده شده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی، راه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی

منطقه چشمه‌حافظ بخشی از ناحیه ترود در استان سمنان است که در ۱۴۰ کیلومتری جنوب غرب شاهرود و ۱۵۰ کیلومتری جنوب دامغان در طول‌های جغرافیایی $38^{\circ} 43' 54''$ تا $46^{\circ} 46' 54''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $26^{\circ} 22' 35''$ تا $32^{\circ} 25' 35''$ شمالی واقع شده است. این منطقه از جنوب به کویر بزرگ یا کویر نمک می‌رسد و در شمال آن هم مناطق کویری کوچکی وجود دارند و دارای مساحتی حدود ۷/۵ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل ۱-۱، موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (با تغییر از قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)

برای دسترسی به منطقه چشمه‌حافظ، دو مسیر اصلی وجود دارد. از شهر شاهرود، با طی مسافت حدود ۱۳۰ کیلومتر و رسیدن به دهستان ترود، در مسیر ترود-معلمان ۳۰ کیلومتر به سمت معلمان به سهراهی سراجی می‌رسیم که از آنجا از طریق جاده خاکی کلاته میرزا بعد از طی ۶ کیلومتر به

ابتدای منطقه معدنی می‌رسیم، ادامه مسیر که حدود سه کیلومتر می‌باشد، جاده ماشین‌روی خاصی وجود ندارد و بایستی از طریق آبراهه‌های خشک یا کوره راه‌های معادن قدیمی به این منطقه دسترسی پیدا کرد. مسیر دیگر هم جاده دامغان- معلمان می‌باشد که بعد از رسیدن به سه‌راهی سراجی همان مسیری که بالا ذکر شد را باید پیمود (شکل ۱-۱). لازم به ذکر است که راه‌های فرعی دیگر هم برای دسترسی به این منطقه در قسمت شمالی وجود دارد که مسیرهای دشوارتری هستند.

شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش و اندک بودن زمین‌های قابل کشت و زرع باعث کاهش تمرکز جمعیت انسانی در این منطقه شده است. منطقه چشمه‌حافظ به جز کلاته میرزا و کلاته حافظ با جمعیت حدود ۷۰ نفر، سکنه دیگری ندارد، اما در جنوب منطقه چشمه‌حافظ، روستای سدغه واقع شده است. مهم‌ترین مرکز جمعیتی در منطقه، دهستان تروود می‌باشد که جمعیتی بالغ بر ۲۰۰۰ نفر دارد. روستاهای رشم، حسینیان، معلمان، مهدی‌آباد و کوه‌زر از دیگر مراکز جمعیتی منطقه می‌باشند که عمدتاً در کوهپایه‌های جنوبی و شمالی منطقه واقع شده‌اند. مایحتاج زندگی مردم از کشت و زرع محدود گندم، جو، شلغم و هویج و نیز از پرورش بز و شتر تأمین می‌شود.

از حیوانات وحشی این ناحیه می‌توان به آهو، بزکوهی، قوچ‌کوهی، گورخر، گرگ، شغال و تعدادی پلنگ اشاره کرد.

۲-۱- شرایط آب و هوایی و هیدرولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک می‌باشد. بر اساس آمار سازمان هواشناسی بالاترین میزان دما در منطقه در تیرماه (حدود ۴۵ درجه سانتیگراد) و پائین‌ترین دمای منطقه در آذرماه (حدود ۸- درجه سانتیگراد) بوده و در بیشتر ماه‌های سال فاقد بارندگی است. بالاترین میزان بارندگی ثبت شده برابر ۱۸ میلی‌متر و مجموع بارندگی سالیانه برابر ۶۰/۵ میلی‌متر می‌باشد.

همان طور که اشاره شد، منطقه چشمه حافظ دارای آب و هوایی خشک می باشد. بنابراین بارندگی اندک سالیانه در آن باعث شده تا از نظر منابع آب های سطحی و زیرزمینی فقیر باشد. ساکنین منطقه آب مورد نیاز خود را از طریق چند چشمه کوچک در این محدوده تأمین می کنند. هیچ گونه جریان آب سطحی دائمی در منطقه وجود ندارد و رودخانه های منطقه که به صورت مسیل هستند فقط در زمان بارندگی های شدید دارای جریان آب می باشند.

۳-۱- زمین ریخت شناسی

بارزترین ویژگی ریخت شناسی منطقه، اختلاف ارتفاع زیاد آن می باشد، بدین صورت که کوه های مرتفع، در جنوب به کویر نمک که سرزمینی پست است می رسند و در شمال نیز به کویرهای کوچک ختم می شوند (شکل ۱-۲). ریخت شناسی منطقه به دلیل شرایط اقلیمی گرم و خشک، خشن و ناهموار با صخره های تند و دره های باریک می باشد، به جز آبراهه های اصلی که دارای عرض بستر تقریباً زیادی می باشند (جنتی، ۱۳۹۰).



شکل ۱-۲: تصویر ماهواره ای کمر بند آتشفشانی ترود- چاه شیرین و کویرهای پست اطراف آن

۱-۴- ضرورت تحقیق

امروزه خطرات ناشی از آلودگی محیط زیست که در راستای پیشرفت تکنولوژی، صنعت و معدن کاری به وجود آمده، سلامت جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار داده و بر نگرانی انسان‌ها افزوده است. در مناطقی که معادن جدید تأسیس می‌شود، علی‌رغم ترقی و شکوفایی اقتصادی و صنعتی، اثرات زیست محیطی نیز الزاماً وجود خواهد داشت. در این میان ورود آلاینده‌ها به آب و خاک که به واسطه معدن کاری ایجاد می‌شوند، از اهمیت خاصی برخوردار است. علاوه بر این، مناطق دارای عیار بالای فلزات (کانسارها) به طور طبیعی و بر اثر عواملی چون هوازگی و فرسایش توسط آب، مواد سمی را وارد محیط‌های مختلف از جمله آب و خاک می‌کنند. این خطرات می‌توانند سلامتی ساکنین این مناطق را تحت تأثیر قرار دهند. کانسار چشمه حافظ نیز به دلیل وجود زون‌های مختلف دگرسانی، معادن متروکه و فعالیت‌های اکتشافی در آن می‌تواند آلودگی‌هایی را در آب، خاک و رسوب منطقه ایجاد نماید. به همین دلایل انجام مطالعه و بررسی اثرات زیست محیطی این کانسار ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۵- اهداف تحقیق

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثرات زیست محیطی کانسار چشمه حافظ، شامل آلودگی رسوبات و آب-های زیرزمینی منطقه به فلزات سنگین و تعیین عوامل ایجاد آن می‌باشد.

۱-۶- تاریخچه مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

تاکنون مطالعه زیست محیطی خاصی در منطقه چشمه حافظ صورت نگرفته است هر چند که در طرح تهیه اطلس آلودگی استان سمنان، به طور کلی ناحیه ترود-معلمان در دست مطالعه زیست محیطی می‌باشد که چشمه حافظ نیز بخشی از آن است. البته مطالعات زمین شناسی زیادی در منطقه صورت گرفته که از آن جمله، تهیه نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران،

(۱۳۵۵) و ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم (اشراقی، ۱۳۸۵) می‌باشد.

با توجه به این که کمر بند آتشفشانی ترود- معلم، از دیر باز مورد توجه معدن کاران قدیمی بوده، معدن کاری شدادی، کوره‌های ذوب قدیمی و سرباره‌های ذوب در بسیاری از نقاط این کمر بند مشهود است. با توجه به پتانسیل معدنی منطقه، مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشافی زیادی نیز در ناحیه ترود و از جمله منطقه چشمه‌حافظ انجام شده است که برخی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۶ در حدود ۲۹ ورقه توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و یک شرکت چینی بنام جیانگسی (Jiangxi) بین محور سمنان- تربت حیدریه صورت گرفت که در این میان ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم نیز مورد بررسی قرار گرفت و محدوده چشمه‌حافظ، پوسیده، گندی، ابوالحسنی، دارستان، رشم، خانجار، چالو، باغو و چاه‌موسی به عنوان آنومالی‌های اکتشافی ژئوشیمیایی معرفی شدند.

شرکت توسعه علوم‌زمین، سرب و روی استان سمنان را مورد بررسی قرار داده و گزارشی تحت عنوان گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس‌های سرب و روی استان سمنان منتشر کرده که در آن به بررسی‌های اکتشافی چشمه‌حافظ نیز پرداخته شده است (برنا و عشق‌آبادی، ۱۳۷۵).

در طرح اکتشافات طلا در منطقه معلم اقدام به بررسی‌های چکشی و تهیه نقشه با مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰ در دو منطقه چشمه‌حافظ - ابوالحسنی و گندی - زرشکوه شده است (اشراقی و سعدالدین، ۱۳۷۷).

شرکت توسعه علوم‌زمین، (۱۳۸۱)، زیر نظر سازمان صنایع و معادن استان سمنان «گزارش نتایج بررسی‌های اکتشافی مرحله عمومی (نیمه تفصیلی) در کانسارهای پلی‌متال- طلای چشمه‌حافظ و چالو را ارائه کرد.

سهیلی و بدخشان‌ممتاز (۱۳۸۱)، در محور کانسار چشمه‌حافظ ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ با مساحت ۱۲ کیلومتر مربع، بررسی‌های اکتشافی در مقیاس یاد شده انجام

داده و ۹ رگه سیلیسی کانه‌دار اصلی و ۸ زون ملاکیت‌دار فاقد ارزش اقتصادی معرفی نموده‌اند.

شرکت توسعه علوم زمین، (۱۳۸۶)، طی قراردادی با سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، طرح اکتشاف روی چشمه‌حافظ سمنان را انجام داده است (بدخشان‌ممتاز، ۱۳۸۶).

عملیات اکتشاف کانسار سرب و روی در محدوده چشمه‌حافظ در دو مقیاس ۱:۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰ انجام شده است. این مطالعات به وسیله سازمان صنایع و معادن استان سمنان، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و توسط شرکت توسعه علوم زمین به انجام رسیده است. طی این مطالعات، نقشه زمین‌شناسی-توپوگرافی محدوده چشمه‌حافظ سمنان در مقیاس ۱:۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰ به ترتیب به وسعت ۵۰ هکتار و ۱۲ کیلومتر مربع تهیه شده است.

آخرین مطالعه اکتشافی که تاکنون در محدوده چشمه‌حافظ انجام شده است، طرح اکتشاف تفصیلی کانسار سرب و روی در محدوده چشمه‌حافظ بوده که توسط شرکت زرناب اکتشاف در سال ۱۳۸۸، زیر نظر شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران صورت گرفته است.

قاسمی‌سیانی (۱۳۸۹) در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد، به مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی، ژنز و نحوه تشکیل این کانسار پرداخته است. به نظر این محقق، کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ از تیپ اپی-ترمال بوده که در ارتباط با ماگماتیسم کالک آلکالن ترشیری ترود - چاه‌شیرین می‌باشد. ایشان با استفاده از مطالعه سیالات درگیر در کانی کوارتز، دمای تشکیل این کانسار را ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین کرده است.

جنتی (۱۳۹۰) پتروژنز این کانسار را در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مطالعه و نتیجه گرفته که سنگ‌های منطقه از نوع آلکالن هستند و فرایند تفریق در تبلور سنگ‌ها نقش داشته است.

۷-۱- مطالب تحقیق

در این تحقیق مطالب تدوین شده و نگارش یافته در هفت فصل ارائه گردیده است؛ فصل اول کلیات مطالب این تحقیق را شامل می‌شود. فصل دوم شامل زمین‌شناسی ناحیه‌ای و زمین‌شناسی منطقه

است. در فصل سوم به بررسی و مطالعه پهنه‌های دگرسانی، کانه زایی و خصوصیات رگه‌های معدنی کانسار پرداخته می‌شود. در فصل چهارم با مروری بر مطالعات مشابه پیشین، روش‌های مختلف ارزیابی زیست‌محیطی معدن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل پنجم به روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها پرداخته می‌شود. در فصل ششم، ضمن مطالعه ژئوشیمیایی سنگ‌ها و رسوبات و هیدروشیمی آب‌ها، شدت آلودگی فلزی در رسوبات و آب‌ها و منشأ آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل هفتم بر اساس مطالعات انجام شده نتایج و پیشنهاداتی ارائه گردیده است. و در پایان منابع و مآخذ استفاده شده در این تحقیق ارائه شده است.

فصل دوم

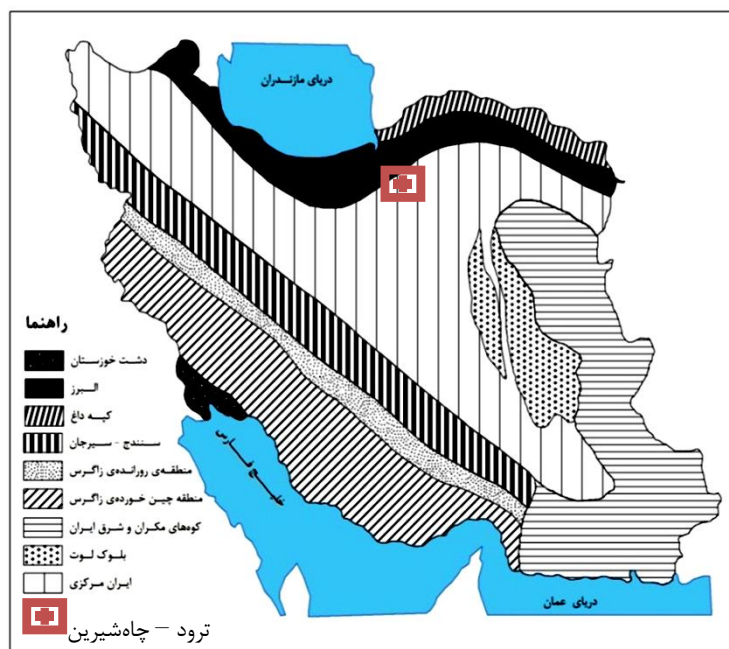
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۲-۱- مقدمه

محدوده چشمه‌حافظ از نظر جایگاه زمین‌ساختی، بخشی از کمربند آتشفشانی تروود-چاه‌شیرین بوده که در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی واقع شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این محدوده جزئی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تروود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۵) و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی، ۱۳۸۵) می‌باشد. مهم‌ترین واحدهای سنگی این منطقه شامل آندزیت، تراکی-آندزیت، آندزیت بازالت، واحد سنگی آذرآواری، کریستال توف، دایک‌ها، رگه‌ها و رسوبات آبرفتی می‌باشند.

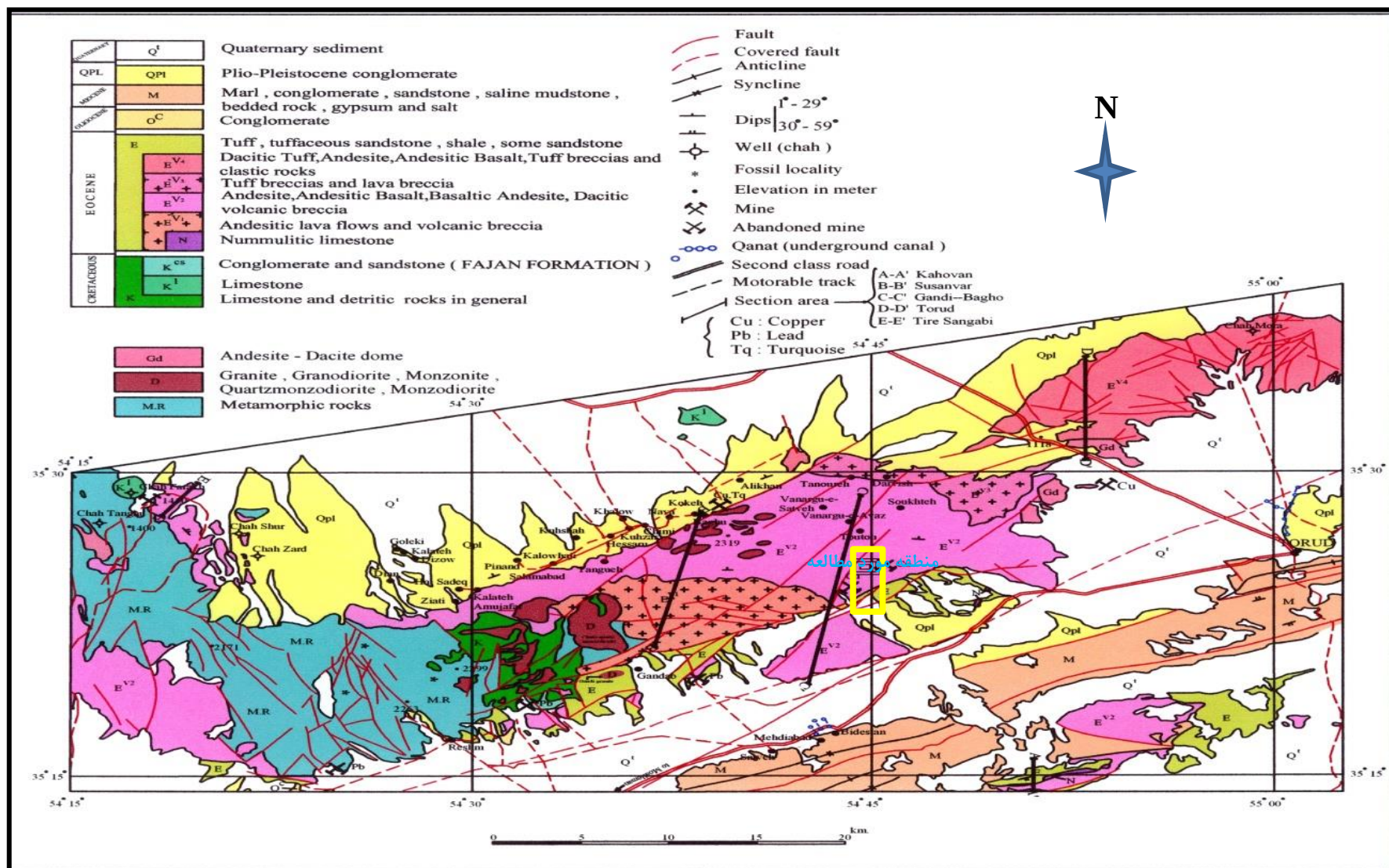
۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مجموعه آتشفشانی چاه‌شیرین - تروود است که در حاشیه شمالی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۲-۱).

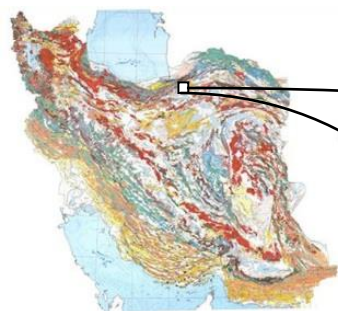


شکل ۲-۱: نقشه تقسیم‌بندی ساختاری ایران و موقعیت تقریبی کمربند تروود-چاه‌شیرین در آن (Stocklin, 1968).

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی، ۱۳۸۵) و ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۵)، واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکی-آندزیت، تراکی آندزی بازالت، بازالت، داسیت، ریوداسیت و به مقدار کمتر رسوبی - آتشفشانی شامل توف و توفیت متعلق به دوران سوم بویژه ائوسن میانی - فوقانی هستند. واحدهای نفوذی تشکیل-دهنده منطقه شامل سنگ‌هایی با ترکیب داسیت، داسیت - آندزیت با سن ائوسن - الیگوسن هستند که به صورت دایک واحدهای قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند (شکل ۲-۲ و ۳-۲).



شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تورود (قربانی، ۱۳۸۴)

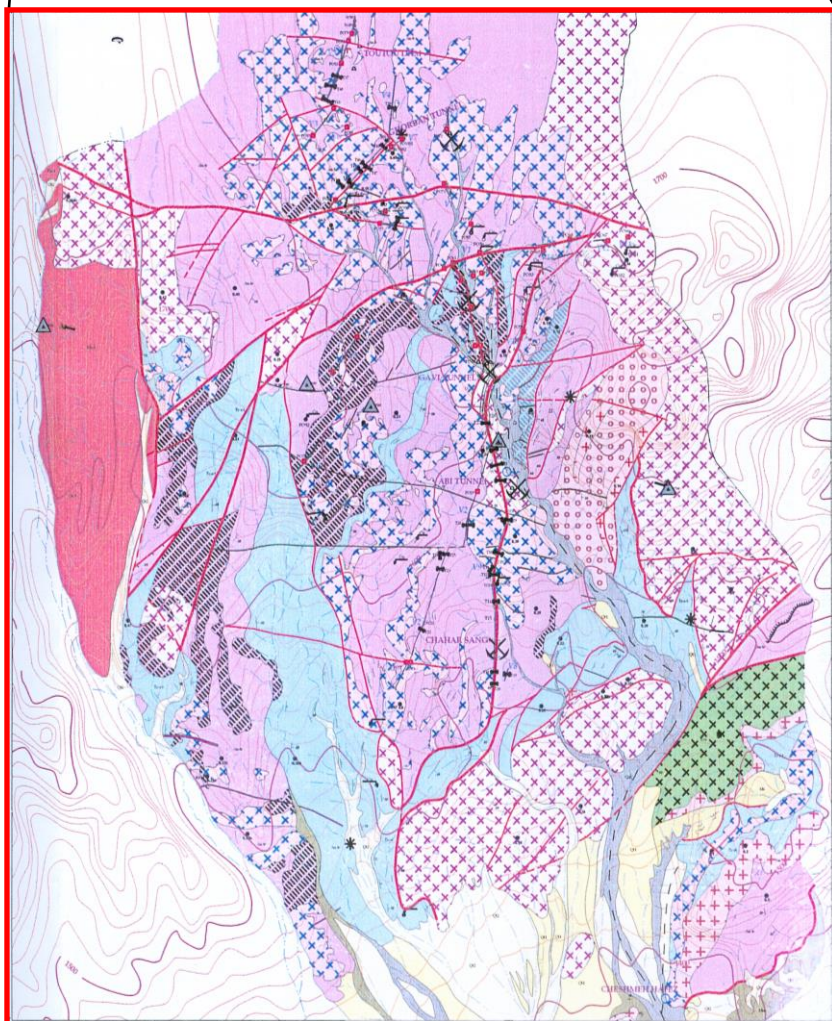


54° 43' 37"
35° 25' 43"



LEGEND

Quaternary	Qal	Recent alluvium
	Q2	Young alluvium and gravel fan(dasht)
	Q1	Old gravel fan and High level Terraces
Miocene	Ms	Sandstone and marl
	Mm	Gypsiferous marl
Eocene - Oligocene	d	dacite
	Rh-d	Rhyodacite to dacite
	K	Keratophyre
	Tr-a-t	Trachy andesite and andesitic tuff
	An-tr	Andesite
	Ab	Andesitic basalt
	Pb	Phyroclastic(ssl.tuff.bereccia)
		Trachy andesitic dyke
		Carbonatic Vein
		Silicifide Vein
	An*	Andesitic sile
		Alteration zones



35° 23' 28"

54° 46' 02"

شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه چشمه حافظ (بدخشان ممتاز، ۱۳۸۶)

۲-۳- واحدهای سنگی دربرگیرنده کانسار

براساس نقشه‌های فوق، مشخصات هر یک از واحدهای سنگی به اختصار شرح داده خواهد شد.

۲-۳-۱- واحد سنگی آندزیت، تراکی- آندزیت

این واحد سنگی متشکل از گدازه‌های آندزیت تا تراکی آندزیت و در برخی از قسمت‌ها آگلومرا با قطعات آندزیت می‌باشد. رنگ این واحد سنگی در جاهایی که دگرسانی روی آن اثر گذاشته به رنگ روشن و نخودی مشاهده می‌شود ولی در کل رنگ آن از خاکستری تا قهوه‌ای، خاکستری تیره تا سبز متغیر است (شکل ۲-۴). همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی منطقه ملاحظه می‌شود، در بیشتر نقاط رگه‌های سیلیسی، کلسیتی و دایک‌های با ترکیب مختلف به داخل این واحد نفوذ کرده که بعضاً کانی‌سازی در مرز این رگه‌ها با سنگ میزبان دیده می‌شود (شکل ۲-۴). این واحد قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه است و بیشترین برونزد سنگ‌های محدوده را به خود اختصاص می‌دهد (قاسمی سیانی، ۱۳۸۸، هدایتی روشن، ۱۳۸۸، جنتی، ۱۳۹۰).



شکل ۲-۴: نمایی از واحد سنگی آندزیت، تراکی- آندزیت دگرسان شده
(الف) و رگه‌های موجود در آن (ب)

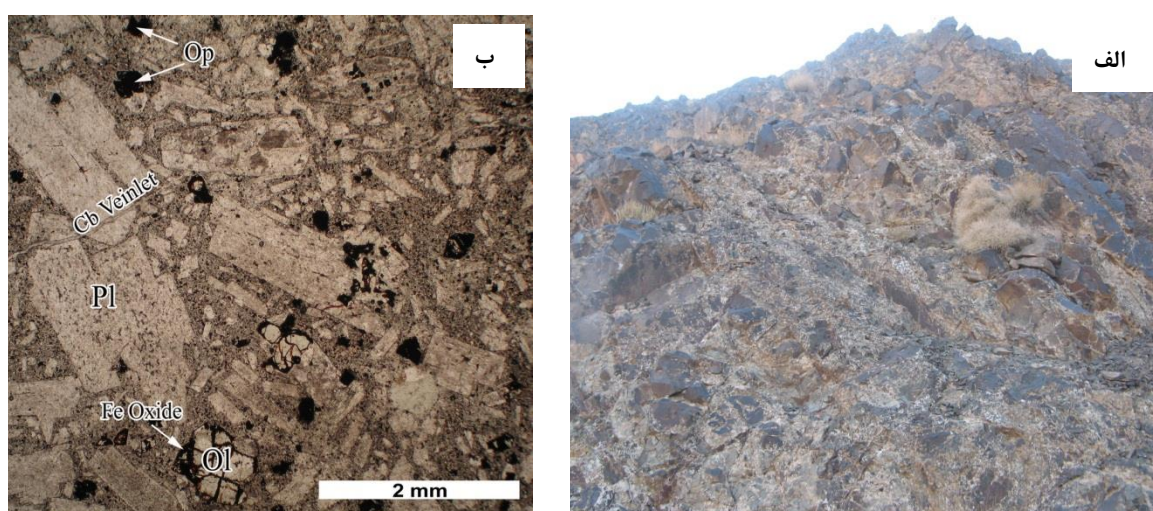
۲-۳-۲- واحد سنگی آندزی بازالت

گدازه‌های آندزی بازالت تا تراکی آندزیت تیره، سنگ‌های تشکیل دهنده این واحد می‌باشند که در

نمونه دستی به رنگ‌های خاکستری تیره متمایل به سیاه تا سبز تیره و خاکستری تیره متمایل به قهوه‌ای در قسمت‌های اکسیده و هوازده دیده می‌شود. این واحد در سطوح تازه دارای شکستگی صدفی می‌باشد. این واحد عموماً به صورت میان لایه، با مورفولوژی خشن درون واحد آندزیت- تراکی آندزیت قرار دارد (شکل ۲-۵). کانی‌های ثانویه در این واحد که بر اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها حاصل شده است، شامل سریسیت، مسکویت، کلریت، سیلیس، کربنات، آلبیت و اکسید آهن می‌باشد (قاسمی سیانی، ۱۳۸۸، هدایتی روشن، ۱۳۸۸، جنتی، ۱۳۹۰).

۲-۳-۳- واحد سنگی آذرآواری

این واحد شامل لیتیک توف، کریستال لیتیک توف و لیتیک کریستال توف می‌باشد. این لایه‌ها به صورت متناوب و نازک لایه تکرار می‌شوند و تفکیک آن‌ها مشکل است. به دلیل نرم بودن این واحد، غالباً مقداری خاک روی آن تشکیل شده و لایه‌ها را پوشانده است.



شکل ۲-۵: نمایی از واحد سنگی آندزی بازالت بر روی زمین (الف) و مقطع میکروسکوپی آن در نور طبیعی (ب) (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

رنگ این واحد از خاکستری تیره متمایل به سبز تا خاکستری و خاکستری متمایل به زرد متغیر است. در مواردی که دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی بر روی آن تأثیر گذاشته، رنگ آن روشن شده و خرد شدگی آن بیشتر است. میان لایه‌هایی با ترکیب آندزی بازالت تا تراکی آندزیت تیره، درون این

واحد مشاهده می‌شوند که توسط مورفولوژی خشن و رنگ تیره‌تر قابل تفکیک است (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲: نمایی از واحد آذرآواری با میان لایه‌های آندزیت بازالت (دید به سمت جنوب شرق)

۲-۳-۴- واحد سنگی کریستال توف

این واحد در قسمت جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه از گسترش قابل توجهی برخوردار است که با رنگ خاکستری و با ریخت‌شناسی تپه ماهوری در صحرا قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۷-۲). رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار، نیز در این واحد وجود دارند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل فلدسپارها و کانی‌های فرومنیزین جانشین شده می‌باشند. زمینه سنگ شدیداً دگرسان شده و به ریز بلورهای اکسیدهای آهن، کربنات آهن دار و تیغک‌های بسیار ظریف سریسیت تبدیل شده است (قاسمی سیانی، ۱۳۸۸، هدایتی روشن، ۱۳۸۸، جنتی، ۱۳۹۰).



شکل ۷-۲: نمونه‌ای از واحد کریستال توف (دید به سمت شمال)

۲-۳-۵- دایک‌ها

سه نوع دایک با ترکیب اسیدی و حد واسط در محدوده شناسایی شده که سن پیدایش آنها طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشرافی، ۱۳۸۶)، ائوسن - الیگوسن می‌باشد. این دایک‌ها عبارتند از: دایک داسیتی که فراوان‌ترین نوع دایک در محدوده مورد مطالعه می‌باشد و دارای روندهای شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی هستند (شکل ۲-۸). دایک‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی که دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند. ضخامت این دایک‌ها از ۰/۵ متر تا ۳ متر متغیر و رنگ آن‌ها بسته به ترکیب شیمیایی متفاوت می‌باشد. این واحد اغلب هوازده شده و گاهی خردشدگی شدیدی دارد (قاسمی سیانی، ۱۳۸۸، هدایتی روشن، ۱۳۸۸، جنتی، ۱۳۹۰).



شکل ۲-۸: نمونه‌ای از دایک داسیتی با روند شمال غربی - جنوب شرقی

۲-۳-۶- رگه‌ها

رگه‌ها در محدوده مورد مطالعه گسترش زیادی دارند و غالباً دارای ترکیب سیلیس، کربنات و سیلیس + کربنات هستند (شکل ۲-۹). در بعضی از نقاط آثاری از رگچه‌های نازک باریت نیز مشاهده می‌شود. برخی رگه‌ها با راستای شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی کانه‌دار بوده و بطور مفصل در فصل بعد شرح داده خواهند شد (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۹: نمونه‌ای از رگه سیلیسی در منطقه

۲-۳-۷- رسوبات آبرفتی

این رسوبات متشکل از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی جوان و آبرفت‌های عهد حاضر می‌باشند. آبرفت‌های عهد حاضر در حال تشکیل در بستر یا حاشیه رودهای فصلی و آبراهه‌ها هستند. در محدوده مورد مطالعه، عرض این آبراهه‌ها گاه تا ۶۰ متر نیز می‌رسد (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۱۰: رسوبات آبراهه‌ای در بستر رودخانه (الف) (دید به سمت جنوب) و پادگانه آبرفتی (ب) (دید

به سمت جنوب شرق)

رسوبات شامل قطعات سنگی حاصل از فرسایش واحدهای سنگی بالادست، از جمله آندزیت و آندزی بازالت می‌باشند. باطله‌های سنگ‌های استخراجی قدیمی، تونل‌ها و همچنین سرباره‌های ذوب ناشی از فعالیت‌های شدادی نیز در این رسوبات یافت می‌شوند (شکل ۲-۱۱) (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

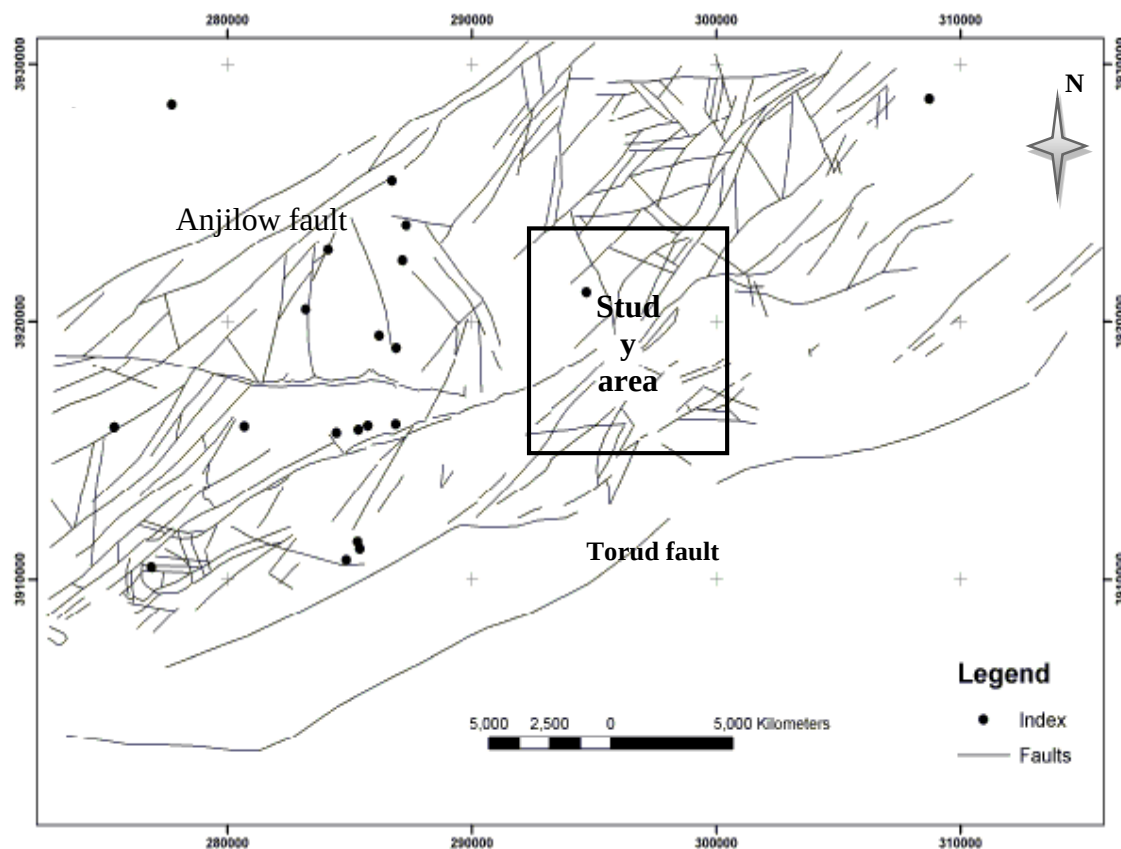


شکل ۲-۱: سرباره‌های ذوب ناشی از فعالیت‌های شدادی پایین دست معدن قربان

۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی

گسل‌های اصلی منطقه شامل گسل انجیلو در شمال و گسل ترود در جنوب و با روند شمال شرقی- جنوب غربی هستند (احمدیان پور، ۱۳۸۷). گسل‌های فرعی دیگری در راستای شمال شرقی- جنوب غربی و هم روند با گسل‌های اصلی بر اثر اعمال فشار بر منطقه شکل گرفته‌اند. بخشی از این گسل‌ها توسط رگه‌های کانه دار پر شده اند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸). شکل ۲-۱۲، گسل‌های منطقه را به همراه اندیس‌های معدنی نشان می‌دهد.

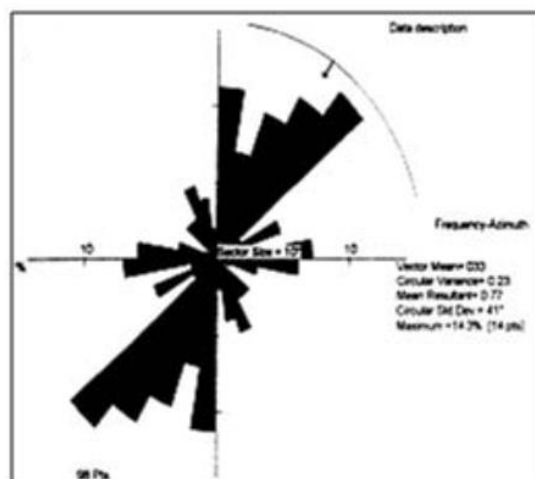
گسل‌هایی نیز در راستای شمالی - جنوبی و شمال غربی- جنوب شرقی وجود دارند که عمود بر نیروی فشارشی وارده تشکیل شده و احتمالاً در اثر رهایی از تنش ایجاد شده‌اند و از نوع کششی می- باشند (شکل ۲-۱۳). لذا دارای بازشدگی مناسب برای عبور محلول‌های مختلف و به ویژه گرمابی می- باشند. در بیشتر موارد گسل‌های شرقی- غربی باعث جابه‌جایی واحدهای سنگی و سایر گسل‌ها شده- اند و به نظر می‌رسد این گسل‌ها، آخرین گسل‌های فعال شده در منطقه هستند. به طور کلی، روند گسل‌ها در محدوده از تنوع زیادی برخوردار است لیکن روندهای NE-SW، N-S و NW-SE از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار هستند (شکل ۲-۱۴). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌ها نقش مهمی در ایجاد چرخه گرمابی و در نتیجه کانی‌سازی داشته‌اند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۱: نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه ترود (Ziaii et al 2010)



شکل ۲-۳: یک گسل با راستای تقریبی شمال غربی - جنوب شرقی (الف) و آینه گسلی آن از نمای نزدیک (ب)



شکل ۲-۱۴: نمودار گل سرخی فراوانی گسلها در محدوده چشمه حافظ (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)

فصل سوم

مشخصات کانسار

۳-۱- مقدمه

نظر به اینکه مطالعه کانه‌زایی از اهداف این تحقیق نبوده، لذا در این فصل از مطالعات دیگران استفاده شده است. عمده مطالب این فصل از پایان نامه‌ها و گزارش اکتشافی موجود از منطقه (هدایتی روشن، ۱۳۸۸، قاسمی سیانی، ۱۳۸۹ و جنتی، ۱۳۹۰) استفاده شده است.

کانسار چشمه‌حافظ (رگه اصلی) به شکل رگه‌ای و پرکننده فضای خالی، یک پهنه گسلی برشی با روند تقریباً شمالی- جنوبی را پر کرده است. ضخامت متوسط رگه ۲/۵ متر به طول حدود ۱۰۰۰ متر است. این رگه باشیب متوسط ۵۵ درجه به سمت جنوب غرب در داخل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، بازالت، تراکی آندزیت، تراکی آندزی بازالت، داسیت، ریوداسیت و لاتریت و به صورت متقاطع با آن‌ها قرار گرفته است. کانی‌های تشکیل دهنده کانسار شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کلکوپیریت، دیژنیت، بورنیت، تتراهدریت، کوولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت، سروزیت و مالاکیت می‌باشند. سرب، روی و مس عناصر اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. با توجه به آنالیزهای انجام شده، بیسموت، آنتیموان، کادمیم، طلا، نقره و آرسنیک از جمله عناصر جزئی هستند که غلظت آن‌ها در رگه‌های معدنی بالا است. در این فصل، مشخصات صحرایی و آزمایشگاهی از قبیل کانه‌سازی و ژئوشیمی کانسار به اختصار شرح داده خواهد شد.

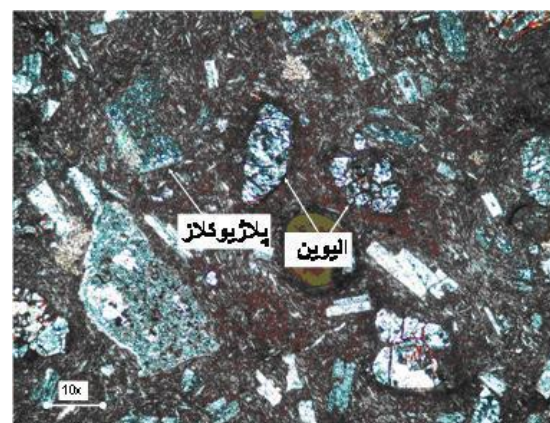
۳-۲- مشخصات صحرایی کانسار

۳-۲-۱- سنگ‌های دربرگیرنده کانسار

واحدهای سنگی آندزی بازالت و تراکی آندزیت، میزبان اصلی کانسار چشمه‌حافظ بوده و بیشترین رخنمون را در محدوده معادن متروکه نشان می‌دهند. واحد آندزی بازالت با رنگ سیاه تا سبز تیره و مورفولوژی خشن نسبت به سایر واحدها متمایز می‌شود (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). این واحد دارای بافت پورفیری و کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و اولیوین هستند (شکل ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳).



شکل ۳-۱: نمایی از کانسار چشمه حافظ، روند رگه اصلی و سنگ دربرگیرنده (دید به سمت جنوب)



شکل ۳-۲: تراکی آندزیت با بافت پورفیری، متشکل از کانی‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک دگرسان شده (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)

شکل ۳-۳: آندزیت بازالت پورفیری حاوی پلاژیوکلاز و اولیوین (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)

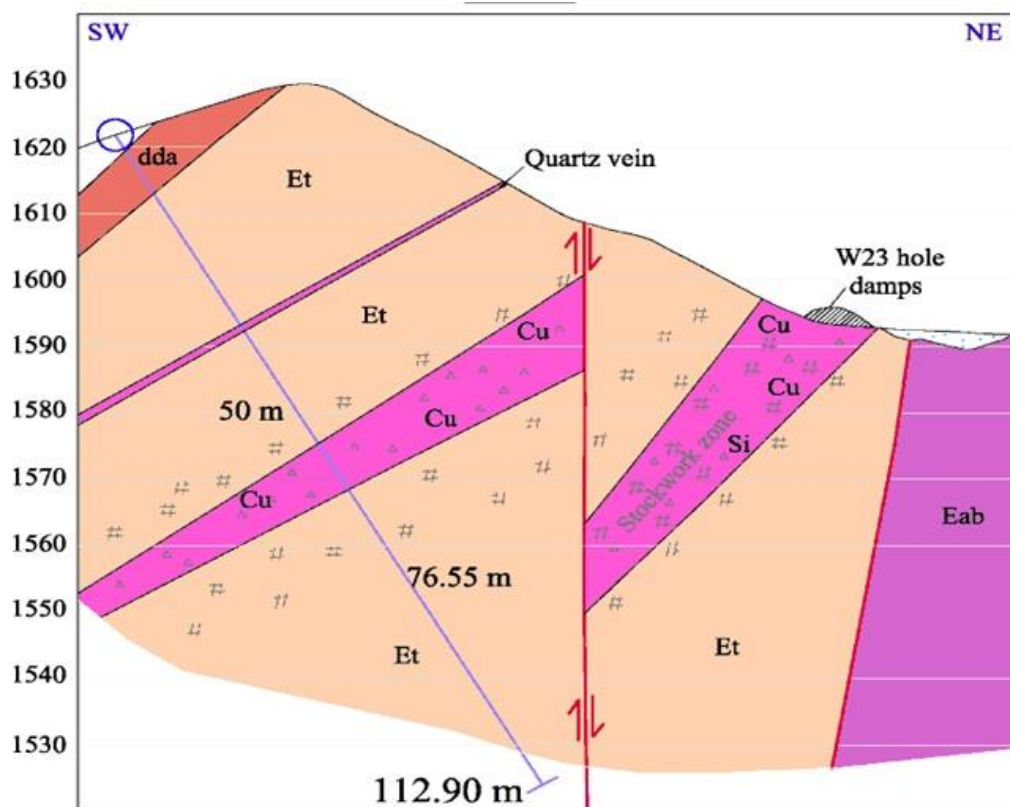
۳-۳- رگه‌های معدنی

در نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ چشمه حافظ (بدخشان ممتاز، ۱۳۸۶)، رگه‌های معدنی مشخص و نام‌گذاری شده‌اند. برای نام‌گذاری این رگه‌ها، علاوه بر امتداد و شیب آن‌ها، از خصوصیات دیگری چون

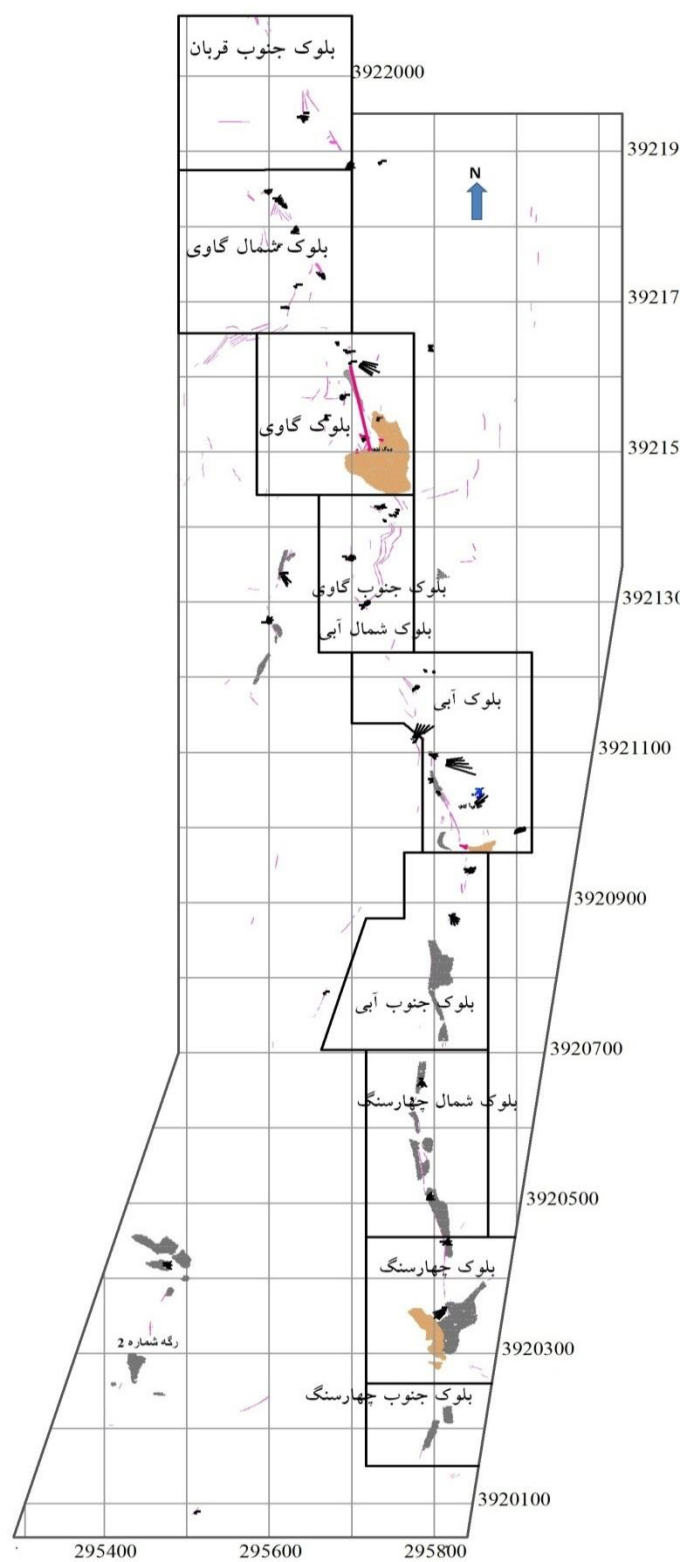
پاراژنز و جابه‌جایی توسط گسل‌های امتداد لغز نیز استفاده شده است. این رگه‌ها به شرح زیر است:

۳-۳-۱- رگه شماره ۱ (رگه اصلی)

رگه اصلی چشمه‌حافظ دارای راستای شمالی - جنوبیو شمال‌غرب- جنوب‌شرق می‌باشد (شکل ۳-۱). این رگه در راستای خود توسط گسل‌های امتدادلغز راست گرد، چندین بار جابه‌جا شده است. این رگه متشکل از سنگ‌های سیلیسی- برشی و بعضاً به صورت استوک‌ورک می‌باشد. با توجه به طول زیاد این رگه و تغییرات پاراژنز و شدت و ضعف کانی‌سازی و کاهش و افزایش ضخامت آن، به ۹ بلوک کانی‌سازی تقسیم شده است (شکل ۳-۵) که از شمال به جنوب توضیح داده می‌شوند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



شکل ۳-۴: نمونه‌ای از پروفیل حاصل از حفر یک گمانه. جابه‌جایی رگه معدنی توسط گسل مشخص می‌باشد (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



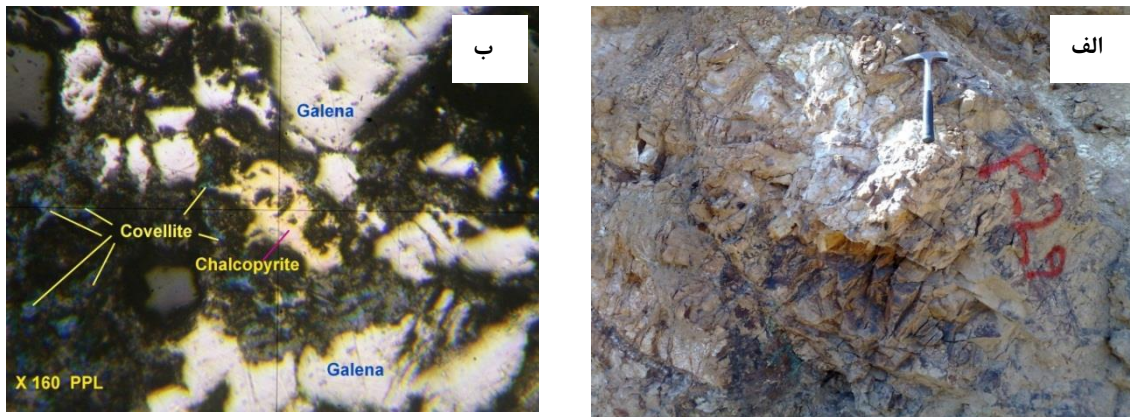
شکل ۳-۵: موقعیت جغرافیایی بلوک‌های کانی‌سازی در رگه اصلی (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

۳-۱-۱-۱- بلوک جنوب قربان

این بلوک شمالی‌ترین بلوک کانی‌سازی رگه اصلی در محدوده چشمه‌حافظ می‌باشد و به دلیل قرارگیری در جنوب تونل قربان به این نام شناسایی می‌شود (شکل ۳-۵).
زون‌های سیلیسی و برشی در این بلوک راستای شمالی - جنوبی شمال غرب - جنوب شرق دارند. این زون‌ها از رگه‌هایی به ضخامت چند سانتی‌متر تا یک متر تشکیل شده‌اند. سنگ میزبان این رگه‌ها، آندزی بازالیت می‌باشد. آنالیز نمونه‌های برداشت شده از این بلوک نشان می‌دهد که رگه‌های آن دارای کانی‌سازی مس، سرب، روی و طلا می‌باشند. در نمونه‌های دستی رگه‌های این بلوک، بلورهای کوارتز، گالن و ملاکیت قابل مشاهده است. بر روی رگه‌های سیلیسی این بلوک، آثار فعالیت‌های معدنی، شدادی و چاه دیده می‌شود و بیشترین میزان سرباره‌های ذوب در محدوده چشمه‌حافظ، در این بلوک مشاهده می‌شود. شیب رگه کانه‌دار ۴۰ تا ۶۰ درجه و در جهت جنوب غرب و غرب می‌باشد (هدایتی روشن، ۱۳۸۹).

۳-۱-۲-۱- بلوک شمال گاوی

بخش اعظم رگه در این بلوک به صورت رگچه‌های سیلیسی فراوان، کم ضخامت و بعضاً متقاطع (استوک ورک) می‌باشد. راستای غالب رگچه‌های سیلیسی، شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد ولی به طور کلی، رگچه‌ها در راستاهای مختلف توسعه دارند. رگه‌های سیلیسی این بلوک دارای گالن، پیریت، کلکوپیریت، هماتیت، سروزیت، کوولیت، هیدروکسید آهن، ملاکیت و آزوریت می‌باشد (شکل ۳-۶). مقدار آرسنیک در این بلوک ۳۳۳ ppm می‌باشد. شیب رگه در این بلوک ۴۰ تا ۶۰ درجه و به سمت شمال غرب، غرب و جنوب غرب متغیر است (هدایتی روشن، ۱۳۸۹).



شکل ۳-۶: نمایی از کانه سازی پلی متال در بلوک شمال گاوی در نمونه دستی (الف) و مقطع صیقلی (ب) (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

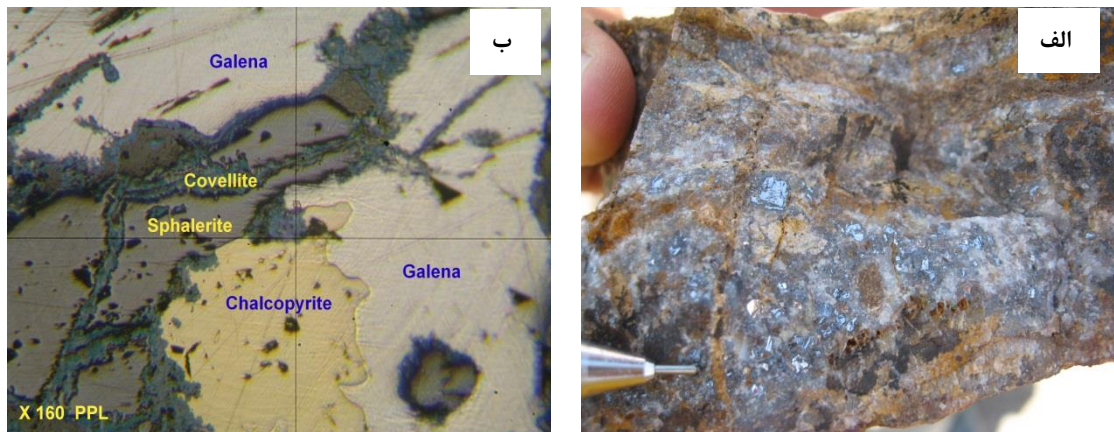
۳-۱-۳-۳- بلوک گاوی

طولانی‌ترین حفریات (از جمله تونل گاوی) در محدوده چشمه‌حافظ در این بلوک انجام شده است. رگه‌های سیلیسی و برشی متعددی با ضخامت چند سانتی‌متر تا بیش از ۲ متر در این بلوک رخنمون دارند که قسمت اعظم این رگه‌ها توسط حفریات تونل گاوی در سطح مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و بیشترین میزان استخراج مربوط به همین بلوک می‌باشد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷: نمایی از تونل گاوی و دیوی معدنی آن (دید به شمال)

رگه‌های سیلیسی این بلوک دارای گالن، اسفالریت، کلکوپیریت، سروزیت، هماتیت، مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد (شکل ۳-۸). آنالیز نمونه‌های گرفته شده از این بلوک نشان می‌دهد که مقدار متوسط طلا در این سه نمونه حدود ۲ گرم در تن بوده و متوسط سرب، مس و روی در این سه نمونه به ترتیب حدود ۱/۲۳، ۲/۶ و ۰/۱۴ درصد است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



شکل ۳-۸: کانی سازی در بلوک گاوی، نمونه دستی (الف) و مقطع صیقلی (ب) (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

نتایج به دست آمده نشان دهنده اهمیت این بلوک است. شیب رگه معدنی در این بلوک ۵۰ تا ۷۰ درجه و به سمت غرب، جنوب غرب و شمال غرب است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

۳-۱-۴- بلوک جنوب گاوی (بلوک شمال آبی)

رگه اصلی، رخنمون زیادی در این بلوک ندارد ولی در چند قسمت در محل حفر چاه‌های قدیمی، مشاهده می‌شود. چاه‌ها و چاهک‌های زیادی برای اکتشاف رگه سیلیس بر روی واحد آبرفتی (Qt1) و سنگ میزبان حفر شده است. راستای رگه شمالی - جنوبی و شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. در این بلوک، رگه و رگچه‌های سیلیسی بسیاری دیده می‌شود که مرتبط با دایک داسیتی می‌باشند. سنگ میزبان در این بلوک، تحت تأثیر نفوذ دایک داسیتی قرار گرفته و سیلیسی، رسی و کربناتی شده است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

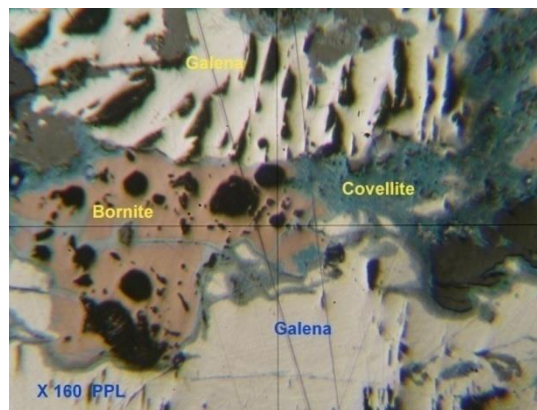
۳-۱-۵- بلوک آبی

نام‌گذاری این بلوک به دلیل وجود تونل آبی در آن می‌باشد. این تونل اکنون پر شده است و به گفته کارگرانی که در گذشته در این تونل کار کرده‌اند، رگه‌های این قسمت جز پرعیارترین رگه‌های محدوده می‌باشند. در این بلوک رگه‌های سیلیسی و برشی با ضخامت چند سانتی‌متر تا بیش از ۲ متر رخنمون دارند و گاه به صورت رگه - استوک‌ورک مشاهده می‌شوند. امتداد عمومی رگه‌ها در این بلوک شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. رگه‌های این بلوک دارای گالن، بورنیت، اسفالریت، کولیت،

کلکوسیت، هماتیت، مالاکیت، کوولیت، پیریت و هیدروکسید آهن می‌باشند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸) (شکل ۳-۹).

۳-۱-۳-۶- بلوک جنوب آبی

رگه‌های سیلیسی و برشی در این بلوک ضخامت چند سانتیمتر تا یک متر دارند. البته در این بلوک در اطراف رگه‌های سیلیسی معمولاً یک زون برشی و استوک‌ورک و چندین رگه قرار دارد که دارای کانی‌سازی می‌باشد. ضخامت این زون‌ها گاه به ۳۰ متر نیز می‌رسد. چندین محل کنده کاری قدیمی نیز بر روی رگه‌های سیلیسی این بلوک وجود دارد.



شکل ۳-۹: نمایی از مقطع صیقلی نمونه‌ای از رگه در بلوک آبی در نور طبیعی (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

در نمونه دستی، رگه‌های این بلوک، گاهی کانی‌سازی مالاکیت و گالن دیده می‌شود. در اکثر مواقع کانی‌سازی در نمونه‌های دستی زون‌های برشی این بلوک مشاهده نمی‌شود (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

۳-۱-۳-۷- بلوک شمال چهارسنگ

این بلوک در شمال تونل چهارسنگ واقع است. رگه‌های سیلیسی- برشی در این بلوک اکثراً همراه باریت می‌باشند. این رگه‌ها به ضخامت چند سانتیمتر تا چندین متر می‌باشند. چندین چاه نیز که به قصد استخراج ماده معدنی حفر شده است در این بلوک دیده می‌شود. در دپوی حاصل از این چاه‌ها آثار کانی‌های باریت و مالاکیت مشاهده می‌شود. رگه‌های سیلیسی این بلوک دارای کانی‌سازی

کلکوپیریت، بورنیت، هماتیت و اکسید آهن می باشند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸) (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰: نمایی از وجود باریت همراه رگه‌های بلوک شمال چهارسنگ (الف)، نمایی از کانی‌سازی مالاکیت با ساخت کروی در بلوک شمال چهارسنگ (ب) (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

۳-۳-۱-۸-بلوک چهار سنگ

به دلیل قرار داشتن تونل چهار سنگ در این بلوک، این نام برای آن انتخاب شده است. به صورت ماکروسکوپی در رگه‌های سیلیسی این بلوک آثار کانی‌زایی گالن، مالاکیت، آزوریت، کلکوپیریت، مشاهده می‌شود. رگه‌های سیلیسی- برشی این بلوک ضخامت چند سانتی‌متر تا چندین متر دارد. وسیع‌ترین زون برشی در این بلوک قرار دارد. رگه‌های سیلیسی این بلوک در راستاهای مختلف امتداد دارند. شیب رگه در این بلوک ۴۰ تا ۷۰ درجه و به سمت غرب، جنوب‌غرب و شمال‌غرب است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

۳-۳-۱-۹-بلوک جنوب چهار سنگ

رگه‌های سیلیسی- برشی در این بلوک ضخامت چندانی ندارد و به صورت محدود در چند جا مشاهده می‌شوند. به صورت ماکروسکوپی در رگه‌های این بلوک کانی‌سازی پیریت، کلکوپیریت، گالن، مالاکیت و اکسیدهای آهن مشاهده شده است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸) (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱: کانی سازی در رگه‌های سیلیسی بلوک جنوب چهارسنگ (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

۳-۳-۲- رگه شماره ۲

این رگه در فاصله حدود ۲۰۰ متری جنوب غرب رگه شماره ۱ واقع شده (شکل ۳-۱۲) و متشکل از رگچه‌های سیلیسی- برشی با ضخامت چند سانتی‌متر تا نیم متر است. البته پهنه‌های سیلیسی- برشی در اطراف رگه‌ها وسیع‌تر می‌باشند، آثار کانی‌سازی گاهی به صورت ماکروسکوپی در این رگه به چشم می‌خورد.



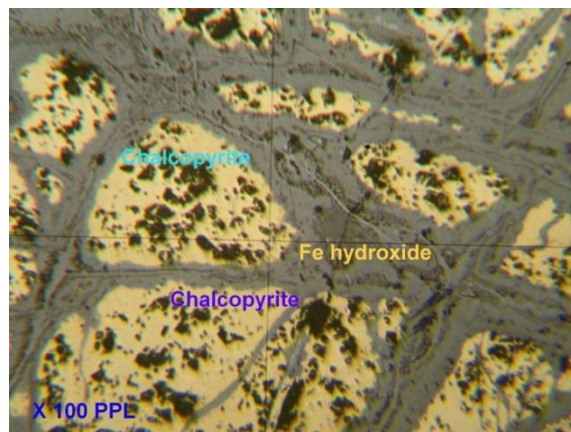
شکل ۳-۱۲: نمایی از رگه سیلیسی کانه‌دار (رگه ۲) با ضخامت نیم‌متر (دید به سمت جنوب‌غرب)
(هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

کانه‌های گالن، هماتیت، سروزیت، کولیت، ملاکیت، آزوریت، کلکوپیریت، پیریت و هیدروکسیدهای آهن در این رگه وجود دارد. با توجه به مطالعات انجام شده، این رگه از نظر کانی- سازی سرب، مس و طلا حائز اهمیت می‌باشد، این رگه توسط گسل‌های مختلف جابه‌جا شده است و

در بسیاری از نقاط پوشیده می‌باشد. شیب این رگه ۴۰ تا ۷۰ درجه و به سمت غرب، جنوب‌غرب و شمال‌غرب است. به طور کلی و با استناد به نتایج نمونه‌های گرفته شده طی مطالعات قبلی، می‌توان گفت که عیار متوسط عناصر سرب، مس و روی در بخش سطحی این رگه به ترتیب برابر ۲/۴۱، ۰/۱۷ و ۰/۵۱ درصد می‌باشد. عیار طلا و نقره در همین زون به ترتیب برابر ۰/۳۶ و ۴/۰۴ گرم در تن است. ضخامت متوسط رگه ۱/۷۶ متر است.

۳-۳-۳- رگه سیلیسی شرقی - غربی (رگه ۳)

رگه‌های سیلیسی در راستای شرقی - غربی در این محدوده در ۳ محل مشاهده می‌شوند. به نظر می‌رسد که این رگه‌ها جز فازهای متأخر کانی‌سازی در محدوده چشمه‌حافظ باشند. چرا که در اکثر مواقع همراه آنها کلسیت مشاهده می‌شود و بر روی گسله‌های شرقی - غربی قرار دارند. کانی‌سازی فلزی در داخل رگه‌های کلسیت مشاهده نمی‌شود و فقط در رگه‌های سیلیسی وجود دارد. این رگه‌ها ضخامت چندانی نداشته و از چند سانتیمتر تا حداکثر ۲۰ سانتیمتر ضخامت دارند. طول یکی از این رگه‌ها برابر ۳۹۴ متر می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده بر روی این رگه‌ها، کانی‌سازی مس در این رگه‌ها قابل پی‌گیری است (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳: نمایی از مقطع صیقلی نمونه گرفته شده از رگه ۳، در نور طبیعی (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

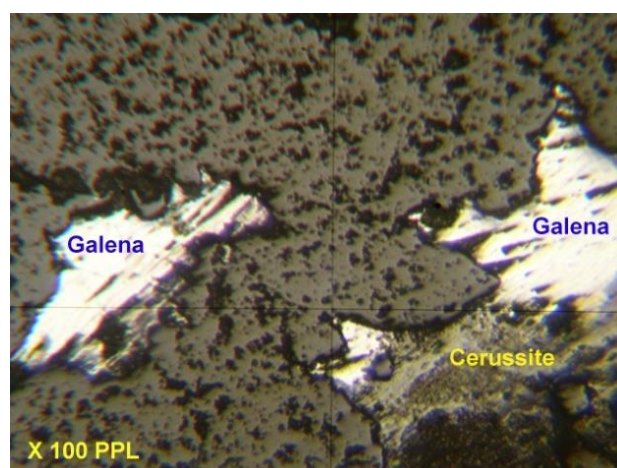
نتایج حاصل از مطالعه میکروسکوپی نمونه برداشت شده از این رگه نشان می‌دهد که کلکوپیریت، هیدروکسید آهن و مالاکیت کانه‌های موجود در نمونه هستند (شکل ۳-۱۳). لکه درشت کلکوپیریت با

ابعاد ۳ سانتی متر در سطح مقطع مشاهده می شود. این لکه تحت تأثیر دگرسانی سوپرژن واقع شده و از اطراف توسط لیمونیت و گوتیت جانشین گشته است. اطراف لکه مزبور نیز توسط مالاکیت احاطه گشته است.

به طور کلی، با استناد به نتایج نمونه های گرفته شده طی مطالعات قبلی و بر اساس نتایج حاصل از تجزیه نمونه ها، عیار عناصر مختلف در این ترانشه عبارت است از ۶۰ میلی گرم در تن طلا، ۰/۳۱ گرم در تن نقره، ۱/۰۹ درصد مس، ۱۴۸ گرم در تن سرب و ۱۶۶ گرم در تن روی است. ضخامت متوسط رگه نیز برابر ۰/۶۳ متر است.

۳-۳-۴- سایر رگه ها

به جز رگه های نامبرده، چندین رگه و رگچه های دیگر سیلیسی نیز در منطقه وجود دارند. از میان این رگه ها، از رگه ای به ضخامت ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر و طول رخنمون تقریباً ۲۰ متر، نمونه گیری شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از این نمونه نشان داد که رگه حاوی کانی سازی گالن و هماتیت به همراه هیدروکسیدهای آهن، مالاکیت و سروزیت می باشد (هدایتی روشن، ۱۳۸۸) (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴: نمایی از مقطع صیقلی نمونه گرفته شده از رگه، درنور طبیعی (هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

در غرب بلوک جنوب گاوی، رگه سیلیسی با امتداد عمومی شمال شرقی - جنوب غربی رخنمون

دارد. البته این رگه در چندین قسمت توسط گسل‌هایی جابه‌جا شده و به طور محلی امتداد آن تغییر پیدا کرده است. این رگه را در طول، تا ۲۰۰ متر به طور منقطع می‌توان دنبال کرد. این رگه حاوی کانی‌زایی کلکوپیریت، پیریت، هماتیت، ترکیبات تیتانیوم‌دار، مالاکیت، هیدروکسیدهای آهن، گالن، اسفالریت، بورنیت، سروزیت و کولیت می‌باشد. ضخامت بخش‌های سیلیسی-برشی این رگه از چند سانتیمتر تا ۵۰ سانتیمتر متغیر است. در بسیاری از مواقع یک زون سیلیسی-برشی در اطراف این رگه‌ها وجود دارد که به ضخامت چندین متر رخنمون دارند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

دسته دیگر از رگه‌های سیلیسی، رگه‌ها و رگچه‌های مرتبط به دایک داسیتی در محدوده می-باشند. این رگه‌ها بسیار فراوان هستند. رگه‌های سیلیسی در کنتاکت دایک داسیتی با سنگ میزبان و در خود دایک مشاهده می‌شوند. دایک داسیتی در چند جا در شمال محدوده چشمه‌حافظ رخنمون دارد. گاه رخنمون این دایک به طول حدود ۵۰۰ متر دیده می‌شود. راستای عمومی این دایک شمال-شرق-جنوب‌غرب است. در بعضی نقاط نیز راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق دارد. بنابراین راستای رگه‌های سیلیسی مرتبط با آن نیز از راستای دایک تبعیت می‌کند. رگه‌های سیلیسی به صورت محدود و طول‌های کم در نقاط دیگر محدوده چشمه‌حافظ نیز گسترش دارند که می‌توان به جنوبی-ترین بخش محدوده و شرق بلوک جنوب گاوی اشاره کرد.

۳-۴- ذخیره رگه‌ها و دپوهای مواد معدنی

ذخیره محاسبه شده برای رگه‌های محدوده معدنی چشمه‌حافظ، به میزان ۱۶۸۹۱۷/۴ تن تخمین زده شده است. ذخیره دپوهای معدنی در محدوده نیز برابر ۳۷۸۹۹/۵ تن می‌باشد.

که از این مقدار، حدود ۱۰۰۰ تن موجود در جلوی تونل قربان، ۲۰۰۰ تن مربوط به تونل گاوی و در امتداد آبراهه اصلی و مابقی نیز در سایر معادن متروکه بر جای مانده است (جدول ۳-۱).

بنابراین ذخیره کل محدوده مورد بررسی برابر با ۲۰۶۸۱۶/۹ تن با عیار میانگین ۰/۲، ۲۰۹۳۸/۴۸، ۳۸۰۷۸/۲۹، ۵۳۳۳/۹۴ گرم در تن به ترتیب برای عناصر طلا، مس، سرب و روی خواهد بود

(بدخشان ممتاز، ۱۳۸۶).

جدول ۱-۳ ذخیره کلی کانسار چشمه حافظ (بدخشان ممتاز، ۱۳۸۶)

No.	Tonage (ton)	Average Grade (ppm)			
		Au	Cu	Pb	Zn
Vein	168917.40	0.0998	23542.25	40451.70	4329.35
Depo	37899.50	0.670	9333.56	27500.09	9811.38
total	206816.9	0.204	20938.48	38078.29	5333.94

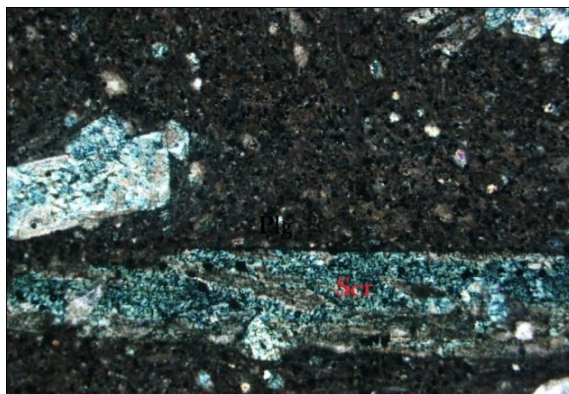
۳-۵- دگرسانی

با توجه به مشاهدات صحرایی و مطالعات پیشین در منطقه، دگرسانی در این محدوده توسعه داشته و بعضی از واحدهای سنگی، کم و بیش دگرسان شده‌اند. به نظر می‌رسد این پهنه‌های دگرسان شده، عمدتاً محصول کانه‌زایی بوده و توسط عوامل تکتونیکی کنترل می‌شوند. البته بخشی از دگرسانی نیز مربوط به هوازدگی برون‌زاد می‌باشد. این نکته نیز قابل ذکر است که نفوذ دایک‌های متعدد با ترکیب‌های مختلف به خصوص داسیتی، در بسیاری از موارد باعث دگرسان شدن خود و سنگ‌های میزبان شده است.

۳-۵-۱- انواع دگرسانی

دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل کلریتی شدن، سربستی شدن، سیلیسی و آرژیلی شدن، کربناتی شدن و اکسیدهای آهن در محدوده مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازهای سنگ به سربست، مسکویت، کلریت، کربنات، اکسید آهن و کانی‌های رسی تبدیل شده است (شکل ۳-۱۵). کانی‌های فرومنیزین به کلریت، کربنات، اکسید آهن و سیلیس تبدیل شده‌اند. در بسیاری از موارد تجمع رگچه‌های کربنات و سیلیسی وجود دارد که باعث سیلیسی شدن و کربناتی شدن سنگ شده است. مجموع دگرسانی‌های فوق در کل سنگ‌های محدوده وجود دارد و در بعضی از موارد این مجموعه بر بعضی از دگرسانی‌های دیگر غلبه می‌کند (هدایتی روشن، ۱۳۸۸). دگرسانی، در نزدیکی رگه‌ها شدید می‌-

باشد. پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی‌متر تا دو متر در نزدیکی رگه‌ها متغیر بوده و شامل دگرسانی‌های پروپیلیتیک، سربیسیتی، آرژیلیتی و سیلیسی شدن است. سربیسیتی، آرژیلیتی و سیلیسی شدن

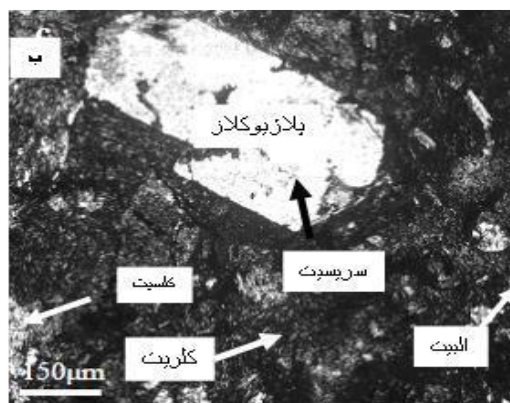


شکل ۳-۱۵: نمایی از مقطع میکروسکپی دگرسانی در منطقه (دگرسانی پلاژیوکلاز به سربیسیت) (جنتی، ۱۳۹۰)

رایج‌ترین دگرسانی، در ارتباط با کانی‌سازی هستند که در اطراف رگه‌ها قابل مشاهده‌اند. دگرسانی‌های موجود در منطقه دارای پهنه بندی مشخص می‌باشند. در مجاورت رگه‌ها، دگرسانی کوارتز-ایلیت گسترش بیشتری دارد و درشت بلورها به طور کامل توسط کربنات‌های ریز دانه و ایلیت جانشین شده‌اند. این مشاهدات نشان می‌دهد که سیال گرمایی در اثر عبور از گسل‌ها با کاهش دما مواجه شده و مسکویت ابتدا تشکیل، سپس توسط ایلیت جانشین شده است (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۲- دگرسانی پروپیلیتیک

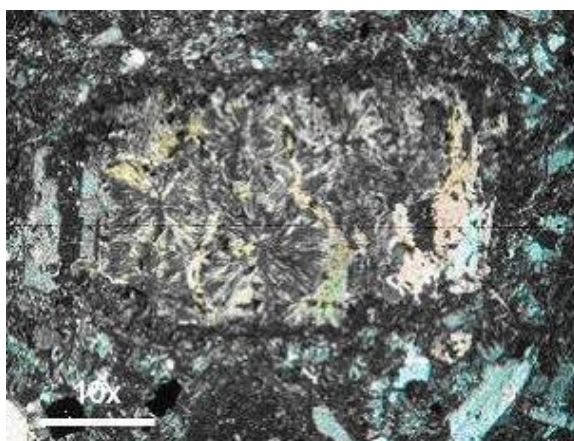
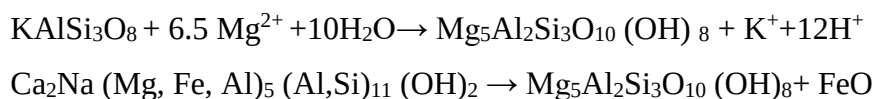
کانی‌های مهم این نوع دگرسانی شامل اپیدوت، زوئیزیت، کلریت، کلیست، آلبیت و پیریت بوده که در اثر که بر اثر قرار گرفتن محلول‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از آهن، منیزیم، کلسیم و سدیم در مجاورت سنگ‌های آذرین و واکنش‌های میان آن‌ها تشکیل می‌گردند (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه چشمه‌حافظ گسترش زیادی داشته و اغلب سنگ‌های رخنمون یافته متحمل این نوع دگرسانی شده‌اند. در واحدهای سنگی، کانی‌های اولیه از قبیل پلاژیوکلازها، تحت تأثیر این دگرسانی به کانی‌های ثانویه از جمله کربنات، اپیدوت، سربیسیت و کمی کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹) (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶: مقطع میکروسکوپی دگرسانی پروپلیتیک (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۳- دگرسانی کلریتی شدن

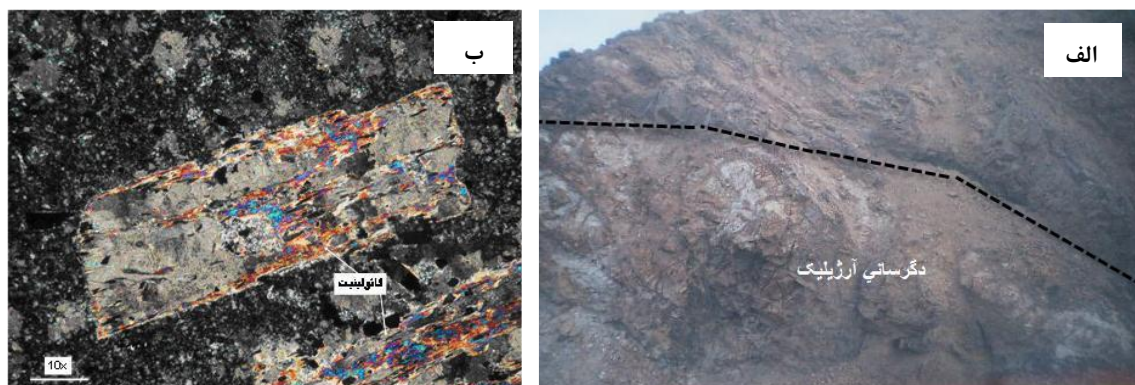
کلریتی شدن نوعی از دگرسانی پروپلیتیک بوده که به دلیل درصد بالای کلریت در آن، به دگرسانی کلریتی شدن معروف است. کانی‌های مهم این زون شامل کلریت، سریسیت، کوارتز، پیریت و به مقدار جزئی اپیدوت و بیوتیت است (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). محلول‌های گرمابی با کانی‌های مافیک پیروکسن و هورنبلند در سنگ میزبان طبق واکنش‌های زیر باعث تشکیل کلریت شده‌اند (شکل ۳-۱۷):



شکل ۳-۱۷: مقطع میکروسکوپی دگرسانی کلریتی، درشت بلور مافیک در مرکز تصویری به طور کامل به کلریت‌های شعاعی و بیوتیت تبدیل شده (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۴- دگرسانی آرژلیک

دگرسانی آرژلیک، از مشخصات کانسارهای اپی ترمال به شمار می‌رود. این دگرسانی در نسبت‌های پایین K^+/H^+ به وجود می‌آید. و در آن شست و شوی عناصر قلیایی به جز K ضعیف است (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). کانی‌های مشاهده شده در دگرسانی آرژلیک در منطقه چشمه‌حافظ شامل کائولینیت، مونت‌موریلونیت، سربیسیتو آنکريت است (شکل ۳-۱۸).



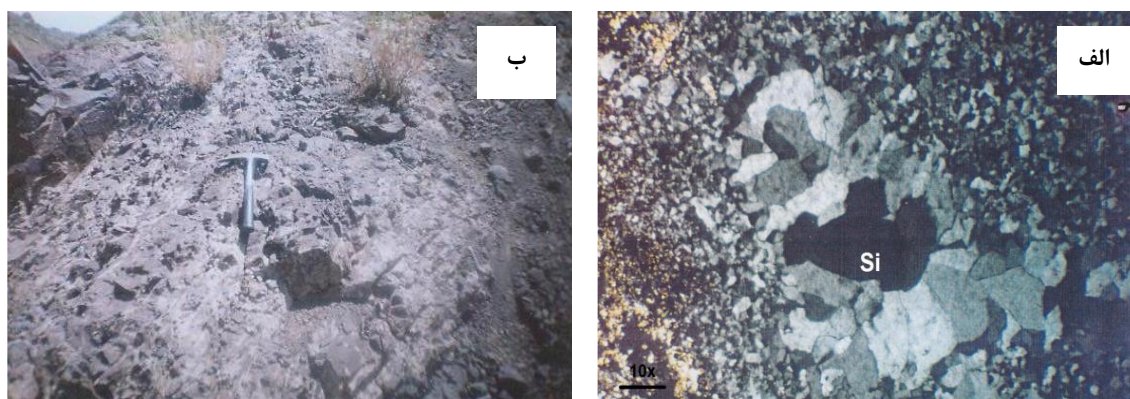
شکل ۳-۱۸: رخنمون سطحی دگرسانی آرژلیک (الف) و مقطع نازک دگرسانی آرژلیک در پلاژیوکلازا (ب) (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۵- دگرسانی سیلیسیک

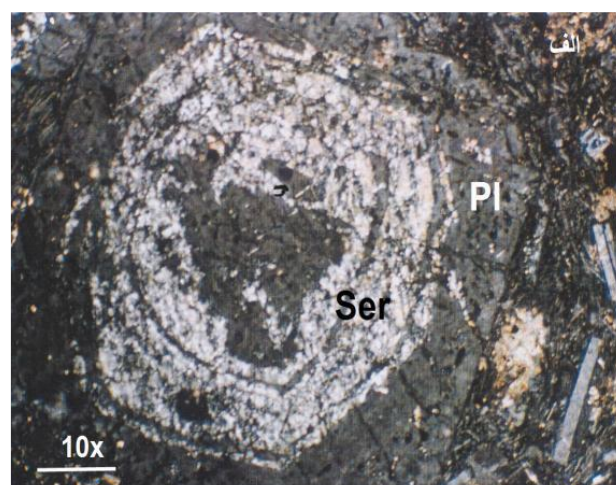
دگرسانی سیلیسیک در منطقه چشمه‌حافظ عموماً به صورت اضافه شدن سیلیس نهان‌بلور به سنگ و یا تشکیل رگه و رگچه‌هایی از کوارتز در امتداد شکستگی‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۹). این دگرسانی در ارتباط با کانه‌سازیست و در مجاورت بلا فصل رگه‌ها قابل تشخیص بوده و در فاصله‌های دورتر از رگه‌ها، قابل تشخیص نیست. در این نوع دگرسانی، کانی‌های کوارتز میکروکریستالین، سربیسیت، ایلیت، همتایت و کانی‌های سولفیدی حضور دارند (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۶- دگرسانی سربستیک (فیلیک)

سربستی شدن نیز در منطقه چشمه‌حافظ، یکی از دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی است. در این دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز، به کربنات‌های ریزدانه و سربیسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۲۰).

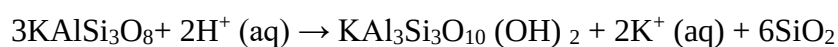


شکل ۳-۱۹: دگرسانی سیلیسیک در مقطع نازک (الف) و این دگرسانی در سنگ میزبان (ب) (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).



شکل ۳-۲۰: مقطع میکروسکوپی از سریسیتی شدن پلاژیوکلاز (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

در این دگرسانی، طبق واکنش‌های زیر هیدروژن مصرف شده و سدیم و پتاسیم به محلول اضافه شده و با کلر پیوند برقرار می‌کنند که باعث ناپایدار شدن کمپلکس‌های کلر با فلزات شده و فلز ته-نشین می‌شود (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).



۳-۶- کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک

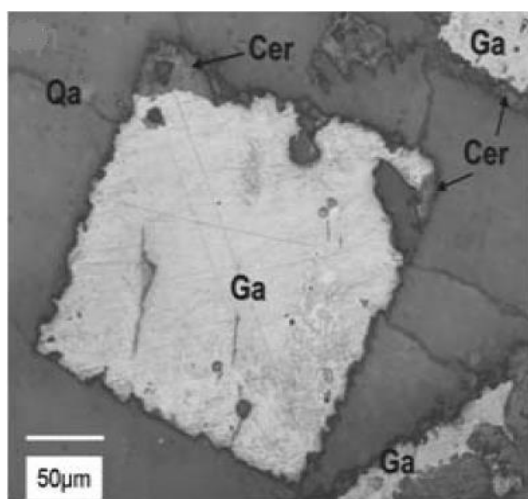
کانه‌سازی در منطقه معدنی چشمه‌حافظ به دو صورت درون‌زاد و برون‌زاد رخ داده است. از کاندهای درون‌زاد می‌توان به گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، پیریت (FeS₂)، کلکوپیریت (CuFeS₂)، بورنیت (Cu₅FeS₄)، کالکوسیت (Cu₂S) و کولیت (CuS) اشاره کرد و کاندهای برون‌زاد شامل ملاکیت (Cu₂CO₃(OH)₂)، آزوریت (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂)، سروزیت (PbCO₃)، می‌باشند (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). بر اساس توالی پاراژنتی تهیه شده در کانسار چشمه‌حافظ (شکل ۳-۲۱)، کان‌زایی درون‌زاد به سه مرحله قابل تقسیم است:

Mineral	Stage 1	Stage 2 (Main sulfide stage)			Stage 3	Post ore/ Supergen
		c	b	a		
Quartz	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Pyrite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Chalcopyrite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Galena	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Sphalerite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Bornite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Tetrahedrite- Tenantite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Digenite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Calcite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Fe-oxy- hydroxides	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Covellite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Chalcocite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Malachite	—————	—————	—————	—————	—————	—————
Cerussite	—————	—————	—————	—————	—————	—————

شکل ۳-۲۱: توالی پاراژنتی در کانسار چشمه‌حافظ (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

مرحله اول: کوارتز (SiO_2)، کلسیت (CaCO_3) با کمی پیریت و کلکوپیریت؛ مرحله دوم: مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی است که شامل گالن خود شکل اولیه (شکل ۳-۲۲)، سپس گالن، اسفالریت، و کلکوپیریت و در نهایت گالن، کلکوپیریت، پیریت، تتراهدریت، بورنیت و دیژنیت؛ مرحله سوم: شامل رگه‌های کوارتز و کربنات فاقد آثار کانه‌سازی همراه مقدار کم پیریت و کلکوپیریت است (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). کانی‌سازی در منطقه چشمه‌حافظ، متشکل از رگه‌های سیلیس حاوی کانه‌های سولفور سرب، روی و مس می‌باشد که در سطح زمین، اکسیده شده‌اند. مقادیری نیز کانه‌های طلا و نقره در این رگه‌ها مشاهده شده است. لازم به ذکر است که کانی‌سازی به صورت سن-ژنتیک درون واحدهای سنگی نیز انجام شده است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸).

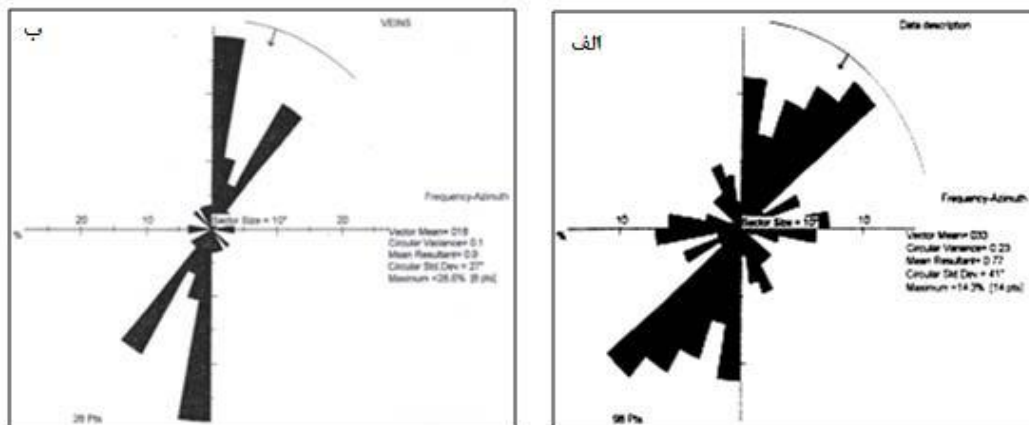
فضای مناسب برای نفوذ محلول‌های هیدروترمال و کانی‌سازی رگه‌ای از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها فراهم شده است، به‌طوری که نمودارهای گل‌سرخ رسم شده برای روند گسل‌ها و رگه‌های معدنی، این مطلب را تأیید می‌کند (شکل ۳-۲۳). همچنین فضای بین کنتاکت دایک‌ها و سنگ‌های میزبان این فضا را برای تزریق محلول هیدروترمال ایجاد کرده است.



شکل ۳-۲۲: بلور گالن که از اطراف به سروزیت تبدیل شده است (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

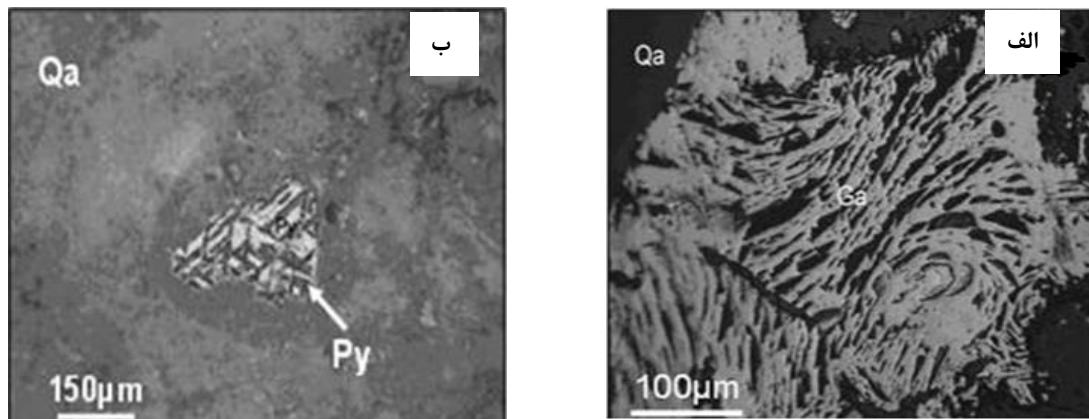
کانه‌سازی در ارتباط با گسله‌ها به صورت رگه‌های سیلیسی برشی شده می‌باشد. این رگه‌ها حاوی کانی‌سازی مالاکیت ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)، آزوریت ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) (سروزیت (PbCO_3))، گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، کلکوپیریت (CuFeS_2)، بورنیت (Cu_5FeS_4)، کالکوسیت (Cu_2) و کولیت

(CuS) می باشد و در برخی موارد همراه آنها باریت نیز تشکیل شده است. بیشتر کانه قابل مشاهده در نمونه های دستی، گالن می باشد، در بعضی از رگه ها مانند رگه های تونل آبی، گاوی و دپوی معدنی حاصل از آن ها، اسفالریت نیز مشاهده می شود. کانی مالاکیت، تقریباً در کل محدوده وجود دارد. هر چند رگه های کلسیتی نیز گسترش زیادی در منطقه دارند ولی تقریباً می توان گفت؛ فاقد کانه سازی می باشند. در بخش هایی از منطقه، کانی سازی مس به صورت مالاکیت در سطح سنگ های آندزیت- تراکی آندزیت مشاهده می شود که احتمالاً در ارتباط با لیتولوژی منطقه می باشد، یعنی سن ژنتیک است. البته اثبات این موضوع نیاز به مطالعه دقیق دارد (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹ و هدایتی روشن، ۱۳۸۸).



شکل ۳-۲: الف) نمودار گل سرخی فراوانی گسل ها در منطقه مورد مطالعه، ب) نمودار گل سرخی فراوانی رگه های کانه دار در این منطقه (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

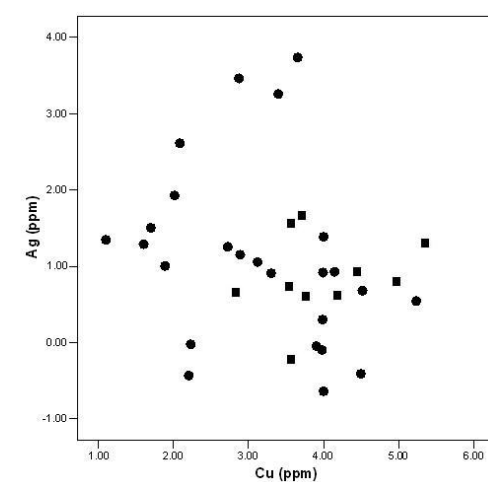
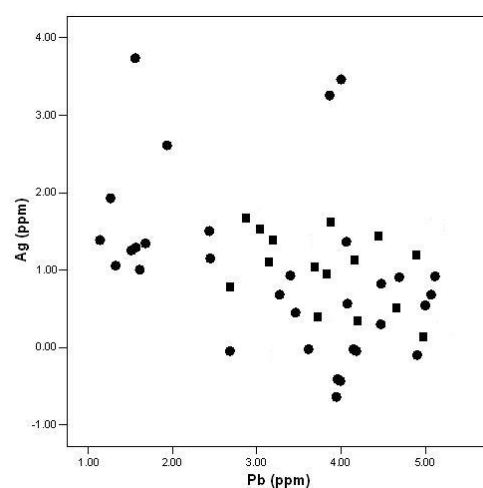
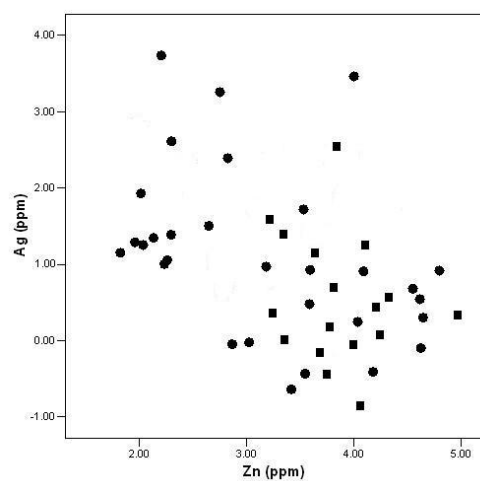
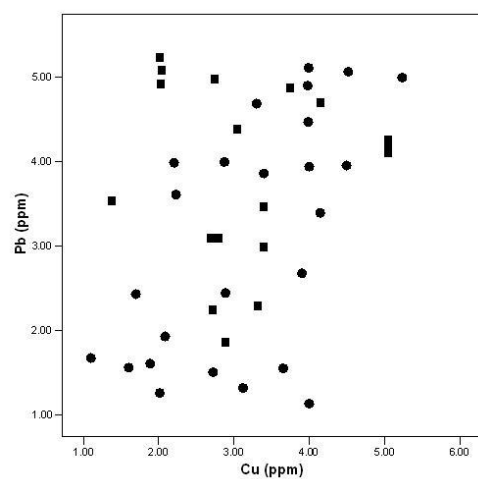
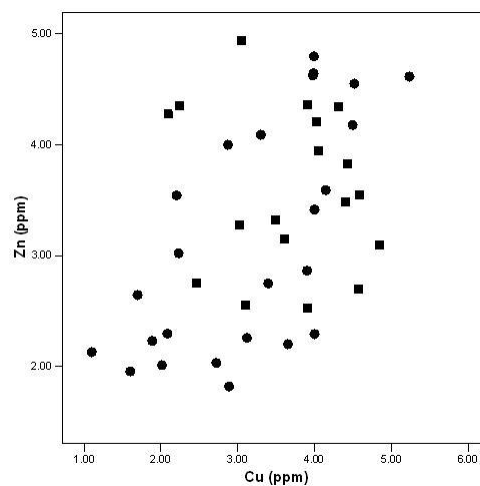
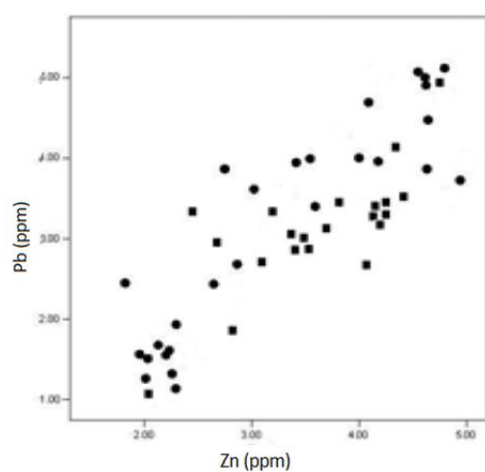
در بعضی از بلورهای گالن تغییر شکل هایی در رخ های مثلی شکل آنها دیده می شود که معرف حوادث تکتونیکی بعد از کانه زایی می باشد (شکل ۳-۲۴ الف). همچنین بلورهای پیریت نیز تحت حوادث تکتونیکی به شدت خرد شده هستند (شکل ۳-۲۴ ب).



شکل ۳-۲۴: الف) تغییر شکل پیچشی در بلور گالن در اثر حوادث تکتونیکی، ب) بلور پیریت که بر اثر تنش‌های تکتونیکی خرد شده است (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

۳-۷- ژئوشیمی کانسار

عیار میانگین عناصر طلا، نقره، سرب، روی و مس به ترتیب ۰/۱۵ و ۳/۲۳ گرم در تن و ۴/۴۷، ۱ و ۲/۶۴ درصد وزنی می‌باشد (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). بررسی همبستگی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر در سنگ‌های میزبان و رگه‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که سرب و روی در بین فلزات پایه بیش‌ترین همبستگی ($r = 0/94$) را نشان می‌دهند (شکل ۳-۲۵). همبستگی مس با این دو فلز پایین است ولی مس همبستگی بالایی را با بیسموت نشان می‌دهد. همبستگی طلا با فلزات پایه ضعیف بوده اما همبستگی نسبتاً بالایی با آنتیموان دارد. کادمیم همبستگی بالایی (مس $r = 0/78$ ، سرب $r = 0/88$) روی ($r = 0/75$) با فلزات پایه نشان می‌دهد. آرسنیک نیز همبستگی بالایی با سرب و روی نشان می‌دهد (مهرابی و قاسمی سیانی ۱۳۸۹). از رگه‌های معدنی چشمه‌حافظ به گردنه توتو یک زون بندی ژئوشیمیایی مشاهده می‌شود. بیشترین عیار سرب و روی در رگه‌های معدنی توتو (شمال منطقه معدنی) تعیین شده است. بالاترین عیار مس، طلا و نقره، در جنوب منطقه معدنی در اطراف معدن متروکه چشمه‌حافظ به ثبت رسیده است (قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

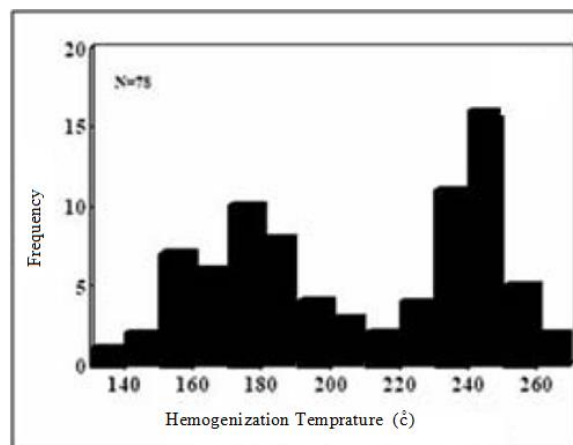


شکل ۳-۲۵: نمودار همبستگی بین فلزات مختلف در سنگ‌های میزبان و رگه‌های معدنی (دایره معرف سنگ میزبان و مربع معرف رگه کانه‌دار است) (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

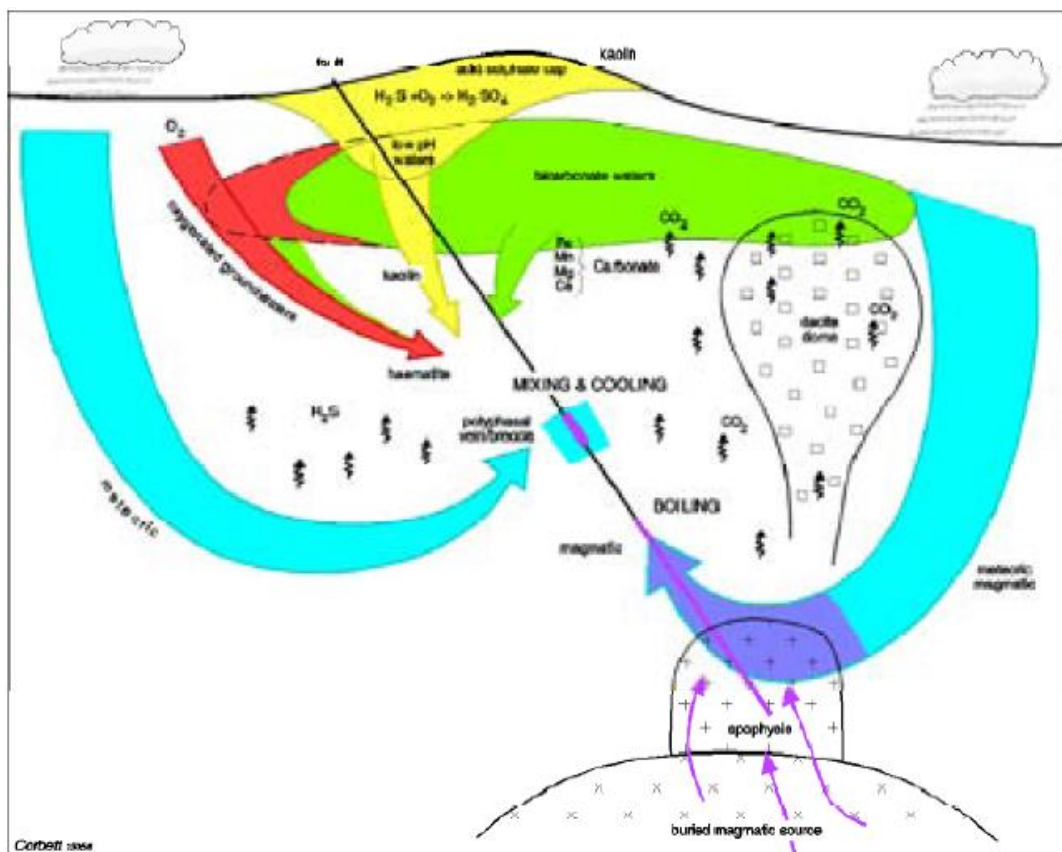
۳-۸- نحوه تشکیل و تیپ کانسار

مطالعه سیالات درگیر در نمونه‌های گرفته شده از کانسار نشان می‌دهد که میانگین دمای همگن شدن در مجموعه سیالات از ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در دو محدوده دمایی ۱۸۰ و ۲۵۰ پیک‌های مشخصی دیده شده است (شکل ۳-۲۶). با توجه با داده‌های حاصل از مطالعه سیالات درگیر، دونوع سیال کانه‌ساز تشخیص داده شده است، سیال با شوری متوسط (۴/۷ تا ۸ درصد وزنی معادل NaCl) و سیال با شوری بالا (۱۰ تا ۱۸ درصد وزنی معادل NaCl) (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹). احتمالاً منشأ سیالات با شوری و دمای کمتر، آب‌های جوی و سیال با دما و شوری بالاتر مربوط به سیالات ماگمایی بوده است (شکل ۳-۲۷).

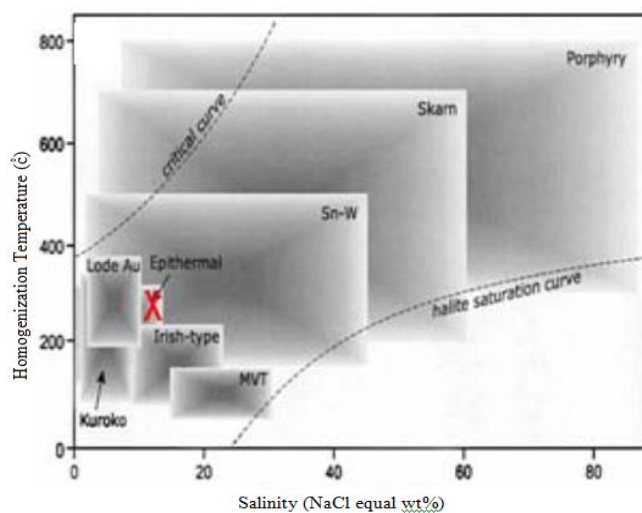
با مقایسه ویژگی‌های کانسار چشمه‌حافظ با کانسارهای اپی‌ترمال، می‌توان این کانسار را در رده اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط قرار داد (شکل ۳-۲۸). رقیق شدگی سیالات ماگمایی توسط آب-های جوی عامل اصلی کانه‌سازی در کانسار چشمه‌حافظ بوده است (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).



شکل ۳-۲۶: دمای همگن شدن سیالات درگیر کانسار چشمه‌حافظ (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)



شکل ۳-۲۷: نمودار شماتیک سیالات منشأ گرفته از توده نفوذی، نحوه تزریق آن‌ها به گسل‌های منطقه، تداخل با آب‌های جوی و ته نشست ماده معدنی (Corbett. 2002)



شکل ۳-۲۸: نمودار دمای همگن شدن - شوری. کانسار چشمه حافظ در این نمودار در تیپ اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹ به نقل از Wilkinson. 2001)

فصل چهارم

مروری بر مطالعات پیشین

۴-۱- مقدمه

در زمینه اثرات زیست‌محیطی فرسایش طبیعی و فعالیت‌های معدن‌کاری، مطالعات گسترده‌ای در جهان و برخی از نقاط ایران صورت گرفته است که در این مبحث به برخی از آن‌ها و نتایج به دست آمده از این مطالعات اشاره خواهد شد.

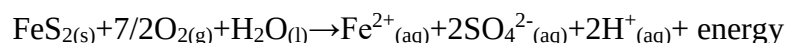
۴-۲- اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری

فعالیت‌های معدن‌کاری دامنه گسترده‌ای از اثرات زیست‌محیطی را به همراه دارد که می‌توان آن‌ها را به دو گروه تقسیم کرد: الف) خطرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری روباز و زیرزمینی، ب) آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مراحل مختلف معدن‌کاری. از جمله خطرات معدن‌کاری می‌توان به به‌هم ریختگی و نشست زمین، ریزش تونل‌ها، ناپایداری دامنه‌ها و... اشاره کرد. تولید زهاب اسیدی معدن، آلودگی آب، خاک و رسوبات به آلاینده‌های مختلف (از جمله فلزات سنگین)، آلودگی هوا به گرد و غبار و آلودگی صوتی از مهمترین آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از معدن‌کاری می‌باشند.

با توجه به این‌که منابع معدنی خصوصاً کانسارهای فلزی حاوی مقدار قابل توجهی عناصر سمی می‌باشند؛ تماس آب‌های سطحی و زیرزمینی با سنگ میزبان و توده‌ها و رگه‌های معدنی و هوازدگی سنگ‌ها در کانسارها باعث آزاد سازی عناصر مختلف شده و مقدار زیادی از فلزات سنگین و عناصر سمی را در رسوبات پایین دست و خاک‌های مجاور برجای می‌گذارد. علاوه بر این فعالیت‌های معدن‌کاری نیز از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر محیط زیست می‌باشند که از جنبه‌های مختلف محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شدت اثرات فعالیت‌های معدن‌کاری بر محیط زیست به حدی زیاد است که سیستم‌های طبیعی قادر به خنثی کردن آلودگی‌های ایجاد شده نمی‌باشند و آلودگی‌های پایداری را در بخش‌های مختلف محیط زیست ایجاد می‌کند (قشلاقی، ۱۳۸۸).

در کانسارهایی که دارای کانه‌های سولفیدی می‌باشند، تماس آب و هوا با کانسنگ‌ها باعث تولید

آب اسیدی می‌شود، این در حالی است که بهره برداری از این کانسارها، سطح تماس کانی‌های حاوی سولفید را با هوای آزاد و بارش‌های جوی بیشتر کرده و در نتیجه آهنگ تشکیل آب‌های اسیدی بیشتر خواهد شد (USEPA, 1997). زهاب اسیدی معدن بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی بویژه پیریت تولید می‌شود (Banks et al. 1997). واکنش اکسایش پیریت به صورت زیر می‌باشد:



این فرآیند باعث تولید آب اسیدی با PH پایین تر از ۳/۵ می‌شود که حاوی غلظت بالایی از از فلزات، شبه فلزات و سولفوریک اسید می‌باشد. ورود این آب‌های اسیدی به آب‌های سطحی و زیر زمینی به شدت کیفیت آنها را از نظر فیزیکی و شیمیایی تحت تأثیر قرار می‌دهد (USEPA, 1997).

رحیمی (۱۳۸۸)، اثرات معدن‌کاری بر آلودگی آب و خاک به فلزات سنگی را در منطقه معدنی زغال‌سنگ طزره مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که به دلیل حضور سازندهای کربناته در منطقه و وجود شرایط قلیایی در آب‌ها، حلالیت عناصر سنگین پایین بوده و غلظت این عناصر در پایین دست معدن‌کاری تفاوت چندانی نشان نداده‌اند. با این وجود غلظت عناصر گوگرد، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و استرانسیم که انحلال پذیری بیشتری نسبت به بقیه عناصر دارند در خاک‌ها و آب‌های پایین دست معدن‌کاری چندین برابر نظایر آنها در بالادست می‌باشد.

خدایی (۱۳۸۸)، با مطالعه آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری در محدوده معدن سرب و روی آهنگران، نتیجه گرفت که بیشترین سهم آلودگی خاک‌های منطقه در ارتباط با باطله‌های معدنی بوده و در این میان عناصر آلاینده به ویژه سرب روند نگران کننده‌ای نشان می‌دهند.

جدیدی سلطان آباد (۱۳۹۰)، به بررسی آثار زیست‌محیطی ناشی از کانی‌های آرسنیک‌دار معدن زرنیخ و لیل و شهرستان هریس، آذربایجان شرقی پرداخت. وی با مطالعه غلظت فلزات در نمونه‌های آب، سنگ، رسوب و گندم در منطقه، نتیجه گرفت که آب‌های شرب و کشاورزی منطقه و نمونه‌های گندم فاقد آلودگی بوده ولی آلودگی در رسوبات آبراهه‌ای مشاهده می‌شود، با این حال هیچ‌گونه علائم

مربوط به بیماری‌های ناشی از آرسنیک در ساکنین اطراف محدوده معدنی مشاهده نمی‌شود. نتایج حاصل از مطالعه رضایی (۱۳۷۹)، که به منظور بررسی ژئوشیمیایی و رسوبات رودخانه زرشوران در رابطه با اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های معدن‌کاری صورت گرفت، حاکی از آن است که آلودگی به عناصر آلاینده مورد مطالعه (As, Sb, Ag, Zn) در نمونه‌های آب و رسوب رودخانه‌ای، خاک، گیاهان و سنگ‌ها به‌خوبی مشهود است که در نمونه‌های آب و رسوب با افزایش فاصله از معدن میزان عناصر به‌طور نمایی کاهش می‌یابد.

قشلاقی (۱۳۸۸) در قالب پایان‌نامه دکتری، اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری در منطقه معدنی سرب و روی انگوران استان زنجان را مورد ارزیابی قرار داده است. ایشان غلظت فلزات سنگین را در فاصله‌های مختلف از کارخانه ذوب و فراوری مطالعه نموده و دریافته که غلظت عناصر سرب، روی، آرسنیک و کادمیم با افزایش فاصله از کارخانه در جهت وزش باد غالب، کاهش چشم‌گیری نشان می‌دهند. این محقق مشاهده کرده که غلظت عناصر مس، نیکل و کروم، رابطه مشخصی با فاصله نشان نمی‌دهند. بنابراین نتایج و با توجه به بررسی‌های آماری و زمین‌آماري و همچنین بر اساس نتایج تجزیه استخراج ترتیبی فلزات سنگین بر روی نمونه‌های برداشت شده از منطقه، عناصر سرب، روی، آرسنیک و کادمیم به منشأ انسان‌زاد و مس، نیکل و کروم به منشأ لیتوژنیک ارتباط داده شده است.

لیاقت (۱۳۷۹)، ضمن مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه الیکا، آلودگی رسوبات بویژه رسوبات معلق را در منطقه گزارش نموده است. ایشان بیان می‌دارد عوامل اصلی در جدایی این عناصر از محلول آبی، حضور کربنات‌های آواری و ذرات در حد رس بصورت کلوئیدی و کانی‌های رسی است. این محقق آلودگی رسوبات را در ارتباط با فعالیت‌های معدنی در ناحیه معدن سرب و باریت دونا در البرز مرکزی می‌داند و پیشنهاد می‌کند در سیستم فرآوری و معدن‌کاری در این نقطه و دیگر معادن مشابه، جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها در محیط تغییراتی ایجاد شود.

مطالعات نشان می‌دهد، آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه هیرد در استان خراسان جنوبی به کلر، سولفات، سدیم، آرسنیک، بور، استرانسیم، سلنیم و جیوه در ارتباط با رگه‌های کانه‌دار در منطقه می‌-

باشد و این رگه‌ها مهم‌ترین منبع آلودگی و پراکندگی عناصر و فلزات سنگین در منطقه می باشند (دمشناس، ۱۳۸۸).

باطله‌های معدنی سولفیدی، منبع مهمی برای آلاینده‌های فلزی در مناطق مجاور معادن می‌باشند. اگرچه مطالعات زیادی بر روی زهاب اسیدی معدن انجام گرفته است، توجه کمتری به تولید زهاب اسیدی از باطله‌های سنگی سولفیدی شده است.

اسمودا و همکاران (Smuda et al. 2007) در مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی تحرک عناصر در باطله‌های معدنی غنی از سولفید مربوط به کانسار پلی‌متال (Cu - Bi - Ag - Zn - Pb) در کشور مشاهده کردند که اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی باعث ایجاد یک محیط شدیداً اسیدی شده است (با PH میانگین ۲/۸). به دلیل بالا بودن کانی‌های سولفیدی (بالای ۶۰ درصد) و مقدار اندک کانی‌های خنثی کننده اسید (کمتر از ۵ درصد کانی‌های کربناته) و همچنین اکسیداسیون پیریت، پتانسیل بالایی برای تولید بلند مدت زهاب اسیدی معدن (AMD) وجود دارد. این محققان نقش آب و هوا در تحرک عناصر را نیز بررسی کردند و چنین بیان کردند که تبخیر بالا در فصل خشک باعث فوق اشباع شدن محلول‌های خروجی از باطله‌ها شده و سبب رسوب نمک‌های غنی در فلز، در بخش زیرین سنگ‌های باطله شده است. در طول فصل تر، آب حاصل از بارندگی، موجب انحلال رسوبات نمک در بخش زیرین باطله‌ها می‌شود. نتیجه این فرآیند، تولید یک محلول اسیدی غنی در عناصر آهن، منگنز، روی، مس، کادمیم، آرسنیک و گوگرد می‌باشد.

ژئوشیمی زیست‌محیطی و کانی‌شناسی سرب در محدوده معدن قدیمی باکو لوکی (Baccu Locci) در ایتالیا توسط فرو و همکاران (frau et al. 2009) مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از یک روش استخراج شیمیایی شش مرحله‌ای برای تعیین ترکیبات مختلف سرب در خاک‌ها و رسوبات استفاده کردند. در این روش، سرب موجود در فازهای تبادل پذیر، کربناته، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، سولفیدی و در نهایت فاز باقی‌مانده به ترتیب استخراج می‌شود (Londesborough et al. 1998). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ورود

سرب به رودخانه باکولوکی به علت انحلال آنگلیت (اولین کانی حاصل از اکسیداسیون گالن) می-باشد. آزمون‌های انحلال پذیری و شواهد صحرایی بیانگر رسوب پلمبوجاروسیت آرسنیک دار از آب رودخانه می‌باشد. انحلال پذیری پایین پلمبوجاروسیت و رسوب آن باعث کاهش میزان سرب در آب رودخانه شده است. بنابراین آلودگی به سرب به جز در آب‌های سطحی نزدیک معدن، در آب رودخانه مشاهده نشده و مقدار سرب محلول در آب رودخانه کمتر از استانداردهای ایتالیا و WHO می‌باشد.

۴-۳- مطالعات زیست‌محیطی رسوبات

رسوبات یکی از مهم‌ترین بخش‌های محیط‌زیست می‌باشند که می‌توانند به راحتی تحت تأثیر عوامل آلوده کننده به‌ویژه فعالیت‌های معدن‌کاری قرار گیرند. به دلیل ظرفیت بالای رسوبات در تجمع و نگهداری طولانی مدت انواع آلاینده‌ها از قبیل فلزات سنگین، کودها و سموم کشاورزی، فاضلاب‌های انسانی و صنعتی نسبت به بخش مایع رودخانه‌ها، رسوبات به عنوان مهم‌ترین بخش سنگ‌کره جهت مطالعات ژئوشیمی زیست‌محیطی محسوب می‌شوند. اگر غلظت مواد آلاینده از جمله فلزات سنگین در رسوبات بالا رود، رسوبات توانایی نگهداری آنها را از دست داده و این مواد وارد محیط‌های آبی می-گردند و آلودگی اکوسیستم آبی را ایجاد می‌کنند (رجب زاده و سعیدی، ۱۳۸۷ و Dojlido and Best, 1993 Yu et al., 2001). اجزاء ریزدانه رسوبات به دلیل فعالیت شیمیایی (تبادل یونی) و تحرک زیاد، در نگهداری و انتقال آلاینده‌ها بسیار مؤثر بوده و از اهمیت بالایی برخوردارند (Farkas et al., 2007). عوامل مختلفی در آلودگی رسوبات مؤثر می‌باشند که معمولاً در دو گروه طبیعی و انسان‌زاد قرار می‌گیرند. عوامل طبیعی شامل هوازدگی و انحلال سازندهای زمین شناسی، مواد معدنی و آزاد سازی عناصر سمی به محیط و عوامل انسان‌زاد نیز شامل معدن‌کاری، کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی است. با توجه به اینکه رسوبات از هوازدگی و فرسایش سنگ‌های بالا دست تشکیل می‌شوند، سنگ‌ها یک منشأ مهم برای عناصر سمی موجود در رسوبات می‌باشند، البته لازم به ذکر است که میزان آزاد سازی عناصر جزئی از سنگ‌ها و انتقال آنها به رسوبات تحت تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی و همچنین

آب و هوا می‌باشد، بنابراین صرف بالا بودن غلظت یک عنصر در سنگ مادر نمی‌توان نتیجه گرفت که آلودگی به آن عنصر در رسوبات پایین دست نیز از سنگ مادر منشأ می‌گیرد.

اویروزن و همکاران (Oyarzun et al., 2010)، نقش معادن سرب، روی و نقره مازارون (Mazarrón) را به عنوان منبع فلزات سنگین در آلودگی خاک و رسوبات این منطقه نیمه‌خشک در جنوب اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعات ایشان بر روی داده‌های ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، خاک‌های کشاورزی و رسوبات آبراهه‌ای رودخانه فصلی در منطقه نشان داده که باطله‌های معدنی غنی از سرب (میانگین ۱۲۴۰۰ میکروگرم بر گرم)، روی (میانگین ۶۱۰۰ میکروگرم بر گرم) و آرسنیک (میانگین ۶۵۰ میکروگرم بر گرم) هستند. رودخانه فصلی در مواقع بارندگی شدید رسوبات آلوده و باطله‌های معدنی را از مجاور معادن به مناطق پایین دست انتقال داده و باعث توزیع فلزات سنگین می‌شود. خاک‌های کشاورزی و رسوبات نیز غلظت بسیار بالایی از فلزات سرب، روی، آرسنیک و کادمیم نسبت به خاک‌ها و رسوبات غیر آلوده محلی و جهانی نشان می‌دهند. نگرانی اصلی زیست‌محیطی در این منطقه، استفاده گسترده از خاک‌های آلوده برای مصارف کشاورزی بوده که باعث انتقال فلزات سمی به مصرف کنندگان محصولات آن می‌گردد.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2009)، غلظت فلزات سنگین Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb و گونه-زایی آن‌ها را در رسوبات سطحی رودخانه جینگ‌یانگ مطالعه کرده‌اند. محاسبه ضریب زمین‌انباشت نشان می‌دهد که کادمیم ($I_{geo}=5$) بیش‌ترین درجه آلودگی را در رسوبات سطحی رودخانه نشان می‌دهد و روند تغییرات غلظت برای سایر فلزات سنگین به صورت $Cr > Cu > Zn > Ni > Pb < Cd$ می‌باشد.

دولش و همکاران (Doelsch et al., 2006) با مطالعه خاک‌های جزیره ریونین در فرانسه، مشاهده کردند که بین مقدار عناصر Zn, Cr, Cu, Ni و Hg در خاک‌ها و سنگ‌های آتشفشانی جزیره رابطه نزدیکی وجود دارد و این حاکی از آن است که تمرکز بسیار بالای فلزات مذکور اصولاً توسط سنگ‌ها و به صورت طبیعی تعیین می‌شود، هر چند که وجود برخی عناصر مانند Cd با ورودی‌های انسان-

زادی (کودهای کشاورزی) در ارتباط هستند.

مطالعات نشان می‌دهد که بخش اعظم تمرکز فلزات سنگین وارده به رسوبات دریاچه بختگان فارس ناشی از تخریب و فرسایش واحدهای زمین‌شناختی اطراف بوده که این واحدها شامل سنگ‌های مافیک و اولترامافیک به همراه رادیولاریت‌های منگنزدار می‌باشند (لیاقت و همکاران، ۱۳۸۰). سنگ‌های آذرین و محصولات دگرسانی آن‌ها نیز می‌توانند فلزات و عناصر دیگر را وارد رسوبات یا خاک‌ها نمایند، محلول‌های گرمابی پس از رسیدن به لایه‌های سطحی زمین در درزه‌ها و شکستگی‌های سنگ‌های میزبان نفوذ کرده و ته‌نشست می‌کنند. با توجه به اینکه این محلول‌ها غنی از عناصری چون Cu، Pb، Zn، As، Ag و Fe می‌باشند، فرسایش و هوازدگی رگه‌های ناشی از آنها، آزادسازی عناصر ذکر شده را به دنبال خواهد داشت که باعث آلودگی خاک‌ها و رسوبات پایین دست می‌شوند (کریم پور، ۱۳۸۱).

فعالیت‌های کشاورزی، مصرف انواع سوخت‌ها جهت تولید نیرو، دفع پسماندها، ذوب و پالایش مواد، حمل و نقل، گسترش شهرنشینی و آلودگی‌های ناشی از آن و استخراج معادن و فرآوری کانه‌ها از جمله فعالیت‌های انسانی بوده که حجم گسترده‌ای از مواد آلاینده، بویژه فلزات سنگین را وارد محیط نموده و آلودگی آن را باعث می‌شود (Sun et al., 2007).

عناصر سبک، عناصر غیرفلزی، فلزات سنگین (از قبیل Cu، Pb، Zn، Cr، Fe) و عناصر نادر خاکی (La، Ce، Eu و ...) از جمله عناصری هستند که طی فعالیت‌های معدن‌کاری معادن فلزی، فرآوری و سوخت ذغال سنگ‌ها خارج شده و وارد محیط می‌گردد (Yiwei et al., 2007, Finkelman et al., 2002).

مطالعات انجام شده بر روی رسوبات رودخانه‌ای در پایین‌دست مناطق استخراج معدن در ایتالیا، نشان دهنده وجود مقادیر بسیار زیاد Cd، Pb و Cu در شاخه‌های مختلف رودخانه‌ای منطقه بر اثر ورود زهکش معدن می‌باشد (Rauret, 1998).

باتاریا (Bhattaria, 2006)، توزیع فلزات سنگین در رسوبات لوئیزیانا و عوامل مؤثر بر غلظت آن‌ها

را در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مورد مطالعه قرار داده است. یافته‌های به دست آمده از این تحقیق نشان داده که غنی شدگی فلزات سنگین دارای دو منشأ طبیعی و انسان‌زاد است. غلظت فلزات همبستگی مثبتی با مواد آلی، بافت رسوبات و کاربری زمین نشان می‌دهد، در مناطقی که فعالیت‌های صنعتی وجود داشته غلظت فلزات در رسوبات افزایش پیدا کرده است.

۴-۳-۱- ژئوشیمی زیست‌محیطی عناصر بالقوه سمی

عناصر آرسنیک، سرب، روی، مس، کبالت، نیکل، کادمیم، کروم و جیوه به عنوان عناصر بالقوه سمی شناخته می‌شوند. این عناصر در غلظت‌های بیش از حد استاندارد، به شدت سمی می‌باشند (Jung and Thornton, 1997). از این میان کادمیم، جیوه و آرسنیک حتی در مقادیر اندک هم برای انسان و دیگر موجودات زنده سمی و کشنده به حساب می‌آیند (Alloway, 1995).

با توجه به اینکه این عناصر در طبیعت تجزیه و حذف نمی‌شوند، به مرور زمان در رسوبات غنی شده و با ورود مجدد به محیط‌های آبی، به دلیل خواص سمی و تجمع در اندام‌های موجودات زنده، اثرات مخرب و جبران ناپذیری را ایجاد می‌نماید (Aprile and Bouvy, 2008).

عناصر سنگین معمولاً تحت سه سازوکار احتمالی جذب فیزیکوشیمیایی عناصر توسط رسوبات، جذب و ته نشست از طریق ذرات معلق (کلوئیدها و کمپلکس‌ها) در ستون آب و جذب بیولوژیکی به ویژه توسط باکتری‌ها و جلبک‌ها در محیط‌های آبی و رسوبات قرار گرفته و با توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رسوبات در فاز جامد تثبیت می‌شوند (Mundra et al., 2007).

عناصر Mn، Mo، Se، Ag، Ba، Sb و Th نیز در صورت تجمع با غلظت‌های بالا، می‌توانند سمی بوده و مشکلات اساسی برای موجودات زنده ایجاد نمایند (Victor et al., 2006, Alloway, 1995).

اگر چه سمیت عناصر در مطالعات زیست محیطی مورد توجه می‌باشد ولی برخی از دانشمندان تغییر پذیری، فراوانی و در دسترس پذیری عناصر را امری مهم‌تر از سمیت آنها در نظر می‌گیرند زیرا این عوامل تعیین کننده هستند که هر عنصر به چه میزان می‌تواند از مواد مادری به موجودات زنده

منتقل شود. بر این اساس S، Se، Mo، Te و Br که در محدوده pH ۵ تا ۸ تحرک بالایی دارند، از عناصری مانند Fe، Cr، Ta، Al و Ni که معمولاً فقط در محیط‌های اسیدی متحرک هستند خطرناک‌تر محسوب می‌شوند (اوستان، ۱۳۸۳).

حضور فلزات سنگین در رسوبات معمولاً به صورت ترکیب با مواد جامد مانند سیلیکات‌ها و کربنات‌ها بوده یا به صورت جذب سطحی توسط دانه‌های رسی و سایر مواد معدنی از قبیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهنی و منگنز و یا به صورت ترکیب با مواد آلی قرار گرفته باشد. بر این اساس با توجه به نحوه حضور فلزات در رسوبات، شدت آلاینده‌گی و خطرات زیست محیطی آن متفاوت می‌باشد (مدبری و همکاران، ۱۳۸۷).

عناصر جذب شده توسط مواد آلی، ذرات رس و هیدروکسیدها و اکسیدها از نقطه نظر زیست-محیطی از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند زیرا با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط آبی، این عناصر توانایی جذب و یا واجذب از این مواد را دارند (رمضان خانی، ۱۳۸۶ و Farkas et al., 2007). بنابر آنچه که گفته شد، هرچند مجموع غلظت یک عنصر در محیط حائز اهمیت می‌باشد لیکن نحوه حضور عنصر در محیط (مانند رسوبات) یا به عبارت دیگر اینکه بیشترین مقدار عنصر در چه فازی حضور دارد از نظر زیست محیطی مهم‌تر می‌باشد زیرا این عامل میزان زیست دسترس پذیری عنصر را مشخص می‌کند (قشلاقی، ۱۳۸۸). بنابراین یک مطالعه زیست محیطی دقیق بر روی آلودگی عناصر سمی در رسوبات و خاک‌ها نیازمند تعیین فازهایی که عنصر مورد نظر در آنها حضور دارد و درصد آن در هر فاز می‌باشد.

۴-۴- هیدروژئوشیمی آب‌های زیر زمینی

کیفیت آبهای زیرزمینی تحت تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی مختلف می‌باشد. pH، EH، دما، جذب و واجذب، تبادل کاتیونی و حضور مواد آلی از جمله پارامترهای کنترل کیفیت منابع آب می‌باشند. البته کیفیت آب علاوه بر پارامترهای ذکر شده، به وضعیت خاک‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه نیز وابسته است. در مناطقی که سنگ آهک گسترش زیادی دارد معمولاً pH آب بالای ۷ و نزدیک به ۸ می‌باشد. اکسیداسیون پیریت (در مناطقی که این کانی حضور دارد) باعث تولید آب‌های اسیدی شده که می‌تواند انحلال‌پذیری فلزات را تحت تأثیر قرار داده و تحرک آن‌ها را افزایش دهد.

آرمان پور و همکاران (۱۳۸۶)، به بررسی غلظت عناصر سنگین و اصلی در منابع آب زیرزمینی حوضه گرمادشت گرگان پرداخته‌اند. نتایج ایشان نشان دهنده دو منشأ طبیعی (زمین‌شناسی) و انسان‌زاد (صنعتی و کشاورزی) برای آلودگی این آب‌ها به عناصر Cr، Ni، B، Hg، As، Pb، Al، Fe می‌باشند.

بسکابادی (۱۳۸۹)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت طبسین و زمین‌شناسی پزشکی منطقه را مورد مطالعه قرار داده است. بررسی‌های ایشان نشان می‌دهد که غلظت عناصری چون مس، وانادیم، سیلیسیم و فلوئور در برخی از مناطق دشت بالاست و این افزایش غلظت را به مقدار بالای آن‌ها در رسوبات تغذیه کننده این دشت نسبت داده است. همچنین علت غلظت بالای املاح محلول و هدایت الکتریکی را به کانی‌های تبخیری موجود در محیط دریاچه‌ای قدیمه نسبت داده است.

در مطالعه‌ای که شرفی و همکاران، (۱۳۹۰)، بر روی آبهای زیرزمینی دشت زنجان انجام دادند، نتیجه گرفتند که عناصر کادمیم، منگنز، کروم و آنتیموان در برخی نمونه‌های آب غلظت بیش از حد مجاز استاندارد را نشان داده و منشأ این آلودگی را فعالیت‌های صنعتی ذکر کرده‌اند.

رستمی زرین آبادی (۱۳۹۰)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نقش عوامل زمین‌شناسی و

فعالیت های کشاورزی را در تعیین کیفیت آب های زیرزمینی دشت رومشگان، مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته که انحلال املاح از سازند تبخیری گچساران در بخش غربی دشت باعث افزایش هدایت الکتریکی در آب های این دشت شده است. ایشان افزایش نیترات در بخش مرکزی دشت را در نتیجه فعالیت های کشاورزی ذکر کرده است.

۴-۵- کلیاتی راجع به برخی عناصر بالقوه سمی

۴-۵-۱- سرب

فلزی نرم، سست و چکش خوار می باشد. رنگ این عنصر خاکستری مایل به تیره بوده و در هوای مرطوب جلای خود را از دست می دهد و کدر می شود (نادری و عرفانی آگاه، ۱۳۸۷). سه نوع کانی وجود دارند که به طور معمول جهت استخراج سرب، نهشته های مناسبی تشکیل می دهند. این کانی ها گالن، آنگلزیت و سروزیت هستند، که به ترتیب سولفید، سولفات و کربنات سرب می باشند. سرب در تولید باتری های اسید - سرب، لحیم کاری، گلوله های صنایع نظامی، آلیاژها، صنایع شیمیایی، کابل ها و وزنه های سربی کاربرد دارد.

شیمی این عنصر در خاک تحت تأثیر سه عامل اصلی جذب مخصوص به فازهای جامد متنوع، ته نشست از محلول با مقدار ناچیز یا ترکیبات بسیار پایدار سرب و بالاخره، تشکیل کمپلکس های نسبتاً پایدار یا کی لیت در نتیجه واکنش با مواد آلی خاک است (Bradli, 2005).

آسیب به سیستم عصبی، آسیب کلیه، کم خونی، اختلال در پیشرفت ذهنی کودکان و کاهش بهره هوشی، سرطان زایی و اثرات سمی بر ماده ژنتیکی سلول، اختلال در تولید مثل (با افزایش سقط جنین و مرده زایی) از اثرات مسمویت با این فلز سنگین هستند. در حیوان و انسان، سرب در استخوان ها تجمع می یابد (نادری و عرفانی آگاه، ۱۳۸۷).

۴-۵-۲- روی

روی فلزی به رنگ سفید مایل به آبی است. هنگامی که قالب ریزی می شود، ترد و شکننده است، در

مجاورت هوا تیره و کدر می‌شود. با اسیدها و بازها واکنش می‌دهد (نادری و عرفانی آگاه، ۱۳۸۷). روی در همه ترکیبات خود خود دو ظرفیتی بوده و دارای ۵ ایزوتوپ پایدار و ۱ ایزوتوپ پرتوزا است. از نظر ویژگی‌های زمین شیمیایی، روی مانند سرب کالکوفیل به حساب می‌آید (Callender, 2005). مهمترین ترکیبات کانی‌های آن اسفالریت، ورتزیت، اسمیت زونیت، ویلمنیت و زینکیت می‌باشند. مهمترین منابع انسان‌زاد روی شامل احتراق سوخت‌های فسیلی، ذوب فلزات غیر آهنی و محل دفن پسماندهای شهری می‌باشند (Reimann and De Caritat, 1998).

۴-۵-۳- مس

مس فلزی نرم و چکش خوار به رنگ متمایل به قرمز می‌باشد که رسانایی بسیار خوبی برای گرما و الکتریسیته دارد. چگالی آن برابر 8.96 g/cm^3 است. مس در حالات اکسایش ۱+ و ۲+ وجود دارد. در حالت ۲+ با یون‌های Zn^{2+} , Mg^{2+} و Fe^{2+} به صورت ایزومورف می‌باشد. مس شکل‌های متنوعی از قبیل سولفید، سولفات، کربنات و مس طبیعی دارد (Bradli, 2005). کانی‌های اصلی آن کلکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و انارژیت هستند. گروه دوم، کانی‌های اکسیده مس دار هستند که به طور عمده در جریان هوازدگی سولفیدهای مس در معرض فرسایش تشکیل می‌شوند. در این مسیر، مس در کانی‌های اکسیدی و کربناتی وارد می‌شود که کانی‌های کوپریت، تناردیت، مالاکیت و آزوریت معمول‌تر می‌باشند. مس اغلب در ارتباط با اسفالریت، پیریت و گالن می‌باشد و کانسارهای آن غالباً در سنگهای آذرین اسیدی و نهشته‌های متنوع رسوبی یافت می‌شوند (Kabata – Pendias and Mukherjee, 2007).

۴-۵-۴- آرسنیک

نام آرسنیک از واژه یونانی Arsenikon به معنی اورپیمان زرد گرفته شده است. فراوانی آن در پوسته زمین ۲ تا ۵ ppm است. عدد اتمی آن ۳۳ و وزن اتمی ۷۴/۹۲ است. آرسنیک یک شبه فلز است که در گروه ۱۵ (VA) و دوره ۴ جدول تناوبی عناصر قرار می‌گیرد. مهم‌ترین ترکیب تجاری آن، تری

اکسید آرسنیک (As_2O_3) است که تقریباً ۹۰ درصد آرسنیک مصرفی دنیا را به خود اختصاص می دهد. آرسنیک در ذخایر فلزی از قبیل سرب-روی و مس انارژیت دار، ذخایر مس پیریتی-آرسنیک و نقره طبیعی، ذخایر آرسنو-نیکل-کبالت و ذخایر طلای آرسنیک و برخی ذخایر غیر فلزی مثل کانی های رسی، مواد آلی و زغال سنگ یافت می شود (Sracek et al., 2001).

مقدار آرسنیک در آب های زیر زمینی و چشمه های آب گرم به شدت متغیر و وابسته به خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ ها و سازندهای زمین شناسی در مناطق مختلف می باشد (Nordstrom, 2000). Eh و pH مهم ترین عوامل کنترل کننده گونه زایی آرسنیک در آب های زیرزمینی هستند (Smedley and Kinniburgh, 2002).

۴-۵-۵- بیسموت

بیسموت از نظر شیمیایی بسیار مشابه به آرسنیک، سرب و آنتیموان بوده و حالت اکسیداسیون معمول آن $3+$ می باشد. کانی های رایج آن شامل بیسموتیت (Bi_2S_3) و بیسمیت (Bi_2O_3) و کانی های میزبان احتمالی شامل گالن، اسفالریت و کلکوپیریت می باشند (کلاین و هاربت، ۱۹۹۹). بیسموت به مقدار ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم در بافت های پستانداران وجود دارد. مسمومیت به بیسموت بستگی به گونه های قابل هضم و جذب آن دارد. به این ترتیب می تواند برای فرایندهای متابولیک و سیستم عصبی اثرات مخربی داشته باشد. ممکن است اثرات مخرب اعصاب و اختلالات کلیوی در انسان به واسطه مصرف ترکیبات محلول یا نامحلول Bi رخ دهد (Kabata-Pendia and Mukherjee, 2007).

۴-۵-۶- کادمیم

کادمیم فلز دو ظرفیتی، چکش خوار، انعطاف پذیر و به رنگ سفید مایل به آبی که با چاقو به راحتی بریده می شود. این عنصر از بسیاری جهات شبیه روی است اما کادمیم ترکیبات پیچیده بیشتری به وجود می آورد. معمولی ترین حالت اکسیداسیون کادمیم $2+$ می باشد، گرچه نمونه های کمیابی از $1+$

نیز می توان پیدا کرد. کادمیم عنصری نسبتاً کمیاب، نرم، رنگ سفید مایل به آبی و فلز سمی می- باشد که در سنگ معدن روی وجود داشته و در باطری‌ها به مقدار زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bradli, 2005). به‌طور معمول، آب‌های آشامیدنی، حاوی مقادیر اندکی از کادمیم هستند، مگر این که منابع آبی تحت تأثیر بخارات آتشفشانی، شیرابه ناشی از دفن زباله‌ها و آب‌های معدنی قرار گرفته باشند (Hem, 1985). اختلالات کلیوی، کم خونی، نفخ، از دست رفتن حس بویایی، بیماری‌های قلبی – عروقی و فشار خون از جمله عوارضی هستند که به دلیل مواجهه طولانی مدت با این عنصر می‌توانند ایجاد شوند (Robards and Worsfold, 1991).

فصل پنجم

مواد و روش ها

۵-۱- مقدمه

شرط دستیابی به نتایج صحیح و دقیق، به کارگیری روش مناسب در طول تحقیق می‌باشد. روش مناسب نمونه‌برداری، آماده‌سازی، انتخاب نمونه‌های مناسب برای آنالیز، استفاده از دستگاه‌های مدرن و دقیق، استفاده از تجهیزات و مواد مناسب، به محقق کمک می‌کنند تا به نتایج واقعی‌تر و قابل تفسیر دست یابد. در این بخش، روش‌های نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، تعیین پارامترهای مختلف در نمونه‌ها، غلظت عناصر کمیاب و همچنین تحلیل داده‌ها شرح داده می‌شود.

۵-۲- انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ، ابتدا با انجام بازدید صحرایی و همچنین مطالعه نقشه‌های منطقه، برای تعیین محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه اقدام گردید. محل ایستگاه‌های برداشت رسوب با توجه به اصول نمونه‌برداری آبراهه‌ای، تغییرات سنگ شناسی در نقاط مختلف، وجود یا عدم وجود رگه‌های معدنی، موقعیت معادن قدیمی، انباشته‌های مواد معدنی استخراج شده و باطله‌ها انتخاب گردید. تعدادی نمونه آب، نیز از چشمه‌ها و قنات‌های معدود موجود در محدوده مورد مطالعه برداشت شد. لازم به ذکر است که تعداد نمونه‌های برداشت شده کمتر از تعداد ایستگاه‌های تعیین شده بر روی نقشه (حدود ۸۰ ایستگاه) می‌باشد که دلیل آن محدودیت‌های مالی بوده و بنابراین نمونه‌هایی که با توجه به موقعیت آنها و اهداف تحقیق ضرورت کمتری داشتند، حذف گردیدند. موقعیت این ایستگاه‌ها بر روی نقشه منطقه مشخص شده است (شکل ۵-۱). بر این اساس تعداد ۲۷ ایستگاه برداشت رسوب و ۴ ایستگاه برداشت آب، در نهایت مشخص و نمونه‌برداری شد (جدول ۵-۱ و شکل ۵-۲). نمونه‌های رسوب S_1 ، S_{17} و S_{24} ، از آبراهه‌های فرعی، به دلیل عدم معدن‌کاری در بالا دست آن‌ها، به عنوان نمونه‌های زمینه یا شاهد برداشت شدند. همان گونه که قبلاً نیز گفته شد تاکنون چندین مطالعه اکتشافی و سنگ‌شناسی در این منطقه انجام شده است (هدایتی روشن، ۱۳۸۸، قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۹ و جنتی، ۱۳۹۰).

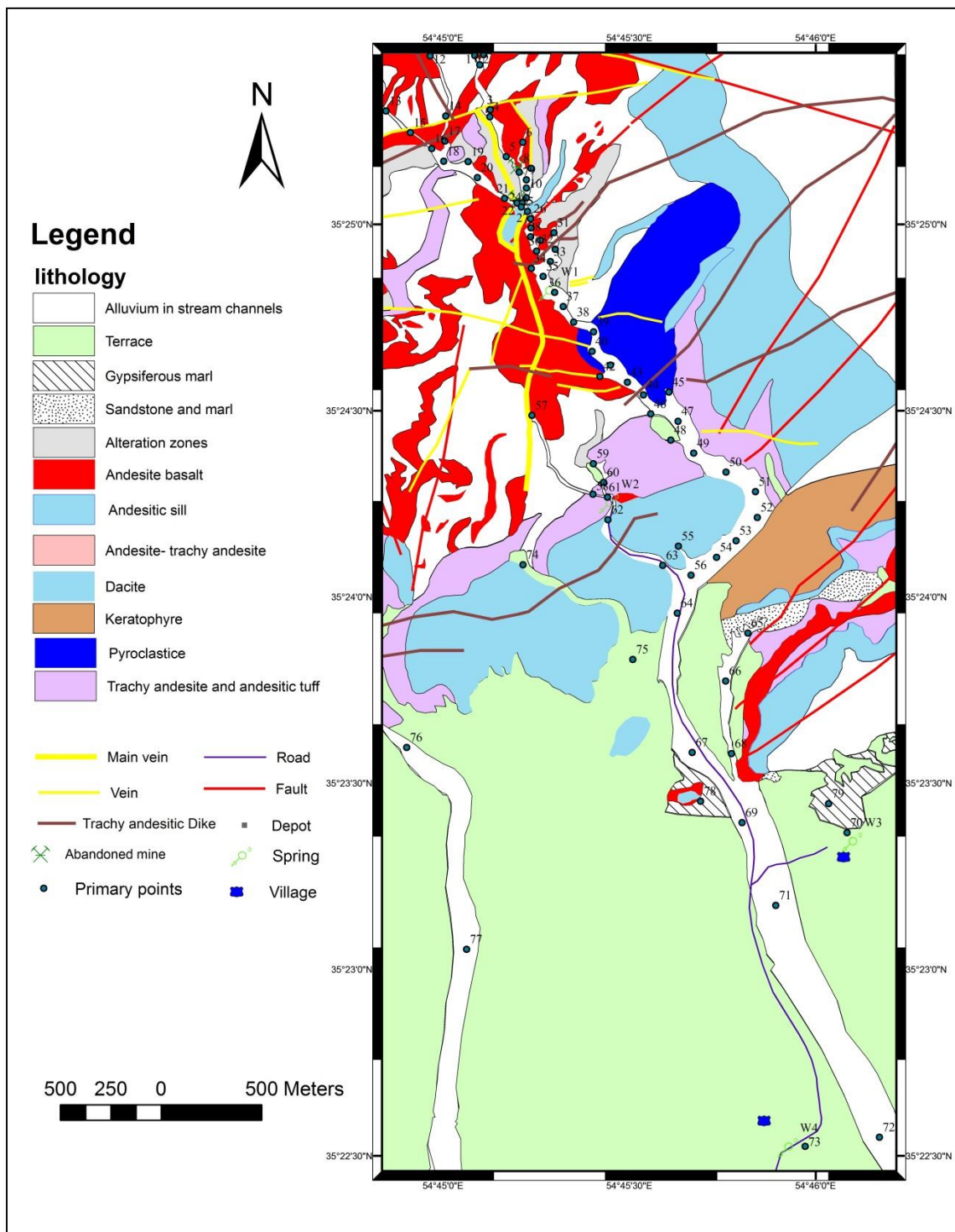
جدول ۵-۱: موقعیت نمونه‌های آب و رسوب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

Samples	طول جغرافیایی (برحسب UTM) X	عرض جغرافیایی (برحسب UTM) Y	ارتفاع (m)
S ₁ ^{⊙*}	295579	3922438	1673
S ₂ [*]	295556	3922364	1670
S ₃	295610	3922220	1636
S ₄	295749	3921689	1584
S ₅ [*]	295769	3921568	1567
S ₆	295465	3922032	1628
S ₇ [⊙]	295383	3921712	1602
S ₈ [*]	295631	3921523	1578
S ₉ [*]	295730	3921462	1571
S ₁₀ [*]	295790	3921410	1564
S ₁₁ [⊙]	295787	3921301	1556
S ₁₂	295832	3921243	1547
S ₁₃ [⊙]	295877	3921273	1549
S ₁₄ [*]	295858	3021092	1525
S ₁₅	295869	3921063	1540
S ₁₆	296010	3920915	1521
S ₁₇ ^{⊙*}	296028	3920968	1532
S ₁₈ [*]	296072	3920711	1518
S ₁₉ [⊙]	296072	3920711	1516
S ₂₀	296284	3920598	1499
S ₂₁ [*]	296664	3920224	1473
S ₂₂ [*]	296122	3920044	1481
S ₂₃ [*]	296401	3919496	1432
S ₂₄ ^{⊙*}	296604	3919094	1404
S ₂₅ [*]	296798	3918385	1373
S ₂₆	297041	3918012	1351
S ₂₇	297044	3917131	1321
W ₁ [*]	295869	3921063	1540
W ₂ [*]	296122	3920044	1481
W ₃ [*]	297041	3918012	1351
W ₄ [*]	297044	3917131	1321

S: نمونه‌های رسوب W: نمونه‌های آب *: نمونه‌های تجزیه شده ⊙: عدم وجود معدن در بالا دست

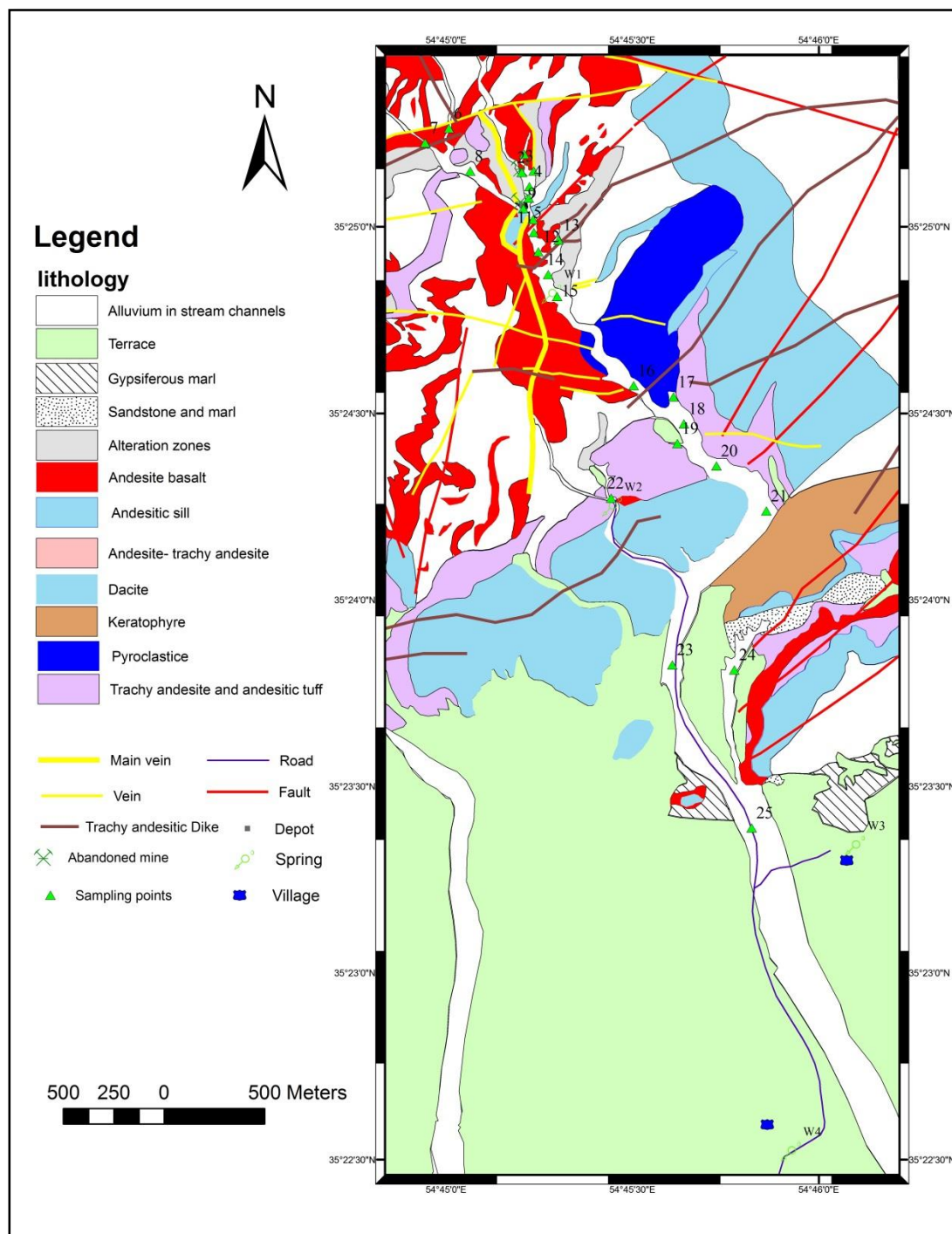
بنابراین به منظور تعیین ترکیب سنگ‌های منطقه از تجزیه‌های انجام شده بر روی نمونه‌های سنگی

توسط مطالعات فوق با ذکر منبع استفاده شده است.



شکل ۵-۱: موقعیت ایستگاه‌های پیش‌بینی شده، جهت برداشت نمونه‌ها، بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی

چشمه حافظ (برگرفته از بدخشان‌ممتاز، ۱۳۸۶ و اشراقی، ۱۳۸۶)



شکل ۵-۲: موقعیت نمونه‌های برداشت شده، بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه

۵-۳- برداشت و آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری رسوبات، از سراب آبراهه‌ها (شمال منطقه) شروع شده، در امتداد آبراهه‌ها و محل معادن متروکه ادامه یافته و در نقطه انتهایی آبراهه اصلی یعنی خروجی حوضه زهکشی منطقه چشمه‌حافظ (ابتدای دشت) در بخش جنوبی منطقه پایان یافته است. نمونه‌ها در هر ایستگاه از چند نقطه آبراهه، به صورت تصادفی و از عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر (با کنار زدن رسوبات سطحی) برداشت شده، سپس با هم مخلوط گردید (شکل ۵-۳). فواصل نمونه‌برداری، در نزدیکی معادن و انباشته‌های معدنی، حدود ۵۰ متر و با دور شدن از منطقه معدنی افزایش (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و...) یافته است. نمونه‌های رسوب برداشت شده، از محل نمونه برداری در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار به آزمایشگاه زیست‌محیطی دانشگاه منتقل شد. نمونه‌های آب پس از اندازه‌گیری pH و EC در محل نمونه‌برداری، در ظروف پلی-اتیلن که از قبل توسط آب مقطر شسته و از آب محل نمونه‌برداری نیز چندبار پر و خالی شده بودند، برداشت شد (شکل ۵-۴). از هر ایستگاه دو نمونه آب، یک نمونه برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین که pH آن با اضافه کردن اسید نیتریک به ۲ تا ۳ کاهش داده شد و یک نمونه نیز به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی با pH طبیعی برداشت شد. نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود منتقل شدند.



شکل ۵-۳: نمونه‌برداری از رسوب در عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر



شکل ۵-۴: نمونه‌برداری و اندازه‌گیری pH و EC آب در محل

۵-۴- تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها

۵-۴-۱- اندازه‌گیری pH نمونه‌های رسوب

pH رسوبات برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، طبق روش استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (Method 9045D, USEPA, 2004) محاسبه گردید. به این ترتیب که ابتدا نمونه را از الک مش ۶۰ یا کوچکتر عبور داده و با آب مقطر همگن کرده و پس از ته‌نشین شدن ذرات معلق (حدود یک ساعت)، pH نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای آماده‌سازی نمونه معمولاً از نسبت ۱:۱ یا ۱:۲ استفاده می‌شود. در این مطالعه از نسبت ۱:۲ استفاده شد. بدین صورت که ابتدا ۱۰ گرم از هر نمونه رسوب با ترازوی دقیق وزن گردید و در بشر ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و ۱۵ الی ۲۰ دقیقه بر روی همزن قرار داده شدند. پس از یک ساعت با ثبت دمای

نمونه، pH آن توسط pH متر (مدل Jenway 3510) اندازه‌گیری و ثبت گردید. با توجه به این‌که دمای نمونه‌ها بیش از ۲ درجه با دمای استاندارد آزمایشگاه اختلاف دارد، برای تصحیح دما یک فاکتور تصحیح به اندازه ± 0.3 مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای این منظور در نمونه‌های با دمای بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، این مقدار به pH اضافه شده و برای نمونه‌های پایین‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد این مقدار از pH کم می‌شود (قشلاقی، ۱۳۸۸).

۵-۴-۲- اندازه‌گیری EC و pH نمونه‌های آب

EC یا قابلیت هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌باشد زیرا این خصوصیت در ارتباط مستقیم با مقدار جامدات محلول در آب است. به بیان دیگر نشان دهنده میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب و بیانگر کیفیت آن می‌باشد. در این مطالعه قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه EC سنج HACH مدل ۵۰۱۵۰، همزمان با نمونه‌برداری در محل اندازه‌گیری شده است.

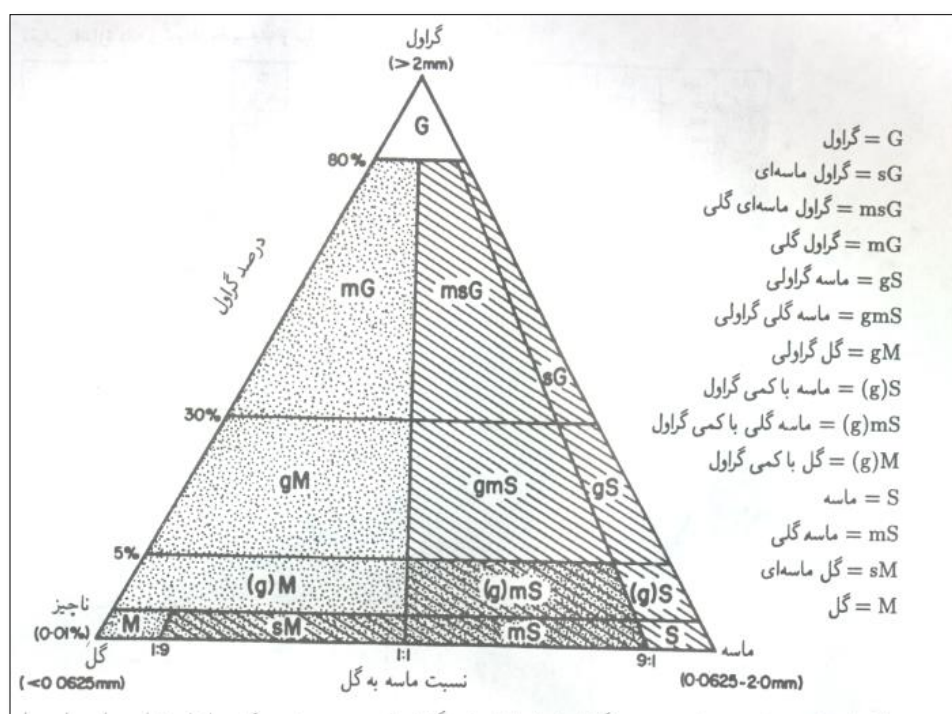
pH (یا اسیدیته) آب عبارت است از لگاریتم منفی غلظت یون هیدروژن (H^+) در آب. مقدار اسیدیته آب، به عواملی همانند دی‌اکسید کربن محلول در آب، آنیون کربنات و بی‌کربنات و درجه حرارت آب بستگی دارد. با افزایش مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب از مقدار pH کاسته می‌شود. pH نمونه‌های آب، با استفاده از دستگاه PH سنج SUNTEX مدل SP-701، در محل نمونه‌برداری و به‌صورت همزمان اندازه‌گیری شد (میسون و مر، ۱۹۱۷).

۵-۴-۳- دانه بندی رسوبات

مطالعات بافتی رسوبات، اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های رسوبات و فرایندهای زمان تجمع رسوب فراهم می‌آورد. علاوه بر این، داده‌های بافتی رسوبات و تفسیر آن‌ها برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، بیش از اطلاعات دیگر مورد نیاز محقق می‌باشند (موسوی حرمی و محبوبی ۱۳۸۲). بنابراین درک صحیح از بافت رسوب و ارتباط آن با فرایندهای طبیعی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی

ضروری می‌باشد.

برای دانه بندی رسوبات، ابتدا کل نمونه رسوب را بر روی یک صفحه صاف افقی به شکل هرم خالی کرده سپس با استفاده از یک صفحه دیگر ابتدا آن را به دو قسمت مساوی تقسیم و هر قسمت مجدداً به همین روش نصف گردید. یکی از این چهار قسمت را وزن کرده و در الک ۵ مش که الک-های ریزتر زیر آن قرار داده شده بود خالی شد و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی دستگاه شیکر با سرعت متوسط الک گردید. الک‌ها طوری انتخاب شدند که علاوه بر تفکیک گراول، ماسه و گل از یکدیگر، انواع ماسه نیز از هم جدا و وزن شدند. برای رده بندی رسوبات بر اساس اندازه، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که در این تحقیق از روش فولک و همکاران (Folk et al, 1970) (شکل ۵-۵) استفاده شده است.



شکل ۵-۵: نمودار مثلثی تعیین بافت رسوبات (فولک و همکاران، ۱۹۷۰)

۵-۴-۴- تعیین درصد رطوبت و مواد آلی نمونه‌های رسوب

به منظور اندازه‌گیری درصد رطوبت و مواد آلی، ابتدا نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق وزن و به

عنوان وزن کل ثبت شده سپس نمونه وزن شده به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه قرار داده شدند تا وزن خشک نمونه‌ها به دست آید. بعد از اندازه گیری وزن خشک، نمونه‌ها در کوره به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰-۵۰۰ قرار داده شدند. مقدار اختلاف وزن در این حالت با وزن خشک نمونه نشان دهنده وزن مواد آلی نمونه می‌باشد. به طور کلی درصد مواد آلی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد (Heiri et al., 2001).

$$L.O.I550 = (DW105 - DW550 / DW105) \times 100$$

۵-۵- تعیین غلظت عناصر

نمونه‌های آب و رسوب برداشت شده بعد از آماده سازی، به منظور تعیین عناصر جزئی، از طریق شرکت تحقیقات مواد معدنی کانساران به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال شدند. نمونه‌های رسوب در این آزمایشگاه پس از هضم با استفاده از محلول تیزاب سلطانی (Aqua Regia)، با روش طیف سنجی جرمی به روش پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه شدند.

۵-۶- ارزیابی شدت آلودگی در منطقه

۵-۶-۱- مقایسه غلظت فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب

پارامترهای غلظت اثر آستانه (Threshold Effect Concentration, TEC) و غلظت اثر احتمالی (Probable Effect Concentration, PEC) دو فاکتور استاندارد کیفیت رسوب هستند که با مقایسه غلظت عناصر با آن‌ها می‌توان کیفیت نسبی رسوب را تعیین کرد (McDonald et al., 2000). TEC حدی از غلظت فلز است که کمتر از آن، احتمال اثر سوء آن فلز بر موجودات زنده وجود ندارد و PEC غلظتی از فلز است که مقادیر بالاتر از آن برای موجودات زنده مضر می‌باشد. اگر غلظت هر فلز را به PEC متناظر آن تقسیم کنیم احتمال اثرات زیانبار یا سمناکی آن (PECQ) بدست می‌آید. بر این اساس رده بندی رسوبات طبق جدول (۵-۲) انجام می‌شود (Long et al., 2006).

جدول ۵-۲: درصد احتمال اثرات زیان‌بار بومشناختی هر فلز با توجه به PECQ

درصد احتمال سمناکی	رده‌بندی PECQ
<14	<0.1
15-29	0.1 – 1
33-58	1- 5
75- 81	>5

۵-۶-۲- ضریب غنی‌شدگی

یکی از راه‌های معمول برای برآورد این که رسوبات تا چه حد تحت تأثیر آلودگی (طبیعی یا انسان‌زاد) فلزات سنگین قرار گرفته‌اند، اندازه‌گیری ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor) است (Huu et al., 2010). ضریب غنی‌شدگی مشخص خواهد کرد که مقدار فلز نمونه چه میزان بالاتر از غلظت فلز در نمونه مرجع می‌باشد (Abraham and Parker, 2008; Mediola et al., 2008). مقدار EF با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Huu et al., 2010).

$$EF = [C_{\text{metal}}/C_{\text{normalizer}}]_{\text{Sediment}} / [C_{\text{metal}}/C_{\text{normalizer}}]_{\text{control}}$$

در این معادله C_{metal} یعنی غلظت فلز سنگین و $C_{\text{normalizer}}$ عبارت است از عنصر بهنجار کننده در رسوب مورد نظر و رسوب غیر آلوده یا رسوب شاهد. مدیولا (Mediola et al., 2008) برای محاسبه ضریب غنی‌شدگی، عناصر Fe, Al و Zr را به عنوان بهنجار کننده پیشنهاد کرده است که در این تحقیق با توجه به غلظت این عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه، آهن به دلیل کم‌ترین تغییرات غلظت به عنوان بهنجار کننده استفاده شده است. از ضریب غنی‌شدگی می‌توان به منظور تفکیک بین منشأ انسان‌زاد و طبیعی فلزات و همچنین میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات استفاده کرد (Huu et al., 2010). پنج رده برای ضریب غنی‌شدگی مشخص شده است که در جدول (۵-۳) آمده است. ضریب غنی‌شدگی بالای ۱۰ معمولاً نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های انسان و افزایش غلظت فلز مورد نظر می‌باشد (Sutherland, 2000).

جدول ۵-۳: طبقه‌بندی شدت غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

شدت غنی‌شدگی	ضریب غنی‌شدگی (EF)
بدون غنی‌شدگی	$2 >$
غنی‌شدگی متوسط	$5-2$
غنی‌شدگی قابل توجه	$20-5$
غنی‌شدگی بسیار زیاد	$40-20$
غنی‌شدگی بی‌نهایت زیاد	$40 <$

۵-۶-۳- ضریب زمین‌انباشت (I_{geo})

درجه آلودگی یک فلز در رسوب با استفاده از ضریب زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index) تخمین زده می‌شود. این ضریب اولین بار توسط مولر (Muller, 1969) پیشنهاد شده است.

این ضریب از فرمول زیر تعیین می‌شود (Mediola et al., 2008, Asaah and Abimbol, 2005):

$$I_{geo} = \log_2 (C_m / 1.5 C_m)$$

در این فرمول C_m عبارت است از غلظت فلز در نمونه رسوب مورد مطالعه و C_m غلظت همان

فلز در نمونه زمینه یا شیل میانگین می‌باشد. ضریب $1/5$ به منظور جبران تأثیر زمینه یا تنوع سنگی

استفاده می‌شود (Mediola et al., 2008). با توجه به مقادیر ضریب زمین‌انباشت، شدت آلودگی

فلزی در هفت رده قرار می‌گیرد (Huu et al., 2010) (جدول ۵-۴).

جدول ۵-۴: طبقه‌بندی رسوبات بر اساس ضریب زمین‌انباشت (Huu et al., 2010)

شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo})	شدت آلودگی
$I_{geo} \leq 0$	غیر آلوده
$0 < I_{geo} < 1$	غیر آلوده تا کمی آلوده
$1 \leq I_{geo} < 2$	کمی آلوده
$2 \leq I_{geo} < 3$	کمی آلوده تا خیلی آلوده
$3 \leq I_{geo} < 4$	خیلی آلوده
$4 \leq I_{geo} < 5$	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
$5 \leq I_{geo}$	شدیداً آلوده

۵-۶-۴- ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی

برای ارزیابی آلودگی به یک عنصر در یک محیط، از دو شاخص ضریب آلودگی (Contamination Factor) یا CF و ضریب بار آلودگی (Pollution Load Index) یا PLI نیز می‌توان استفاده کرد. که با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$CF = C_0/C_n$$

CF در این فرمول، ضریب آلودگی، C_0 ، غلظت فلز در خاک یا رسوب و C_n ، غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین جهانی شیل) می‌باشد. شدت آلودگی بر اساس مقادیر ضریب آلودگی در جدول ۵-۵ آورده شده است.

جدول ۵-۵: ارزیابی وضعیت آلودگی بر اساس مقادیر ضریب آلودگی (Satyanarayana et al., 1994)

مقدار CF	$CF < 1$	$1 < CF \leq 3$	$3 < CF \leq 6$	$CF \leq 6$
وضعیت آلودگی	آلودگی اندک	آلودگی متوسط	آلودگی قابل توجه	آلودگی بسیار زیاد

برای ارزیابی وسعت (درجه) آلودگی فلزی در هر نقطه از ضریب بار آلودگی استفاده می‌شود که به شکل زیر محاسبه می‌شود (Thomilson et al., 1980):

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{\frac{1}{n}}$$

در این فرمول n تعداد عناصری است که مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و CF ضریب آلودگی می‌باشد که در بالا شرح داده شد. PLI راه حلی ساده ولی نسبی برای ارزیابی کیفیت رسوب در یک نقطه می‌باشد (Mmolawa et al., 2011). طبق روش تامیلسون و همکاران (Thomilson et al., 1980)، اگر ضریب بار آلودگی کمتر از یک باشد، نشان دهنده عدم آلودگی بوده، در صورتی که برابر یک باشد آستانه آلودگی را نشان می‌دهد و مقادیر بیشتر از یک حاکی از آلودگی محل مورد نظر می‌باشد.

اندازه‌گیری درجه آلودگی توسط برخی از محققان به شکل هایی مختلفی تعریف شده است، به عنوان مثال هاکینسون (Hakanson, 1980) آن را به صورت مجموع عددی ضریب آلودگی هشت عامل آلودگی خاص تعریف کرده و آبراهیم (Abraham, 2005) معادله هاکینسون را به منظور بر

طرف کردن محدودیت‌های آن اصلاح کرده است بر این اساس رسوبات از نظر آلودگی در شش رده قرار می‌گیرند (جدول ۵-۶). در این مطالعه نیز به منظور تعیین آلودگی یا عدم آلودگی ایستگاه‌های مورد مطالعه، از ضریب بار آلودگی استفاده شد.

جدول ۵-۶: وضعیت آلودگی محیط بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham, 2005).

مقدار mC_d	وضعیت آلودگی محیط مورد مطالعه
$mC_d < 1/5$	غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک
$1/5 < mC_d \leq 2$	آلودگی اندک
$2 < mC_d \leq 4$	آلودگی متوسط
$4 < mC_d \leq 8$	آلودگی زیاد
$8 < mC_d \leq 16$	آلودگی بسیار زیاد
$16 < mC_d \leq 32$	آلودگی فوق العاده زیاد
$mC_d > 32$	آلودگی بی‌نهایت زیاد

۵-۶-۵- ضریب همبستگی

برای تعیین میزان وابستگی خطی دو متغیر به یکدیگر می‌توان همبستگی بین آن‌ها را بررسی کرد که برای این منظور از ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) یا CC استفاده می‌شود. اگر دو متغیر X و Y را داشته باشیم، ضریب همبستگی برای مقادیر مختلف این دو متغیر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Correlation Coefficient} = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}$$

ضریب همبستگی (CC) بین +۱ تا -۱ متغیر می‌باشد. مقادیر +۱ و -۱ نشان دهنده رابطه خطی واقعی بین X و Y بوده و اگر مقادیر این دو متغیر بر روی نمودار ترسیم شوند، تمام آن‌ها بر روی یک خط مستقیم با شیب مثبت ($r = +1$) یا با شیب منفی ($r = -1$) قرار می‌گیرند. در صورتی که ضریب همبستگی بین صفر و مثبت یک باشد، رابطه خطی ضعیف‌تر بوده ولی روندی وجود دارد که با افزایش یک متغیر، دیگری نیز افزایش می‌یابد که در این صورت همبستگی مثبت بین متغیرها وجود

خواهد داشت. اگر مقدار این ضریب بین صفر و منفی یک باشد، در این صورت دو متغیر همبستگی منفی نشان می‌دهند. چنان‌که برابر صفر باشد هیچ رابطه خطی بین آن‌ها وجود ندارد و به هم وابسته نیستند (آسیابانها، ۱۳۸۶). همبستگی با دو روش محاسبه می‌شود، اگر توزیع داده‌ها نرمال باشد از روش پیرسون (Pearson's product moment correlation) و چنانکه توزیع داده‌ها غیر نرمال باشد از روش اسپیرمن (Spearman's Rank Ccorrelation) و یا روش کندال (Kendall) استفاده می‌شود (قشلاقی، ۱۳۸۸). در این مطالعه، ضریب همبستگی به روش کندال برای متغیرهایی چون غلظت عناصر و پارامترهای فیزیکی نمونه‌های رسوب و آب محاسبه گردید.

فصل ششم

ارزیابی آلودگی رسوب و آب در منطقه مورد مطالعه

۶-۱- مقدمه

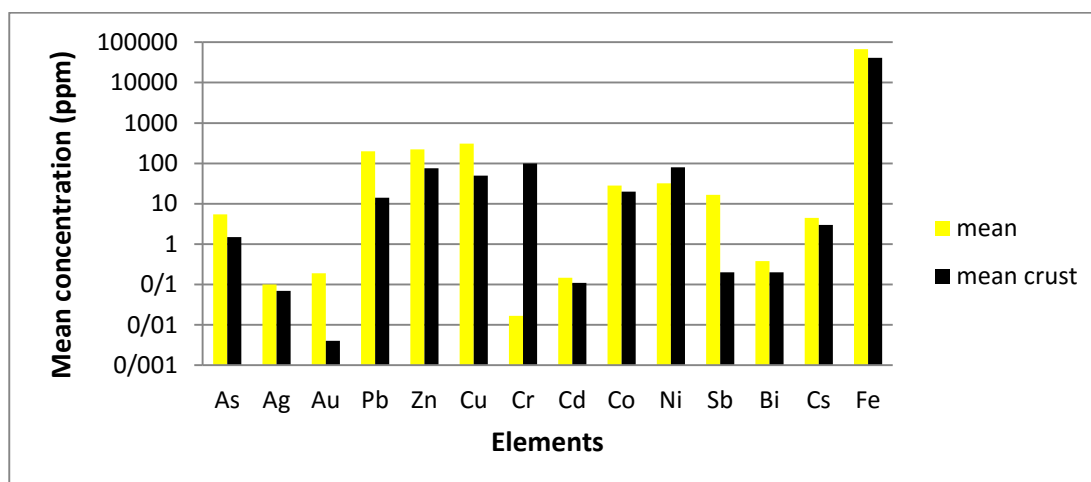
مجموعه آتشفشانی در منطقه و مخصوصاً کانی‌سازی و دگرسانی گسترده، سبب تجمع عناصر جزئی مختلف در سنگ‌های تشکیل دهنده این محدوده شده است. فرایند فرسایش بصورت شیمیایی و فیزیکی موجب آزادسازی و انتقال عناصر به محیط آب، خاک و رسوب شده است. به‌علاوه فعالیت معدن‌کاری در منطقه، آزادسازی و توزیع عناصر را تسهیل و تشدید نموده و آلاینده‌گی بیشتری را سبب شده است. در این فصل به تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های سنگ، رسوب و آب منطقه پرداخته می‌شود. برای ارزیابی زیست‌محیطی رسوبات این منطقه ابتدا به صورت مختصر غلظت عناصر جزئی در سنگ‌های میزبان و رگه‌های معدنی مورد بررسی قرار گرفته است سپس غلظت این عناصر در رسوبات در ارتباط با سایر پارامترهای رسوب تحلیل شده است. به دلیل تعداد کم نمونه‌های آب، هیچ‌گونه تحلیل آماری بر روی این آب‌ها انجام نشده است و فقط به بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و غلظت فلزات سنگین و دیگر عناصر در این نمونه‌ها به صورت توصیفی پرداخته شده است.

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد سنگ‌ها یکی از عوامل اصلی تعیین کننده کیفیت محیط‌هایی چون آب، خاک و رسوب هر منطقه می‌باشند که به صورت طبیعی و بر اثر عواملی چون هوازدگی فیزیکی، شیمیایی و فرسایش و یا تحت تأثیر عملکرد انسان (از قبیل معدن‌کاری) بر ترکیب این محیط‌ها اثر می‌گذارند. با مطالعه ترکیب سنگ‌های هر منطقه و تعیین غلظت عناصر جزئی در آن‌ها تاحدودی می‌توان به منشأ احتمالی آلودگی در آب، خاک یا رسوب پی‌برد. اگر در منطقه‌ای که پتانسیل آلودگی در آن بالا می‌باشد، فعالیت‌های انسانی (مانند معدن‌کاری) نیز بدون رعایت اصول زیست‌محیطی توسعه پیدا کنند، احتمال گسترش آلودگی در محیط چند برابر خواهد شد. در این مطالعه به دلیل محدودیت منابع مالی، برای ارزیابی ترکیب سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، از آنالیز-های شیمیایی مطالعات پترولوژی و اقتصادی که قبلاً در این محدوده انجام شده با ذکر منبع استفاده شده است.

۶-۲- غلظت برخی از عناصر در سنگ‌های میزبان و کانسار

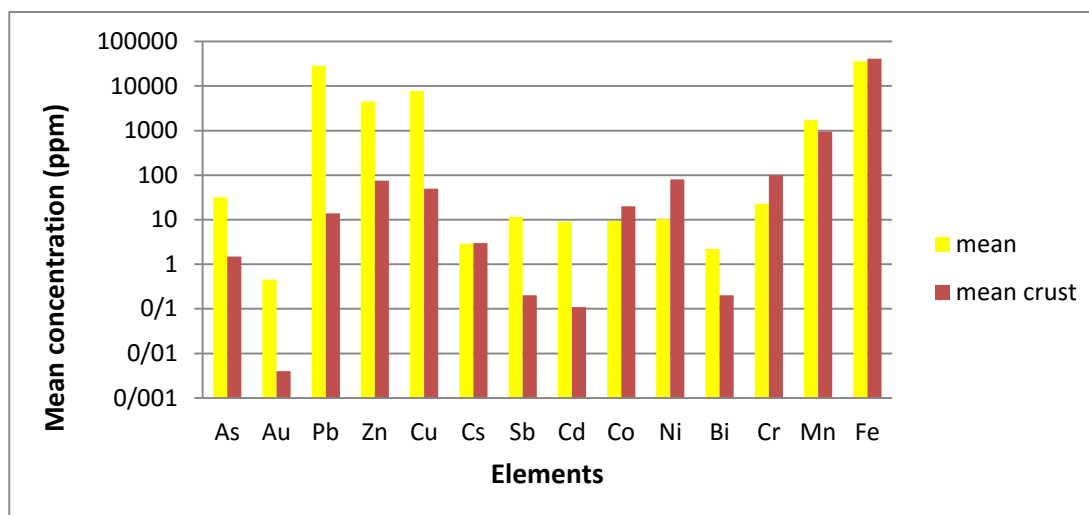
غلظت برخی از عناصر در سنگ‌های میزبان و کانسار چشمه‌حافظ در شکل‌های ۶-۱ و ۶-۲ بر روی نمودار به نمایش گذاشته شده است. با توجه به این که ترکیب رسوبات مستقیماً تحت تأثیر ترکیب سنگ‌های منشأ آن‌ها می‌باشد، برای ارزیابی رسوبات داشتن اطلاعاتی از ترکیب سنگ منشأ به‌ویژه میزان عناصر جزئی آن ضروری است. در این مطالعه نیز برای ارزیابی رفتار ژئوشیمیایی برخی عناصر ابتدا مقدار آنها در سنگ میزبان و رگه‌های معدنی به صورت مختصر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

میانگین غلظت عناصر کروم و نیکل در سنگ‌های میزبان و آهن، کروم، نیکل و کبالت در رگه‌ها از میانگین پوسته‌ای آن‌ها کمتر بوده و این مطلب برای کروم کاملاً محسوس است. مقدار فلزات سنگین سرب، روی، مس، طلا و شبه فلزاتی چون آرسنیک، بیسموت و آنتیموان در سنگ‌های میزبان و رگه‌های معدنی از میانگین جهانی بالاتر بوده و برای برخی از این عناصر بالای ده برابر می‌باشد، به طوری که غلظت عناصر آرسنیک، طلا، آنتیموان و کادمیم تا حدود صد برابر میانگین پوسته می‌رسد و غلظت عناصر سرب، روی و مس تا بیش از هزار برابر میانگین پوسته زمین نیز مشاهده می‌شود. این ناهنجاری‌های مثبت برخی از عناصر جزئی در مناطق کانی‌زایی سولفیدی امری طبیعی است.



شکل ۶-۱: مقایسه غلظت میانگین عناصر در سنگ‌های منطقه با میانگین پوسته (بر

اساس داده‌های جنتی، ۱۳۹۰)



شکل ۶-۲: غلظت میانگین عناصر در رگه‌ها در مقایسه با میانگین پوسته‌ای آنها (بر

اساس داده‌های هدایتی‌روشن، ۱۳۸۸)

۳-۶- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات

با توجه به این که شدت یا میزان آلودگی فلزی و یا ننگه‌داشت آلاینده‌ها در رسوبات تا حد زیادی به خواص فیزیکی و شیمیایی آنها بستگی دارد (قشلاقی، ۱۳۸۸)، در این قسمت برخی از خصوصیات رسوبات از قبیل pH، درصد رطوبت، درصد مواد آلی و بافت مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۶-۱). همان طور که مشاهده می‌شود، pH رسوبات بین ۷/۱۱ تا ۹/۲ متغیر است، کمترین pH (۷/۱۱) مربوط به نمونه S₉ بوده و بیشترین pH (۹/۱۹) در نمونه‌های S₁ و S₂₄ مشاهده شده است. نظر به این که نمونه S₉ از انباشته‌های معدنی موجود در آبراهه اصلی در مجاورت تونل گاوی برداشت شده، می‌توان این کاهش pH نسبت به سایر نقاط را به حضور کانی‌های سولفیدی فلزی در آن نسبت داد. نمونه‌های S₁ و S₂₄ به ترتیب از آبراهه‌های فرعی بالا دست و پایین دست منطقه (به عنوان نمونه شاهد) برداشت شده‌اند. احتمالاً pH قلیایی در نمونه S₂₄ به دلیل حضور کانی‌های کربناته و تبخیری مانند ژپس می‌باشد. همان طور که در جدول قابل مشاهده است، درصد مواد آلی و رطوبت نمونه‌ها بسیار پایین می‌باشد که این موضوع به عدم وجود منبع آلی قابل توجه یعنی پوشش گیاهی بسیار ضعیف و خشک بودن منطقه مربوط می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این رسوبات مواد آلی سهم چندانی در انتقال عناصر ایفا نکرده‌اند.

جدول ۶-۱: برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات

				بافت			
نمونه	pH	رطوبت W %	مواد آلی OM %	گراول (%)	ماسه (%)	گل (%)	نام رسوب
S ₁	9.1	2.6	1.9	32.7	63.1	3.9	گراول ماسه‌ای
S ₂	8.6	0.6	1.8	49.7	46.6	3.7	گراول ماسه‌ای
S ₅	8.8	2.0	2.4	38.3	58.9	2.7	گراول ماسه‌ای
S ₈	8.7	1.0	1.6	46.6	49.8	3.6	گراول ماسه‌ای
S ₉	7.1	1.0	1.4	62.6	35.3	2.1	گراول ماسه‌ای
S ₁₀	8.8	1.6	5.2	43.6	54.5	1.9	گراول ماسه‌ای
S ₁₄	8.8	0.6	0.8	30.1	67.3	2.2	گراول ماسه‌ای
S ₁₇	8.9	0.8	2.0	55.1	44.4	0.3	گراول ماسه‌ای
S ₁₈	8.7	0.6	2.6	42.5	54.1	3.5	گراول ماسه‌ای
S ₂₁	8.8	1.0	2.4	29.2	67.4	1.6	ماسه گراولی
S ₂₂	9.0	0.8	1.6	50.3	48.0	1.4	گراول ماسه‌ای
S ₂₃	8.9	0.4	2.0	34.9	60.2	5.1	گراول ماسه‌ای
S ₂₄	9.2	0.4	2.2	47.7	49.8	3.2	گراول ماسه‌ای
S ₂₅	8.8	2.0	2.4	27.6	70.6	1.5	ماسه گراولی

۶-۳-۱- دانه بندی و نام‌گذاری رسوبات

نتایج دانه‌بندی رسوبات در جدول ۶-۱ گزارش شده است. با توجه به نتایج دانه‌بندی، بیشتر رسوبات در رده گراول ماسه‌ای قرار گرفته‌اند. مقدار رس نمونه‌ها بسیار پایین و اغلب پایین‌تر از پنج درصد می‌باشد. گراول‌ها اساساً از شکستن مکانیکی سنگ‌های منشأ خود مشتق شده‌اند و ماسه‌ها نیز اغلب حاصل خرد شدن سنگ‌ها به بلورهای سازنده‌شان هستند (هوازگی فیزیکی)، در حالی که گل‌ها محصولات دانه خرد شدگی (سیلت‌ها) و تجزیه شیمیایی (کانی‌های رسی) هستند (موسوی حرمی و محبوبی ۱۳۸۲). بنابراین هوازگی فیزیکی در منطقه قالب می‌باشد، که به دلیل اقلیم یا به عبارت بهتر خشک بودن منطقه است.

۶-۴- غلظت عناصر جزئی در رسوبات

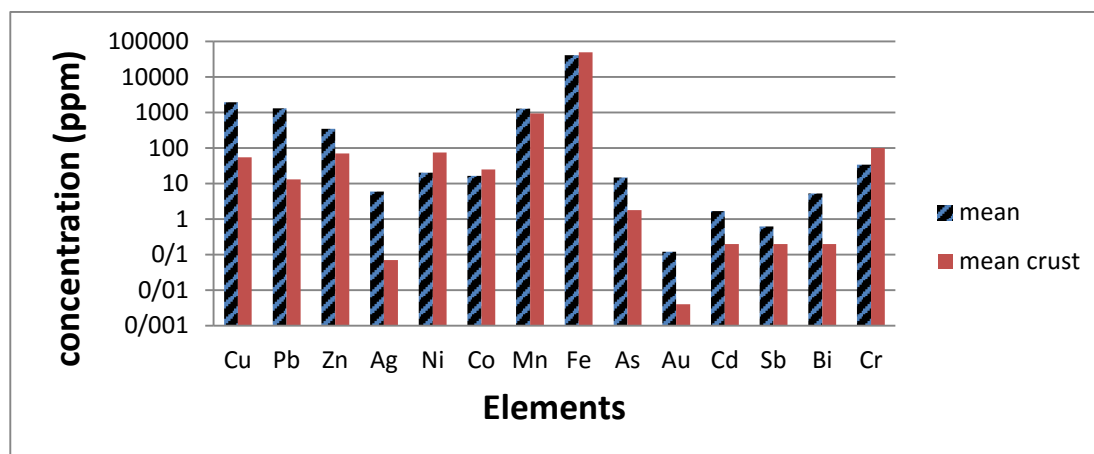
غلظت برخی از عناصر جزئی که به روش ICP-MS اندازه‌گیری شده‌اند، در جدول ۶-۲ گزارش شده

است. با توجه به این جدول، روندهای مختلفی قابل مشاهده است. مقدار کروم در نمونه‌های برداشت شده از دیوهای معدنی و همچنین ایستگاه‌های نزدیک به معدن کمتر از بقیه نقاط است. نیکل نیز تا حدودی این روند را نشان می‌دهد. مقدار نیکل در نمونه‌هایی که به عنوان رسوب طبیعی (آبراهه‌هایی که معدن کاری در بالا دست آن‌ها صورت نگرفته است) در نظر گرفته شده‌اند، بالاتر از بقیه نمونه‌ها است. عناصر مس، سرب، روی، نقره، آرسنیک، طلا، کادمیم، بیسموت و تاحدودی آنتیموان در سه ایستگاه (نمونه‌های ۲، ۹ و ۱۸) آنومالی بسیار بالایی (مثبت) نشان می‌دهند، به طوری که علاوه بر مس و سرب، نقره نیز در نمونه ۲ و ۹ دارای عیار اقتصادی می‌باشد. غلظت این عناصر با دور شدن از این نقاط روند کاهشی نشان می‌دهد. به طوری که نقش معادن متروکه و انباشته‌های معدنی در توزیع این عناصر در رسوبات پایین دست به وضوح مشاهده می‌شود. منگنز و کبالت تغییرات منظمی را نشان نمی‌دهند. شکل ۶-۳ نشان می‌دهد که غلظت میانگین عناصر نیکل، کبالت، آهن و کروم از میانگین پوسته‌ای آن‌ها کمتر است. مس، سرب، روی، نقره، آرسنیک، طلا، کادمیم، آنتیموان و بیسموت چندین برابر میانگین پوسته بوده به طوری که غلظت سرب، مس، نقره و بیسموت تا صد برابر مقدار میانگین پوسته نیز می‌رسد. لازم به ذکر است که مقدار ۹ عنصر ذکر شده، در نمونه‌های S₁، S₁₇ و S₂₄ که به عنوان نمونه‌های شاهد و غیر آلوده برداشت شده‌اند، به مراتب پایین‌تر از سایر نمونه‌ها که تحت تأثیر باطله‌های معدنی قرار گرفته‌اند می‌باشد. به طور کلی غلظت عناصر مورد بررسی در رسوبات شاهد با غلظت آن‌ها در سنگ‌های میزبان و همچنین رگه‌های معدنی همسانی بالایی نشان می‌دهد که نشان دهنده منشأ طبیعی و زمین‌زاد این عناصر در رسوبات است. در عوض غلظت بسیار زیاد برخی از فلزها، مانند سرب، مس، روی و نقره در رسوبات پایین دست، تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد (معدن کاری) را به وضوح نشان می‌دهد.

جدول ۶-۲: غلظت برخی از عناصر در رسوبات مورد مطالعه برحسب ppm

sample	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Au	Cd	Sb	Bi	Cr
S1	45	51	59	0.05	25.0	17.5	911	34900	10.2	0.00	0.10	0.15	0.11	40.3
*S2	17000	655	189	17.62	12.0	17.2	2086	45000	29.4	0.13	0.59	0.12	1.44	19.3
S5	422	383	95	0.28	19.8	15.3	1223	42200	13.3	0.01	0.20	0.72	0.19	39.8
S8	110	597	400	0.16	24.9	17.7	1335	39000	9.7	0.01	2.05	0.39	0.15	42.9
*S9	10000	10000	535	69.74	8.5	10.9	1104	29800	24.0	1.30	3.07	2.94	72.47	9.6
S10	240	849	253	0.25	22.1	18.8	1490	43100	11.2	0.01	1.26	0.35	0.24	41.0
S14	170	694	153	0.18	20.8	18.3	1433	46000	12.7	0.00	0.73	0.45	0.25	42.0
S17	53	48	77	0.05	16.7	14.5	1208	39400	22.3	0.00	0.11	0.72	0.16	34.9
S18	398	1572	430	0.51	21.4	16.9	1342	36700	14.9	0.21	2.95	0.58	0.43	36.7
S21	278	787	342	0.28	19.8	16.5	1280	38900	13.6	0.02	1.86	0.62	0.43	34.7
S22	87	288	190	0.09	17.8	16.1	1098	34100	12.4	0.01	1.43	0.33	0.57	25.1
S23	138	471	178	0.17	21.9	15.2	1091	36500	8.3	0.01	1.04	0.51	0.42	35.9
S24	27	19	56	0.03	34.7	13.7	842	27700	11.6	0.00	0.13	0.17	0.14	29.7
S25	74	170	109	0.08	24.5	15.0	1098	37700	9.5	0.00	0.46	0.37	0.24	34.4
کمینه	27	19	56	0.03	8.5	10.9	842	27700	8.3	0.00	0.10	0.12	0.11	9.6
بیشینه	17000	10000	535	69.74	34.7	18.8	2086	46000	29.4	1.30	3.07	2.94	72.47	42.9
میانگین	1951	1316	352	5.99	20.2	16.4	1290	41207	14.7	0.12	1.69	0.62	5.22	33.7
میانگین پوسته	55	13	70	0.07	75.0	25.0	950	50000	1.8	0.00	0.20	0.20	0.20	100.0

※: نمونه‌هایی که با این علامت مشخص شده‌اند معرف مواد معدنی موجود در مسیر آبراهه‌ها هستند



شکل ۳-۶: نمودار غلظت میانگین عناصر در رسوبات مورد مطالعه و میانگین پوسته‌ای آن‌ها

۵-۶- ارزیابی کمی شدت آلودگی عناصر و فلزات سنگین در رسوبات

۵-۶-۱- مقایسه غلظت فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب

غلظت میانگین برخی از فلزات نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در مقایسه با استانداردهای بوم‌شناختی کیفیت رسوب (McDonald et al., 2000) (جدول ۳-۶) نشان می‌دهد که غلظت سرب و مس بیش از ده برابر این استانداردها بوده و غلظت روی و آرسنیک از TEC (غلظت اثر آستانه) بالاتر بوده ولی از PEC (غلظت اثر احتمالی) پایین‌تر می‌باشد.

جدول ۳-۶: تعیین درصد سمناکی رسوبات بر اساس مقایسه غلظت فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب					
فلز	میانگین غلظت فلز در رسوبات (ppm)	غلظت اثر آستانه TEC(ppm)	غلظت اثر احتمالی PEC(ppm)	سمناکی PECQ	سمناکی %
Pb	1316	35.8	128	10.3	75-81
Zn	351	121	459	0.8	15-29
Cu	1951	31.6	149	13.1	75-81
As	14.7	9.79	33	0.45	15-29
Cd	1.69	0.99	4.98	0.34	15-29
Cr	3.7	43.3	111	0.04	<14
Ni	20	22.7	48.6	0.4	15-29

سه فلز کادمیم، کروم و نیکل مقادیری کمتر از TEC و PEC دارند. با توجه به نسبت غلظت فلزات

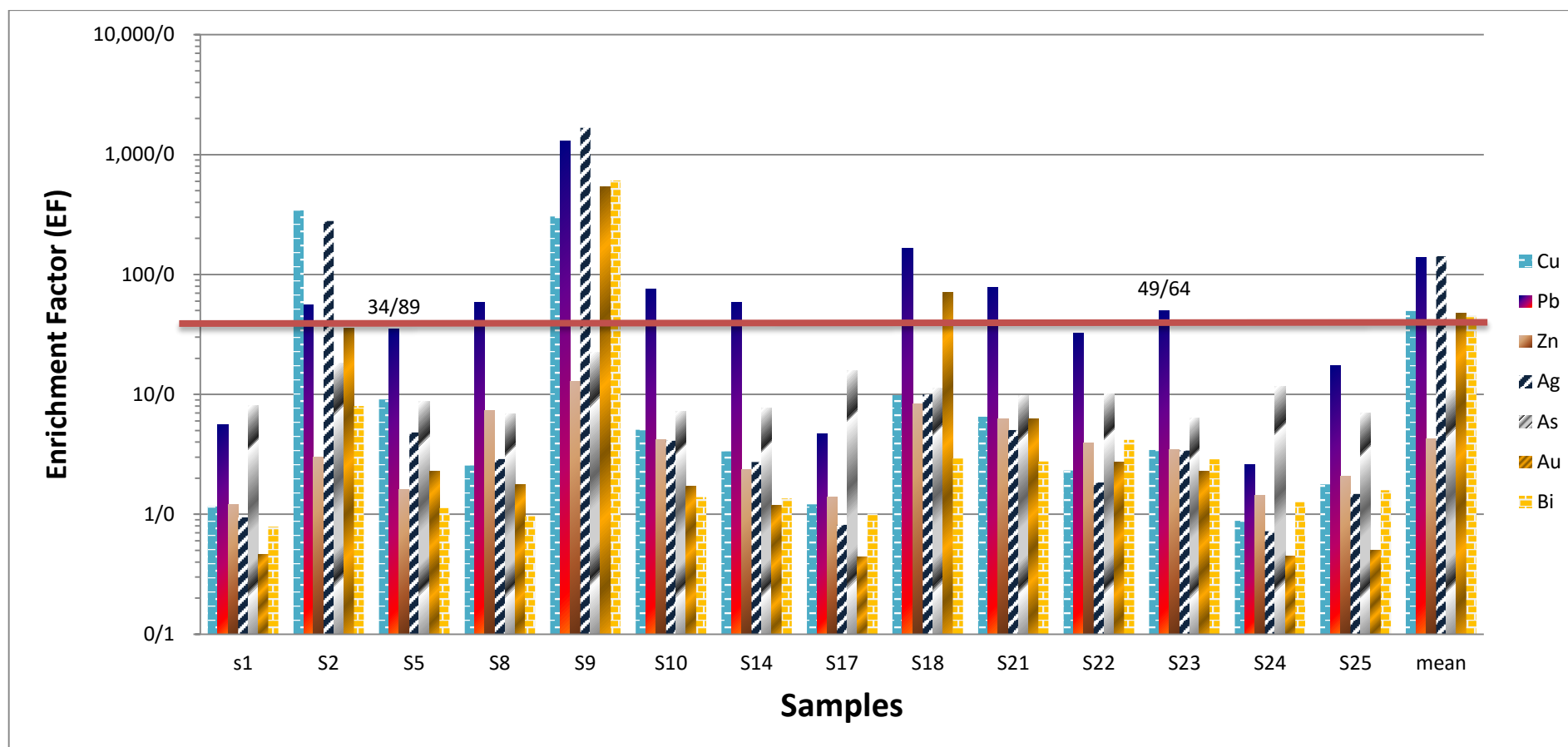
در رسوب منطقه به غلظت اثر احتمالی (PEC)، سمناکی (PECQ) هر فلز در رسوبات منطقه مشخص شد. سرب و مس ۷۵ تا ۸۰ درصد سمناکی نشان می‌دهند. بنابر آنچه که ذکر شد، کیفیت بوم شناختی رسوبات منطقه چشمه حافظ نسبت به سرب و مس پایین است.

۶-۵-۲- ضریب غنی شدگی (EF)

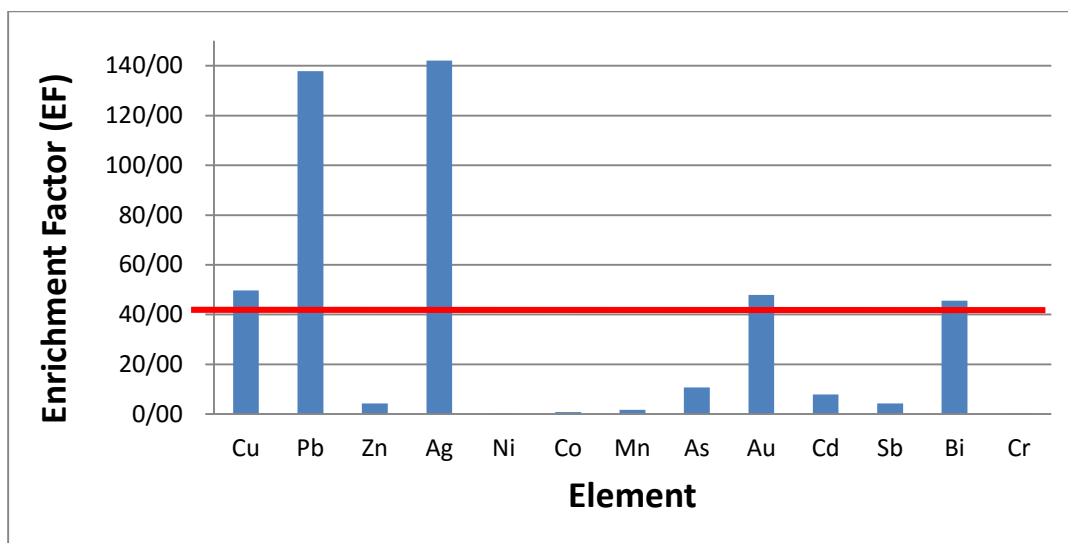
همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد، یکی از معیارهایی که با استفاده از آن می‌توان غلظت عنصر را در یک منطقه نسبت به مقدار طبیعی آن سنجید، ضریب غنی شدگی است. در این مطالعه نیز ضریب غنی شدگی برای عناصر مورد بررسی محاسبه شده است.

ضریب غنی شدگی برای هر ایستگاه و میانگین آن در شکل‌هایی ۴-۶ و ۵-۶ بر روی نمودار نمایش داده شده‌اند. سرب، مس، نقره و طلا در نمونه‌های S_2 ، S_9 و S_{18} غنی شدگی بی‌نهایت ($EF >$) (40 نشان داده و در اکثر نمونه‌های دیگر نیز غنی شدگی قابل توجه دارند. بالاترین غنی شدگی سرب، مس، نقره، بیسموت و طلا به ترتیب ۱۲۹۰، ۳۴۳، ۲۷۹، ۶۰۷ و ۷۱ بدست آمده است. آرسنیک و روی در اکثر ایستگاه‌ها دارای غنی شدگی متوسط تا قابل توجه هستند. بیسموت و آنتیموان به جز در نمونه S_9 که غنی شدگی بی‌نهایت بالایی نشان می‌دهند در بقیه نقاط به صورت متوسط تا قابل توجه غنی شده‌اند. کادمیم در همه نمونه‌ها غنی شدگی متوسط تا قابل توجه دارد. منگنز، نیکل و کروم فاقد غنی شدگی یا به صورت غنی شدگی اندک هستند. به طور میانگین، غنی شدگی بی‌نهایت بالایی نسبت به سرب، مس، روی، نقره، طلا و بیسموت در رسوبات منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶).

نکته قابل توجه در این‌جا، غنی شدگی قابل توجه آرسنیک در نمونه‌های شاهد یا زمینه می‌باشد. همان‌طور که در نمودار شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، درجه غنی شدگی آرسنیک در نمونه‌های S_1 ، S_{17} و S_{24} بین ۵ تا ۲۰ می‌باشد که شدت غنی شدگی قابل توجهی است.



شکل ۴-۶: مقادیر ضریب غنی شدگی نسبت به عناصر مورد بررسی در نمونه‌های رسوب، مقادیر بالای ۴۰ (خط قرمز رنگ) نشان‌دهنده غنی‌شدگی بی‌نهایت است.



شکل ۵-۶: میانگین ضریب غنی‌شدگی عناصر در منطقه

با توجه به این که این نمونه‌ها از رسوبات طبیعی و فاقد معدن‌کاری برداشت شده‌اند، منشأ طبیعی آلودگی آرسنیک در این رسوبات تأیید می‌شود. بر طبق نمودار میانگین عناصر جزئی در سنگ میزبان و رگه‌های معدنی (شکل‌های ۱-۶ و ۲-۶) که مقدار آرسنیک در آن‌ها چندین برابر میانگین پوسته‌ای می‌باشد، آلودگی آرسنیک بر اثر پدیده‌های طبیعی در این منطقه قابل توجیه است.

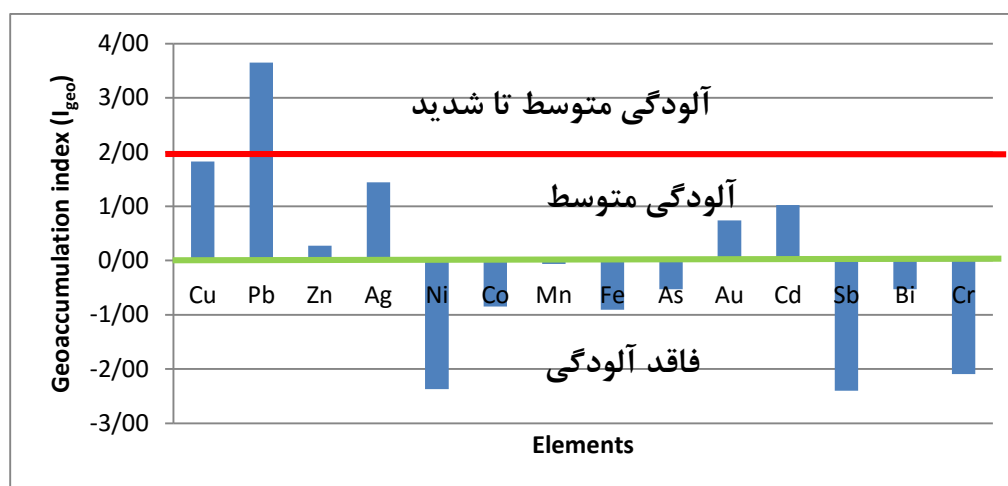
۳-۵-۶- ضریب زمین‌انباشت (I_{geo})

برای محاسبه ضریب زمین‌انباشت در این تحقیق، از ترکیب شیل میانگین به عنوان ماده مرجع استفاده شد. نتایج این محاسبه برای عناصر مورد بررسی در هر نمونه در جدول ۴-۶ ارائه گردیده است. با توجه به ضرایب زمین‌انباشت، عناصر مورد مطالعه به چند دسته قابل تقسیم هستند: (۱) فاقد آلودگی شامل نیکل، کبالت، آهن، آنتیموان و کروم، (۲) بدون آلودگی تا آلودگی کم شامل منگنز، آرسنیک و بیسموت و (۳) آلودگی متوسط تا شدید که شامل عناصر سرب، مس، روی، نقره و کادمیم می‌باشند. میانگین I_{geo} برای ایستگاه‌های S_2 ، S_9 ، S_{18} و S_{21} مثبت بوده و این نمونه‌ها نسبت به بیشتر عناصر (سرب، روی، مس، نقره، آرسنیک، کادمیم و بیسموت) آلوده هستند.

جدول ۴-۶: ضرایب زمین انباشت (I_{geo}) برای عناصر مورد مطالعه در هر نمونه

Sample	I_{geo}													
	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Au	Cd	Sb	Bi	Cr
S ₁	-0.6	0.8	-1.3	-1.2	-2.0	-0.7	-0.5	-1.0	-0.9	-2.2	-1.7	-3.9	-2.4	-1.7
S ₂	8.0	4.4	0.4	7.4	-3.1	-0.7	0.7	-0.6	0.6	4.4	0.8	-4.2	1.3	-2.8
S ₅	2.6	3.7	-0.6	1.4	-2.4	-0.9	-0.1	-0.7	-0.6	0.4	-0.7	-1.6	-1.7	-1.8
S ₈	0.7	4.3	1.5	0.6	-2.0	-0.7	0.1	-0.9	-1.0	-0.1	2.6	-2.5	-2.0	-1.8
S ₉	7.2	8.4	1.9	9.4	-3.6	-1.4	-0.2	-1.2	0.3	7.8	3.2	0.4	6.9	-1.7
S ₁₀	1.8	4.8	0.8	1.2	-2.2	-0.6	0.2	-0.7	-0.8	0.0	1.9	-2.7	-1.3	-3.8
S ₁₄	1.3	4.5	0.1	0.7	-2.3	-0.6	0.2	-0.6	-0.6	-0.4	1.1	-2.3	-1.3	-1.7
S ₁₇	-0.4	0.7	-0.9	-1.2	-2.6	-1.0	-0.1	-0.8	0.2	-2.1	-1.6	-1.6	-1.9	-1.7
S ₁₈	2.6	5.7	1.6	2.3	-2.3	-0.8	0.1	-0.9	-0.4	5.1	3.2	-2.0	-0.5	-2.0
S ₂₁	2.0	4.7	1.3	1.4	-2.4	-0.8	0.0	-0.9	-0.5	1.7	2.5	-1.9	-0.5	-1.9
S ₂₂	0.4	3.3	0.4	-0.3	-2.5	-0.8	-0.2	-1.0	-0.7	0.3	2.1	-2.8	-0.1	-2.0
S ₂₃	1.0	4.0	0.3	0.7	-2.2	-0.9	-0.2	-0.9	-1.2	0.2	1.7	-2.1	-0.5	-2.4
S ₂₄	-1.3	-0.7	-1.4	-1.9	-1.6	-1.1	-0.6	-1.3	-0.7	-2.6	-1.3	-3.7	-2.1	-1.9
S ₂₅	0.1	2.5	-0.4	-0.4	-2.1	-0.9	-0.2	-0.9	-1.0	-2.0	0.5	-2.6	-1.3	-2.2
Min	-1.3	-0.7	-1.4	-1.9	-3.6	-1.4	-0.6	-1.3	-1.2	-2.6	-1.7	-4.2	-2.4	-3.8
Max	8.0	8.4	1.9	9.4	-1.6	-0.6	0.7	-0.6	0.6	7.8	3.2	0.4	6.9	-1.7
Mean	1.8	3.6	0.3	1.4	-2.4	-0.8	-0.1	-0.9	-0.5	0.7	1.0	-2.4	-0.5	-2.1

بر اساس میانگین I_{geo} محاسبه شده برای عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب (شکل ۶-۶)، به طور کلی می‌توان گفت که رسوبات منطقه مورد مطالعه نسبت به سرب آلودگی شدید، نسبت به مس، نقره، طلا، کادمیم و روی آلودگی متوسط و نسبت به سایر عناصر (نیکل، کبالت، منگنز، آهن و آرسنیک) عدم آلودگی را نشان می‌دهند.

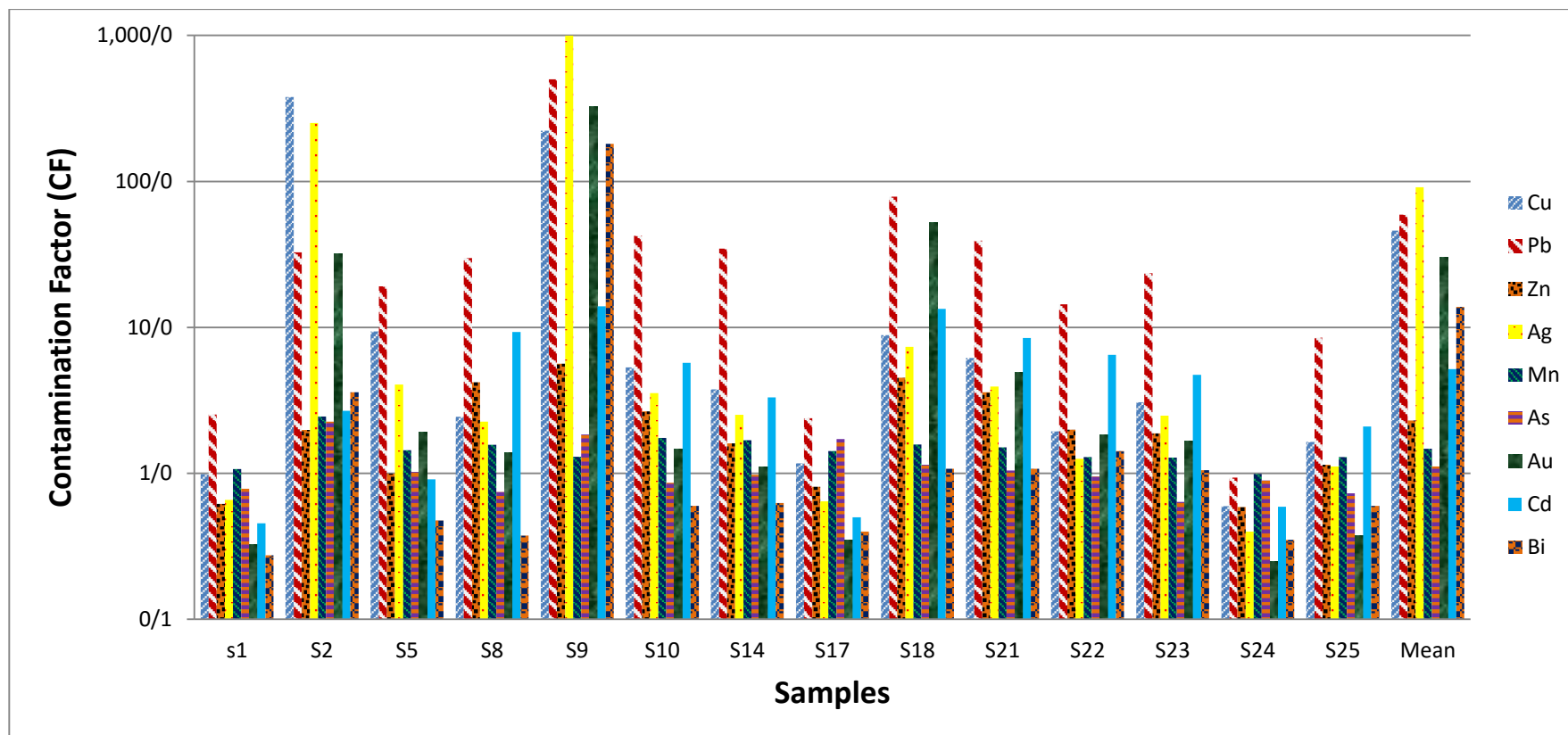


شکل ۶-۶: تعیین شدت آلودگی در رسوبات مورد مطالعه بر مبنای میانگین ضرایب زمین انباشت (I_{geo})

۶-۵-۴- ضریب آلودگی (CF) و ضریب بار آلودگی (PLI)

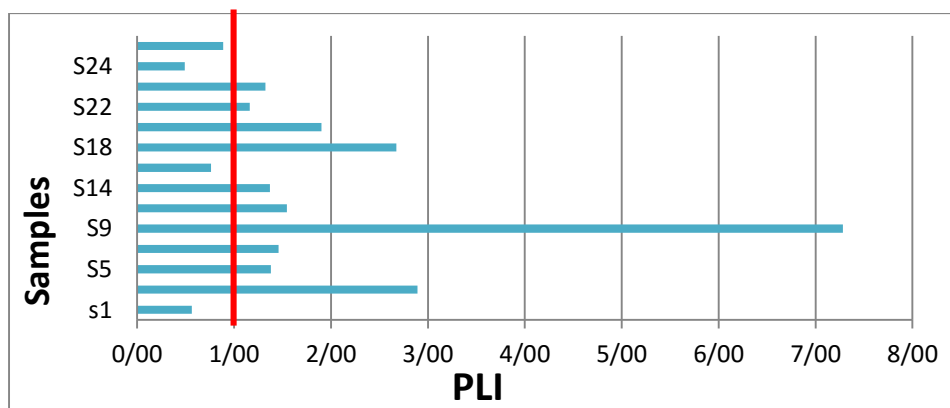
ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی برای عناصر مختلف در نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه شده و در شکل ۶-۷ به نمایش گذاشته شده است.

بر اساس مقادیر ضریب آلودگی (شکل ۶-۷)، همه نمونه‌های رسوب (به جز S_{24}) نسبت به فلز سنگین سرب آلودگی نشان می‌دهند، که از آلودگی متوسط ($CF = 2.5$) در نمونه‌های S_1 و S_{17} تا آلودگی بسیار شدید ($CF = 500$) در نمونه S_9 تغییر می‌کند. البته با توجه به میانگین این ضریب برای سرب، منطقه نسبت به سرب آلودگی شدید دارد. مس و نقره به جز در نمونه‌های S_1 ، S_{17} و S_{24} در سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط تا بسیار شدید نشان می‌دهند. بیسموت به استثناء S_2 و S_9 که آلودگی بسیار شدیدی به این عنصر نشان می‌دهند، در بقیه نمونه‌ها فاقد آلودگی بوده یا آلودگی



شکل ۶-۷: ضرایب آلودگی عناصر در نمونه‌های رسوب در منطقه مورد مطالعه

اندکی نشان می‌دهد. روی، آرسنیک، کادمیم و منگنز نیز در اکثر نمونه‌ها آلودگی نشان می‌دهند، اما در مقایسه با سرب و مس شدت بسیار کمتری دارند. نیکل، کروم، کبالت، آهن و آنتیموان هیچ آلودگی در منطقه نشان نمی‌دهند. به طور کلی و با توجه به میانگین ضرایب آلودگی، رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر مس، سرب و نقره شدیداً آلوده هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود (شکل ۶-۷)، میانگین ضریب آلودگی برای بیسموت بالای ۱۰ بوده و در رده شدیداً آلوده قرار می‌گیرد در حالی که در بیشتر نمونه‌ها، ضریب آلودگی برای این عنصر کمتر از ۱ می‌باشد. بنابراین بالا بودن میانگین این ضریب برای بیسموت به دلیل مقدار بسیار زیاد آن در نمونه S₂ و S₉ است. شکل ۶-۸ ضریب بار آلودگی را در نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً گفته شد اگر مقدار PLI کمتر از یک باشد نشان دهنده عدم آلودگی، در صورتی که برابر یک باشد آستانه آلودگی و برای مقادیر بالاتر از یک، منطقه آلوده می‌باشد (Thomilson et al., 1980). بنابراین طبق این نمودار، ایستگاه‌های S₁، S₁₇، S₂₄ و S₂₅ بدون آلودگی بوده و بقیه نقاط آلوده هستند. مطابق آنچه که پیش‌تر گفته شد، نمونه‌های S₁، S₁₇، S₂₄ از آبراهه‌های فرعی که در بالا دست آن‌ها فعالیت معدنی انجام نشده، به عنوان نمونه شاهد برداشت شده‌اند. بنابراین تحت تأثیر آلودگی معدنی قرار نگرفته‌اند. نمونه S₂₅ آخرین ایستگاه نمونه‌برداری رسوب بوده و بیشترین فاصله را (حدود ۲ کیلومتر) از معدن چشمه-حافظ دارد. این مطلب نشان می‌دهد که با افزایش فاصله تأثیر معدن‌کاری بر آلودگی رسوبات به شدت کاهش یافته است.



شکل ۶-۸: نمودار ضریب بار آلودگی برای نقاط نمونه‌برداری شده

۶-۵-۵- ضریب همبستگی

در این قسمت سعی شد با محاسبه ضریب همبستگی (r)، رابطه بین خواص فیزیکی و شیمیایی رسوبات با غلظت فلزات در آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به دلیل توزیع غیر نرمال داده‌ها و تعداد محدود نمونه‌های برداشت شده، از ضریب همبستگی کندال (Kendall) که یک روش غیر پارامتریک است استفاده شد. این ضریب با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 19 محاسبه شده است. همبستگی عناصر با یکدیگر و سایر پارامترها (مواد آلی و pH) در جدول ۵-۶ گزارش شده است. ضریب همبستگی در دو سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ محاسبه شده است. آن دسته از ضرایبی که با علامت (***) مشخص شده‌اند دارای سطح اطمینان (P) کمتر از ۰/۰۱ هستند به عبارت بهتر ضریب همبستگی در آن‌ها معنادارتر است. و ضرایبی که با (*) مشخص گردیده‌اند سطح اطمینان پایین‌تر از ۰/۰۵ دارند که حاکی از یک رابطه معنی‌دار ولی ضعیف‌تر می‌باشد. با توجه به ماتریس همبستگی (جدول ۶-۶)، مواد آلی هیچ رابطه معنی‌داری با غلظت عناصر نشان نمی‌دهد. تغییرات مواد آلی در رسوبات روند خاصی را نشان نمی‌دهد در حالی که غلظت عناصر مختلف طبق آنچه که در بخش‌های بالا توضیح داده شد روندهای افزایشی و کاهشی خاصی را در ایستگاه‌های مختلف نشان داده‌اند. این شواهد (مقدار اندک مواد آلی و عدم همبستگی آن با عناصر) گویای این مطلب است که مواد آلی در این رسوبات نقش خاصی در تحرک و جابه‌جایی عناصر نداشته‌اند.

جدول ۵-۶: ماتریس همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه در رسوبات منقا چشمه حافظ (روش کندال)

		Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Au	Cd	Sb	Bi	Cr	pH	OM
	Correlation Coefficient	1															
Cu	Sig. (2-tailed)	.															
Pb	Correlation Coefficient	.811**	1														
	Sig. (2-tailed)	0	.														
Zn	Correlation Coefficient	.640*	.868**	1													
	Sig. (2-tailed)	0.014	0	.													
Ag	Correlation Coefficient	.987**	.879**	.720**	1												
	Sig. (2-tailed)	0	0	0.004	.												
Ni	Correlation Coefficient	-.631*	-0.378	-0.361	-.604*	1											
	Sig. (2-tailed)	0.015	0.182	0.205	0.022	.											
Co	Correlation Coefficient	0.165	0.345	0.213	0.161	0.24	1										
	Sig. (2-tailed)	0.573	0.227	0.464	0.583	0.409	.										
Mn	Correlation Coefficient	.678**	.664**	0.504	.648*	-0.363	.638*	1									
	Sig. (2-tailed)	0.008	0.01	0.066	0.012	0.201	0.014	.									
Fe	Correlation Coefficient	0.393	0.248	0.011	0.304	-0.224	.600*	.816**	1								
	Sig. (2-tailed)	0.164	0.392	0.97	0.291	0.441	0.023	0	.								
As	Correlation Coefficient	.587*	0.367	0.262	.577*	-.796**	-0.165	0.449	0.204	1							
	Sig. (2-tailed)	0.027	0.197	0.366	0.031	0.001	0.573	0.107	0.483	.							
Au	Correlation Coefficient	.903**	.785**	.780**	.927**	-.669**	-0.007	0.466	0.064	.560*	1						
	Sig. (2-tailed)	0	0.001	0.001	0	0.009	0.982	0.093	0.829	0.037	.						
Cd	Correlation Coefficient	.552*	.820**	.969**	.641*	-0.282	0.13	0.378	-0.112	0.169	.727**	1					
	Sig. (2-tailed)	0.041	0	0	0.014	0.329	0.659	0.182	0.703	0.563	0.003	.					
Sb	Correlation Coefficient	0.356	0.354	0.321	0.377	-0.457	-0.396	0.075	0.04	0.334	0.396	0.345	1				
	Sig. (2-tailed)	0.211	0.214	0.263	0.184	0.1	0.161	0.799	0.893	0.243	0.161	0.226	.				
Bi	Correlation Coefficient	.716**	.667**	.674**	.752**	-.740**	-0.097	0.358	0.004	0.518	.846**	.654*	0.212	1			
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.009	0.008	0.002	0.002	0.742	0.208	0.988	0.058	0	0.011	0.468	.			
Cr	Correlation Coefficient	-0.147	0.068	-0.059	-0.156	0.508	.697**	0.293	0.468	-0.442	-0.332	-0.068	0.031	-.566*	1		
	Sig. (2-tailed)	0.615	0.817	0.84	0.593	0.063	0.006	0.31	0.091	0.114	0.246	0.817	0.917	0.035	.		
pH	Correlation Coefficient	-.738**	-.775**	-.720**	-.764**	0.417	-0.233	-.729**	-0.412	-0.441	-.628*	-.621*	-0.265	-.542*	0.02	1	
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.001	0.004	0.001	0.138	0.422	0.003	0.143	0.115	0.016	0.018	0.361	0.045	0.946	.	
OM	Correlation Coefficient	-0.015	-0.022	-0.092	-0.022	0.291	-0.033	0.044	0.053	-0.128	-0.018	-0.128	0.05	-0.186	0.081	0.185	1
	Sig. (2-tailed)	0.958	0.94	0.753	0.94	0.313	0.911	0.881	0.858	0.664	0.952	0.664	0.866	0.524	0.782	0.526	.

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

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

نمونه‌هایی که غلظت فلزات مذکور در آن‌ها بالا می‌باشد به دلیل وجود کانی‌های سولفیدی pH کمی پایین‌تر از سایر نمونه‌ها نشان می‌دهند. البته لازم به ذکر است که به دلیل خشک بودن منطقه و عدم وجود روان آب سطحی در مواقع عادی، نقش pH در تحرک عناصر بیشتر محدود به مواقع بارندگی بوده و به نظر می‌رسد در مواقع عادی که انحلال کانی‌ها کم است، تحرک عناصر بیشتر از طریق حمل آن‌ها به وسیله فازهای جامد (کانی‌های حامل)، و در حین هوازدگی فیزیکی رخ می‌دهد.

علت همبستگی مثبت بسیار بالای سرب با مس ($r = 0.811$, $P < 0.01$)، روی ($r = 0.868$, $P < 0.01$)، نقره ($r = 0.879$, $P < 0.01$)، طلا ($r = 0.785$, $P < 0.01$)، کادمیم ($r = 0.820$, $P < 0.01$)، بیسموت ($r = 0.667$, $P < 0.01$) و منگنز ($r = 0.664$, $P < 0.01$) رخداد کانی‌های این عناصر با گالن می‌باشد (کلاین و هاربوت، ۱۹۹۹). نقره به صورت کانی‌های نقره مانند آکانتیت یا به صورت فلز آزاد همراه گالن یافت می‌شود. همان‌طور که در فصل سوم گفته شد کانی‌های مالاکیت ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)، آزوریت ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) (سروزیت (PbCO_3))، گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، کلکوپریت (CuFeS_2)، بورنیت (Cu_5FeS_4)، کالکوسیت (Cu_2S) و کولیت (CuS) در کانسنگ‌ها و انباشته‌های موجود در منطقه تشخیص داده شده است (هدایتی‌روشن، ۱۳۸۸). علت همبستگی مثبت بالای این عناصر با هم وجود این کانی‌ها در رسوبات است. بیسموت در رگه‌های معدنی سولفیدی همراه سرب وجود دارد به طوری که در نمونه‌های با غلظت بالای سرب، غلظت بیسموت بسیار بالا است. بیسموت همچنین همراه فلزهای آزاد مس، طلا و نقره به صورت ناخالصی وجود دارد (کلاین و هاربوت، ۱۹۹۹). به همین دلیل بیسموت همبستگی بالایی با این فلزات سنگین نشان می‌دهد. کادمیم نیز در کانی‌های سولفیدی سرب و روی و همچنین در طلا به صورت ناخالصی وجود دارد (کلاین و هاربوت، ۱۹۹۹). همان‌طور که در جدول همبستگی مشخص است، کادمیم بیشترین همبستگی مثبت را با سرب، روی ($r = 0.969$, $P < 0.01$) و طلا ($r = 0.727$, $P < 0.01$) نشان می‌دهد. برخلاف انتظار، آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده از مواد معدنی و نمونه‌های نزدیک به آن‌ها نسبت به بقیه نمونه‌ها غلظت کمتری دارد. در جدول همبستگی نیز آرسنیک به جز با مس و نقره که همبستگی مثبت

متوسطی نشان می‌دهد، با بقیه فلزات رابطه معنی‌داری نشان نمی‌دهد. آنتیموان رابطه همبستگی خاصی با فلزات سنگین و سایر پارامترها ندارد. نیکل همبستگی منفی بالایی با مس ($P < 0/05$)، $r = -0/631$ ، نقره ($r = -0/604$ ، $P < 0/01$)، آرسنیک ($r = -0/796$ ، $P < 0/01$)، طلا ($P < 0/01$)، $r = -0/669$ و بیسموت ($r = -0/740$ ، $P < 0/01$) دارد که به دلیل اختلاف در رخداد آن‌ها است. نیکل بیشتر در کانی‌های اولیه فرومنیزین حضور داشته و در فازهای سولفیدی گرمابی کمتر وجود دارد. آهن به جز همبستگی مثبت بالایی که با منگنز ($r = 0/818$ ، $P < 0/01$) دارد، با دیگر عناصر و پارامترها هیچ گونه رابطه مشخصی نشان نمی‌دهد.

۶-۶- آب‌های زیرزمینی

۶-۶-۱- بررسی کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه چشمه حافظ

در این بخش به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ و ارتباط آن با سنگ‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی پرداخته می‌شود. در این منطقه از دو چشمه و دو قنات نمونه‌برداری شد. دو قنات شامل W_3 و W_4 آب مصرفی ساکنین روستاهای کلاته میرزا و کلاته حافظ را تأمین کرده و دو چشمه W_1 و W_2 در نزدیکی معدن متروکه چشمه حافظ قرار دارند (شکل ۵-۱). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب در جدول (۶-۶) و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آنها در جدول (۶-۷) ارائه شده است.

جدول ۶-۶: پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب

نمونه	pH	EC μs/cm	سختی کل mg/l	TSS mg/l	TDS mg/l
W1	۷/۷۲	۱۷۶۱	۲۷۰	۴۰	۱۳۴۰
W2	۷/۲۹	۲۶۰۰	۴۶۰	۲۰	۲۳۲۰
W3	۸/۱	۱۹۹۸	۴۳۰	۱۸۰	۱۴۸۰
W4	۷/۹۳	۲۵۹۰	۵۲۰	۰,۲۶۰	۱۷۰۰
TSS: کل جامدات معلق TDS: کل جامدات محلول EC: هدایت الکتریکی					

جدول ۶-۷: غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی (غلظت‌ها بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر (meq l^{-1}) می‌باشد)

نمونه	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
W ₁	۰/۵	۳/۸	۲/۸	۱۰/۲	۸/۸	۲/۴	۶/۵
W ₂	۰/۵	۲/۵	۲/۵	۲۰/۴	۲۱/۶	۱/۶	۳/۰
W ₃	۰/۷	۲/۵	۳/۵	۱۳/۰	۱۳/۶	۲/۴	۴/۰
W ₄	۰/۵	۱/۵	۷/۰	۱۶/۵	۱۳/۶	۱/۲	۱۱/۵
حد مجاز شرب	-	-	*۷	*۵	*۱۰	#۱۲/۵	*۸/۵
WHO 2008 : * # اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳)							

۶-۶-۲- تغییرات pH، هدایت الکتریکی (EC) و سختی (TH)

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جداول ۶-۶ و ۶-۷)، pH آب‌ها، از تقریباً خنثی در نمونه W₂ (pH= 7.2) تا کمی قلیایی در نمونه W₃ (pH = 8.1) تغییر می‌کند. به‌طور کلی دامنه تغییرات pH کمتر از ۱ واحد می‌باشد. هدایت الکتریکی در همه نمونه‌ها بالا و از ۱/۵ برابر حد مجاز آب شرب (۱۰۰۰ میکروموس) در نمونه‌های W₁ و W₃ تا ۲/۵ برابر حد مجاز در نمونه‌های W₂ و W₄ تغییر می‌کند. مقدار کل جامدات حل شده (TDS) در نمونه‌های آب خیلی بالاتر از استاندارد WHO (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای آب شرب می‌باشد، نمونه W₂ دارای بالاترین میزان جامدات محلول (۲۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. از لحاظ سختی بر اساس جدول ۶-۸، به غیر از نمونه W₁ که در رده آب-های سخت قرار می‌گیرد (سختی معادل ۲۷۰ میلی‌گرم بر لیتر)، بقیه نمونه‌ها در رده بسیار سخت قرار

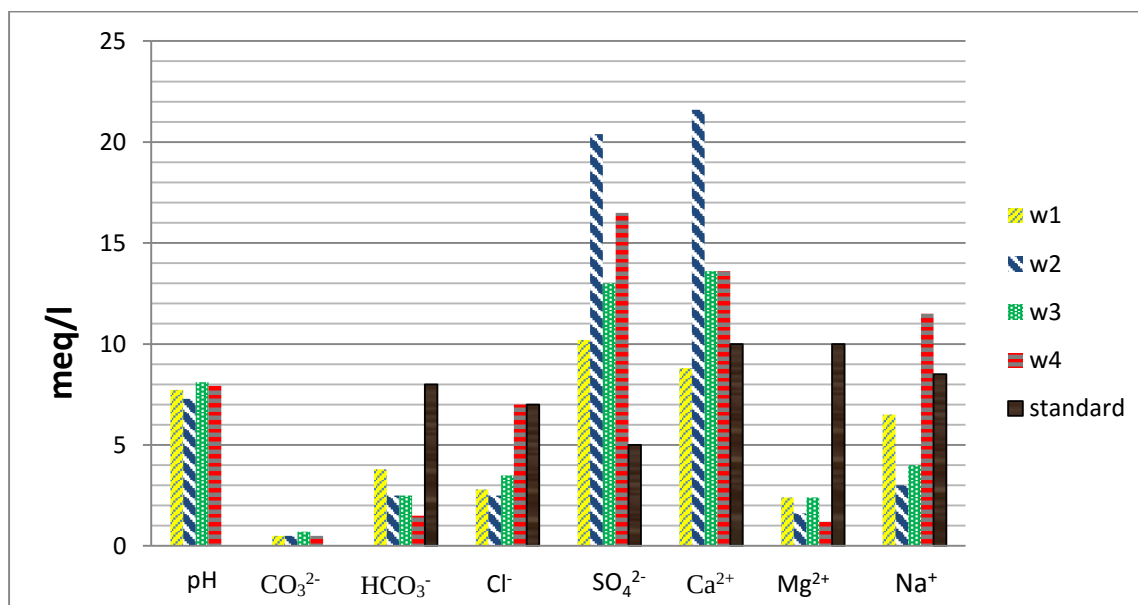
می‌گیرند اما به طور کلی سختی آب‌های مورد مطالعه در حد استانداردهای WHO می‌باشد

جدول ۶-۸: طبقه‌بندی مقادیر سختی در آب‌ها (Todd and Mays, 2005)

نوع آب	سختی کل بر حسب $\text{CaCO}_3 \text{ mg/l}$
نرم	$75 >$
نسبتاً سخت	$75 - 150$
سخت	$150 - 300$
بسیار سخت	$300 <$

۳-۶-۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های مختلف در شکل ۶-۹ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۶-۹: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌ها با هم و استاندارد آب‌های آشامیدنی (pH بدون واحد است)

غلظت یون‌های سولفات و کلسیم در تمامی نمونه‌ها از حداکثر مجاز آشامیدنی بالاتر می‌باشد.

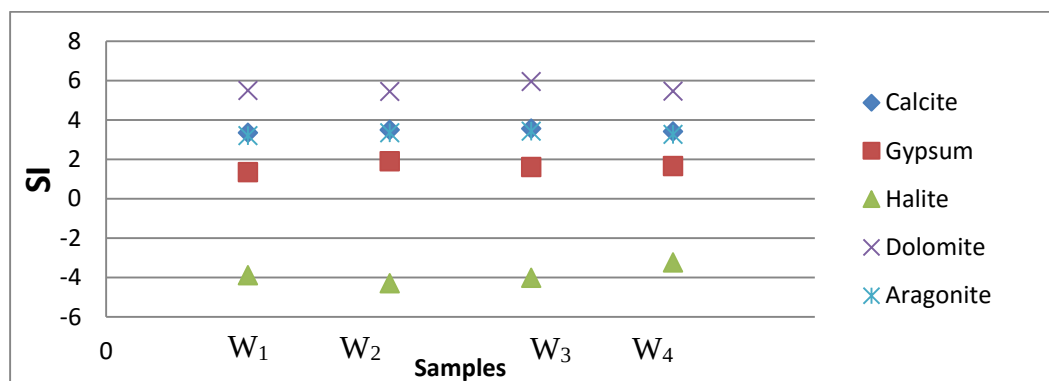
غلظت این یون‌ها در نمونه W2 از سایر نمونه‌ها بیشتر و بیش از دو برابر استاندارد می‌باشد. غلظت کلر

در W4 و سدیم در W1 و W4 بالا بوده و از مقدار استاندارد بیشتر است. مقدار بی‌کربنات و منیزیم این

آب‌ها نسبت به دیگر یون‌ها کمتر بوده که به دلیل مقدار کم آن‌ها در سنگ‌های منطقه است.

۴-۶-۶- ضریب اشباع شدگی (Saturation Index) نسبت به کانی‌های اصلی

ضریب اشباع شدگی کانی‌های مختلف با استفاده از نرم افزار phreeqc محاسبه شده است. مقدار ضریب اشباع شدگی کانی‌های اصلی برای نمونه‌های آب در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.



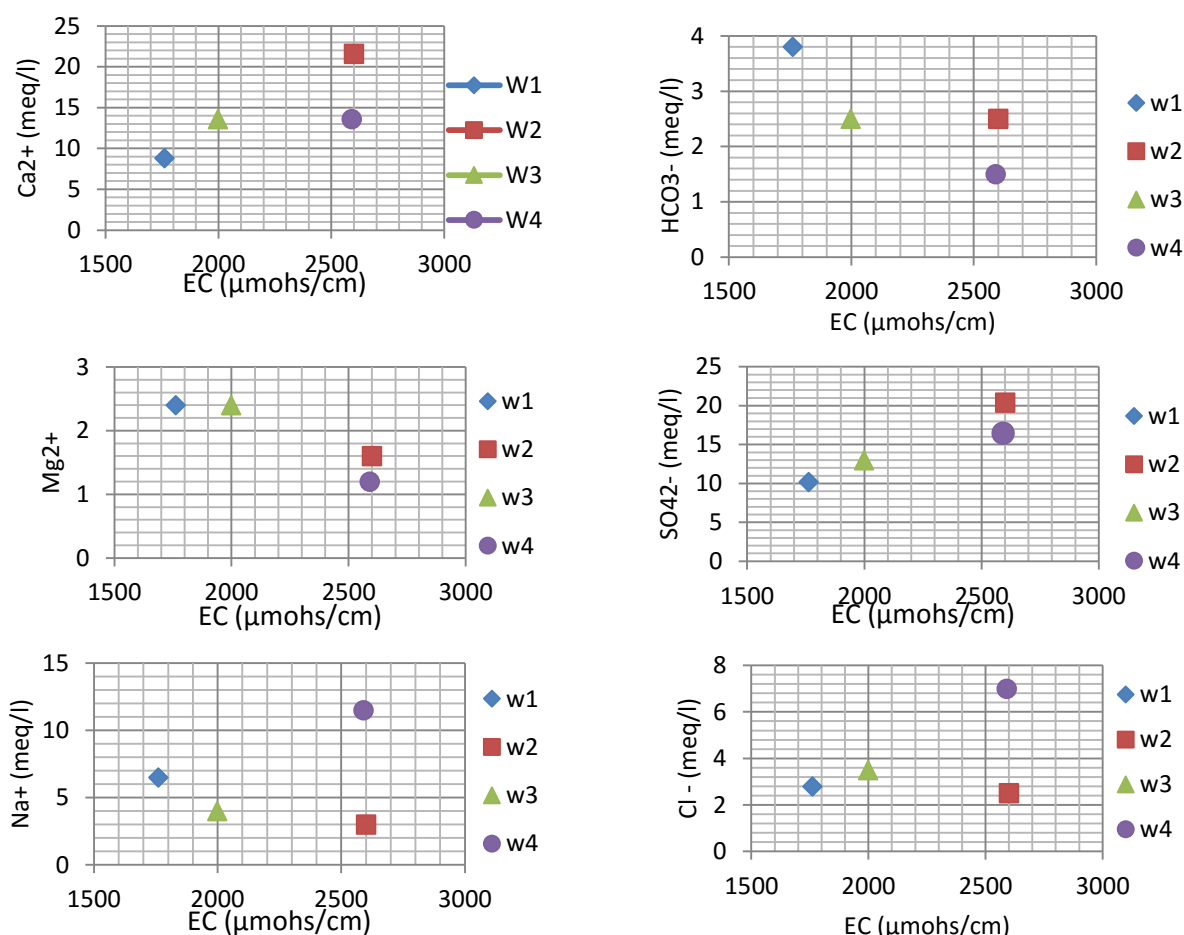
شکل ۶-۱۰: نمودار ضرایب اشباع شدگی (SI) کانی‌ها در نمونه‌های آب منطقه

ضرایب اشباع شدگی نشان می‌دهد که به جز کانی هالیت که در همه نمونه‌ها غیر اشباع است، این آب‌ها نسبت به چهار کانی دیگر (کلسیت، آراگونیت، دولومیت و ژیپس) فوق اشباع هستند. حالت فوق اشباع آب‌ها به کانی‌های مذکور بیانگر عدم توانایی محلول در انحلال بیشتر این کانی‌ها و به عبارت دیگر استعداد آن برای رسوب دادن این کانی‌ها می‌باشد. بنابراین غلظت پایین یون‌های کربنات و بی-کربنات نیز به دلیل حالت فوق اشباع آب‌ها نسبت به کانی‌های در بر دارنده این یون‌ها نظیر کلسیت و دولومیت می‌باشد که باعث شده این کانی‌ها رسوب کرده یا در فاز جامد باقی مانده و به شکل یون‌های سازنده وارد آب نشوند.

۵-۶-۶- مقایسه پارامترهای کیفی در نمونه‌های آب با یکدیگر

همان‌طور که در شکل ۶-۱۱ مشاهده می‌شود، هدایت الکتریکی با غلظت سولفات و کلسیم، همبستگی مثبت نشان می‌دهد بنابراین می‌توان افزایش هدایت الکتریکی را به حضور یون‌های فوق نسبت داد. کلر و سدیم نیز رابطه مثبت ضعیفی با هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. منیزیم و بی-کربنات همبستگی منفی با EC نشان می‌دهند و با افزایش آن کاهش می‌یابند. کاهش منیزیم و بی-کربنات به دلیل فوق

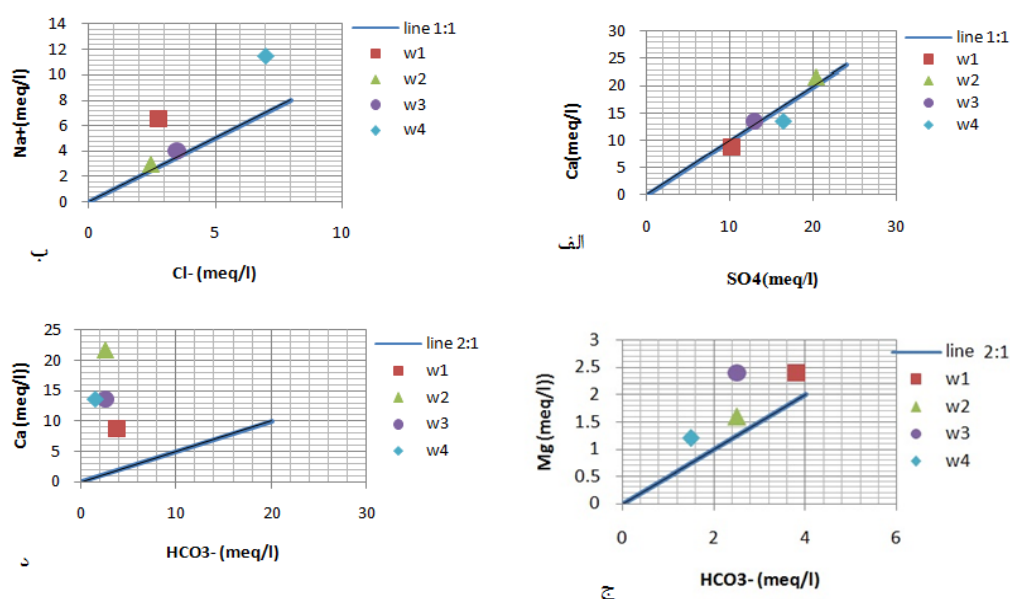
اشباع بودن آب نسبت به کانی‌های حاوی این یون‌ها و رسوب آن‌ها بوده است. ضمن این‌که کانی‌های حاوی این یون‌ها در فاز جامد (سنگ‌ها و رسوبات) نیز فراوانی کمی دارند (شکل ۶-۱۰). بطور کلی بالاترین همبستگی با هدایت الکتریکی مربوط به یون‌های سولفات و کلسیم می‌باشد.



شکل ۶-۱۱: نمودارهای غلظت یونهای اصلی در برابر هدایت الکتریکی

نمودارهای ترکیبی یون‌ها (شکل ۶-۱۲) نشان می‌دهند که سولفات و کلسیم همبستگی بسیار بالایی با هم دارند، اما کلسیم با کربنات همبستگی نشان نمی‌دهد. روند تغییرات منیزیم با بی‌کربنات یکسان و همبستگی مثبتی با هم دارند. کلسیم و سدیم همبستگی نسبتاً خوبی نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در نمودار سولفات - کلسیم، نمونه‌ها تقریباً روی خط ۱:۱ واقع شده‌اند؛ می‌توان نتیجه گرفت که منشأ این دو یون یکسان (احتمالاً ژئوپس) است. در نمونه‌های W₁ و W₄ مقدار کلسیم کمتر از سولفات ولی مقدار سدیم از کلسیم بیشتر شده است. بنابراین به احتمال زیاد تبادل یونی باعث جذب کلسیم و آزاد

سازی سدیم به درون آب شده است. البته با توجه به گسترش دگرسانی و همچنین خردشدگی تکتونیکی سنگ‌ها، هوازگی شیمیایی سنگ‌ها بر اثر افزایش سطح تماس کانی‌ها با آب‌های سطحی و زیرزمینی بالا می‌باشد. بنابراین ممکن است مقداری از سدیم محلول در این آب‌ها بر اثر هوازگی برخی از کانی‌ها مانند پلاژیوکلازهای سدیم‌دار آزاد شده باشد. همان طور که قبلاً نیز بیان شد، واحد-های سنگی اطراف W_2 به مقدار زیادی تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. دگرسانی موجب سست شدن سنگ‌های میزبان و دیواره و در نتیجه تسهیل آزاد سازی یون‌های مختلف به درون آب‌های زیرزمینی شده است که این خود نیز عاملی برای افزایش یون‌های محلول در نمونه W_2 بوده است. با توجه به کانی‌سازی سولفیدی در منطقه، اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی نیز می‌تواند عاملی برای افزایش سولفات در نمونه W_2 باشد.



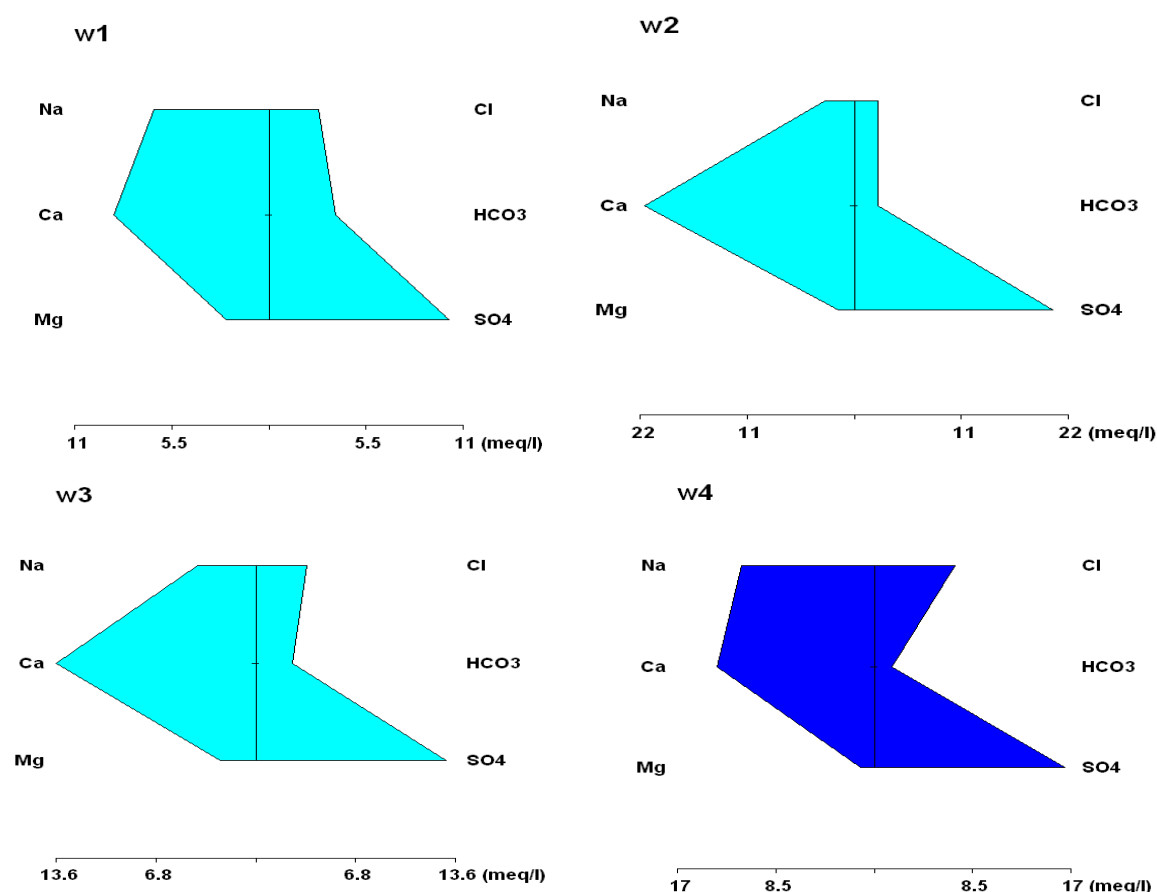
شکل ۶-۱۲: نمودارهای ترکیبی یون‌ها در نمونه‌های آب منطقه: الف) سدیم در برابر کلر، ب) کلسیم در برابر سولفات، ج) کلسیم در برابر بیکربنات، د) منیزیم در برابر بیکربنات

۶-۶-۶- تعیین تیپ نمونه‌های آب با استفاده از نمودارهای پایپر و استیف

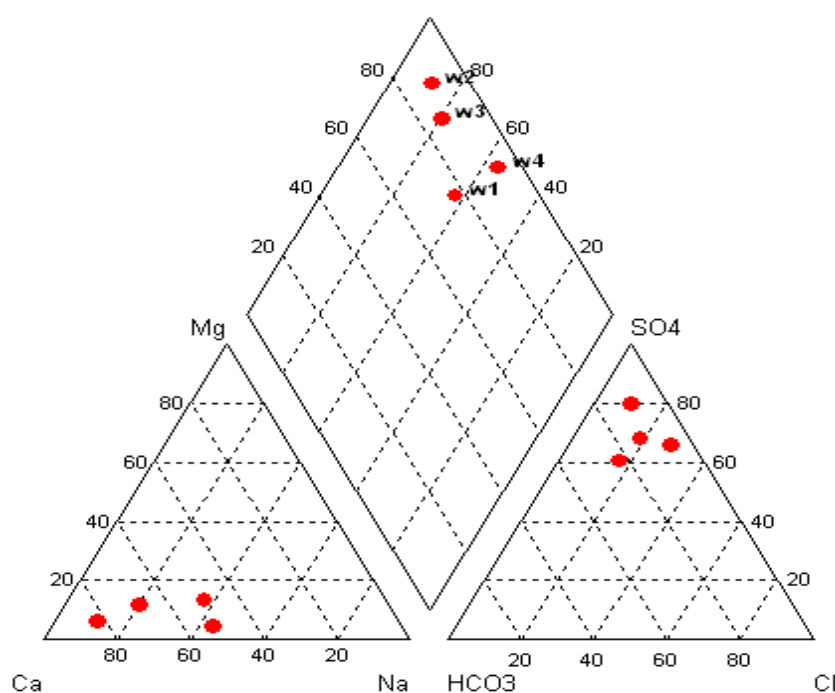
نمودارهای پایپر و استیف توسط نرم افزار Aquachem رسم گردید و در شکل‌هایی ۶-۱۳ و ۶-۱۴ نشان داده شده است. بر اساس نمودارهای استیف، که جهت مقایسه سریع و بصری نمونه‌ها سودمند

می‌باشد، سه نمونه W_1 , W_2 و W_3 شکل های نسبتاً مشابهی دارند که می‌تواند بیانگر منشأ یکسان آنها باشد. نمونه W_4 از لحاظ محتوای یونی کمی متفاوت از سایر نمونه‌ها است. در نمونه W_4 قطب کالر و سدیم بزرگتر از دیگر نمونه‌ها می‌باشد که غالب بودن این دو یون در این آب را نسبت به بقیه نمونه‌ها به خوبی نشان می‌دهد.

همان طور که در نمودار پایپر مشخص می‌باشد، آب‌های W_2 , W_3 و W_4 در قسمتی از نمودار قرار می‌گیرند که بیانگر بیش از ۵۰ درصد سختی غیرکربناته هستند و نمونه W_1 در بخشی قرار می‌گیرد که هیچ جز آنیون- کاتیونی از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند. بر اساس این نمودار تیپ تمامی نمونه‌های مورد مطالعه سولفات - کلسیک می‌باشد.



شکل ۶-۱۳: نمودارهای استیف نمونه‌های آب منطقه چشمه حافظ



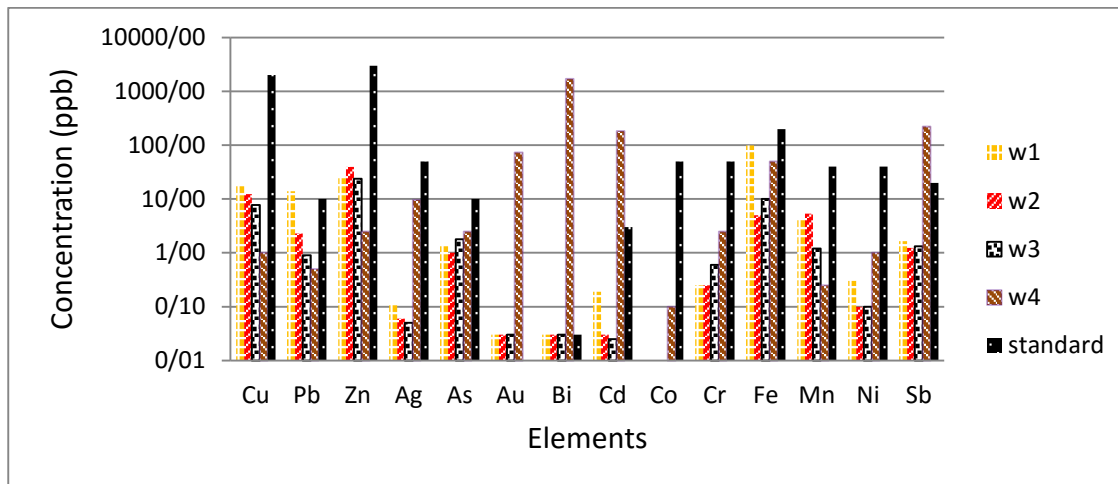
شکل ۶-۱۴: نمودار پایپر نمونه‌های آب منطقه چشمه حافظ

۶-۶-۶-۷- غلظت عناصر جزئی در نمونه‌های آب

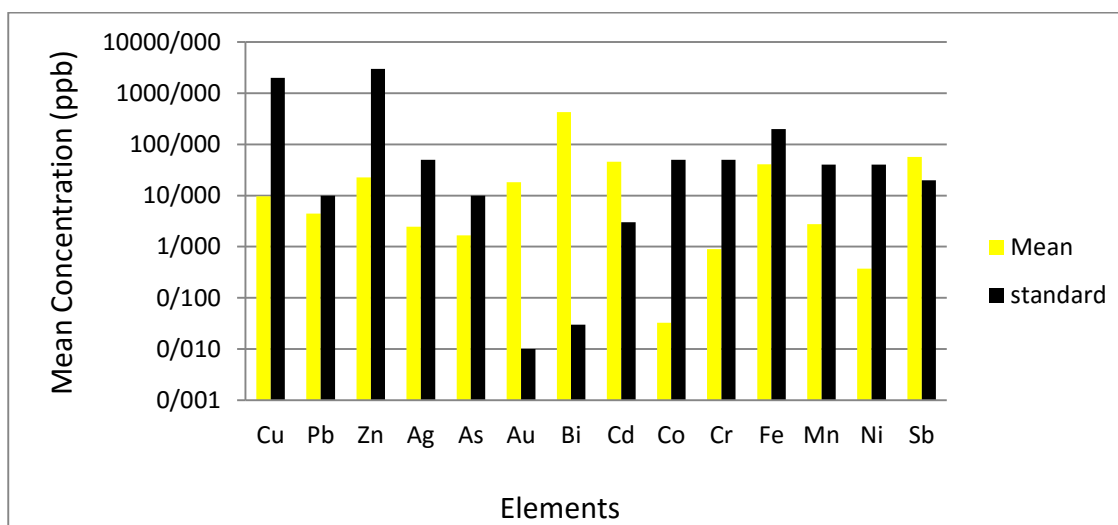
از آن جایی که به دلیل محدود بودن منابع آب زیرزمینی در منطقه، تعداد نمونه‌های آب برداشت شده کم بوده و بررسی‌های آماری از قبیل همبستگی برای آن‌ها مفهومی ندارد، در این قسمت فقط با مقایسه غلظت عناصر جزئی در این آب‌ها با استانداردهای آب آشامیدنی (WHO, 2008) و میانگین جهانی این عناصر در آب‌ها و همچنین مقایسه این غلظت‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه، آلودگی احتمالی این آب‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. غلظت هریک از عناصر در هر نمونه و میانگین این عناصر در آب چشمه‌های مورد مطالعه، به ترتیب در نمودارهای ۶-۱۵ و ۶-۱۷ نشان داده شده است. بر این اساس در ادامه هر کدام از این عناصر به صورت مجزا بررسی می‌شوند.

طبق این نتایج نمونه‌های W_2 و W_3 نسبت به عناصر مورد بررسی هیچ‌گونه آلودگی نشان نمی‌دهند و غلظت این عناصر پایین‌تر از حد استاندارد تعیین شده آب شرب برای این عناصر است. در نمونه W_1 به جز عنصر سرب که آلودگی اندکی نشان می‌دهد، دیگر عناصر فاقد آلودگی بوده و غلظت آنها پایین‌تر از حد استاندارد می‌باشد. در نمونه W_4 آلودگی شدیدی به عناصر بیسموت، کادمیم و آنتیموان

مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۶-۱۵، عناصر روی، آرسنیک، کبالت، کروم، آهن، منگنز و نیکل هیچ‌گونه آلودگی در نمونه‌های آب نشان نداده و مقدار آن‌ها بسیار پایین‌تر از حد مجاز است.



شکل ۶-۱۵: غلظت عناصر جزئی در آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ

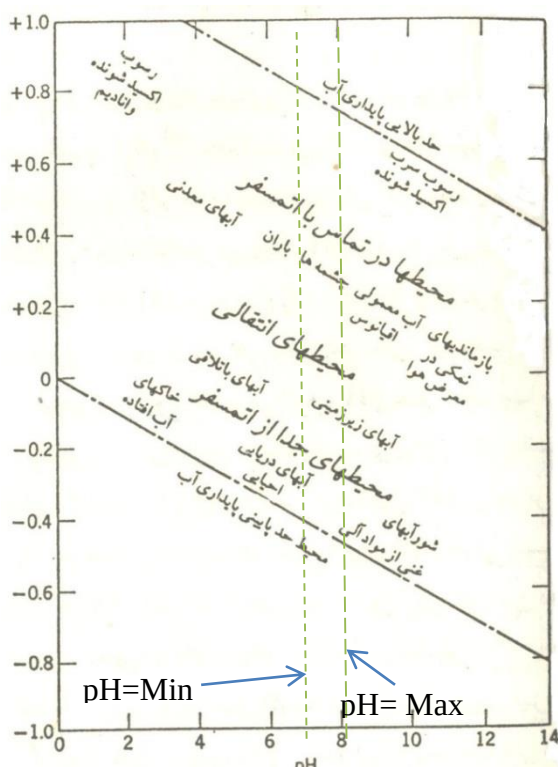


شکل ۶-۱۶: غلظت میانگین عناصر در آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه حافظ در مقایسه با

استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2008)

عواملی چون پتانسیل یونی عناصر، غلظت یون هیدروژن در آب و پتانسیل اکسیداسیون - احیاء محیط عوامل اصلی کنترل کننده انحلال و رسوب‌گذاری عناصر می‌باشند و غلظت هر عنصر را در آب کنترل می‌کنند (میسون و مر، ۱۹۱۷)، البته مقدار عنصر مورد نظر در ماده مرجع (مثلاً سنگ منشأ در ارتباط با آب زیرزمینی و مواد تشکیل دهنده آبخوان) نیز در غلظت آن تأثیر گذار است. انحلال، انتقال

و رسوب گذاری عناصری که ممکن است دارای دو یا تعداد بیشتری حالت اکسیداسیون باشند، مستقیماً تحت تأثیر pH محیط قرار می گیرد. با افزایش pH، پتانسیل اکسیداسیون - احیاء بسیاری از واکنش ها بشدت کاهش می یابد (میسون و مر، ۱۹۱۷). با توجه به نمودار pH و Eh (شکل ۶-۱۷) برای محیط های طبیعی، آب های زیرزمینی در بخشی از نمودار قرار می گیرند که از نظر Eh دارای شرایط احیایی و از نظر pH خنثی تا کمی قلیایی می باشند اما همان طور که ملاحظه می شود برای نقطه خروجی آب های زیرزمینی (چشمه ها)، شرایط کاملاً اکسیدی می باشد در حالی که pH همچنان خنثی است. با در نظر گرفتن این شرایط، غلظت برخی از عناصر در نمونه های آب مورد بررسی قرار می گیرد.

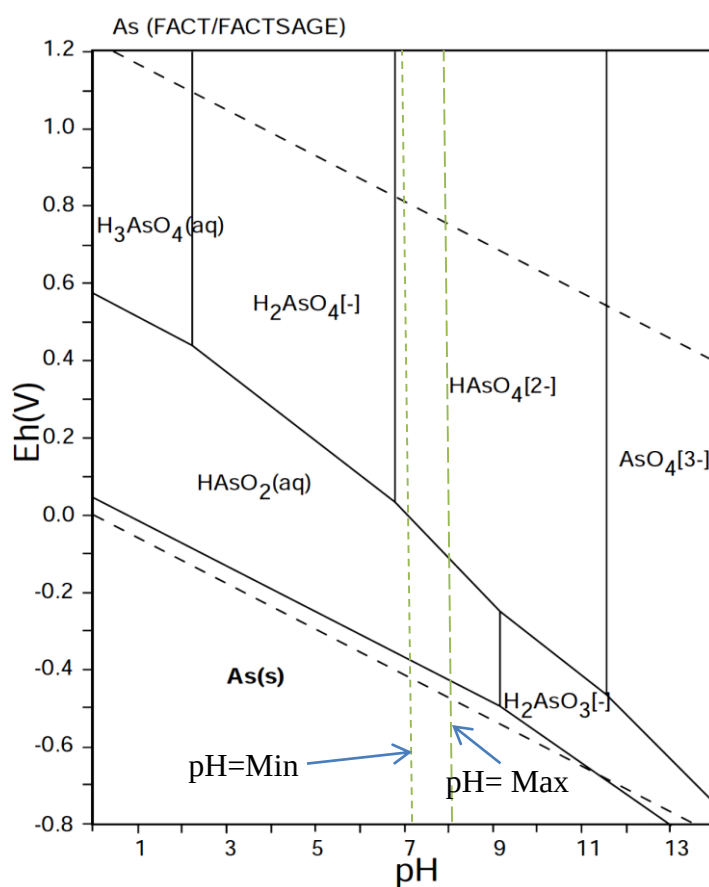


شکل ۶-۱۷: نمودار pH و Eh محیط های طبیعی (میسون و مر، ۱۹۱۷)

۶-۶-۷-۱- آرسنیک

بالاترین غلظت این عنصر در آب های مورد مطالعه مربوط به نمونه W4 بوده و برابر ۲/۵ میکروگرم برلیتر می باشد. این میزان، کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم برلیتر) می باشد. محدوده (کمینه و بیشینه) pH نمونه های مورد مطالعه به صورت خط چین بر روی

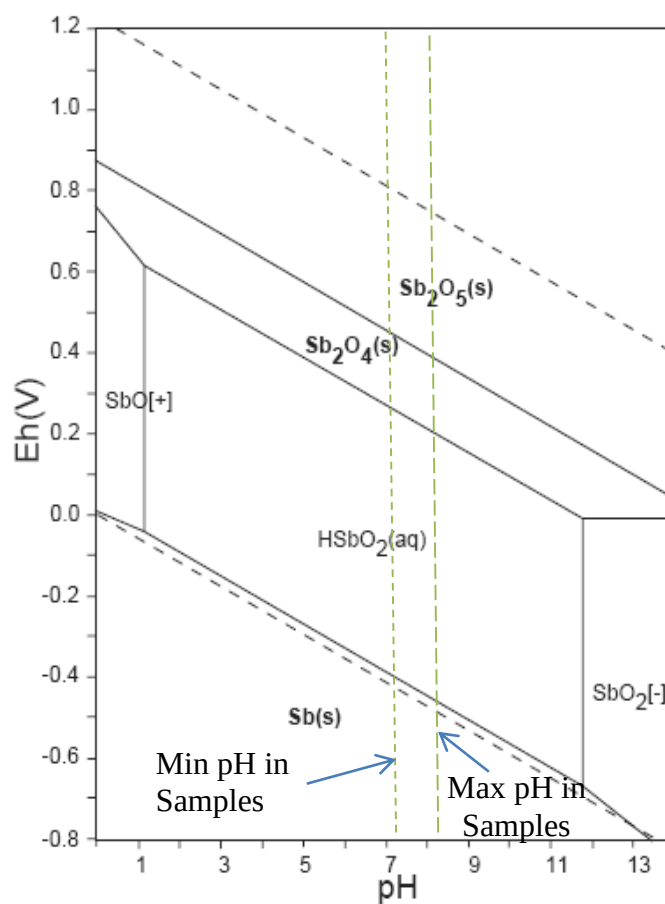
نمودار Eh-pH سیستم As-O-H، مشخص شده است. با توجه به شکل ۶-۱۷، قبل از رسیدن آب‌ها به سطح زمین به دلیل وجود شرایط احیایی ($Eh < 0$)، آرسنیک می‌تواند به صورت $HAsO_2$ یا $HAsO_4^{2-}$ در آب محلول باشد ولی در شرایط سطحی که کاملاً اکسیدی است و pH به صورت قلیایی می‌باشد، As می‌تواند به صورت کمپلکس $HAsO_4^{2-}$ حضور یابد (شکل ۶-۱۸). بنابراین در این نمونه‌ها می‌توان گفت که آرسنیک احتمالاً، به صورت $HAsO_4^{2-}$ در آب حضور دارد.



شکل ۶-۱۸: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم As-O-H در دمای $25^{\circ}C$ و فشار ۱ اتمسفر (Takeno, 2005)

۶-۷-۲- آنتیموان

غلظت آنتیموان در آب‌های زیرزمینی چشمه‌حافظ پایین بوده ولی مقدار آن در نمونه W_4 بسیار بالاست ($221/9$ میکروگرم بر لیتر) (شکل ۶-۱۵). آنتیموان در شرایط pH و Eh آب‌های زیرزمینی به شکل $HSbO_2(aq)$ در آب حضور دارد. در شرایط اکسیدی به شکل Sb_2O_4 اکسید شده و رسوب می‌کند (شکل ۶-۱۹).



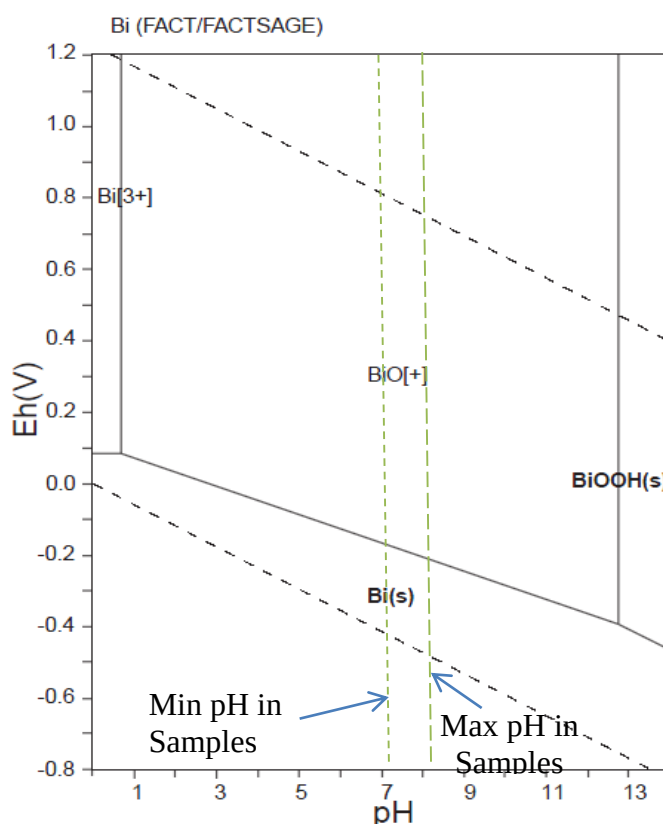
شکل ۶-۱۹: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Sb-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر
(Takeno, 2005)

با توجه به غلظت بالای این عنصر در سنگ‌های منطقه و همچنین محلول بودن آن در شرایط احیایی زیر سطحی می‌توان گفت که قبل از رسیدن آب‌ها به سطح زمین، غلظت آنتیموان در آن‌ها بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در این نمونه‌هاست.

نظر به این که نمونه W4 در پایین‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه واقع شده، در نتیجه، آب زمان بیشتری برای تماس با سنگ‌ها و کانی‌های حاوی این عنصر و انحلال آن داشته که باعث افزایش غلظت آن شده است. در pH نزدیک به خنثی در این نمونه و در شرایط سطحی ممکن است مقداری از آنتیموان به صورت حل شده در آن باقی بماند. با در نظر گرفتن اینکه W4 آب مصرفی ساکنین روستای کلاته میرزا را تأمین می‌کند، غلظت بسیار بالای این عنصر می‌تواند مشکلاتی را برای آن‌ها ایجاد کند.

۶-۶-۷-۳- بیسموت

همان طور که مشاهده می‌شود (شکل ۶-۱۵) غلظت بیسموت در نمونه W₄ بالا (۱۷۱۰ میکروگرم بر لیتر) می‌باشد. در حالی که این غلظت در سایر نمونه‌ها بیش از هزار برابر کمتر از این مقدار است. با توجه به این که بیسموت در بازه وسیعی از pH و Eh محلول می‌باشد، در صورت حضور در کانی‌های تشکیل دهنده آبخوان، می‌تواند در آب حل شود (شکل ۶-۲۰)، غلظت بالای این عنصر در این نمونه به دلیل انحلال آن از کانی‌های حاوی آن است.



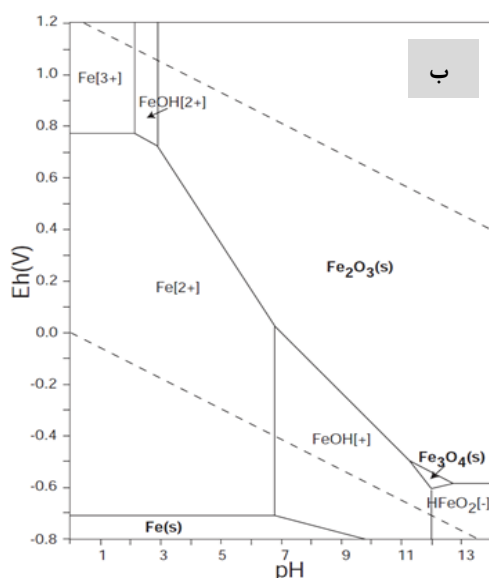
شکل ۶-۲۰: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Bi-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر

(Takeno, 2005)

بنابراین افرادی که از این آب مصرف می‌کنند احتمالاً در معرض اثرات مخرب آن که قبلاً ذکر شد قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که آزاد سازی بیسموت از کانی‌ها در شرایط احیایی زیر سطحی، تابع عناصر همراه آن از قبیل سرب و آنتیموان در کانی‌ها نیز می‌باشد و ممکن است با آزاد سازی یکی، دیگری در ساختار کانی تثبیت شده یا جایگزین شود.

۴-۶-۷- آهن

به رغم اینکه آهن دومین فلز فراوان پوسته زمین است، غلظت آن در آب‌های طبیعی پایین می‌باشد که به دلیل انحلال پذیری بسیار پایین ترکیبات سه ظرفیتی آن در محیط‌های اکسیدی و قلیایی است. همان‌طور که در شکل ۶-۲۱ مشاهده می‌شود، در بازه وسیعی از pH و Eh آهن به شکل Fe_2O_3 بوده و نامحلول است و فقط در pH های بسیار اسیدی و Eh های احیا کننده به شکل آهن دوظرفیتی محلول است. غلظت پایین این عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق نیز به دلیل انحلال پذیری بسیار پایین آن است. همان‌گونه که در شکل ۶-۱۵ مشاهده می‌شود، غلظت آهن در نمونه W1 چند برابر آن در نمونه‌های دیگر است. شرایط احیایی در داخل سفره، احتمالاً باعث آزاد سازی آهن به شکل Fe^{2+} محلول شده، بنابراین احتمالاً قبل از رسیدن به سطح زمین غلظت آن بسیار بیشتر از این بوده و در شرایط سطحی به سرعت اکسید شده و به صورت اکسید و هیدروکسیدهای Fe^{3+} رسوب کرده است که رسوبات قرمز رنگ بستر آبراهه در کنار چشمه نیز شواهدی برای اثبات این استدلال می‌باشد (شکل ۶-۲۱).

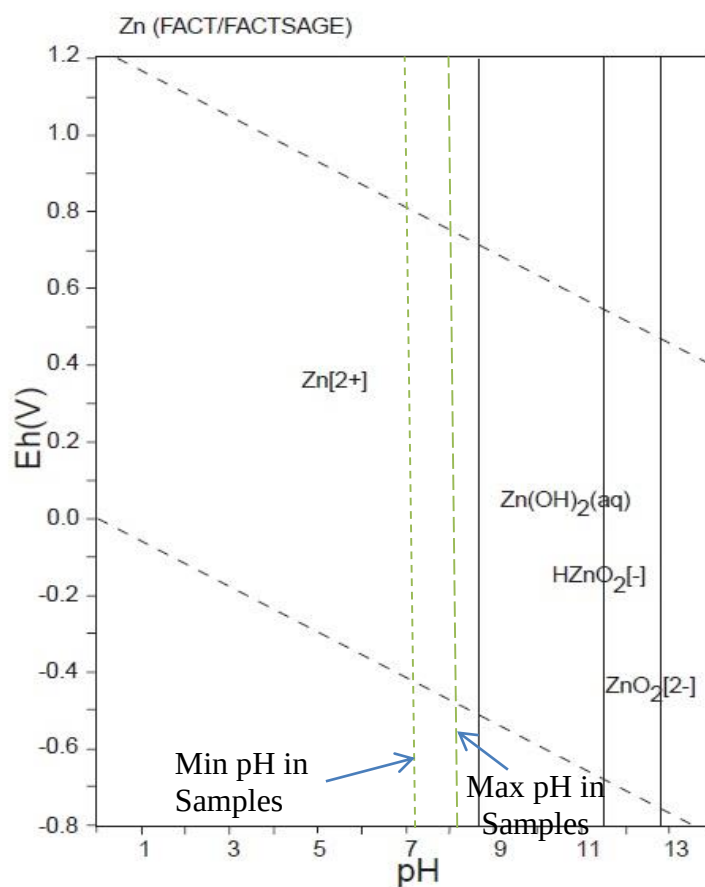


شکل ۶-۲۱: رسوبات قرمز رنگ در نمونه W1 به دلیل رسوب اکسید و هیدرواکسید آهن سه ظرفیتی در نزدیکی این چشمه (الف) و نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Fe-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر (ب) (Takeno, 2005).

به طور کلی غلظت آهن در نمونه‌های آب مورد مطالعه از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب شرب (۲۰۰ ppb) و میانگین جهانی غلظت آن در آب‌های زیرزمینی (۷۵۰ ppb) (Kabata-Pendias and Pendias, 1999) به حد قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر است که به دلیل مقدار کم آهن در سنگ‌ها و مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی در منطقه است.

۶-۶-۷-۵- روی

روی در طی فرایندهای هوازدگی تحرک زیادی دارد و محلول می‌باشد (Kabata-Pendias, 2007). در نمودار Eh-pH مربوط به این فلز (شکل ۲-۲۲) مشاهده می‌شود که روی در محیط‌های اسیدی تا pH نزدیک به ۹، در همه بازه‌های Eh محلول بوده ولی در صورت وجود کربنات و آنیون‌های گوگرد، می‌تواند به آسانی با آن‌ها واکنش داده و رسوب کند (Kabata-Pendias, 2007).



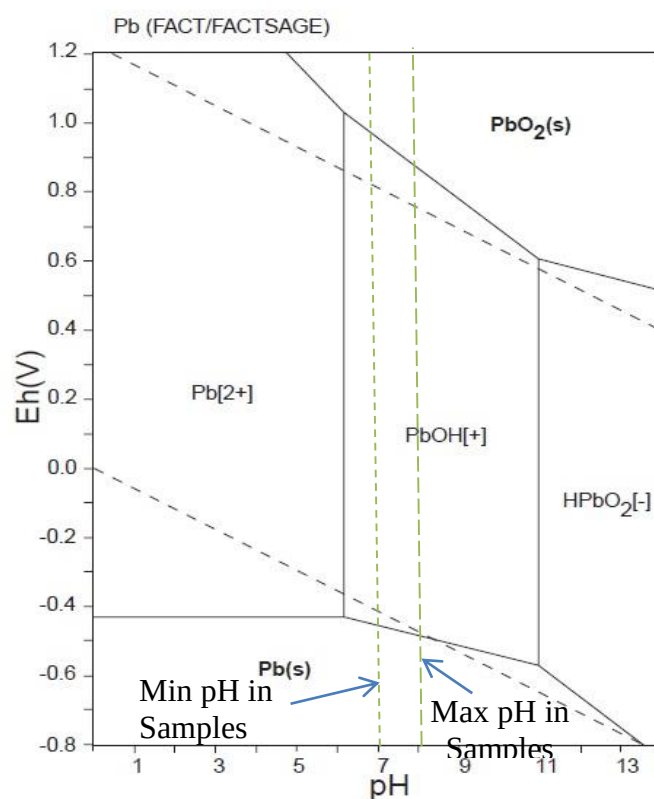
شکل ۲-۲۲: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Zn-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر

(Takeno, 2005)

غلظت روی در آبهای منطقه مورد مطالعه (میانگین $22/6$ میکروگرم برلیتر) بسیار پایین تر از مقدار استاندارد تعیین شده آن (3000 میکروگرم برلیتر) برای آب شرب است و هیچ‌گونه آلودگی در این آب‌ها نشان نمی‌دهد. البته غلظت روی در این آب‌ها هزاران بار بیشتر از غلظت میانگین آن ($0/0002$ میکروگرم برلیتر) در آب‌های شرب است (Kabata-Pendia and Mukherjee, 2007) غلظت بالای روی نسبت به میانگین آن در آب‌ها احتمالاً به دلیل انحلال پذیری و همچنین غلظت بالای آن در سنگ‌های منطقه می‌باشد.

۶-۶-۶-۶ سرب

مقدار سرب در نمونه W_1 ، کمی بیشتر از حد استاندارد آب شرب بوده و آلودگی نشان می‌دهد ولی در بقیه نمونه‌ها مقدار آن ناچیز است. مقدار سرب در آب‌های شرب بین 2 تا 3 میلی‌گرم در لیتر متغیر است (U.S. EPA, 2003).



شکل ۶-۲۳: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Pb-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر

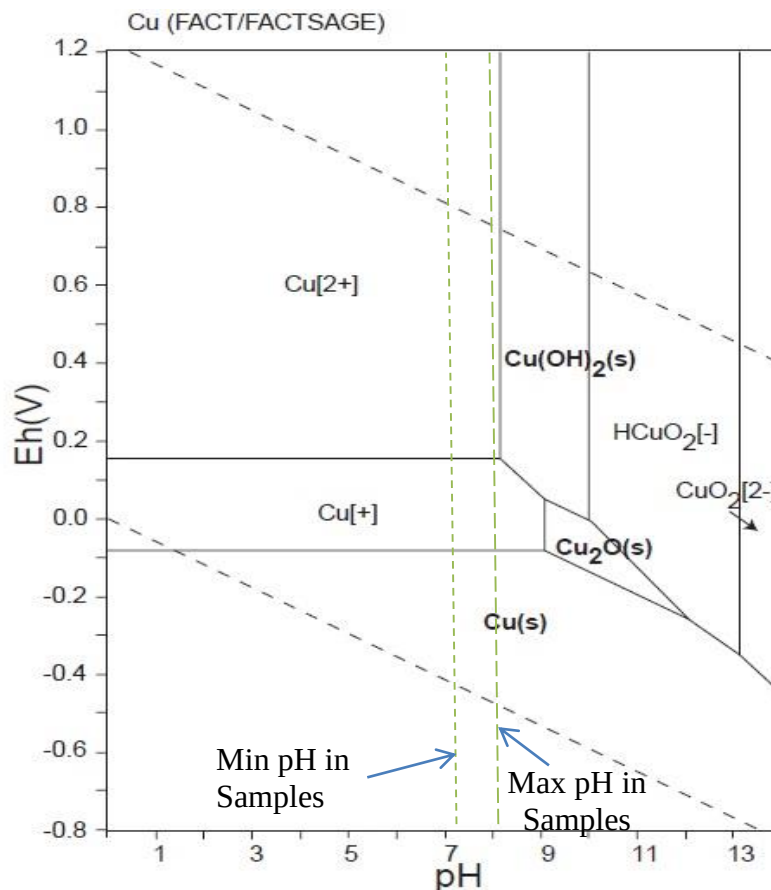
(Takeno, 2005)

لذا غلظت سرب در نمونه W1 بالاتر از مقدار آن در آب‌های شرب است ولی غلظت سایر نمونه‌ها کمتر بوده یا در این محدوده قرار گرفته‌اند. احتمالاً شرایط احیایی و تماس آب با رگه اصلی در زیر سطح زمین، حین عبور از داخل سنگ‌ها باعث انحلال سرب از کانی‌های آن (مانند کانی‌های سولفیدی) شده و غلظت این فلز را در این نمونه افزایش داده است. با توجه به نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Pb-O-H، سرب (شکل ۶-۲۳)، در بازه وسیعی از Eh-pH به شکل‌هایی مختلف محلول بوده و در محدوده pH مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه، کمپلکس $Pb(OH)^+$ را تشکیل داده و در آب محلول می‌باشد.

۶-۷-۷-۶-۷-۶ مس

مقدار مس نیز در نمونه W1 نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است و در نمونه W2 نیز کمی بالاتر از دو نمونه دیگر است. با توجه به این که این دو چشمه در مجاورت رگه اصلی هستند می‌توان نتیجه گرفت که بالا بودن مقدار مس، سرب و روی در این نمونه‌ها به علت انحلال کانه‌های حاوی این عناصر می‌باشد. در مقایسه با حداکثر مجاز تعیین شده برای مس توسط سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰ ppb)، نمونه‌های مورد مطالعه غلظت بسیار پایین‌تری نشان می‌دهند.

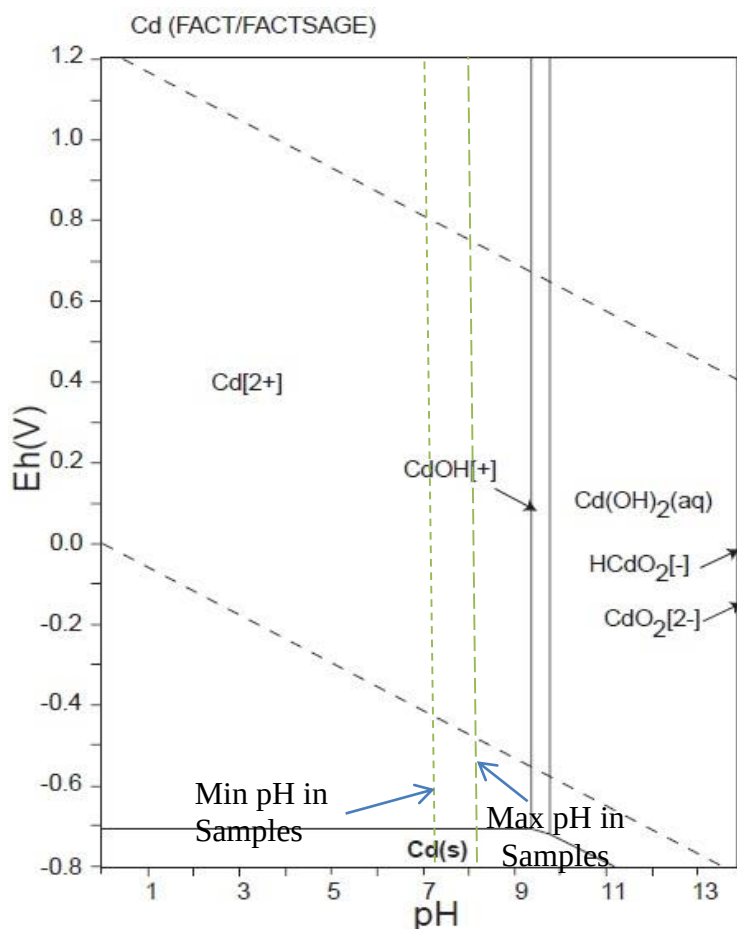
مقدار مس در آب‌های آشامیدنی در محدوده ۰/۰۴ تا ۳ ppb متغیر بوده (U.S. EPA, 2003) که غلظت مس در نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه چندین برابر آن می‌باشد. غلظت بالای این فلز در سنگ‌ها و رگه‌های بالادست چشمه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه و انحلال پذیری آن در محیط‌های اسیدی تا کمی قلیایی (شکل ۶-۲۴) باعث شده تا غلظت مس در این آب‌ها بالاتر از مقدار مشابه جهانی آن باشد. در بازه pH نمونه‌های مورد مطالعه که به صورت خط چین بر روی نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cu-O-H مشخص شده، این فلز به صورت یون Cu^{2+} محلول می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود مس در شرایط زیرسطحی به شکل مولکولی و یا یون Cu^+ پایدار است در حالی که در شرایط سطحی به یون Cu^{2+} اکسید می‌شود.



شکل ۶-۲۴: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cu-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر
(Takeno, 2005)

۶-۷-۸- کادمیم

سازمان بهداشت جهانی غلظت مجاز این عنصر در آب را ۳ میکروگرم برلیتر اعلام کرده است. غلظت کادمیم در آب‌های مورد مطالعه به استثنای W_4 در حد مجاز آشامیدن است. مقدار کادمیم در W_4 (۱۸۳/۴ میکروگرم برلیتر) حدود ۲۰ برابر غلظت مجاز تعیین شده توسط WHO بوده و به شدت آلودگی نشان می‌دهد. با توجه به بالا بودن مقدار کادمیم در سنگ‌های منطقه و تماس آب‌های زیرزمینی با این سنگ‌ها و آبرفت‌های حاصل از آن‌ها ممکن است علت افزایش غلظت این عنصر در نمونه‌های آب باشد. با توجه به نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cd-O-H (شکل ۶-۲۵)، کادمیم در تمام بازه‌های پایداری آب می‌تواند به شکل محلول حضور داشته باشد و در محدوده pH مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه به صورت یون Cd^{2+} پایدار می‌باشد.



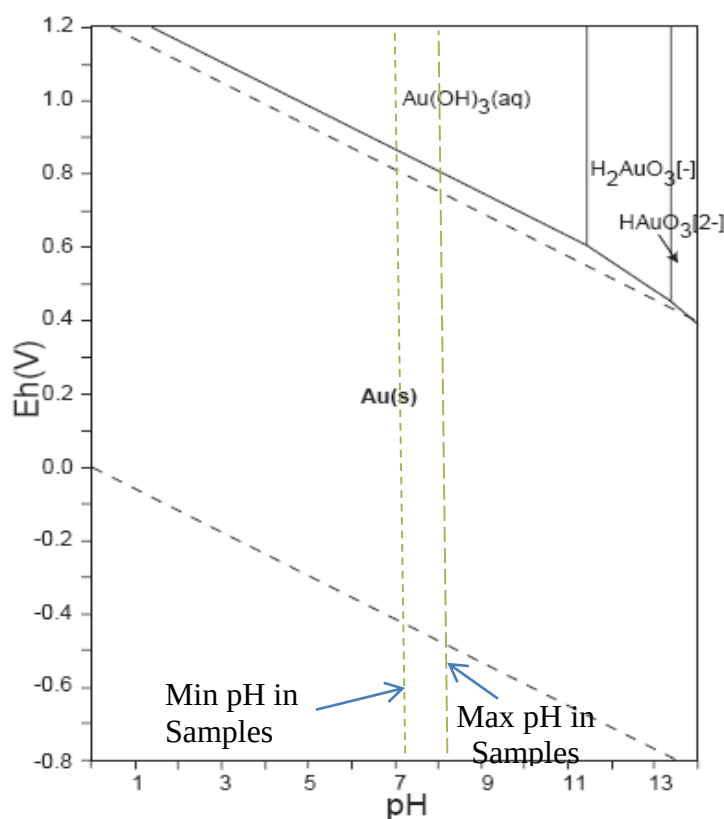
شکل ۶-۲۵: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Cd-O-H در دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر
(Takeno, 2005)

۶-۶-۷-۹- طلا

از آنجایی که جذب طلا از راه دستگاه گوارش ناچیز است، مصرف آن در مواد غذایی در مقادیر پایین مسمومیت خاصی ایجاد نمی‌کند یا به عبارت بهتر طلا در رده عناصر سمی قرار نمی‌گیرد (Ishida, 2004). در این تحقیق به علت غلظت بسیار بالای این فلز در نمونه‌های آب و رسوب (در برخی نمونه‌ها در حد عیار اقتصادی)، مورد بررسی قرار گرفته است.

مطابق نمودار pH و Eh مربوط به طلا (شکل ۶-۲۶)، این عنصر در تمامی pH و Eh ها نامحلول بوده و به صورت جامد است. ولی بر خلاف این انتظار، غلظت طلا در نمونه W₄ (۷۳/۲ میکروگرم برلیتر)، بسیار بالا است. در حالی که غلظت طلا در سایر نمونه‌ها کمتر از ۰/۰۵ میکروگرم برلیتر است. البته ممکن است طلای عنصری (غیر محلول) به صورت چسبیده به کلوئیدها و ذرات معلق در این آب

حضور داشته باشد. با این حال با توجه به اینکه قنات کلاته میرزا (W_4) در فاصله دورتری از محل تغذیه واقع شده است زمان ماندگاری آب در سفره نیز بیشتر بوده در نتیجه آب زمان بیشتری برای جدا سازی این عنصر از بخش جامد داشته است. نکته قابل توجه در این جا، غلظت بالای طلا، بیسموت، کادمیم و آنتیموان در نمونه W_4 بوده که معمولاً با هم در فازهای جامد (کانی‌ها) حضور دارند و این موضوع به دلیل منشأ یکسان آن‌ها می‌باشد این در حالی است که غلظت مس، سرب و روی در این نمونه پایین‌تر از سایر نمونه‌ها است.



شکل ۶-۲۶: نمودار Eh-pH مربوط به سیستم Au-O-H در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر (Takeno, 2005)

بنابر آنچه گفته شد، نمونه W_4 احتمالاً دارای منشأ متفاوت از سه نمونه دیگر باشد. همانطور که در نمودارهای استیف (شکل ۶-۱۳) نیز مشاهده می‌شود، این نمونه از نظر محتوای یون‌های اصلی نیز کمی با نمونه‌های دیگر متفاوت می‌باشد.

۶-۷-۱۰- سایر عناصر

عناصر نیکل، منگنز، کروم و کبالت هیچ آلودگی در آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه‌حافظ نشان نمی‌دهند و غلظت آن‌ها در این آب‌ها بسیار اندک و در مقایسه با حد مجاز این عناصر در آب آشامیدنی، ناچیز و قابل چشم پوشی است. با توجه به تمرکز خیلی کم این عناصر در سنگ‌های منطقه (شکل ۶-۱)، مقدار اندک آن‌ها در آب نیز قابل توجیه است. نقره برخلاف تمرکز نسبتاً بالایی که در منطقه دارد، به جز در نمونه W4 که غلظت نسبتاً بالایی نشان می‌دهد، در سایر نمونه‌ها دارای غلظت بسیار پائینی است (شکل ۶-۱۵).

با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های آب برداشت شده از آب‌های زیرزمینی منطقه چشمه‌حافظ، این آب‌ها از نظر کیفی در حد استاندارد شرب نیستند و EC و TDS در تمامی نمونه‌ها به ترتیب بالای ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند. pH در نمونه‌ها از خنثی تا کمی قلیایی متغیر می‌باشد. غلظت یونهای سولفات و کلسیم در تمامی نمونه‌ها از حداکثر مجاز آشامیدنی بالاتر بوده و در چشمه کلاته میرزا (W4) علاوه بر غلظت بالای سولفات و کلسیم، غلظت کلر و سدیم نیز بالا می‌باشد. از آنجایی که این نمونه، آب مصرفی این روستا را تأمین می‌کند؛ توجه به کیفیت نامناسب این چشمه از اهمیت خاصی برخوردار است.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که نمونه W4، نسبت به طلا، بیسموت، کادمیم و آرسنیک به شدت آلوده بوده و نمونه W1 آلودگی اندکی به سرب نشان می‌دهد. دو نمونه W2 و W3 نسبت به هیچکدام از عناصر مورد بررسی آلوده نیستند. لازم به ذکر است که چشمه کلاته میرزا (W4)، منبع اصلی تأمین آب شرب ساکنین محل (حدود هفتاد نفر) می‌باشد. کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه باعث بالا رفتن غلظت برخی از عناصر در رگه‌ها و سنگ‌های میزبان شده است. غلظت فلزات مس، روی و نقره نیز اگرچه پایین‌تر از مقدار مجاز است ولی در مقایسه با میانگین آن‌ها در آب‌های شرب بسیار زیاده‌تر می‌باشد. غلظت بالای عناصر در آب‌های زیرزمینی، احتمالاً منشأ طبیعی داشته و با دگرسانی، هوازدگی و فرسایش سنگ‌های غنی از این عناصر مرتبط است.

فصل هفتم

نتیجہ گیری و پیشہاوا

۷-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نمونه‌های برداشت شده از منطقه معدنی چشمه‌حافظ، مشخص شد که سنگ‌های منطقه حاوی غلظت بالایی از عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، مس، سرب، روی، طلا و نقره می‌باشند. آلودگی به چند عنصر و فلز سنگین در رسوبات به شدت بالاست که این آلودگی به طور طبیعی در منطقه وجود دارد و فعالیت‌های انسان‌زاد (معدنکاری) آن را تشدید کرده است. آرسنیک عنصری است که آلودگی طبیعی آن در رسوبات به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. فعالیت‌های معدنی بیشترین تأثیر را در انتشار فلزات مس، سرب، روی، نقره و طلا در رسوبات منطقه داشته‌اند. باطله‌ها و مواد معدنی رها شده در مسیر آبراهه‌ها عامل اصلی توزیع عناصر و فلزات سنگین در رسوبات بوده است.

مطالعه بافت و درصد مواد آلی رسوبات نشان داده است که اندازه رسوبات مورد مطالعه بیشتر در حد ماسه تا گراول بوده و درصد گل آن‌ها بسیار پایین می‌باشد. بنابراین فلزات و عناصر جزئی بیشتر در ساختمان کانی‌های اکسیدی و سولفیدی این عناصر حمل شده‌اند و کمتر به شکل آزاد یا به صورت جذب سطحی کانی‌های رسی جابه‌جا شده‌اند. درصد مواد آلی در این رسوبات ناچیز بوده و به نظر می‌رسد نقش قابل توجهی در جذب و انتقال فلزات سنگین نداشته است.

ارزیابی کمی آلودگی فلزی در رسوبات مورد مطالعه با محاسبه شاخص‌های مختلف از قبیل، ضریب غنی‌شدگی (EF)، ضریب زمین‌انباشت (Igeo)، ضریب آلودگی (CF) و ضریب بار آلودگی (PLI) انجام شد. با توجه به ضرایب غنی‌شدگی محاسبه شده، سرب، مس، روی، نقره، طلا و بیسموت در رسوبات منطقه مورد مطالعه به شدت غنی‌شدگی نشان می‌دهند. آرسنیک در نمونه‌های گرفته شده از آبراهه-های فرعی (نمونه‌های شاهد) غنی‌شدگی دارد که بیان‌گر این مطلب است که غلظت آرسنیک به طور طبیعی در رسوبات منطقه زیاد می‌باشد.

بر اساس میانگین Igeo عناصر مورد مطالعه در منطقه، به طور کلی این منطقه نسبت به سرب آلودگی شدید، به مس، نقره، طلا، کادمیم و روی آلودگی متوسط و نسبت به سایر عناصر فاقد آلودگی

است.

طبق ضرایب آلودگی به دست آمده برای عناصر مورد مطالعه، بیشتر نقاط به مس، سرب، نقره، طلا، بیسموت، آرسنیک و کادمیم آلوده بوده و در این میان مس، سرب، نقره، طلا و بیسموت شدیداً آلودگی نشان می‌دهند. با توجه به ضرایب بار آلودگی برای نقاط نمونه‌برداری، ایستگاه‌های S₁، S₁₇، S₂₄ و S₂₅ بدون آلودگی بوده و بقیه نقاط آلوده هستند.

با توجه به ضرایب همبستگی محاسبه شده برای پارامترهای مختلف در رسوبات منطقه، مقدار مواد آلی هیچ رابطه‌ای با pH و سایر پارامترها ندارد. pH رسوبات رابطه معنی‌دار منفی با فلزات مس، سرب، روی، نقره، منگنز، طلا، کادمیم و بیسموت دارد. سرب همبستگی بالایی با مس، روی، نقره، طلا، کادمیم، بیسموت و منگنز دارد که علت آن، رخداد کانی‌های این عناصر با کانی‌های سرب و حضور این فلزات به صورت ناخالصی در کانی گالن می‌باشد. بیسموت نیز همبستگی مثبت خوبی با این فلزات نشان می‌دهد که به دلیل همراهی بیسموت با این فلزات در کانی‌های آن‌هاست.

آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه از نظر پارامترهای کیفی وضعیت نامطلوبی دارند، زیرا غلظت آنیون-ها و کاتیون‌های اصلی در آن‌ها بسیار بالا و چندین برابر مقادیر استاندارد می‌باشد. بطوری که هدایت الکتریکی در آن‌ها به بالاتر از ۱۷۰۰ میکروموس برسانتی‌متر رسیده است. از نظر غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی نمونه W₄ نسبت به طلا، بیسموت، کادمیم و آنتیموان شدیداً آلوده بوده و نمونه W₁ کمی به سرب آلوده می‌باشد و دو نمونه دیگر هیچ‌گونه آلودگی نشان نمی‌دهند.

۷-۲- پیشنهادها

- همان‌طور که در این مطالعه مشخص شد، آب و رسوب این منطقه به فلزات سنگین آلوده می‌باشند. بنابراین نیاز است که منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی پزشکی و تأثیر این آلودگی‌ها بر ساکنین منطقه مورد مطالعه قرار گیرد.
- نظر به آلودگی آب زیرزمینی در بعضی از نقاط، مطالعه جامع آلودگی منابع آب در کل منطقه ترود-چاه‌شیرین ضروری می‌باشد.
- ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه به فلزات سنگین و ارتباط آن با سنگ‌شناسی منطقه توصیه می‌گردد.
- ارزیابی غلظت عناصر در گیاهان منطقه که مورد استفاده دام‌ها قرار می‌گیرند، پیشنهاد می‌شود.
- مطالعه راهکارهای جلوگیری از گسترش بیشتر آلودگی‌ها در منطقه چشمه حافظ ضروری می‌باشد.
- با توجه به اینکه منطقه چشمه‌حافظ بخشی از پهنه فلز زایی ترود است، بنابراین پتانسیل آلودگی طبیعی آب و خاک کل منطقه به فلزات سنگین وجود دارد. لذا مطالعه آلودگی طبیعی به فلزات سنگین در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.
- با توجه به حجم قابل توجه انباشته‌های معدنی و عیار اقتصادی آن‌ها، پیشنهاد می‌شود این مواد معدنی استخراج شده، جهت استحصال فلز به کارخانه‌های فرآوری منتقل شده تا علاوه بر درآمد اقتصادی حاصل از آن، از گسترش آلودگی ناشی از این انباشته‌ها جلوگیری شود.

پیوست ۱

برخی از نرم افزارهای استفاده شده در این تحقیق:

Arc GIS 9.3

PHREEQC Inter active 2.17.4468

SPSS 19

Aqua chem

Microsoft Office Excel 2007 - 2010

پیوست ۲:

جدول ۱: غلظت برخی از عناصر در رگه‌های معدنی (برگرفته از هدایتی روشن، ۱۳۸۸)

element	As	Au	Pb	Zn	Cu	Cs	Sb	Cd	Co	Ni	Bi	Cr	Mn	FeO
Unit	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
method	ME-02	PM-01	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02
ZCHI-4	63.7	812	39181	7933	6180	2.9	23.68	81.93	11	11	0.48	22	2022	34261
ZCHI-5	19.1	1975	21276	548	11900	2.7	9.38	4.78	6	9	0.64	17	1100	27945
ZCHI-6	22	2161	24191	409	11539	2.1	8.44	2.67	9	11	0.99	23	1163	36877
ZCHI-7	26.4	1890	32804	3318	14150	3.2	9.6	14.65	9	10	1.13	20	1022	37419
ZCHI-13	10.4	7	149	35	241	3.2	1.36	0.15	13	10	0.2	14	1432	18811
ZCHI-21	13	390	120	42	2214	2.5	11.84	0.13	3	6	0.5	9	1032	36560
ZCHI-22	7.1	2	35	62	75	2.5	2.22	0.13	15	12	0.24	27	1061	33575
ZCHI-24	21.8	76	6769	155	2540	3.7	15.49	0.21	7	6	0.6	7	1681	25179
ZCHI-27	333.2	636	71627	892	6185	2.7	25.42	2.47	16	13	34.7	25	1543	83084
ZCHI-30	11.8	12	170	104	16309	2.9	4.37	0.12	4	11	0.2	29	325	15486
ZCHI-31	13.2	32	82747	1071	2947	2.5	37.92	3.05	15	11	0.88	18	1722	29350
ZCHI-35	22.2	29	116773	50319	7156	2.4	31.33	31.1	32	1	0.46	19	1205	47184
ZCHI-37	9.8	242	3699	384	511	2.7	10.74	3.61	7	7	0.48	11	2411	42968
ZCHI-38	2.3	1	102	45	30	4.7	0.51	0.18	1	31	0.2	113	6616	5382
ZCHI-39	13.8	79	161	343	45280	3.8	4.3	0.13	4	11	0.51	43	368	42892
ZCHI-40	16.5	417	7093	481	20233	2.8	10.74	3.9	6	8	0.91	10	1456	32445
ZCHI-42	18.3	223	68929	23113	5626	3	11.18	31.86	8	11	1.1	20	989	30672
ZCHI-43	7.9	15	1244	253	255	2.6	5.87	1.57	13	12	0.67	13	5117	75472
ZCHI-45	2.5	15	62	38	2416	2.8	2.72	0.13	2	9	0.2	19	763	12920
ZCHI-46	6.1	415	12172	662	595	2.7	6.07	4.37	11	10	0.61	9	2597	63821
ZCHI-48	23.5	133	107490	3342	5189	2	10.94	3.6	4	6	0.93	11	148	23456
mean	31.64762	455.333	28419	4454.7	7693.86	2.876	11.62	9.0829	9.3333	10.286	2.22	22.81	1703.5	35989
mean crust	1.5		14	75	50	3	0.2	0.11	20	80		100	950	41000

جدول ۲: غلظت عناصر در سنگ میزبان (برگرفته از جنتی ۱۳۹۰)

element		As	Ag	Au	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Co	Ni	Sb	Bi	Cs	Fe
sample	litology	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
n1	basalt	11.3	0.1	348	860	602	240	0.003	0.2	30	25	0.1	0.7	7.4	60870
n2	trachyandes	9.8	0.1	785	144	733	523	0.003	0.2	32	15	0.1	0.6	7.1	4990
n3	trachyandes	9.5	0.1	1035	175	350	1090	0.001	0.2	10	15	0.1	0.7	7.2	48300
n4	basalt	10.4	0.1	192	470	329	1094	0.017	0.2	36.7	21	0.1	0.7	6.2	97600
n5	bas-trachyar	9	0.1	80	584	278	377	0.014	0.2	25.1	25	0.1	0.6	8.8	44900
n6	basalt	6.1	0.1	26	323	267	180	0.009	0.2	32.4	31	0.1	0.8	7.7	78700
n7	bas-trachyar	1.1	0.1	1.7	7.3	53	102.6	0.01	0.1	27.8	20	34	0.1	3.5	72100
n8	basaltis-and	4.1	0.1	0.5	1.2	36	63.8	0.004	0.1	29.2	20	22	0.2	0.2	77500
n9	bas-trachyar	1.1	0.1	0.5	6.2	47	43.5	0.021	0.1	32	44	37	0.1	1.2	72700
n10	basalt	1	0.1	1.5	1.3	34	82.7	0.076	0.1	42.9	93	50	0.1	1	94200
n11	trachy-basal	1.5	0.1	2.5	1.6	41	99.7	0.05	0.1	37.2	62	42	0.1	1.2	93400
n12	trachyandes	3.5	0.1	3	2	53	109.7	0.006	0.1	17.5	21	14	0.1	1.4	63900
n13	trachyandes	2.3	0.1	5.5	5.5	51	31.4	0.004	0.1	11.3	22	18	0.1	4.8	58200
mean		5.4385	0.1	190.862	198.55	221.1	310.57	0.017	0.1462	28.01	31.85	16.7	0.4	4.44	66720
mean crust		1.5	0.07	4	14	75	50	100	0.11	20	80	0.2	0.2	3	41000

جدول ۳: مقادیر ضریب غنی‌شدگی عناصر مختلف در نمونه‌های رسوب نسبت به میانگین هر عنصر در پوسته

Sample	EF												
	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	As	Au	Cd	Sb	Bi	Cr
S1	1.16	5.59	1.20	0.94	0.48	1.00	1.37	8.12	0.47	0.72	1.07	0.79	0.58
S2	343.43	55.97	2.99	279.7	0.18	0.76	2.44	18.15	35.56	3.28	0.67	8.00	0.21
S5	9.09	34.89	1.60	4.81	0.31	0.73	1.53	8.75	2.28	1.18	4.27	1.13	0.47
S8	2.56	58.85	7.32	2.89	0.43	0.91	1.80	6.91	1.76	13.14	2.50	0.96	0.55
S9	305.06	1290.66	12.83	1671	0.19	0.73	1.95	22.37	544	25.76	24.66	607.97	0.16
S10	5.06	75.80	4.19	4.11	0.34	0.87	1.82	7.22	1.71	7.31	2.03	1.39	0.48
S14	3.35	58.04	2.37	2.73	0.30	0.80	1.64	7.67	1.20	3.97	2.45	1.36	0.46
S17	1.21	4.66	1.39	0.82	0.28	0.74	1.61	15.72	0.44	0.70	4.57	1.02	0.44
S18	9.85	164.75	8.37	10.00	0.39	0.92	1.92	11.28	71.39	20.10	3.95	2.93	0.50
S21	6.50	77.84	6.28	5.05	0.34	0.85	1.73	9.71	6.30	11.95	3.98	2.76	0.45
S22	2.32	32.45	3.97	1.84	0.35	0.94	1.69	10.10	2.71	10.48	2.42	4.18	0.37
S23	3.44	49.64	3.49	3.41	0.40	0.83	1.57	6.32	2.29	7.12	3.49	2.88	0.49
S24	0.88	2.59	1.44	0.72	0.84	0.99	1.60	11.63	0.45	1.17	1.53	1.26	0.54
S25	1.78	17.37	2.07	1.48	0.43	0.80	1.53	7.00	0.50	3.05	2.45	1.59	0.46
mean	49.69	137.79	4.25	142.15	0.38	0.85	1.73	10.78	47.94	7.85	4.29	45.59	0.44

جدول ۴: ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی

	CF														
	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Au	Cd	Sb	Bi	Cr	PLI
S1	0.99	2.54	0.62	0.66	0.37	0.92	1.07	0.74	0.78	0.33	0.45	0.10	0.28	.45	0.56
S2	377.8	32.74	1.98	251.7	0.18	0.91	2.45	0.96	2.26	32	2.68	0.08	3.60	0.21	2.89
S5	9.37	19.14	1.00	4.06	0.29	0.81	1.44	0.90	1.02	1.93	0.91	0.48	0.48	0.44	1.38
S8	2.44	29.84	4.21	2.26	0.37	0.93	1.57	0.83	0.75	1.38	9.32	0.26	0.38	0.44	1.46
S9	222	500	5.64	996	0.13	0.57	1.30	0.63	1.85	324	13.95	1.96	181	0.48	7.28
S10	5.33	42.47	2.66	3.54	0.33	0.99	1.75	0.92	0.86	1.48	5.73	0.23	0.60	0.11	1.54
S14	3.77	34.71	1.61	2.51	0.31	0.96	1.69	0.98	0.98	1.10	3.32	0.30	0.63	0.46	1.37
S17	1.17	2.39	0.81	0.64	0.25	0.76	1.42	0.84	1.72	0.35	0.50	0.48	0.40	0.47	0.76
S18	8.84	78.60	4.53	7.34	0.31	0.89	1.58	0.78	1.15	52.4	13.41	0.39	1.08	0.39	2.67
S21	6.18	39.37	3.60	3.93	0.29	0.87	1.51	0.83	1.05	4.9	8.45	0.41	1.08	0.28	1.90
S22	1.94	14.39	2.00	1.26	0.26	0.85	1.29	0.73	0.95	1.85	6.50	0.22	1.43	0.4	1.16
S23	3.07	23.56	1.88	2.49	0.32	0.80	1.28	0.78	0.64	1.68	4.73	0.34	1.05	0.33	1.32
S24	0.60	0.93	0.59	0.40	0.51	0.72	0.99	0.59	0.89	0.25	0.59	0.11	0.35	0.32	0.49
S25	1.64	8.52	1.15	1.11	0.36	0.79	1.29	0.80	0.73	0.38	2.09	0.25	0.60	0.41	0.89
Min	0.60	0.93	0.59	0.40	0.13	0.57	0.99	0.59	0.64	0.25	0.45	0.08	0.28	0.01	0.49
Max	377.8	500	5.64	996	0.51	0.99	2.45	0.98	2.26	324	13.95	1.96	181	0.48	7.28
Mean	46.10	59.23	2.30	91.30	0.30	0.84	1.47	0.81	1.12	30.3	5.19	0.40	13.8	0.46	1.84

جدول پیوست ۵: شدت آلودگی به عناصر بر اساس مقادیر ضریب زمین انباشت

Element	I _{geo}				
	Min	Max	Mean	I _{geo} class	Pollution Intensity
Cu	-1.33	7.98	1.82	2	Moderately contaminated
Pb	-0.68	8.38	3.65	4	Strongly contaminated
Zn	-1.35	1.91	0.27	1	Uncontaminated to moderately contaminated
Ag	-1.91	9.38	1.44	2	Moderately contaminated
Ni	-3.58	-1.56	-2.37	0	Uncontaminated
Co	-1.39	-0.60	-0.85	0	Uncontaminated
Mn	-0.60	0.71	-0.06	0	Uncontaminated
Fe	-1.35	-0.62	-0.91	0	Uncontaminated
As	-1.23	0.59	-0.53	0	Uncontaminated
Au	-2.58	7.76	0.74	1	Uncontaminated to moderately contaminated
Cd	-1.72	3.22	1.02	2	Moderately contaminated
Sb	-4.23	0.39	-2.40	0	Uncontaminated
Bi	-2.45	6.92	-0.53	0	Uncontaminated
Cr	-3.81	-1.65	-2.09	0	Uncontaminated

جدول ۶: مقادیر ضریب اشباع شدگی برای کانی‌های مختلف

	Calcite CaCO ₃	Gypsum CaSO ₄ ·2H ₂ O	Halite NaCl	Dolomite CaMg(CO ₃) ₂	Aragonite CaCO ₃	Anhydrite CaSO ₄
W1	3.35	1.36	-3.89	5.5	3.21	1.16
W2	3.5	1.9	-4.29	5.45	3.36	1.7
W3	3.57	1.61	-4.01	5.95	3.43	1.4
W4	3.42	1.67	-3.24	5.47	3.28	1.47

مراجع

- احمدیان پور. غ، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد، تحلیل ساختاری گسل ترو، جنوب دامغان، دانشکده علوم پایه دامغان.
- اشراقی، ص. ع، (۱۳۸۶)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امیری، ع، (۱۳۸۶)، بررسی اثرات زیست محیطی معادن متروک، اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران.
- اوستان، ش، (۱۳۸۳)، ترجمه، "شیمی خاک (با نگرش زیست محیطی)"، انتشارات دانشگاه تبریز.
- آرمان پور، س، کرمی، غ، بخشی، ا، (۱۳۸۶)، بررسی غلظت عناصر سنگین و اصلی در منابع آب زیرزمینی حوضه گرمادشت گرگان، اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- آسیابانها، ع، (۱۳۸۶)، راهنمای ترسیم و تفسیر نمودارهای پترولوژی و ژئوشیمی، دانشگاه بین المللی امام خمینی ۳۰۳ ص.
- آقنابتی، ع، (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۶۰۳ ص.
- بدخشان ممتاز، ق، (۱۳۸۶)، طرح اکتشاف روی چشمه حافظ استان سمنان، شرکت توسعه علوم زمین، موسسه تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران، ۱۳۴ ص.
- برنا، ب، عشق آبادی، م، (۱۳۷۵)، گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس های سرب و روی استان سمنان، اداره کل معادن و فلزات استان سمنان ۲۲۶ صفحه.
- بسکابادی، ا، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد، ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی در دشت طبسین و بررسی زمین پزشکی منطقه، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- جدیدی سلطان آباد، س. (۱۳۸۹)؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی آثار زیست محیطی ناشی از کانی های آرسنیک دار معدن ولیلو شهرستان هریس، آذربایجان شرقی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور مرکز تهران.
- جعفریان، م. (۱۳۸۰)، نقشه زمین شناسی چهارگوش کلاته - رشم بامقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جنتی، ن، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، پتروژنز کانسار سرب و روی چشمه حافظ (ترو - ایران مرکزی)، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- چراغی، م؛ بلمکی، ب؛ اردکانی، س؛ پناهی، ا؛ (۱۳۸۸)، مطالعه و پایش زیست محیطی معدن بابا علی در شهرستان

- بهار، سومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست؛ دانشگاه تهران.
- خدائی، ا.، (۱۳۸۸)؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، ارزیابی آلودگی زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در محدوده معدن سرب و روی آهنگران- ملایر، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
 - دمناس، ا. (۱۳۸۸). پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی غلظت فلزات سنگین در آبهای زیرزمینی منطقه اکتشافی طلای هیرد و ارتباط آن با سنگ شناسی منطقه، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - رجب زاده، م.، سعیدی، م.، (۱۳۸۷)، "نقش رسوبات و مواد معلق رودخانه ای در جذب فلزات مس، روی و کادمیم در مقیاس آزمایشگاهی - مطالعه موردی: رودخانه جاجرود"، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
 - رحیمی، م.، (۱۳۸۸). پایان نامه کارشناسی ارشد، ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در منابع آب و خاک در اثر معدن- کاری زغال در مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر)، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.
 - رستمی زرین آبادی، ا.، (۱۳۹۰).، پایان نامه کارشناسی ارشد، نقش عوامل زمین شناسی و فعالیت های کشاورزی در تعیین کیفیت آبهای زیرزمینی دشت رومشگان، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - رضایی، خ؛ (۱۳۷۹). پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی ژئوشیمیایی و رسوبات رودخانه زرشوران در رابطه با اثرات زیست محیطی فعالیت های معدنکاری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت معلم تهران
 - رمضان خانی، ر.، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه بر روی الگوی آلودگی فلزات سنگین شاخص در رودخانه کرج"، گروه آلودگی و حفاظت محیط زیست دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
 - سهیلی، م.، بدخشان ممتاز، ق.، (۱۳۸۱)، بررسی های اکتشافی مقیاس ۱:۵۰۰۰ در منطقه چشمه حافظ، شرکت توسعه علوم زمین.
 - شرفی، ه.، یعقوب پور، ع.، غفوری، م.، (۱۳۹۰).، بررسی آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین سمی در آبهای زیرزمینی دشت زنجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
 - قاسمی سیانی، م.، (۱۳۸۸).، پایان نامه کارشناسی ارشد، زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسارپلی متال (سرب، روی، مس، طلا و نقره) چشمه حافظ سمنان (جنوب شرق دامغان)، دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده علوم زمین.
 - قربانی، م.، (۱۳۸۴).، رساله دکتری، پترولوژی و ژئوشیمی کمر بند آتشفشانی تروند - چاه شیرین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
 - قشلاقی، ا.، (۱۳۸۸)، رساله دکتری، ارزیابی اثرات زیست محیطی معدن کاری، فراوری و استحصال کانسنگ در

- منطقه معدنی انگوران، استان زنجان، شمال باختری ایران، دانشگاه شیراز.
- کریم پور، م.ج.، سعادت، س.، (۱۳۸۱)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۵ ص.
 - کلاین، ک.، هارلبوت، ک.، (1999)، راهنمای کانی‌شناسی (جلد دوم، ترجمه: مر، ف، مدبری، س، ۱۳۸۰)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی ۴۰۹ ص،
 - لیاقت، س.، اردبیلی، ا.، زراسوندی، ع.، (۱۳۸۰)، "پراکندگی و منشاء احتمالی فلزات سنگین در رسوبات دریاچه بختگان، استان فارس"، بیستمین گردهمایی علوم زمین.
 - لیاقت، ع. (۱۳۷۹). پایان نامه کارشناسی ارشد، مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه الیکا در رابطه با اثرات زیست محیطی فعالیت‌های معدنی در ناحیه معدن سرب و باریت دونا در البرز مرکزی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت معلم تهران.
 - مدبری، س.، موسوی حرمی، ر.، علیزاده، ع.، محبوبی، ا.، (۱۳۸۷)، "مطالعه عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه زاینده رود"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب - اهواز.
 - موسوی حرمی، س.، محبوبی، ا.، (۱۳۸۲)، رسوب‌شناسی کاربردی (ترجمه)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۲۶۶ ص.
 - مهرابی، ب. قاسمی سیانی، م.، (۱۳۸۹)، کانی شناسی و زمین شناسی کانسار پلی متال چشمه حافظ، مجله زمین شناسی اقتصادی، صفحه ۱ تا ۲۰.
 - میسون، ب.، مر، ک.، (۱۹۱۷)، اصول ژئوشیمی، (ترجمه مر، ف.، شرفی، ع.، ۱۳۷۱) دانشگاه شیراز، ۵۶۶ ص.
 - نادری، ع.، عرفانی آگاه، ع.، (۱۳۸۷). راهنمای عناصر جزئی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۴۰۵ ص.
 - هدایتی روشن، (۱۳۸۸)، اکتشاف تفصیلی کانسار سرب و روی در محدوده چشمه حافظ، مهندسین مشاور زرناپ اکتشاف، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۴۰۶ ص.
 - هوشمند زاده، ع. علوی، م. و حقی‌پور، ع. (۱۳۵۷)، تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود (گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ترود)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷ ص.

References

- Abraham, G. M. S, and Parker, P. J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediment from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ.

Monit. Assessment 136: 227-238.

- Abraham, G. M. S., (2005), "Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand", Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 361p.
- Ahmed, K. M., (1999), "A review of available geochemical data and their implications to the origin of arsenic in Bangladesh groundwater", Seminar on groundwater arsenic contamination in the Bengal Delta Plains of Bangladesh", University of Dhaka, Bangladesh. 24 p.
- Alloway, B.J. (1995). Heavy metals in soils. (2 ed.), Blackie Academic and Professional, UK, pp. 384
- Alloway, B.J., (1995), "Soil processes and the behavior of heavy metals, in, heavy metal in soils", second Edition (B.J. Alloway. Ed.) Blackie, New York. Page 11-37.
- Aprile, F.M., Bouvy, M., (2008), "Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacura river basin, northeastern Brazil", Braz. J. Aquat. Sci. Technol, 12(1):1-8.
- Asaah A. V. and Abimbola, A. F. (2005). Heavy metal concentrations and distribution in assessment of and Active Tailings Pile in the State of Mexico (Central Mexico). The Journal for Science and Engineering 31(2A): 147 - 158
- Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., Banks, S.B. (1997). Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly, Environ.Geol., Vol. 32, pp. 157–174.
- Bhattarai, S. (2006). Spatial distribution of heavy metals in Louisiana sediments and study of factors impacting the concentration. Thesis requirements for the degree of Master of Science. Department of Environmental Studies. Louisiana State University.
- Botkin, D.B., Keller, E.A. (1998). Environmental Science. Second Edition. Toronto, Ontario: John Wiley & Sons. 649 pp.
- Bowen, H. J. M. (1979), Environmental Chemistry of the Elements, Elsevier, New York.
- Bradli, H. B., (2005), "Heavy Metals in the Environment", Elsevier Ltd, Vol, 6.
- Callender, E. (2005). Heavy Metals in the Environment; Treatise on Geochemistry, Holland, H.D. and Turekin K.K. eds. Elsevier, Italy , V9 Environmental Geochemistry, B.S. Lollar ed. pp. 67-106.
- Corbett, G., (2002). Controls to low sulphidation epithermal Au/Ag mineralization, NSW Australia.
- Doelsch, E., Macary, H. S., Van de Kerchove, V., (2006), "Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Reunion)", Journal of Geochemical Exploration, v. 88, p. 194– 197.
- Dojlido, J.R., Best, G.A., 1993, "Chemistry of Water and Water Pollution", Horwood, Ellis,.New York.
- Farkas, A., Erratico, C., Vigano, L., (2007), "Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of river Po", Chemosphere, Vol 68, N 4, 761- 768 P.
- 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 use: possible solution". International journal of coal geology 50, 425-443.
- Folk, R., P.B. Andrews, and D.W. Lewis, (1970), detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand journal of geology and geophysics 13:937 -68.
- Frau, F., Ardau, C., Fanfani, L., (2009). Environmental geochemistry and mineralogy of lead at the

- old mine area of Baccu Locci (south-east Sardinia, Italy). *Journal of Geochemical Exploration* 100, 105–115.
- Hakanson L (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Res.* 14: 975–1001.
 - Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.*, Vol. 25, pp. 101–110.
 - Hem, J. D., (1985), “Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water”. (In: “Bell, F. G., (1998), “Environmental Geology, Principles and Practice”, Blackwell Science Ltd, chapter, 15).
 - Huu, H. H., Rudy S. and An Van Damme (2010). Distribution and contamination status of *Journal of Environmental sciences* 2 (3): 197 – 208
 - Ishhida K (2004) Gold. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds), *Elements and their compounds in the environment*, 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, pp 765–773
 - Jung, M.C., Thornton, I. (1997). Environmental contamination and seasonal variation of metals in soils, plants and waters in the paddy fields around a Pb–Zn mine in Korea. *Sci. Tot Environ.*, Vol. 198, pp. 105–121.
 - Kabata-Pendias A, Pendias H (1999) *Biogeochemistry of trace elements*, 2nd ed., Wyd Nauk PWN, Warszawa (in Polish)
 - Kabata-Pendias A., Mukherjee, A. B., (2007), “Trace Elements from Soil to Human” Springer Berlin Heidelberg New York. 561p.
 - Londesborough, S., Schlegel, D., Fankhänel, U., Mattusch, J., Wennrich, R., (1998). Einsatz eines sequentiellen Extraktionsverfahrens für die Bestimmung von Arsen-Spezies in Tailings-Materialien. CANAS '97, Colloquium Analytische Atomspektrometrie, Universität Leipzig und UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, pp. 559–563.
 - McDonald, D. D., Ingersoll, C. G., Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol. 39, pp. 20–31.
 - Mediolla, L. L., Domingues, M. C. D. and Sandoval M. R. G. (2008). Environmental Assessment of and Active Tailings Pile in the State of Mexico (Central Mexico). *Research Journal of Environmental sciences* 2 (3): 197 – 208
 - Mmolawa. K. B, Likuku A. S, Gaboutloeloe G. K., (2011). Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana. *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 5(3), pp. 186–196.
 - Muller, G. (1969), “Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River”. *Geojournal*, v. 2, pp. 108–118.
 - Mundra, P., Desai, K. & Lele, S. S. (2007) Application of response surface methodology to cell immobilization for the production of palatinose. *Bioresource Technology*, 98, 2892–2896.
 - Nordstrom DK (2000) An overview of arsenic mass-poisoning in Bangladesh, and West Bengal, India. In: Young C (ed) *Minor elements 2000: Arsenic, Antimony, Selenium, Tellurium and Bismuth*. Soc Mining Metallurgy and Exploration, pp 21–30
 - Oyarzun, R. Lillo, J. López-García, J. A. Esbrí, J. M. Cubas, P. Llanos, W., Higuera P., (2010). The Mazarrón Pb–(Ag)–Zn mining district (SE Spain) as a source of heavy metal contamination in a semiarid realm: Geochemical data from mine wastes, soils, and stream sediments., *Journal of*

Geochemical Exploration.

- Rauret, G. 1998 Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. *Talanta* 46, 449–455.
- Reimann, C. and De Caritat, P. (1998). *Chemical Elements in the Environment—Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Springer–Verlag, Berlin, 398 pp.
- Robards, K., P. Worsfold (1991): Cadmium: toxicology and analysis. *Analyst* 116, 549–568.
- Smedley PL, Kinniburgh DG (2002) A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl Geochem* 60:517–568
- Satyanarayana, D., P.K. Panigrahy & S.D. Sahu. 1994. Metal pollution in harbour and coastal sediments of Visakhapatnam, east coast of India. *Indian Journal of Marine Science* 23: 52–54.
- Smuda, J., Dold, B., Friese, K., Morgenstern, P., Glaesser, W. (2007). Mineralogical and geochemical study of element mobility at the sulfide-rich Excelsior waste rock dump from the polymetallic Zn–Pb–(Ag–Bi–Cu) deposit, Cerro de Pasco, Peru. *Journal of Geochemical Exploration* 92 97–110.
- Sracek, A., Bhattacharya, P., Jacks, G., Gustafsson, J. P., (2001), “Mobility of arsenic and geochemical modelling in groundwater environment”. In: Jacks G, Bhattacharya P, Khan AA (eds) *Groundwater arsenic contamination in the Bengal Delta Plain of Bangladesh*. KTH-Dhaka Seminar, University of Dhaka, Bangladesh, KTH Special Publ, TRITA-AMI Report 3084, pp 9–20. (In: Kabata-Pendias A.,
- Stockline, J., (1968), “Structural history and tectonics of Iran a review”, *A. A. P. G. Bull*, pp. 1229–1258.
- Sun, L., Chen, S., Chao, L., Sun, T., (2007), "Effects of flooding on changes in Eh, pH and speciation of Cadmium and lead in contaminant soil". *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol. 79, pp. 514–518.
- Sutherland RA, Tolosa CA, Tack FMG, Verloo MG (2000). Characterization of selected element concentration and enrichment ratios in background and anthropogenically impacted roadside areas. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 38: 428–438.
- Takeno, N., (2005)., “Atlas of Eh–pH diagrams”, Geological Survey of Japan Open File Report No. 419
- Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, Vol. 51, pp. 844.
- Thomilson DC, Wilson DJ, Harris CR, Jeffrey DW (1980). Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 33(1–4): 566–575.
- Todd, D, K., (2005), “Ground Water hydrology”, John Wiley and Sons. New York, pp. 539. and UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, pp. 559–563.
- USEPA (2004). Test methods for evaluating solid waste. In: Method 9045D, Washington, D.C.
- USEPA (1997). Process for designing and conducting ecological risk assessments. EPA/540-R-97-006
- Victor, A., Asaah, F., Akinlolu, F., Abimbola, E., 2006 "Heavy metal concentrations and distribution in surface soils of the Bassa industrial zone 1, Douala, Cameroon" *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 31, Number 2. *Wiss. Meeresunters.* 33(1–4): 566–575.
- Wang, L., Yu, R., Hu, G., Tu, X., (2009). Speciation and assessment of heavy metals in surface sediments of Jinjiang River tidal reach, southeast of China. *Environ Monit Assess.*
- WHO (2008) Guidelines for drinking-water quality. 3rd ed., vol 1, Geneva, pp 488–496.
- Wilkinson, J.J. (2001)., fluid inclusion in hydrothermal ore deposit, *Lithos*, 55, 229–272.
- Yiwei, C., Guijian, L., Yanming, G., Jiannli, 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.
- Yu K. C., Tsal L. J., Chen S. H., Ho S. T., 2001, "Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments", *Water Research*, 35 (17): 4086–4096.
- Ziaei, M., Abedi, A., Ziaei, M., Kamkar Rouhani, A., Zendahdel, A., (2010). GIS modelling for Au–Pb–Zn potential mapping in Torud-Chah Shirin area- Iran. *International Journal of Mining & Environmental Issues*, Vol. 1, No. 1, 2010.

Abstract:

The Cheshmeh Hafez poly-metallic (Pb, Zn, Cu, Ag and Au) deposit is located in the Torud-Chahshirin volcanic belt, central Iran zone. Main rock units of the area include basalt, trachyte and trachyte – andesite. A series of old mining activities conducted in the area that were followed by depoting of large volumes of ores and mine wastes. Exposing of this material to the air and surface water caused to releasing and transport of potentially toxic elements from the ores and caused the distribution of the elements in the secondry environments such as water, soil and sediment. In this study, pollution of sediment and groundwater in the Cheshmeh Hafez area by heavy elements was evaluated. For this purpose, water and sediment samples collected from the area were analyzed using indoced coupled- plasma mass spectrometry (ICP-MS) method for determining concentration of minor and trace elements. Then some of the elements were slected for evaluation of intensity of contamination based on their environmental significance and their concentration. therefor As, Cu, Pb, Zn, Cd, Au, Ag, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, Bi and Fe were evaluated. The geochemical factors such as enrichment factor (EF), geoaccumulation index (Igeo) and contamination factor (CF) were used for quantifying the severity of pollutions. As well for determining amount of relationship of elements with each other paramiteres such as pH and organic matter percent, the Kendall correlation coefficient was used. The results show that contamination of some elements and heavy metals contamination is very high in the sediments. This contamination exists naturally in the region due to mineralization, but the anthropogenic activity (mining), has intensified it. Natural arsenic contamination in the sediments is clearly visible. Mining activities have had major effects on the releasing of copper, lead, zinc, silver and gold in the sediments of the region. Based on the average Igeo of the elements, the area generally shows intensive lead contamination, and medium copper, silver, gold, cadmium and zinc contamination. The other elements do not show any contamination. The groundwaters of the area in the case of quality parameters have not undesirable situation. Because the anion and cation concentrations in the waters is very high, several than the standards. The electrical conductivity of the waters reached above 1700 $\mu\text{M}/\text{cm}$. With regard to concentrations of heavy metals and toxic elements one sample is intensively contaminated with gold, bismuth, cadmium and antimony while another samples is little contaminated with lead. Other samples do not show any contamination. Keywords:contamination,environmental,groundwaters,CheshmeHafez,polymetal, eposit.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

**Assessment of environmental effects of the Cheshmeh
Hafez poly metal (Pb,Zn, Cu, Ag and Au) ore deposit,
Torud area**

Mohsen Mahmoudi Nikou

Supervisor:
Dr. F. Fardoust
Dr. F. Mousivand

Advisor:
Dr. A. Qeshlaqi

February 2012