

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم پایه

رشته‌ی زمین‌شناسی گرایش اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قله‌چیلی،
جنوب دامغان

نگارنده:

ام‌البنین اسداله‌نژاد

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی‌پور اصل

شهریور ۱۳۹۷

شماره: ۱۹۰۵۴
تاریخ: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم ام البنین اسداله نژاد با شماره دانشجویی ۹۴۰۱۹۵۴ رشته زمین شناسی، گرایش پتروژئولوژی و زمین شناسی اقتصادی، تحت عنوان " زمین-شناسی، کانی شناسی زئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قله چیلی، جنوب دامغان " که در تاریخ ۱۹/۰۶/۹۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>جستجو</u>)			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی			
امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیات داوران
	استادیار	دکتر مسعود علی پور اصل	۱- استاد راهنمای اول
	استاد	دکتر عزیز الله طاهری	۲- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر مریم شبیبی	۳- استاد امتحان اول
	استادیار	دکتر فرج اله فردوست	۴- استاد امتحان دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیددی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تیمبره فر صورتی که کمی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نماید) و بعد از آن ماه برگزار شود.



تقدیم به

پدر دلسوزم

و روح مادرم

که با دعای بی به وسعت دریا،

مسیری هموار برایم فراهم ساختند،

خواهران و برادران

مهربانم که وجودشان سرچشمه بنجد

و شادی برایم بود،

و ماسر عزیزم

که تکیه گاهی محکم برایم شد

و هر آن کس که به من کلمه ای آموخت...

مشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده‌ی کوچکش را در دیای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه بار بنده نوازیهایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم میدانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریکشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

در ابتدا بسی شایسته است از زحمات و راهنمایی‌های استاد محترم و کرامت‌دارم جناب آقای دکتر مسعود علی پور اصل که تقبل زحمت فرموده و راهنمایی پایان نامه اینجانب را پذیرفتند و با حسن خلق و فروتنی، از بیچ‌گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند مشکر و سپاسگزاری نمایم.

باتقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر فرج‌اله فردوست و خانم دکتر مریم شیبی که با لطف بی‌دینشان زحمت داورسی این پایان نامه را متقبل شدند؛ همچنین از جناب دکتر طاهری که زحمت هدایت این جلسه را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

و در آخر مشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند؛ باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

تعهدنامه

اینجانب ام‌البنین اسداله‌نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قله‌چیلی، جنوب دامغان تحت راهنمایی دکتر مسعود علی‌پور اصل متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط 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 اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضاء 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 است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

کانسار مس قله‌چیلی در ۱۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود در استان سمنان، در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده‌است. واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه شامل گدازه‌های با ترکیب آندزیتی، آندزیت-بازالتی و داسیتی، واحدهای آذرآواری شامل توف آندزیتی تا آندزیت-بازالتی و لیتیک توف و توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریتی تا مونزودیوریتی می‌باشد. براساس مطالعات ژئوشیمیایی، سنگ‌های آذرین منطقه داری ماهیت کالک آلکالن و از نوع متآلومین هستند، و از نظر زمین‌ساختی در کمان آتشفشانی مربوط به مناطق فرورانش تشکیل شده‌اند. دگرسانی‌های آرژلیک، سربستی، اپیدوتی و سیلیسی در منطقه غالب هستند. بر پایه شواهد صحرایی، کانه‌نگاری و ژئوشیمیایی دو تیپ کانه‌زایی متفاوت در محدوده قله‌چیلی وجود دارد: ۱) رگه‌های سیلیسی کانه‌دار که با توده‌های مونزودیوریتی و گدازه‌های آندزیتی میزبانی می‌شوند. کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت کانه‌های درونزاد، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، همتیت، گوتیت و لیمونیت کانه‌های برونزاد و کوارتز، کلسیت و کانی‌های رسی کانی‌های باطله این تیپ کانه‌زایی هستند. ساخت‌های غالب کانی-زایی از نوع رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاها خالی می‌باشند و بافت‌ها شامل رگه-رگچه‌ای پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، جانشینی و باقیمانده هستند. مقادیر مس، سرب، روی به ترتیب ۲/۷، ۰/۲۷، ۰/۰۶ و طلا ۱۸ میلی‌گرم در تن است، که در این میان عیارهای مس و سرب قابل توجه هستند. در الگوی عناصر خاکی کمیاب رگه‌های سیلیسی کانه‌دار که نسبت به ترکیب گوشته اولیه و کندریت به‌هنجار شده‌است، غنی‌شدگی LREE/HREE و آنومالی مشخص Eu وجود دارد. مطالعات میکروترمومتری میان‌بارهای سیال بر روی کوارتزهای همزاد کانه‌زایی رگه‌ای مقادیر دمای همگن‌شدگی را از ۱۴۰ تا ۲۶۶ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۴۳) نشان می‌دهد، میزان شوری سیالات کانه‌ساز نیز از ۰/۷ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی نمک طعام (متوسط ۴/۹ درصد) تغییر می‌کند. براساس مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری، کانی‌سازی مس در فشار کمتر از ۵۰ بار و عمق تقریبی ۴۰۰ متر رخ داده‌است. ۲) کانی‌زایی مس همراه با سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت-بازالتی: سنگ‌های میزبان این تیپ کانه‌زایی دارای رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز تا ارغوانی و دارای ترکیب آندزیت تا آندزیت-بازالتی است. کالکوسیت و پیریت از کانی‌های درونزاد و کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، همتیت، گوتیت و لیمونیت از کانی‌های برونزاد و کانی‌های باطله پلازیوکلاز، آمفیبول، کانی‌های رسی، کوارتز و کلسیت می‌باشند. فرم‌های رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاها خالی از ساخت‌های غالب و رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و دانه پراکنده از بافت‌های غالب این کانی‌سازی هستند. مس تنها عنصر معدنی مهم است و مقدار آن ۲/۷ درصد می‌باشد. در الگوی عناصر خاکی کمیاب که نسبت به ترکیب گوشته

اولیه و کندریت به‌هنگار شده‌است، غنی‌شدگی LREE/HREE و آنومالی مثبت قوی Eu وجود دارد. بر پایه شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال رگه‌های سیلیسی کانه‌دار منطقه قله‌چیلی با کانسارهای مس رگه‌ای گرمابی و کانه‌زایی مس همراه با سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت-بازالتی با کانه‌زایی‌های نوع لایه‌های قرمز سنگ‌های آتشفشانی مشابهت دارد.

واژگان کلیدی: کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سیال درگیر، مس رگه‌ای، طبقات سرخ آتشفشانی، قله‌چیلی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

(۱) سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی کانسارمس قله‌چیلی، جنوب شاهرود، نهمین همایش ملی انجمن

زمین‌شناسی اقتصادی ایران، بیرجند، شهریور ۱۳۹۶

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱. مقدمه	۲
۱-۲. موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه	۲
۱-۳. آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه	۳
۱-۴. وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه	۴
۱-۵. زمین ریخت‌شناسی	۵
۱-۶. تاریخچه معدنکاری و مطالعات انجام شده قبلی	۶
۱-۶-۱. مطالعات انجام شده در زیرپهنه ترود-چاه‌شیرین	۷
۱-۶-۲. مطالعات انجام شده در ایران (هم تپ کانسارمس قله‌چیلی)	۹
۱-۷. طرح مسأله و اهداف مطالعه	۱۰
۱-۸. روش مطالعه	۱۲
۱-۸-۱. مطالعات دفتری	۱۲
۱-۸-۲. مطالعات صحرایی	۱۲
۱-۸-۳. مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی	۱۲
۱-۸-۴. تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان‌نامه	۱۳
۱-۹. انواع کانسارهای مس	۱۳
۱-۹-۱. مس پورفیری	۱۴
۱-۹-۲. کانسارهای اسکارن مس‌دار	۱۵
۱-۹-۳. کانسارهای سولفید توده‌ای مس	۱۶
۱-۹-۴. کانسارهای مس رسوبی	۱۶
۱-۹-۵. کانسارهای مس گرمابی رگه‌ای	۱۷
۱-۹-۶. کانسارهای کربناتی مس	۱۷
فصل دوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی	۲۱
۲-۱. مقدمه	۲۲
۲-۲. توالی آتشفشانی - رسوبی ترود-چاه‌شیرین	۲۲
۲-۳. چینه‌شناسی ناحیه‌ای	۲۳
۲-۴. زمین‌شناسی ساختمانی	۲۴
۲-۵. واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در منطقه ترود	۲۷
۲-۵-۱. پرکامبرین - کامبرین	۲۸
۲-۵-۲. پالئوزوئیک	۲۸
۲-۵-۳. مزوزوئیک	۲۹

۳۰	سنوزوئیک..... ۴-۵-۲
۳۰	۱-۴-۵-۲. ائوسن.....
۳۰	۲-۴-۵-۲. واحد الیگو-میوسن.....
۳۱	۳-۴-۵-۲. مارن‌های میوسن.....
۳۱	۴-۴-۵-۲. کنگلومرای پلیوسن.....
۳۱	۵-۴-۵-۲. دوره نئوزن.....
۳۲	۵-۵-۲. توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق.....
۳۲	۶-۵-۲. مجموعه‌های دگرگونه ترود.....
۳۵	فصل سوم: زمین‌شناسی منطقه‌ای و پتروگرافی.....
۳۶	۱-۳. مقدمه.....
۳۶	۲-۳. واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در منطقه.....
۳۶	۱-۲-۳. ائوسن.....
۳۶	۳-۲-۲. مارن‌های میوسن.....
۳۷	۳-۲-۳. رسوبات آبرفتی -آبراهه‌ای عهد حاضر.....
۳۷	۳-۳. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۳۸	۴-۳. تکتونیک منطقه مورد مطالعه.....
۳۸	۳-۵. مطالعات پتروگرافی و طبقه‌بندی سنگ‌ها.....
۴۰	۳-۵-۱. واحد سنگ‌های آتشفشانی.....
۴۰	۳-۵-۱-۱. آندزیت.....
۴۱	۳-۵-۱-۲. داسیت.....
۴۲	۳-۵-۲. واحد توده‌های نفوذی منطقه.....
۴۳	۳-۲-۳. واحدهای آذرآواری.....
۴۷	فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی.....
۴۸	۱-۴. مقدمه.....
۴۹	۲-۴. کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه.....
۴۹	۱-۴-۲. رگه‌های سیلیسی مس‌دار.....
۵۰	۲-۴-۲. کانی‌سازی مس همراه سنگ‌های آندزیتی.....
۵۰	۳-۴. شکل رخداد کانه‌زایی در منطقه.....
۵۱	۱-۴-۳. کانی‌سازی رگه -رگچه‌ای.....
۵۱	۲-۴-۳. کانه‌زایی پرکننده فضای خالی.....
۵۲	۳-۴-۳. کانه‌زایی دانه پراکنده.....
۵۲	۴-۴. دگرسانی.....

۵۳	۴-۵. دگرسانی‌های موجود در منطقه.....
۵۳	۴-۵-۱. دگرسانی آرژیلیکی.....
۵۵	۴-۵-۲. دگرسانی پروپلیتیکی.....
۵۶	۴-۵-۳. دگرسانی سیلیسی.....
۵۷	۴-۵-۴. دگرسانی کربناتی.....
۵۷	۴-۵-۵. دگرسانی اکسید آهن.....
۵۸	۴-۵-۶. دگرسانی سربستی.....
۶۱	فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی.....
۶۲	۵-۱. مقدمه.....
۶۲	۵-۲. کانی‌شناسی محدوده‌های مورد مطالعه.....
۶۳	۵-۲-۱. کانی‌های سولفیدی.....
۶۶	۵-۲-۲. کانی‌های کربناتی.....
۶۷	۵-۲-۳. کانی‌های سیلیکاتی.....
۶۷	۵-۲-۴. کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی.....
۶۸	۵-۲-۵. کانی‌های باطله.....
۶۹	۵-۳. ساخت و بافت مواد معدنی.....
۷۰	۵-۳-۱. ساخت و بافت رگه -رگچه‌ای.....
۷۰	۵-۳-۲. ساخت و بافت پرکننده فضای خالی.....
۷۱	۵-۳-۳. بافت دانه پراکنده.....
۷۲	۵-۳-۴. بافت جانشینی.....
۷۳	۵-۳-۴. بافت باقیمانده.....
۷۳	۵-۳-۵. بافت کلوفرمی.....
۷۳	۵-۳-۶. بافت جعبه‌ای.....
۷۴	۵-۴. توالی پاراژنتیکی.....
۷۷	فصل ششم: ژئوشیمی.....
۷۸	۶-۱. مقدمه.....
۷۸	۶-۲. ژئوشیمی محیط سنگ.....
۷۸	۶-۲-۱. نمونه برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ.....
۸۱	۶-۲-۲. ژئوشیمی سنگ‌های آذرین.....
۸۱	۶-۲-۲-۱. نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه بر اساس عناصر اصلی.....
۸۱	۶-۲-۲-۲. تعیین سری ماگمایی.....
۸۴	۶-۲-۲-۳. درجه اشباع از آلومین.....

۶-۲-۲-۴	تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین بر اساس عناصر اصلی و فرعی.....	۸۵
۶-۲-۳	نمودارهای عنکبوتی.....	۸۶
۶-۳	ژئوشیمی محیط کانسنگ.....	۹۰
۶-۳-۱	نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی.....	۹۴
	فصل هفتم: مطالعه میانبارهای سیال.....	۹۹
۷-۱	مقدمه.....	۱۰۰
۷-۲	نحوه انتخاب نمونه‌ها برای میانبارهای سیال.....	۱۰۰
۷-۳	پتروگرافی سیالات درگیر.....	۱۰۱
۷-۴	مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال.....	۱۰۵
۷-۴-۱	دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات.....	۱۰۶
۷-۴-۲	فشار، چگالی و عمق سیالات درگیر.....	۱۰۷
۷-۴-۳	دمای به تله افتادن و کمپلکس مؤثر در حمل عناصر کانسارساز.....	۱۰۸
۷-۴-۴	تعیین تیپ کانه‌زایی و منشأ سیالات براساس داده‌های میانبارهای سیال.....	۱۱۰
	فصل هشتم: بحث نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۱۱۳
۸-۱	مقدمه.....	۱۱۴
۸-۲	خلاصه‌ای از خصوصیات کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه.....	۱۱۴
۸-۳	طبقه‌بندی و ویژگی‌های عمومی کانسارهای مس.....	۱۱۷
۸-۴	مقایسه‌ی کانسار مس قله‌چیلی با پاره‌ای از کانسارهای مس رگه‌ای در پهنه‌های مختلف زمین-ساختی ایران و جهان.....	۱۱۹
۸-۵	مقایسه‌ی کانسار مس قله‌چیلی با پاره‌ای از کانسارهای مس مانتو و ولکانیک رد بد (Volcanic red-bed) در پهنه‌های مختلف زمین‌ساختی ایران و جهان.....	۱۲۴
۸-۶	تشکیل رخداد کانسار مس قله‌چیلی.....	۱۲۶
۸-۷	پیشنهادها.....	۱۲۵
	منابع.....	۱۳۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱	موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.....	۳
شکل ۱-۲	نمایی از پوشش گیاهی منطقه.....	۴
شکل ۱-۳	نمایی از روستای بیدستان که در ۱۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه قرار دارد.....	۵
شکل ۱-۴	نمایی از ژئومورفولوژی کانسار مس قله‌چیلی.....	۶
شکل ۲-۱	موقعیت کانسار مس قله‌چیلی بر روی نقشه زمین‌شناسی ساختاری ایران.....	۲۲

- شکل ۳-۱. نقشه زمین‌شناسی کانسار مس قله‌چیلی..... ۳۷
- شکل ۳-۲. تصاویری از دایک‌های موجود در منطقه..... ۳۸
- شکل ۳-۳. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل ۳-۴. نتایج پراش پرتو ایکس نمونه سنگ آندزیتی موجود در منطقه مورد مطالعه..... ۴۰
- شکل ۳-۵. الف) تصویر نمونه دستی از آندزیت..... ۴۱
- شکل ۳-۶. الف) تصویر نمونه دستی از توده گرانودیوریتی موجود در منطقه..... ۴۲
- شکل ۳-۷. الف) تصویر نمونه دستی از لیتیک توف..... ۴۳
- شکل ۳-۸. الف و ب) تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی توف آندزیتی..... ۴۴
- شکل ۴-۱. تصاویر کانه‌زایی رگه سیلیسی مس‌دار..... ۴۸
- شکل ۴-۲. تصاویر از کانه‌زایی رگه -رگچه‌ای موجود در منطقه..... ۴۹
- شکل ۴-۳. تصاویری از کانه‌زایی پرکننده فضای خالی..... ۵۰
- شکل ۴-۴. تصاویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی موجود در منطقه..... ۵۲
- شکل ۴-۵. نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه..... ۵۲
- شکل ۴-۶. نتایج پراش پرتو ایکس از نمونه‌های آرژیلیکی حدواسط در منطقه مورد مطالعه..... ۵۳
- شکل ۴-۷. الف) تصویر صحرایی از دگرسانی پروپلیتیکی..... ۵۴
- شکل ۴-۸. الف) تصویر صحرایی از رگه سیلیسی فاقد کانه‌زایی..... ۵۵
- شکل ۴-۹. تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی کربناتی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه..... ۵۵
- شکل ۴-۱۰. تصویر صحرایی و میکروسکوپی از دگرسانی اکسید آهن در سنگ‌های منطقه..... ۵۶
- شکل ۴-۱۱. نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های سریسیتی منطقه مورد مطالعه..... ۵۷
- شکل ۵-۱. الف) تصویر نمونه دستی که کانی‌های کالکوپیریت و مالاکیت در آن دیده می‌شود..... ۶۱
- شکل ۵-۲. الف) تصویر نمونه دستی از رگه کالکوسیتی موجود در سنگ‌های آندزیتی..... ۶۲
- شکل ۵-۳. الف) تصویر نمونه دستی از کانی‌سازی گالن در رگه سیلیسی..... ۶۲
- شکل ۵-۴. الف) تصویر صحرایی از کانی‌سازی مالاکیت و آزوریت در سنگ‌های آندزیتی موجود در منطقه..... ۶۳
- شکل ۵-۵. تصویر نمونه دستی از کانی‌سازی کریزوکولا در سنگ‌های آندزیتی..... ۶۴
- شکل ۵-۶. الف) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که از اطراف به گوتیت تبدیل شده است..... ۶
- ۵
- شکل ۷-۵. الف) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های کوارتز که فضای خالی بین دانه‌های کوارتز توسط کانی‌های اپک پر شده است..... ۶۶
- شکل ۸-۵. تصاویر از ساخت و بافت رگه -رگچه‌ای موجود در منطقه..... ۶۷
- شکل ۹-۵. تصاویری از ساخت و بافت پرکننده فضای خالی..... ۶۸

شکل ۱۰-۵. تصویر میکروسکوپی از بافت دانه پراکنده که کانی‌های پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده در بافت سنگ مشاهده می‌شوند..... ۶۸

شکل ۱۱-۵. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی..... ۶۹

شکل ۱۲-۵. تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که بافت جعبه‌ای جزیره‌ای و کلوفرمی را به خوبی نشان می‌دهد..... ۷۰

شکل ۱-۶. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994).
الف) سنگ‌های آتشفشانی ب) سنگ‌های نفوذی..... ۸۰

شکل ۲-۶. طبقه‌بندی سنگ‌های خروجی منطقه با استفاده از نمودارهای (Modified by pearce (1996)..... ۸۰

شکل ۳-۶. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی..... ۸۱

شکل ۴-۶. موقعیت توده‌های نفوذی منطقه بر روی دیاگرام سه‌تایی $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ برای تمایز سنگ‌های از نظر درجه اشباع از آلومین..... ۸۲

شکل ۵-۶. موقعیت نمونه‌ها در نمودار سه‌تایی $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ (Pearce et al, 1977)..... ۸۳

شکل ۶-۶. نمودارهای تفکیک موقعیت تکتونیکی (Pearce et al, 1984)..... ۸۴

شکل ۷-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه..... ۸۶

شکل ۸-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت..... ۸۶

شکل ۹-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت..... ۸۷

شکل ۱۰-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه..... ۸۷

شکل ۱۱-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ که نسبت به گوشته اولیه..... ۹۱

شکل ۱۲-۶. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ که نسبت به کندریت..... ۹۱

شکل ۱۳-۶. الگوی عناصر فرعی نمونه‌های کانسنگ که نسبت به کندریت..... ۹۲

شکل ۱۴-۶. الگوی عناصر فرعی نمونه‌های کانسنگ که نسبت به گوشته اولیه..... ۹۲

شکل ۱۵-۶. مقایسه الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ تیپ رگه‌ای کانسار مس قله‌چیلی با کانسار هلمسی که نسبت به گوشته اولیه..... ۹۳

شکل ۱۶-۶. مقایسه الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ موجود در سنگ‌های آندزیتی کانسار مس قله‌چیلی با کانسار Quebec Appalachian Volcanic red-bed copper در کانادا که نسبت به گوشته اولیه..... ۹۴

شکل ۱-۷. الف) سیالات درگیر مقطع SD_2 که در آن فاز مایع از نوع اولیه نشان داده شده است..... ۱۰۲

شکل ۲-۷. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن شدگی و شوری میانبارهای سیا به فراوانی..... ۱۰۴

شکل ۳-۷. نمودار دمای همگن شدگی - چگالی برای تعیین فشار..... ۱۰۵

شکل ۴-۷. نمودار دما - فشار - عمق جهت تعیین عمق..... ۱۰۵

شکل ۵-۷. تعیین دمای به تله افتادن میانبارهای سیال با استفاده از دمای همگن شدن و فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبار..... ۱۰۶

شکل ۶-۷. نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) موثر در حمل عناصر کانسار ساز..... ۱۰۷.

شکل ۷-۷. نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن..... ۱۰۸.

شکل ۸-۱. تصویری شماتیک از سیالات هیدروترمالی منشأ گرفته از توده‌ی نفوذی و تزریق آن در گسل‌های منطقه و اختلاط با آب‌های جوی و ته‌نشین شدن ماده معدنی..... ۱۱۲.

شکل ۲ - ۸ الگوی تشکیل و تکوین نماین تیپ ولکانیک رد بد در کانسار مس قله‌چیلی در طی دیاژنز تدفینی (Burial Metamorphism) سنگ میزبان واحد آندزیتی می‌باشد..... ۱۲۴.

فهرست جداول

جدول ۵-۱. توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در رگه‌های سیلیسی مس‌دار..... ۷۱.

جدول ۵-۲. توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در سنگ‌های آندزیتی مس‌دار..... ۷۲.

جدول ۶-۱. موقعیت مکانی و سنگ‌شناسی تعداد ۱۲ نمونه سنگ از..... ۷۶.

جدول ۶-۲. مقادیر اکسید عناصر اصلی (%/)، عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۱۲ نمونه‌ی سنگ به روش ICP-OES/MS..... ۷۷.

جدول ۶-۳. مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و نادر خاکی (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش ICP-OES/MS..... ۸۸.

جدول ۷-۱. مشخصات نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه میانبارهای سیال..... ۹۸.

جدول ۷-۲. خصوصیات پتروگرافی میانبارهای سیال..... ۱۰۰.

جدول ۸-۱. ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانسار مس قله‌چیلی..... ۱۱۲.

جدول ۸-۲. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس‌قله‌چیلی با برخی کانسارهای مس..... ۱۱۴.

جدول ۸-۳. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار مس قله‌چیلی با چند کانسار مس و عناصر همراه از زون‌های زمین‌ساختی ایران..... ۱۱۵.

جدول ۸-۴. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار مس قله‌چیلی با چند کانسار مس ±..... ۱۱۷.

جدول ۸-۵. مقایسه کانسار با کانسارهای تیپ مانتو و ردبد در ایران و جهان..... ۱۱۹.

فصل اول

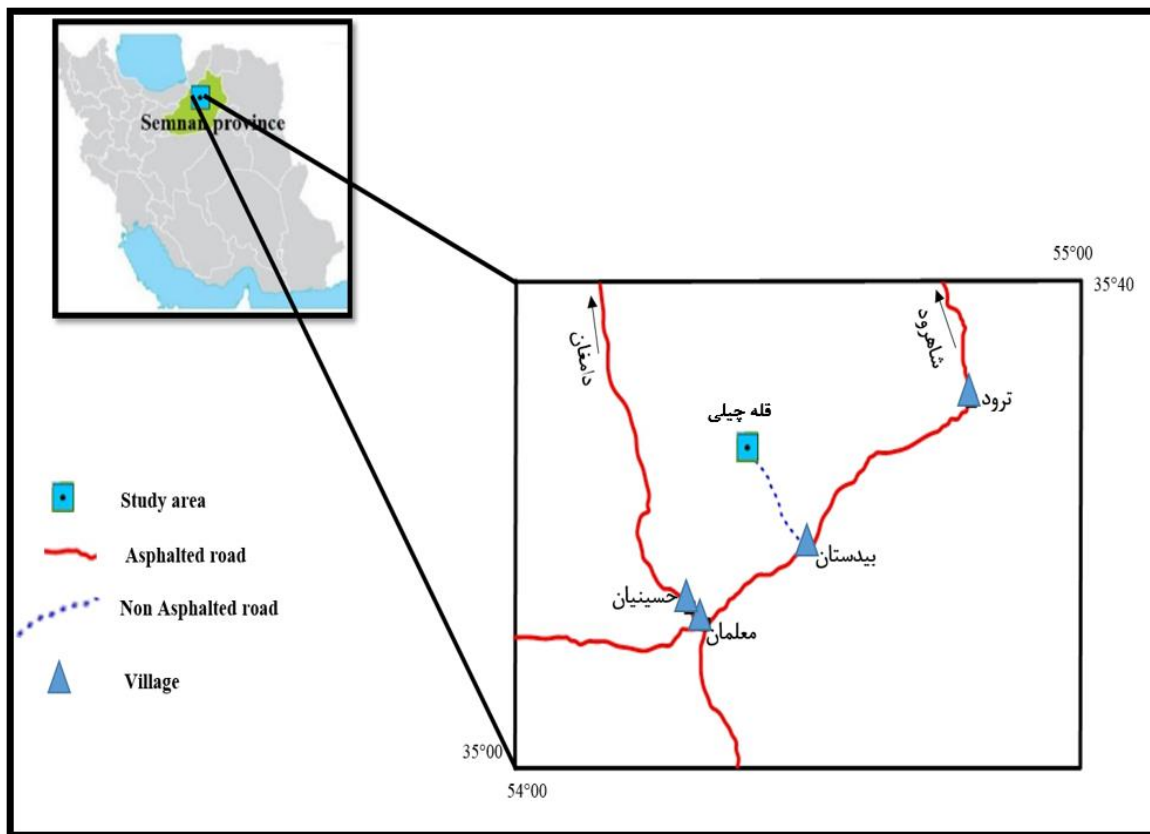
کلمات

۱-۱- مقدمه

کانسار مس قله‌چیلی در توالی آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین و در قسمت شمالی پهنه ایران مرکزی و در جنوب غرب شهرستان شاهرود واقع شده‌است. این منطقه به علت دارا بودن محیط تکتونیکی مناسب و وجود سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن، شرایط زمین‌شناسی مناسبی را برای تشکیل فلزات پایه از جمله مس، سرب، روی، طلا، نقره و سایر فلزات قیمتی و گرانبها ایجاد کرده‌است، که کانسار مس قله‌چیلی نمونه‌ای از آنها می‌باشد. به دلیل بالا بودن پتانسیل معدنی، وجود معادن و کانسارهای با ارزش فلزات پایه و گرانبها مطالعات گسترده‌ای در زمینه پترولوژی، زمین‌شناسی اقتصادی، تکتونیک و همچنین مطالعات پی‌جویی و اکتشاف برای عناصر مختلف در این رشته کوه صورت گرفته‌است. با توجه به این که عنصر مس از ضروری‌ترین فلزات مورد نیاز برای جامعه بشری و یکی از فلزات استراتژیک و کاربردی در جهان به شمار می‌آید، به همین دلیل نحوه تشکیل و محیط تشکیل آن در اکتشاف کانسارهای معدنی مس و بهره‌برداری از این ذخایر حائز اهمیت می‌باشد. مطالعات زمین‌شناسی و زایشی بر روی این کانسار می‌تواند کلید اکتشاف مهمی برای شناسایی کانسارهای مجهول مشابه و نیز تداوم عملیات اکتشافی بر روی کانسارهای شناخته شده باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه

اندیس مس قله‌چیلی در حدود ۱۷۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان شاهرود در استان سمنان با مختصات جغرافیایی $54^{\circ}43'34''$ طول شرقی و $35^{\circ}17'27''$ عرض شمالی قرار گرفته‌است. راه‌های اصلی دسترسی به منطقه، جاده آسفالتی شاهرود- ترود- بیدستان (۱۶۰ کیلومتر) می‌باشد، که از قسمت ورودی روستای بیدستان پس از طی جاده خاکی به طول ۱۵ کیلومتر به منطقه مورد مطالعه می‌رسیم (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه (اقتباس از اطلس راه‌های کشور)

۱-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه

بطور کلی منطقه دارای شرایط آب و هوایی گرم و خشک کویری می‌باشد. در بیشتر اوقات سال، جریان‌های هوای گرم و خشک کویری در منطقه سبب افزایش درجه حرارت هوا شده که در گرمترین روزهای سال به بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. میزان بارندگی بسیار کم و در حدود (۱۵۰ میلی‌متر) در سال است (آمار استان سمنان، ۱۳۸۴).

قرارگرفتن منطقه در حاشیه شمالی کویر بزرگ ایران و نیز وجود کوه‌های نسبتاً مرتفع، موجب تغییرات فشار، جابه‌جایی هوا و وزش باد در منطقه می‌شوند. علاوه بر بادهای محلی، بادهای غربی و کویری نیز بر آب و هوای این منطقه تأثیر می‌گذارند. بادهای غربی مرطوب و باران‌زا هستند، و بادهای کویری موجب افزایش دما و خشکی هوا می‌شوند.

رودها معمولاً خشک و بی‌آب هستند و چند چشمه و چاه، تنها منابع تأمین کننده آب منطقه می‌باشند. وجود همین چاه‌ها و چشمه‌ها موجب تجمع جمعیت اندک و ایجاد مراکز جمعیتی پراکنده در منطقه شده است. با این حال، در ارتفاعات شرایط آب و هوایی تا حدودی متفاوت است و معمولاً در فصل زمستان با بارش‌هایی از باران و برف مواجه می‌باشند، که این وضعیت سبب برودت هوا در زمستان تا چند درجه زیر صفر می‌شود. از طرف دیگر تابستان‌های نسبتاً معتدلی را برای این مناطق باعث می‌شود. در منطقه قله‌چیلی پوشش گیاهی نسبتاً تنکی وجود دارد، که تعداد گونه‌های موجود به بیش از ۳ تا ۵ گونه گیاهی نمی‌رسد (شکل ۱-۲) که اغلب از نوع شوره‌ها (از خانواده اسفنجیان)، درمنه یا قیچ، قیچ-درمنه و شور-درمنه می‌باشند و گیاهان همراه این گونه‌ها معمولاً خیلی محدود بوده و بیشتر شامل خارپشته، کاروان کش، اسپند، تاغ و اشنان می‌باشند (محمدزاده، ۱۳۹۱).



شکل ۱-۲- نمایی از پوشش گیاهی منطقه.

۴-۱- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه

از مهم‌ترین مراکز مسکونی منطقه روستاهای ترود، بیدستان، سطوه و سراجی می‌باشند. ترود مهم‌ترین روستای منطقه است که در حدود ۴۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه واقع شده است. به طور کلی این

منطقه به دلیل موقعیت جغرافیایی، اقلیمی، واقع شدن در منطقه در حاشیه کویر و کمبود نزولات جوی شرایط مناسبی جهت کشاورزی ندارد، و همین سبب مهاجرت روستائیان به شهرستان‌های شاهرود و گرگان شده‌است. با این حال روستائیان ساکن در منطقه به پرورش شتر و کار در نخلستان‌ها مشغول می‌باشند.



شکل ۱-۳- نمایی از روستای بیدستان که در ۱۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

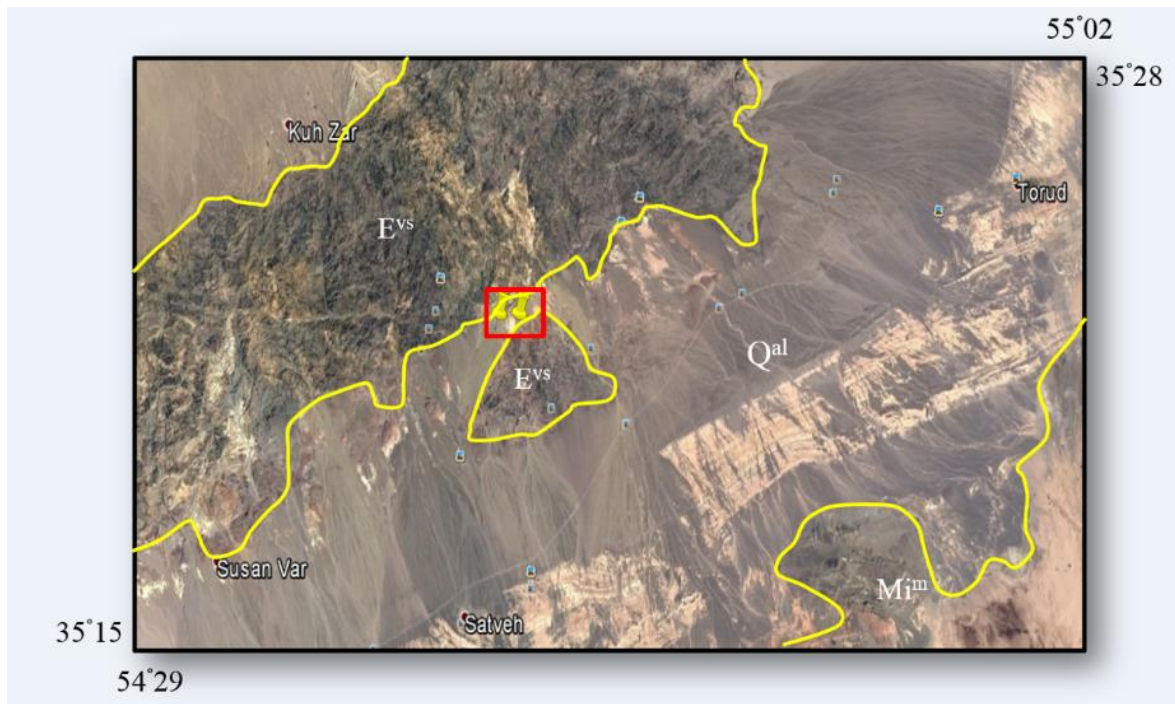
۱-۵- زمین ریخت‌شناسی

مورفولوژی منطقه تحت تأثیر لیتولوژی متفاوت و مخصوصاً عملکرد گسل‌های اصلی و بزرگ از جمله گسل ترود در جنوب و گسل انجیلو در شمال قرار گرفته است. بطور کلی منطقه را می‌توان به سه بخش مورفولوژیکی تقسیم نمود:

الف: بخش دشت شمالی، که کویر چاه‌جم در آن قرار گرفته‌است و پوشیده شده از، ماسه‌های بادی و رسوبات کواترنری جوان در دهانه خروجی دره‌ها به داخل دشت و کفه‌های نمکی.

ب: بخش ارتفاعات، که بصورت یک رشته کوه کشیده با روند تقریباً شرقی- غربی و متشکل از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی توالی ولکانیکی- رسوبی ترود- چاه شیرین می‌باشد. گسل انجیلو مرز بین توالی با دشت شمالی و گسل ترود مرز آن با دشت جنوبی را مشخص می‌کند. مهم‌ترین کوه‌های منطقه عبارتند از: کوه دارستان با ارتفاع ۲۳۱۹، کوه بابا احمد با ارتفاع ۲۲۹۹ و کوه کاله کجوقرا با ارتفاع ۲۱۷۱ متر از سطح دریا.

پ: بخش دشت جنوبی که شامل کویر نمک و عمدتاً از کفه‌های نمکی، رسی و تراس‌های جوان در دامنه‌ها تشکیل شده‌است. ماسه‌های بادی بصورت تپه‌های ماسه‌ای طولی و برخان و ... گسترش دارند. سیستم آبراه‌ای در قسمت ارتفاعات بصورت شاخه درختی یا دندریتی است ولی در داخل دشت به شکل موازی متمایل می‌گردد.



شکل ۱-۴ نمایی از ژئومورفولوژی کانسار مس قله‌چیلی که محدوده مورد مطالعه در آن مشخص شده‌است.

۱-۶- تاریخچه معدنکاری و مطالعات انجام شده قبلی

مطالعات انجام شده بر روی کانسار مس قله‌چیلی در دو دسته ۱. مطالعات انجام شده بر روی زیر پهنه

ترود- چاه شیرین و ۲. مطالعات انجام شده بر روی کانسار مس قله چیلی قرار می گیرند. کارهای انجام شده در منطقه بیشتر جنبه اکتشافی داشته و همچنین در منطقه اثرات معدنکاری قدیمی مانند تونل و ترانشه دیده می شود.

۱-۶-۱- مطالعات انجام شده در زیرپهنه ترود- چاه شیرین

مجموعه ماگمایی- رسوبی ترود-چاه شیرین، به جهت وجود رخدادهای معدنی و معادن متروکه متعدد بویژه رگه های فلزات پایه و گرانپها با منشأ گرمایی از جمله کانسارهای گندی (Au-Pb-Zn)، ابوالحسنی (Au-Pb-Zn)، چشمه حافظ (Pb-Zn)، چاه موسی (Cu)، دارستان (Cu-Au)، کوه زر (Cu-Au) و موارد متعدد دیگر از نظر زمین شناسی و معدنی مورد توجه بوده است، و تاکنون مطالعات زمین شناسی و اکتشافی بی شماری در آن صورت گرفته است، که در ذیل به پاره ای از آن ها اشاره می گردد:

- حلم هاکر (۱۸۹۸) و هنمیک (۱۸۹۹) اولین محققانی هستند که با هدف پی جویی طلا زمین شناسی منطقه را مورد مطالعه قرار داده اند. بنا به اظهار حلم هاکر در قرن ۱۴ میلادی از این ذخایر با عیار ۲ الی ۳ گرم در تن بهره برداری می شده است و با بررسی آبرفت های طلا دار، عیار طلا را ۷ میلی گرم در متر مکعب آبرفت ذکر کرده است.

- هوبر و اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوبر (۱۹۵۷) به بررسی زمین شناسی منطقه ترود- معلمان پرداخته و پس از آن این محدوده توسط علوی (۱۹۷۰) مورد بازنگری مجدد قرار گرفت. همچنین هوبر و اشتوکلین توانستند تمام بخش جنوبی رشته کوه های ترود- چاه شیرین را با دید دقیق مطالعه کرده و نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ آن را تهیه کنند.

- تقی زاده (۱۹۶۸) در باره مس و فیروزه در شمال رشته کوه ترود تحقیقاتی به عمل آورده است.
- وثوق زاده و همکاران (۱۹۷۰) ناحیه ستوه- ترود را مورد مطالعه ژئوشیمیایی قرار داده اند. همچنین با تکیه بر داده های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، در محدوده باغو مطالعات ژئوشیمیایی تفضیلی انجام دادند. این بررسی وجود آنومالی های مس را (همراه با سرب و روی) تأیید کرد.

- نیکلاس (۱۳۴۹) محدوده باغو را با روش‌های I-P، مانیتومتری و S-P تحت اکتشافات ژئوفیزیکی قرار داد و در پایان دو محدوده آنومالی اصلی مس را در دره بازارها (جنوب باغو) معرفی کرد.
- علوی و همکاران (۱۳۵۷)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود را تهیه کرده، و رخنمون جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب آندزیت و برش‌های آتشفشانی (E۷۱) و برش آتشفشانی با ترکیب داسیتی (E۷۲) به سن ائوسن-اولیگوسن را در محدوده مس قله‌چیلی ترسیم نموده‌اند.
- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۹۵)، گزارش و نقشه ژئوشیمیایی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را تهیه کرده، و در محدوده مس قله‌چیلی آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مس، سرب، روی، طلا و ... گزارش کرده‌اند.
- شمعیان و همکاران (۲۰۰۴)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در مناطق گندی و ابوالحسنی را مطالعه کرده، و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کرده‌اند.
- مهرابی و قاسمی سیانی (۲۰۱۲)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه چشمه حافظ را مطالعه کرده، و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کرده‌اند.
- کوثری (۱۳۸۴) ارزیابی اکتشافی و اقتصادی اندیس‌های مس معدن چاه‌موسی را انجام داده‌است.
- لیاقت و همکاران (۱۳۸۴) در مورد پترولوژی، ژئوشیمی و ژنز فیروزه باغو مطالعاتی انجام داده‌اند.
- اشراقی و جلالی (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را تهیه کرده، و سنگ‌های داسیتی و داسیت-آندزیتی دگرسان شده به سن ائوسن-اولیگوسن، سنگ‌های گدازه‌ای زیردریایی و آتشفشانی‌های تخریبی با ترکیب حدواسط تا بازیک (آندزیت، آندزیت-داسیت، تراکی-آندزیت و کمی بازالت)، تراکی-آندزیت، کمی داسیت-آندزیت همراه با افق‌هایی از ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی تخریبی، و بازالت، آندزیت-بازالت، بازالت اسپلیتی به سن ائوسن را در محدوده مس قله‌چیلی نقشه‌برداری کرده‌اند.
- امام جمعه و همکاران (۱۳۸۵) کانی‌سازی مس در منطقه چاه‌موسی را مطالعه کرده، و تیپ کانی‌سازی را از نوع رگه‌ای گرمابی معرفی کرده‌اند.

- پور شعبان و همکاران (۱۳۸۹)، مطالعات کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی در کانسار مس کلاته مهران سمنان را تحقیق نموده، و کانی‌سازی مس را از نوع رگه‌ای معرفی کرده‌اند.
- مهربایی و همکاران (۱۳۸۹) زمین‌شناسی و کانی‌شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه‌حافظ را مورد بحث قرار داده‌اند.
- مرادی و حسن‌نژاد (۱۳۹۰) به مطالعه کانه‌زایی طلا در کانسار باغو پرداخته‌اند.
- ناهیدی فر و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان، این کانی‌زایی را محصول فعالیت‌های هیدروترمالی در مجموعه آتشفشانی زیردریایی ائوسن دانسته‌اند.
- طالع ماسوله و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه خود تحت عنوان مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه‌گله شمال غرب ترود که خاستگاه این کانسار را محلول‌های هیدروترمالی با درجه حرارت نه چندان زیاد فرض نموده که از سنگ‌های آتشفشانی نوع آندزیتی و تراکی- آندزیتی منشاء گرفته‌اند.
- قربانی (۱۳۸۴)، ولکانیسم ائوسن در منطقه ترود، جنوب دامغان را مطالعه کرده، و آن‌ها را از نوع کالک آلکالن و آلکالن می‌داند.
- و مطالعات متعدد دیگر.

۱-۶-۲- مطالعات انجام شده در ایران (هم تیپ کانسار مس قله‌چیلی)

- ✓ کانسارهای تیپ ولکانیک ردبد و مانتو
- صالحی و همکاران، (۱۳۹۴) کانسار معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی را نمونه‌ای از کانسارهای نوع مانتو، در خاور شاهرود معرفی کرده‌اند.
- بویری کناری و همکاران، (۱۳۹۱) کانسار مس (-نقره) کشت مهکی را در رده ذخایر ولکانیک رد بد (VRB)، که از مرحله فعالیت آتشفشانی زیردریایی تا مرحله تدفین ژرفایی، تشکیل و تمرکز یافته‌اند، در نظر گرفته است.

- ابولی‌پور و همکاران، (۱۳۹۳) کانه‌زایی مس موجود در آندزیت پورفیر پیرویتومن‌دار کشکوییه رفسنجان را کانی‌ساز مس چینه‌کران از نوع مانتو تعیین کرده است.
- جباری و همکاران، (۱۳۹۵) کانسار کال ابری در مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن شمال غربی بردسکن را یک کانسار مس چینه‌کران از نوع مانتو معرفی می‌کند.
- ✓ کانسارهای تیپ رگه‌ای هیدروترمال
- عبدالهی و همکاران، (۱۳۹۶) کانسارمس رباعی را یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای، که بیشترین شباهت را با اپی‌ترمال‌های سولفید متوسط دارد معرفی می‌کند.
- طالع ماسوله و همکاران، (۱۳۸۹) کانسارمس چاه‌گله را یک کانسار رگه‌ای کوچک معرفی می‌کند.
- پورشعبان و همکاران، (۱۳۸۹) کانسار مس کلاته مهران را کانسار مس رگه‌ای پلی‌متال معرفی می‌کند.

۱-۷- طرح مسأله و هدف از مطالعه

مس یکی از عناصر متداولی است که بشر بطور گسترده از آن استفاده می‌کند، بدلیل خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی مصرف این عنصر رو به افزایش است. از اینرو، بدلیل تقاضای بالا برای این کالای صنعتی، شناسایی و اکتشاف کانسارهای جدید آن نیز حائز اهمیت است، و مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها، در بهینه‌سازی پروژه‌های اکتشافی در مراحل مختلف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. محدوده اکتشافی مس قله‌چیلی در شمال آبادی بیدستان و جنوب‌غربی شهرستان شاهرود واقع است. از نظر موقعیت زمین‌ساختی، کانسارمس قله‌چیلی در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و در زیر پهنه‌ی ترود- چاه شیرین قرار دارد. توالی آتشفشانی- رسوبی در نوار ترود- چاه شیرین شامل ترکیبی از گدازه‌های آندزیتی، داسیتی، برش‌های ولکانیکی، توف و گدازه برشی، توف، ماسه‌سنگ توفی، ماسه‌سنگ، شیل، سنگ آهک و مارن به سن ائوسن میانی ترکیب یافته است. سنگ‌های نیمه خروجی با ترکیب

ریوداسیت پورفیری و توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانیتی، گرانودیوریتی، مونزونیتی، و دایک‌های بازی به سن ائوسن تا اولیگو- میوسن در مجموعه‌های آتشفشانی- رسوبی تزریق شده‌اند (علوی و همکاران، ۱۳۵۷). روند عمومی ساختمانی در این نوار ماگمایی شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که با روند گسل‌های امتداد لغز آنجیلو و باغو در شمال و ترود در جنوب مطابقت دارد. فرایندهای دگرسانی در این ناحیه عموماً شامل کائولینیتی شدن، سیلیسی شدن، سریسیتی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن و گریزنی شدن است. در این نوار ماگمایی تعداد زیادی معدن، کانسار و آثار معدنی فلزات پایه، گرانبها و غیر فلزی گزارش شده‌است. کانسارهای فلزی مس، سرب، روی، طلا، نقره، آهن و منگنز و کانسارهای غیر فلزی مانند فیروزه، بنتونیت، فلدسپات، باریت، کائولن، زئولیت و... از پتانسیل‌های معدنی این منطقه هستند. کانی‌سازی‌های فلزات پایه و گرانبها به شکل‌های برشی، پرشدگی فضاهای خالی و نواری پوششی در سنگ‌های میزبان مشاهده می‌شود.

در این محدوده، سنگ میزبان کانی‌سازی مس تراکی آندزیت‌های ائوسن است، و ماده معدنی به شکل - های افشان، رگه و رگچه‌ای مشاهده می‌شود. کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت کانه‌های اصلی کانسار است، که در این میان مالاکیت در رخنمون‌های سطحی فراوانی بیشتری دارد. رخداد مس در محدوده قله‌چیلی به نظر می‌آید که مشابه کانی‌سازی‌های مس رگه‌ای پوسیده، چاه‌مورا، چشمه‌حافظ (Mehrabi and Ghasemi Siani, 2012)، چاه‌موسی (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۵)، کلاته مهران (پور شعبان و همکاران، ۱۳۸۹)، دیان (ناهدی فر و همکاران، ۱۳۹۳)، فلزات پایه و گرانبها گندی و ابوالحسنی (Shamanian et al., 2004)، مس چاه‌گله (طالع ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹) و ... در منطقه فلززائی ترود - چاه‌شیرین باشد، ولی اظهار نظر قطعی درباره الگوی تشکیل کانسار مس قله‌چیلی منوط به نتیجه پژوهش حاضر خواهد بود.

- تعیین ارتباط بین کانی‌زایی و سنگ‌های میزبان
- تعیین کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی کانی‌ها
- تعیین عوامل کنترل کننده کانه‌زایی در منطقه

- تعیین تیپ کانی‌سازی و الگوی تشکیل کانسار
- تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی و سنگ‌های میزبان و همراه
- تعیین شکل پهنه بندی دگرسانی در کانسار
- تعیین کلیدهای اکتشافی جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های اکتشافی در محدوده قله‌چیلی و نیز شناسایی ذخایر جدید

۱-۸-۱- روش مطالعه

انجام این تحقیق طی چند مرحله شامل مطالعات دفتری، مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری، مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی، پردازش و تفسیر داده‌ها و نتایج است. در این بخش به اختصار هر مورد معرفی و شرح کامل آنها در بخش مربوط به خود ارائه می‌شود.

۱-۸-۱-۱- مطالعات دفتری

در این مرحله اطلاعات منتشرشده قبلی موجود اعم از گزارش‌های تحقیقاتی، پایان نامه‌ها، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، مقالات داخلی و خارجی مختلف جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۸-۱-۲- مطالعات صحرایی

پس از انجام مطالعات دفتری، طی چند مرحله بازدید صحرایی، تعدادی نمونه از بخش‌های مختلف ماده معدنی و سنگ‌های در برگیرنده آن مبتنی بر تنوع سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی برداشت گردید.

۱-۸-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

از نمونه‌های برداشت شده تعداد ۱۸ عدد مقطع نازک، ۷ عدد مقطع نازک-صیقلی، ۷ عدد مقطع صیقلی در بخش زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود و ۴ مقطع دوبر صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی،

کانه‌نگاری و سیال درگیر در شرکت آذین زمین پویا تهیه شد. همچنین تجزیه تعداد ۵ نمونه از رخنمون- های سنگی به روش فلئورسانس اشعه ایکس (XRD) به منظور تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های موجود و تشخیص نوع دگرسانی، ۱۲ نمونه سنگ غیرآلتره به روش ICP-MS/Oes به منظور تعیین میزان عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و عناصر نادر خاکی و XRF به منظور تعیین اکسیدهای اصلی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، ۲ نمونه کانسنگ نیز برای تجزیه چندعنصری و طلا به ترتیب به روش‌های پکیج طلایی (شامل آنالیز به روش ICP-MS/Oes برای تعیین عناصر اصلی، کمیاب و عناصر نادر خاکی) و آذر محک (Fire Assay) برای تعیین عنصری طلا در شرکت زراژمانالیز گردید، همچنین تعداد ۴ مقطع دوبر صیقلی برای مطالعه سیالات درگیر تهیه شد که دو نمونه آن در شرکت آذین زمین پویا مورد مطالعه قرار گرفت.

۱-۸-۴- تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان‌نامه

- انجام مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی
 - انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی و مقایسه داده‌ها با الگوهای مشابه
 - تجزیه و تحلیل داده‌های سیال درگیر
- نتایج بدست آمده از همه‌ی روش‌ها و استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری و... دسته‌بندی، پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه از آن استفاده شده‌است.

۱-۹- انواع کانسارهای مس

کانسارهای مس را می‌توان بر اساس خاستگاه آن‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. گیلبرت و پارک این کانسارها را بر اساس ویژگی‌های سنگ میزبان و موقعیت تکتونیکی (Guilbert and Park, 1997) بصورت زیر طبقه‌بندی نموده‌اند:

۱. کانسارهای مس پورفیری همراه با توده‌های نفوذی حدواسط تا فلسیک

۲. کانسارهای مس همراه با توده‌های آذرین مافیک

۳. کانسارهای مس رسوبی (استراتیفرم)

۴. کانسارهای مس اسکارنی

۵. کانسارهای مس همراه با ولکانیسم زیردریایی (ماسیوسولفید)

۶. کانسارهای مس همراه با ولکانیسم خشکی

۷. کانسارهای رگه‌ای کردیلرایی

۸. کانسارهای مس گرمایی (ابی‌ترمال)

۹. کانسارهای مس همراه با کربناتیت‌ها

در زیر برخی از کانسارهای مس مختصراً شرح داده می‌شود.

۱-۹-۱- مس پورفیری:

کانسارهای پورفیری از جمله شناخته شده‌ترین ذخایر هیدروترمال هستند که به واسطه همراهی با توده‌های آذرین درونی دارای بافت پورفیری به این نام معروف شده‌اند. ذخایر پورفیری دارای بافت دانه پراکنده و یا استوکورکی هستند. اگر سنگ‌های اطراف دارای نفوذپذیری اولیه‌ی بالا باشند طبق معمول تمرکزی از سیالات ماگمایی ایجاد نمی‌گردد و تنها امکان رخداد کانی‌سازی رگه‌ای مرتبط با توده در فضاهای بزرگ اطراف آن می‌شود. در صورتی که سیستم در نزدیکی سطح زمین متبلور شود و به شرط آنکه حجم محلول‌های ماگمایی زیاد باشد، فشار بخار آب موجب انفجار و برشی شدن سنگ‌ها خواهد گردید. این پدیده باعث تسهیل عبور سیالات از متن سنگ شده که خود باعث ته‌نشینی کانی‌ها در فضای بین قطعات برشی می‌شود. کانی اولیه‌ی مس در این کانسارها کالکوپیریت و بورنیت هستند. پیریت و بعضاً مولیبدنیت نیز در این کانسارها دیده می‌شوند. ذخیره‌ی نمونه‌هایی از این کانسارها به چند میلیارد تن می‌رسد، اما این ذخایر دارای عیار پایین بوده و شکل، بافت، عیار و میزان ذخیره این ذخایر به تعداد توده‌های نفوذی عامل کانی‌سازی و یا توده‌های عقیم پس از آن ارتباط دارند. نحوه تداخل توده‌ها، حجم محلول‌های ماگمایی، عمق تبلور و جایگزینی و همچنین میزان تخلخل و

شکستگی سنگ‌های منطقه از دیگر عوامل تاثیرگذار در شکل کانسار هستند، شکل ذخایر مس پورفیری به صورت چتری، عدسی محدب، صفحه‌ای و استوانه‌ای می‌باشد.

کانسارهای مس پورفیری به واسطه محل رخداد خود به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

الف- نوع مونزونیتی

ب- نوع دیوریتی

۱-۹-۲- کانسارهای اسکارن مس دار

اسکارن یک واژه سوئدی است که معدنچیان سوئدی برای نامیدن مخلوطی از سیلیکات‌های کلسیم درشت بلور که همراه کانه‌های آهن که در معادن آهن این کشور یافت می‌شد، به کار می‌بردند. دانشمندان در اوایل قرن گذشته این واژه را به صورت علمی وارد تعاریف زمین‌شناسی اقتصادی نمودند. محلول‌های کانی‌سازی که از ماگما منشأ می‌گیرند، در دما و فشار بالای حاکم بر اعماق از توده آذرین در حال سرد شدن به سمت هاله دگرگونی کربناته حرکت نموده و به شدت با آن واکنش می‌دهند. این واکنش‌ها دو گروه از کانی‌های جدید را در هاله دگرگونی پدید می‌آورد. یک گروه کانی‌های سیلیکات کلسیم نظیر گارنت‌های کلسیم‌دار، اپیدوت، آکتینولیت، هیدنبرژیت و زوئیزیت، این گروه از کانی‌ها که اصطلاحاً کانی‌های کالک-سیلیکات نامیده می‌شوند، کلسیم را از سنگ‌های رسوبی کربناته (آهک یا دولومیت‌ها) گرفته و عناصری چون Fe, Mg, Si, Na, Al را از محلول‌های ماگمایی کسب می‌کنند. گروه دوم گروه کانی‌های اکسیدی و سولفیدی که مستقیماً از محلول‌های ماگمایی متبلور شده و ماده معدنی اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت و هماتیت هستند که ترکیب و مقدار هر کدام به ترکیب محلول‌های ماگمایی بستگی دارد. از ویژگی‌های مهم اسکارن‌ها ابعاد نسبتاً درشت بلورها و مخلوط بودن کانه‌های مس و آهن و کانی‌های کالک سیلیکات است. کانی‌های اصلی اسکارن‌ها را کالکوپیریت، پیروتیت، پیریت و مگنتیت و کانی‌های باطله را گارنت، پیروکسن، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کربنات‌ها می‌سازند. کانسارهای اسکارن در اعصار مختلف زمین-شناسی از پرکامبرین تا دوران سوم تشکیل شده‌اند.

اسکارن‌های مس در مجاورت توده‌های نفوذی کالک آلکالن با ترکیب گرانودیوریت تا مونزونیت با سنگ-های کربناته یافت می‌شوند. این اسکارن‌ها غالباً متعلق به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی هستند. عیار مس این کانسارها بین ۰/۸ تا ۳/۵ درصد و ذخیره آن‌ها بین ۷۵ تا ۱۳۵۰ میلیون تن در کانسنگ مس متغیر است. ذخیره مس در زون غنی از گارنت واقع گردیده‌است و مقدار کل سولفید در این زون به ۱۵ درصد می‌رسد. نسبت کالکوپیریت به پیریت در این زون بین ۲/۱ تا ۱/۱ است. این کانسارها به اشکال لایه‌ای، در فصل مشترک توده نفوذی و سنگ‌های آهکی و یا به شکل داربستی دیده می‌شود. کانی اقتصادی مهم آن کالکوپیریت می‌باشد. عیار معدن کاری در آن ۸ تا ۰/۲ درصد می‌باشد. از جمله این ذخایر می‌توان به کانسار مزرعه و داقرداغ در آذربایجان شرقی اشاره کرد.

۱-۹-۳- کانسارهای سولفید توده ای مس

این کانسارها به شکل توده‌ای و یا داربستی بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوپیریت، اسفالریت و گالن می‌باشد. عیار معدن کاری در این کانسارها ۶-۰/۴ می‌باشد. انواع مختلف این کانسار در زیر به اختصار تشریح شده‌اند.

۱-۹-۴- کانسارهای مس رسوبی (استراتی باند استراتی فرم)

کانسارهای مس با میزبان رسوبی پس از کانسارهای مس پورفیری مهمترین منابع تامین مس در دنیا بوده و بیش از ۲۳٪ تولید جهانی مس را تشکیل می‌دهد. این کانسارها اغلب از دو میلیارد سال قبل تا میوسن تشکیل شده‌اند. در سال‌های اخیر مس رسوبی در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته و در این رابطه تعداد زیادی کانسار و نشانه معدنی مس با میزبان رسوبی در ادوار مختلف زمین‌شناسی (از اواخر پرکامبرین تا اواخر ترشیری) شناسایی شده‌است. کانسارهای مس با میزبان رسوبی عمدتاً چینه‌سان یا چینه‌کران بوده و همراه با رسوبات آواری یا آواری کربناته تشکیل شده و منشأ ولکانیکی یا اگزالاتیو ندارند. سه عنصر مس، کربن و گوگرد از مواد اصلی تشکیل دهنده این کانسارها هستند، که عنصر مس عمدتاً از کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن موجود در قطعات سنگی تخریبی در افق‌های ماسه-سنگی و کنگلومرایی تامین می‌شود. کمربند مس زامبیا، مس کوپرشیفر در اروپا، وایت‌پاین در امریکا،

ادوکان در شوروی سابق، دریاچه اسپار در آمریکا و کروکرو در بولیوی مهمترین کانسارهای مس استراتی باند- استراتی فرم رسوبی دنیا می باشند. این کانسارها به شکل لایه ای بوده و کانی های اقتصادی مهم آن کالکوسیت، می باشد. در ایران نیز نشانه ها و کانسارهای مس با میزبان رسوبی در توالی های مختلف چینه ای از پرکامبرین تا الیگو- میوسن شناسایی شده اند. به جز کانسارهای مس خونگه و ده معدن در حوضه زاگرس که دارای سنگ میزبان کربناته سازند میلا و باروت هستند بقیه ذخایر شناخته شده از نوع طبقات آواری قرمز پرکامبرین فوقانی (سری هرمز) کامبرین زیرین (سازند زاگون) کرتاسه زیرین (سازند گردو در حوضه کرمان- طبس و سازند شوریجه در حوضه کپه داغ) و الیگو- میوسن (رسوبات قرمز فوقانی در ایران مرکزی و آذربایجان) است.

۱-۹-۵- کانسارهای مس گرمابی رگه ای

این کانسارها به صورت ذخایری با طول زیاد و عرض کم در شکافها و بریدگی طبقات جا گرفته و رگه معمولاً شیب زیادی دارند. از نظر طولی تا حداکثر ۱۰ کیلومتر امتداد دارند ولی از نظر عرض حداکثر ۱۰ متر و تا عمق ۵۰۰ الی ۶۰۰ متر گسترش یافته اند. کانسارهای رگه ای اغلب در متن گرانیتوئیدها و به مقدار کمتر سازندهای آتشفشانی و رسوبی و دگرگونی از دوره های مختلف قابل رؤیت و اکتشاف هستند. کانی های اصلی نیز شامل کالکوپیریت و انارژیت شده و کانی های باطله را کوارتز و کربناتها می سازند. کانی های فرعی از مگنتیت، هماتیت، پیریت، مولیبدنیت، کالکوسیت، بورنیت، کانی های خاکستری مس، اسفالریت و گالن تشکیل شده اند.

۱-۹-۶- کانسارهای کربناتی مس

کمپلکس های کربناتی از کربنات های ماگمایی نفوذی و سنگ های قلیایی همراه تشکیل یافته و از نظر سن از پروتروزوئیک تا زمان حال گسترش دارند. اکثر کربناتیتها در بخش های حاشیه ای مناطق کراتونی پایدار رخ داده و یا با ساختارهای ریفتی بزرگ مقیاس در ارتباطند. تاکنون تنها یک کمپلکس کربناتیت به عنوان تولید کننده اصلی مس به شمار می رود و آن کمپلکس پالابورا در آفریقای جنوبی است. کانه زایی ناچیز مس در مانتن پاس ایالات متحده و خلیج کالاندار در کانادا شناخته شده است.

الف - کانسار مس نوع کویناوی .

کانسارهای مس نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان و بازالتی نیز معروف می‌باشند، در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) به وفور یافت می‌شوند. در این کانسارها مس طبیعی کانی اصلی است و به طور فرعی کالکوسیت Cu_2S و دیژنیت $Cu_{1.8}S$ نیز حضور دارند که در هر دو نسبت فلز به گوگرد بالا است. ذخیره مس با مقادیری نقره است که این موضوع نشان گر پائین بودن فشار مؤثر گوگرد می‌باشد. در این کانسار ماده معدنی در درون سنگ‌های بازالتی تولییتی حفره‌دار و در زمینه لایه‌های کنگومرا که در بین فوران‌های بازالتی قرار دارند، پراکنده است. ماده معدنی همچنین به صورت رگه‌هایی هر دو سنگ را قطع می‌نماید. هر چند که اندازه دانه‌های مس طبیعی معمولاً در حد میلی‌متر می‌باشد و لیکن توده‌های مس به وزن صدها کیلوگرم نیز مشاهده شده‌اند. نوع خاصی از کانسار کویناوی که دارای مس طبیعی همراه با نقره طبیعی، کالکوسیت، بورنیت و ندرتاً کالکوپیریت هستند و به صورت رگچه‌ای، رگه‌ای، پر کننده حفرات و انتشاری در آندزیت‌های کالک آلکانل یافت می‌شوند را کانسارهای مس نوع آندزیتی می‌نامند. این کانسارها را عده‌ای معادل بیرونی کانسارهای مس پورفیری می‌دانند.

ب - کانسارهای ماگمایی مس

عیار مس این گروه در حدود ۱ تا ۲ درصد است. از این گروه کانسارها می‌توان کانسارهای تفریقی مس نیکل سولفیدی مرتبط با سنگ‌های نفوذی اولترابازیک تا بازیک را نام برد که عناصر کبالت، طلا، پلاتین و عناصر کمیاب به صورت محصول فرعی با آن استخراج می‌شود. از این نوع معادن سولفیدی در کشورهای روسیه، فنلاند، سوئد، کانادا، ایالات متحده، آفریقای جنوبی و استرالیا شناخته شده است. طبقات سنگ‌های نفوذی در سپرهای آتشفشانی مرکب از پریدوتیت، پیروکسنیت، گابرونوریت، گابرودیوریت و رخساره گابرو دولریتی و دولریت پیکریتی می‌باشد. طول رگه‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر متغیر و عمق آن بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در امتداد شیب و ضخامت می‌شود. همانطور که گفته شد عناصر Rh- Pd- Pt- Te- Co- Ru به صورت همراه حضور دارند. در این آن بین ۱ تا ۲ و گاهی تا ۴۰

یا ۵۰ متر می‌رسد. ماده معدنی هم به صورت سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک دیده کانسارها پیرویت، کالکوپیریت و پنتلاندیت کانی‌های اصلی هستند. کانی‌های فرعی نیز شامل مگنتیت، پیریت، بورنیت، نیکولیت، میلریت، ویولاریت، اسپرلیت و کوپریت می‌باشند. اولیون، پلاژیورکلاز و پیروکسن به همراه گارنت، اپیدوت، سرپانتین، اکتینولیت، تالک، کلریت و کربنات‌ها کانی‌های غیرفلزی این کانسارها را می‌سازند.

ج - کانسارهای مس نوع مانتو

واژه نوع مانتو (Manto type) واژه‌ای است که اولین بار در شیلی (Ruiz et al., 1971) و برای ذخایر مس چینه‌کران با میزبان آتشفشانی استفاده شده‌است. این ذخایر در ناحیه کردیلرای ساحلی (Coastal Cordillera) و کردیلرای مرکز (نواحی Uchumi Talcuna) شیلی، کمر بند فلز زائی مهمی را ایجاد می‌کنند (Kojima et al., 2008; Wilson & Zentilli, 2006). این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای IOCG، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به‌شمار می‌آیند (Trista-Aguilera et al., 2006). بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. در کانادا و شمال آمریکا نیز کانسارهای مس در سنگ‌های میزبان بازالتی یا آندزیتی، با عناوین کانسارهای مس بازالتی، مس کویناوی (Keweenaw) میشیگان (Michigan) و مس طبقات سرخ آتشفشانی (Volcanic Red bed Cu) شناخته می‌شوند (Lefebure and Church, 1996). البته تفاوت‌هایی میان ذخایر کانادا و آمریکا با ذخایر نوع مانتوی شیلی وجود دارد. ذخایر مانتو دارای عیار بالای مس (۱/۵ تا ۲ درصد) و محتوای نقره‌ی پایین (۵ تا ۲۰ گرم بر تن) و در بیشتر موارد بدون طلا هستند (Boric et al., 2002). بیشتر این ذخایر کوچک‌اند و تناژ پایینی دارند. بزرگترین ذخایر شناخته شده در شیلی، ال‌سولدادو (Elsoldado) با حجم ۲۰۰ میلیون تن و مانتوی بلانکو (Manto Blanco) با حجم ۱۲۰ میلیون تن (Maksaev and Zentilli, 2002). سنگ درونگیر این ذخایر، سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی با ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا تولئیت به رنگ خاکستری تیره تا سبز است. این سنگ‌ها در محیط کشتی مرتبط با فرورانش آند و حوضه‌های پشت کمانی تشکیل شده‌اند (Trista-Aguilera et al., 2006; Oliveros et al., 2006).

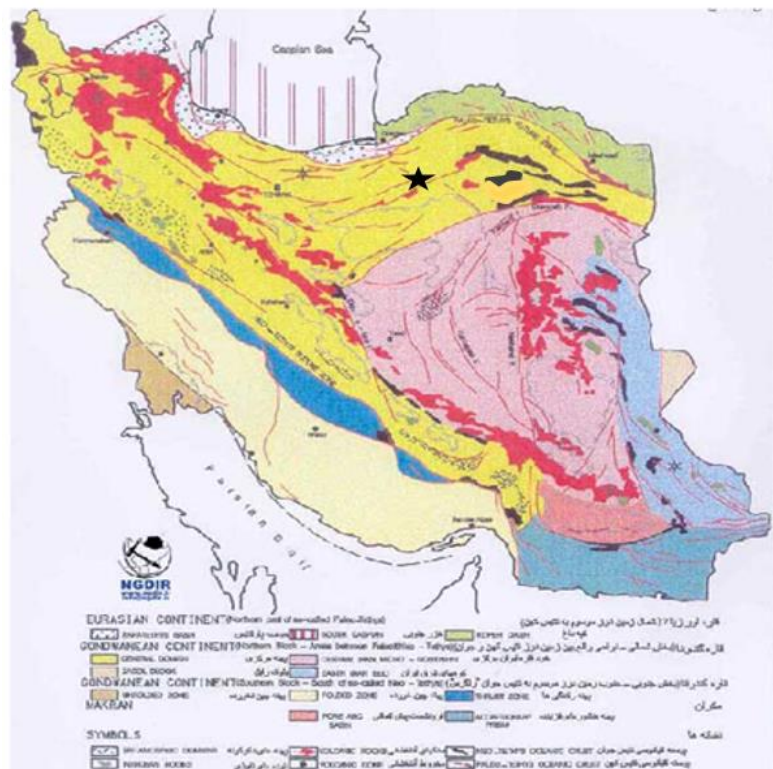
2008). بافت غالب این سنگ‌ها بافت پورفیریک، آفانتیک، بادامکی و برشی است (Oliveros et al., 2008). میانگین دامنه‌ی تغییرات دمایی تشکیل این کانسارها از ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دارای شرایط فشار پایین و نزدیک به منحنی جوشش است (Kojima et al., 2003). دامنه‌ی تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ (Kojima et al., 2008) تا ۶۲ درصد وزنی نمک طعام (Ramirez et al., 2006) گزارش شده است.

فصل دوم

زمین شناسی و سنگ شناسی

۱-۲- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی واقع شده است (۱-۲). در این پهنه، با توجه به تنوع واحدهای تکتونیکی، سنگ‌شناسی و سرگذشتی که از پرکامبرین تا عهد حاضر بطور تقریباً مستمر گذرانده است، می‌توان شاهد فرآیندهای مختلف متالوژنی و در نتیجه کانی‌سازی‌های گوناگون در مقیاس‌های مختلف باشیم. در این فصل، چینه‌شناسی، تکتونیک و ماگماتیسم توالی آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین بر اساس ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان پرداخته می‌شود.



شکل ۱-۲. موقعیت کانسار مس قله‌چیلی بر روی نقشه زمین‌شناسی ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳) که محدوده به شکل نشان داده شده است.

۲-۲- توالی آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین

توالی آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین، واقع در کرانه شمالی کویر مرکزی ایران، حاصل ماگماتیسم ترسیب در پهنه ایران مرکزی، می‌باشد. این مجموعه، که از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب غالب آندزیتی

و توده‌های گرانودیوریتی با ترکیب غالب دیوریتی تشکیل شده، میزبان کانسارهای رگه‌ای متعدد فلزات پایه و طلا می‌باشد (فرد و همکاران، ۱۳۸۰). اوج فعالیت ماگمایی این ناحیه از زمان ائوسن میانی تا پسین بوده است (هوشمندزاده ۱۳۵۷).

۲-۳- چینه‌شناسی ناحیه‌ای

این پهنه شامل نوار باریک و طولی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و توده‌های گرانیتوئیدی قطع‌کننده آنست که با روند تقریباً شرقی- غربی در حاشیه شمالی حوضه فرورفته کویر مرکزی به صورت یک فرازمین بین دو پهنه گسله ترود و انجیلو واقع شده‌است. در بخش‌هایی از آن، سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین- پالئوزوئیک به صورت پنجره‌هایی در آن رخنمون داشته و در شمال شرقی شهرستان ترود گسترش زیادی نشان می‌دهند. در این ناحیه واحدهای سنگ چینه‌ای زیر با سن پرکامبرین تا عهد حاضر، گسترش یافته‌اند:

سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین در برگیرنده گنیس، شیست و ... که به گونه‌ای بسیار محدود در کوه‌شتر رخنمون دارند.

سنگ‌های وابسته به کامبرین میانی شامل دولومیت‌های دربردارنده لایه‌ها و گرهک‌های سیلیسی. سازندهای نیور، پادها و سبزار که دربرگیرنده ماسه‌سنگ، کنگومرا، شیل، دولومیت و سنگ‌های آتشفشانی هستند و سازند بهرام که به طور عمده آهکی است و دارای تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل، گچ و جنوب گسل انجیلو دارند. در جنوب گسل انجیلو، این واحدها تا اندازه‌ای دگرگون شده‌اند، آنچنان که مرز میان سازندهای نیور- پادها و سبزار- بهرام به درستی قابل تفکیک نیست.

سنگ‌های پرمین با رخساره‌های آواری شبیه سازند درود البرز، در شمال گسل انجیلو رخنمون دارند. بر روی این سنگ‌ها، تناوبی از سنگ‌های آهکی فوزولین‌دار، همسان با سازند جمال، جای گرفته‌اند. سنگ‌های وابسته به تریاس زیرین و میانی ساخته‌شده از ماسه‌سنگ کوارتزیتی، شیل و دولومیت، قابل مقایسه با سازندهای سرخ شیل و شتری است و در شمال گسل انجیلو گسترشی محدود دارند.

سازند شمشک در این ناحیه به مجموعه نهشته‌های تریاس بالایی و لیاس گفته می‌شود و در برگیرنده شیل‌های ذغال‌دار، ماسه‌سنگ، آهک و ... است و در شمالِ گسل انجیلو، دارای گسترش چشمگیری است.

سنگ‌های وابسته به دو گروه، که در برگیرنده آهک‌های ماسه‌ای و کنگلومرای، مشابه سازند بادامو و شیل‌های آهکی- ماسه‌ای معادل سازند بغمشاه است و در جنوب گسل انجیلو برونزد دارند. سنگ‌های کرتاسه زیرین در برگیرنده نهشته‌های آواری قرمز رنگ، تناوبی از آهک و شیل و دوباره نهشته‌های آواری قرمز است.

سنگ‌های وابسته به ترسیر، در برگیرنده ترادف‌های ضخیم آتشفشانی و رسوبی ائوسن، نهشته‌های دریایی نومولیت‌دار ائو- الیگوسن، نهشته‌های آواری قرمز زیرین، آهک و شیل‌های سازند قم وابسته به اواخر الیگوسن، سازند قرمز بالایی و نهشته‌های وابسته به پلیو- پلیستوسن تا کواترنر است (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۳).

وجود توده‌های گرانیتوئیدی ترسیر و فعالیت‌های آخر ماگمایی این توده‌ها، چرخه‌های هیدروترمالی جالبی را برای تشکیل کانی‌سازی طلای رگه‌ای همراه با مس، سرب و روی در این پهنه نموده که بارزترین آن کانسار طلای کوه‌زر در دامنه شمالی و کانسار طلای گندی در جنوب آن بوده و نشان‌دهنده پتانسیل بالای طلا در این نوار آتشفشانی- نفوذی ترسیر با پی‌سنگ دگرگونه پرکامبرین- پالئوزوئیک است (قربانی، ۱۳۸۳).

۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی

این ناحیه از نظر زمین‌شناسی ساختاری، در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی در محدوده‌ای میان گسل‌های درونه (کویر بزرگ) و میامی- عطاری (یا سمنان) جای دارد. روند همگانی ناحیه، شمال‌شرقی - جنوب غربی است و اثرات حرکات کوهزایی پرشماری مانند حرکات کالدونین، هرسینین و آلپین در

آن مشهود است. حرکات پایانی پرمین، منطقه را به ۴ نوار زیر، تقسیم کرده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

الف. ناحیه شمال گسل انجیلو.

ب. نوار میان گسل انجیلو و رشته کوه‌های ترود-چاه شیرین.

ج. نوار کوه‌های ماجراد-شتر-ترود-چاه شیرین.

د. ناحیه گسله ترود.

تأثیر فازهای تکتونیکی بعدی در این نوارها ناهمسان است و باعث پدید آمدن روندهای چین خوردگی ناهمسانی در آن‌ها شده است.

روند چین خوردگی ناشی از فاز کیمیرین پسین در نوار (ج) شمال غرب- جنوب شرق است که در نوار (الف) در نزدیکی گسل انجیلو به سوی شمال تغییر می‌کند. در اثر چین خوردگی پس از ائوسن در نوار (الف) بیشتر در حدود 70NE و در نوار (ج) متفاوت است آن‌چنان که بین کوه‌های غاز و رشم، شمالی- جنوبی و در کوه‌های ترود به صورت 70 NE می‌باشد. روند گسله‌ها در این ناحیه N60-70E و شیب آن‌ها نزدیک به قائم است. گسله‌های فرعی، دارای امتدادهای شمال شرقی - جنوب غربی، شمال غربی - جنوب شرقی و کمتر شمالی- جنوبی و شرقی- غربی هستند (قربانی، ۱۳۸۳).

هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، در شرح زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود نیمه شمالی ورقه را رشته‌ای باریک بین دو گسل ترود (در جنوب) و گسل انجیلو (در شمال آن) می‌دانند و نیمه جنوبی ورقه یاد شده را به زیر پهنه رسوبی جندق نسبت می‌دهند. واحدهای سنگی نادگرگونه جای گرفته در گوشه شمال غربی ورقه را پهنه فرعی انجیلو می‌نامند. نیمه شمالی ورقه که روند تقریبی شمال شرق و غرب- جنوب غرب دارد را پهنه چاه شیرین- ترود می‌نامند. چنین می‌نماید که نیمه شمالی ورقه بصورت یک فرازمین بوده باشد که حاشیه شمالی فرورفتگی کویر بزرگ را پدید می‌آورند. این منطقه بالا آمده در شمال به بالا افتادگی کویر چاه جم و در جنوب به فرورفتگی کویر بزرگ محدود می‌شود که مرز جنوبی آن را گسل ترود و مرز شمالی آن را گسل انجیلو محدود می‌نماید (هوشمندزاده و همکاران

۱۳۵۷). نوار مرتفع نیمه شمالی ورقه از کوه‌های چاه شیرین، تا ناحیه عباس‌آباد سبزواری ادامه دارد و در برگیرنده ارتفاعات چاه شیرین، قله دختر، کوه بابا احمد، کوه زر، کوه چاه مسی، کوه چاه فراخ، کوه کفتاری و ... است. این نوار مرتفع به لحاظ دارا بودن کانی‌سازی در طولی در حدود صد کیلومتر مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. کانی‌سازی فلزی بطور عمده در سنگ‌های آتشفشانی ترسیری زیرین (پالئوژن) رخ داده است و در بردارنده کانسارهای مس، سرب، روی، منگنز، طلا، آهن و غیره و در نقاطی در اثر دگرسانی سنگ‌های اسیدی و توفی، کائولن و بنتونیت نیز پدیدار شده است.

سنگ‌های دگرگون شده پالئوزولیک دارای محیط تشکیل نیمه عمیق تا کم عمق بوده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی پالئوزوئیک به طور عمده همراه با حرکات اپیروژنیک است، که در اثر گدازه‌های آندزیتی-بازالتی سازند نیور و گدازه‌های آندزیتی سازند بهرام تظاهر دارد. فازهای ماگمایی مزوزوئیک، دربرگیرنده گدازه ضخیم آندزیتی میان سازند شتری و نایبند (کیمین پسین) و گدازه‌های آندزیتی سازند بادامو است. همچنین توده‌های نفوذی گرانیته و گرانودیوریتی گروه‌های بندهزارچاه و شتر که در شمال تا شمال شرقی ناحیه جای دارد، در ارتباط با این رخداد تکتونیکی هستند. محیط پیدایش نهشته‌های تریاس نیز از تخریبی تا نیمه عمیق تغییر می‌نماید. در لیاس نیز مثل سایر نقاط ایران نهشته‌های کرانه‌ای و قاره‌ای برجای گذاشته شده است که همگی پدیده دگرگونی را متحمل شده‌اند.

فعالیت‌های ماگمایی در ترسیر بسیار شدیدتر است و علاوه بر اینکه حجم قابل ملاحظه‌ای از گدازه‌های آندزیتی، داسیتی و نهشته‌های آذرآواری را در بر می‌گیرند، دربرگیرنده توده‌های نفوذی مثل گرانیته، گرانودیوریت و دیوریت نیز هستند. به طور کلی فعالیت‌های ماگمایی ترسیر، در نوارهای معینی که توسط گسل‌هایی با جهت E 60-70 N کنترل می‌شوند، صورت گرفته‌اند (قربانی، ۱۳۸۳).

در ائوسن فعالیت شدید آتشفشانی به گونه گسترده به چشم می‌خورد و سنگ نهشته‌های اواخر دوران سوم (میوسن) در ناحیه از نوع نهشته‌های کم عمق‌اند و از شدت رسوبگذاری زیاد و تند حکایت می‌نمایند. این نهشته‌های شبه مولاس، تمامی نیمه جنوبی ورقه را می‌پوشانند که کویر جندق را تشکیل می‌دهند. در این ورقه راندگی‌های بزرگ و کوچک نیز رخ داده است. همچنین گسل‌های نرمال و امتداد

لغز بزرگ نیز دیده می‌شوند. عمده‌ترین گسل‌های موجود در توالی آتشفشانی ترود- چاه‌شیرین، گسل ترود در شمال و گسل انجیلو در جنوب است که روند این گسل‌ها N60-70E است و شیبی نزدیک به ۸۰ درجه به سمت جنوب دارند (قربانی، ۱۳۸۳). از آنجاکه این گسل‌ها در زمان‌های طولانی و بارها فعال بوده‌اند، تعیین دقیق نوع حرکت آن‌ها ممکن نیست. هر چند روند این گسل‌ها مربوط به ساختارهای زمان کالدونین است، ولی هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) بر این باورند که این گسل‌ها، دست کم از کامبرین به بعد بر ناحیه اثر گذاشته‌اند. با توجه به خراش‌هایی که بر روی صفحات گسلی دیده می‌شوند، گسل‌های مذکور در دو جهت حرکت می‌کنند. یکی افقی و چپگرد که قسمت جنوبی گسل را به طرف شرق حرکت داده و دیگری قائم که قسمت جنوبی را به طرف پایین برده‌است، روشن است که حرکات قائم در اثر فشارهای عمود بر امتداد گسل و حرکات چپگرد افقی در اثر نیروهای مماسی رخ می‌دهد. آخرین زمین لرزه‌ای که در ۱۲ فوریه سال ۱۹۵۳ در ترود اتفاق افتاد، با حرکت قائم گسل ترود همراه بوده است (آبدالیان، ۱۹۵۳). بین دو گسل انجیلو و ترود، در اثر حرکت افقی و چپگرد آن‌ها، چین‌های شمال غربی- جنوب شرقی ایجاد شده که با تداوم حرکات، حالت مارپیچی به خود گرفته‌اند و در شمال گسل انجیلو، درست به همین علت، چین‌ها به سمت شمال شرقی تمایل دارند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۵- واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در منطقه ترود

منطقه مورد مطالعه به صورت یک نوار آتشفشانی- رسوبی در بخش شمالی زون ایران مرکزی و در تقسیم‌بندی نوگل‌سادات و الماسیان (۱۹۹۳) در زیر زون ماگمایی شمالی ایران مرکزی قرار دارد. در این منطقه واحدهای دگرگونی منسوب به پرکامبرین، نهشته‌های سخت شده مزوزوئیک و سنوزوئیک رخنمون دارند. در بین واحدهای یاد شده سنگ‌های آتشفشانی سیلورین، تریاس، ژوراسیک به صورت میان لایه با ضخامت کم مشاهده می‌شوند. علاوه بر آن‌ها حجم قابل توجهی از سنگ‌های آذرین ترشیری بیرون زدگی دارند که روند آن‌ها تقریباً شمال شرقی - جنوب غربی است و حجم اصلی این

مجموعه ماگمایی را سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی پدید آورده است و این سنگ‌ها توسط توده‌های نفوذی (عمیق و نیمه‌عمیق) با سن احتمالی ائوسن فوقانی-اولیگوسن، گنبد‌های آندزیت-داسیتی و دایک‌های با ترکیب حدواسط - بازیک قطع شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۴). سنگ‌های آتشفشانی این ناحیه از نظر لیتولوژی و پتروگرافی بسیار گوناگونند و عمدتاً از تناوبی از فوران‌های گدازه و مواد آذرآواری با ترکیب اسیدی تا بازیک تشکیل شده‌اند. ضخامت واحدهای آتشفشانی-رسوبی حدود ۴۴۴۴ متر است و به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی تر را می‌پوشانند و از سمت شرق به غرب از ضخامت آن‌ها کاسته می‌شود، به طوریکه در غرب منطقه ضخامت آن‌ها به چند متر تقلیل می‌یابد. گسل‌های امتداد لغز انجیلو و ترود با امتداد N60-70E مهمترین شکستگی‌های منطقه‌اند و ماگماتیسم منطقه نیز محصور در بین این گسل‌های اصلی است.

۲-۵-۱- پرکامبرین - کامبرین

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی شناخته‌شده در این منطقه سنگ‌های دگرگونی مربوط به پرکامبرین (قبل اردوئیسین) تشکیل می‌دهند که در کوه‌های شمال شرق منطقه ترود در کوه‌های کوه شتر و سیاه پشته دارای رخنمون هستند. این واحد متشکل از شیست‌ها و گنایس و آمفیبولیت است که در زیر سنگ‌های پالئوزویک قرار دارند. با توجه به موقعیت چینه‌ای و سنگی، واحدهای دگرگونی منطقه ترود با سنگ‌های دگرگونی رباط پشت بادام و مجموعه دگرگونی پتیار در ناحیه انارک قابل مقایسه هستند و احتمالاً زمان تشکیل آنها پرکامبرین تا کامبرین آغازی بوده است (جعفریان ۱۳۸۰). پس از پرکامبرین و با شروع زمان پالئوزویک منطقه تحت تاثیر دو گسل اصلی انجیلو و ترود با روند (شمال شرقی - جنوب غربی) قرار گرفته است.

۲-۵-۲- پالئوزویک

واحدهای سنگی دوران پالئوزویک بیشتر با همبری تکتونیکی و بصورت سفره‌های رورانده ظاهر شده‌اند. این واحدها در منطقه گسترش کمی داشته‌اند و شامل سنگ آهک آهک دولومیتی شده و دولومیت و

شیست است که دگرگونی فشار- حرارتی با درجه پایین (در حد رخساره شیست سبز) را نیز پذیرا شده‌اند، این سنگ‌ها تبلور دوباره یافته‌اند و در آن‌ها حداقل یک فولیاسیون دگرگونی اتفاق افتاده‌است که این سنگ بصورت دگرگونی و با مرز همشیب در کوه سیاه پشته بر روی سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین قرار دارند که می‌توان این مجموعه دگرگونی را از لحاظ موقعیت چین‌شناسی و سنگ‌شناسی با سازند جمال هم ارز دانست (جعفریان ۱۳۸۰). شیست‌های منصوب به پرمین همراه سنگ‌های آهکی دولومیتی ماسه‌سنگی و آتشفشانی دگرگون‌شده و تبلور دوباره یافته در جنوب منطقه ترود رخنمون دارد. این شیست‌ها دارای رنگ خاکستری مایل به سبز و دارای تورق می‌باشند. این شیست‌ها دارای ترکیب میکاشیستی و میکاشیست گرافیت‌دار هستند که در حد رخساره شیست سبز تا رخساره آمفیبولیت و زون بیوتیت و زون گارنت دگرگون شده‌اند.

۲-۵-۳- مزوزوئیک

نهمین دوره‌های دوران مزوزوئیک در گستره مورد مطالعه تنها شامل رسوبات آهکی- شیلی و ماسه‌سنگ کرتاسه پایینی است که در یک محیط رسوبگذاری دریایی با عمق میانه پدید آمده‌اند. سنگ‌های کرتاسه با طیف ترکیبی آهک‌های میکریتی دارای فسیل خاکستری رنگ و شیل و مارن‌های مدادی خاکستری رنگ در غرب منطقه و جنوب غرب منطقه ترود رخنمون هستند و دارای ضخامت قابل توجهی هستند. در منطقه سنگ‌های کرتاسه با سنگ‌های قدیمی‌تر از خود مرز عادی ندارند. این سنگ‌ها دارای رنگ خاکستری روشن و دارای لایه‌بندی می‌باشند و حاوی فسیل‌های متعددی مثل براکیوپود و دوکفه‌ای (آپسین- آلبین) می‌باشند. شیل و مارن‌ها از حجم کمتری برخوردار هستند و در اثر تحمل تنش‌های تکتونیکی منطقه خرد شده و به‌صورت مدادی در آمده‌اند (شمال شرق سوسنوار). نهمین دوره‌های کرتاسه آغازین و پایانی اغلب بدون دگرگونی و با مرز دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر مشاهده شده‌اند. سنگ‌های کرتاسه توسط تعداد زیادی از دایک‌های آندزیتی (میکرودیوریتی) قطع شده‌اند و متحمل دگرگونی مجاورتی شده‌اند. همچنین تزریق توده‌های نفوذی به درون سنگ‌های کرتاسه با کانی‌زایی

باریت و مگنتیت گالن مالاکیت و آزوریت همراه بوده است. در دره رباعی سنگهای کرتاسه پایانی شامل تناوبی از شیل سبزرنگ، سنگ آهک نازک لایه و ماسه سنگ نمایان است. این ترادف حدود ۴۴۴ متر ضخامت دارد و برپایه وجود فسیل‌های فراوانی از شکم پایان، آمونیت و خارپوستان زمان تشکیل آنها به سنومانین - سنونین نسبت داده شده است (جعفریان، ۱۳۸۰). در دره بیل و در هسته یک ناودیس بزرگ حدود ۲۴۴ متر ماسه سنگ دگرگون و شیست سیاه رنگ با میان لایه‌هایی از زغال سنگ بر روی واحدهای فوق الذکر رخنمون دارد که به لحاظ ترکیب سنگی و جایگاه چینه‌ای با سازند شمشک قابل مقایسه است (قربانی، ۱۳۸۴).

۲-۵-۴- سنوزوئیک

۲-۵-۴-۱- ائوسن

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های متعلق به پالئوسن رخنمون ندارد و با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود، توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن با کنگلومرایبی به سن ائوسن شروع می‌شود و سپس به یک مجموعه آتشفشانی- رسوبی تبدیل می‌گردد که تناوبی از گدازه‌های حدواسط تا بازیگ و مقداری توف، شیل توفی، ماسه سنگ توفی، شیل و ماسه سنگ و بندرت کنگلومرا می‌باشد. در دامنه جنوبی منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن به شدت چین خورده‌اند. در این منطقه و مناطق همجوار به ویژه به سمت عباس‌آباد و داورزن، میان لایه‌هایی از آهک‌های نومولیت‌دار در مجموعه‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن یافت می‌شوند که معرف کم عمق بودن حوضه و تعلق داشتن آن‌ها به دوره زمانی ائوسن میانی است. ترکیب بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه ترود- چاه شیرین آندزیتی است و چهار بخش گدازه قاعده‌ای یا آندزیت سطوه برش آتشفشانی زیرین، برش‌های آتشفشانی میانی که در بین آن‌ها گنبد‌های نیمه عمیق وجود دارد و سرانجام برش‌های آتشفشانی بالایی شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ، گدازه و برش آتشفشانی می‌باشند که این مجموعه آتشفشانی- رسوبی در تمام

کوه‌های شمال ترود تا سوسنوار و زمین‌های ناهموار بین کوه‌های غار و چاه‌شیرین نمایان است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۵-۴-۲- واحدهای الیگو- میوسن

نهشته‌های این زمان بیشتر از نوع تخریبی- مارنی است که به صورت سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی در بخش‌های جنوبی منطقه نمایانند. این نهشته‌ها چین‌خورده‌اند و تاقدیس‌ها و ناودیس‌های متنوع را پدید آورده‌اند، یا اینکه نفوذ گنبد‌های نمکی موجب به هم ریختگی آن‌ها شده است. لایه‌های محدودی از توف و توفیت در بین واحدهای رسوبی الیگو- میوسن منطقه وجود دارد که نشانه فعالیت- های ماگمایی محدود منطقه در این زمان‌ها می‌باشد (قربانی، ۱۳۸۴).

۲-۵-۴-۳- مارن‌های میوسن

ناحیه جنوب ترود عمدتاً توسط مارن‌های میوسن پوشیده شده است. باریکه‌ای از این سنگ‌ها در حد فاصل معلمان تا ترود و مولحه رخنمون دارد، این سنگ‌ها غالباً از رسوبات مارنی سیلتستونی میکرو کنگلومرایی، مارن‌های گچ‌دار با میان‌لایه ژئپسی و نمک تشکیل شده‌اند.

۲-۵-۴-۴- کنگلومرای پلیوسن

کنگلومرای پلیوسن عمدتاً بصورت مخروطه‌افکنه‌های بزرگ در دامنه‌های شمالی منطقه ترود و در حوالی روستاهای شیمی و کوه‌زر و کلاته جعفر و... رخنمون دارد اجزای سازنده کنگلومرای پلیوسن غالباً قطعات سنگی نشأت گرفته از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن و توده‌های نفوذی قاطع آن‌ها می‌باشد.

۲-۵-۴-۵- دوره نئوژن

دوره نئوژن در توالی ترود-چاه‌شیرین نمودی نداشته است و تنها در پایان نئوژن و آغاز کواترنری نهشته‌هایی از جنس کنگلومرا بصورت تخریبی سخت نشده و کوهپایه‌ای دیده می‌شود. رسوبات آبرفتی

آبراهه‌ای عهد حاضر که از ارتفاعات منطقه منشأ گرفته‌اند غالباً به صورت رسوبات آبراهه‌ای مخروطه-افکنه‌های جوان و یا دشت‌های پست و فرو افتاده رخنمون دارند و سهم کمی از منطقه را شامل می‌شوند. این رسوبات به صورت دگرشیب واحدهای سنگی قدیمی‌تر را می‌پوشانند. نهشته‌های ترسیر در ناحیه ترود در محدوده‌های میان گسل‌های انجیلو- ترود در زمان‌های ائوسن تا الیگوسن با یکدیگر ناهمسانند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۲). پس از این زمان نهشته‌های ترسیر کما بیش در سراسر ناحیه ترود- خاور سمنان- جنوب دامغان نمود دارد که تناوبی از رژیم‌های دریایی- قاره‌ای را شامل می‌شود به طور کلی نهشته‌های بارز ترسیر در این زون شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن هم ارز با سازند کرج و سازندهائی معادل سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی متعلق به الیگوسن- میوسن بوده و کانسارهای بنتونیت این زون در سنگ‌های معادل سازند کرج اتفاق افتاده است.

۲-۵-۵- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق

مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن توسط تعداد زیادی استوک و دایک با ترکیبی متغیر از گابرو تا گرانیت قطع می‌شود. با توجه به شواهد وقایع زمین‌شناسی در این محل و به دلیل نفوذ آن‌ها در سنگ‌های ائوسن بالایی به نظر می‌رسد این توده‌ها دارای سن الیگومیوسن و یا ائوسن پایانی- الیگوسن (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷ و جعفریان، ۱۳۸۰) باشد روند این دایک‌ها به صورت شمال- شرقی- جنوب غربی هستند (قربانی، ۱۳۸۴). نفوذ این توده‌ها به درون سنگ‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و دگرسانی‌های گرمایی بویژه از نوع آرژیلیتی همراه بوده است.

۲-۵-۶- مجموعه‌های دگرگونه ترود

از شمال شرق ترود تا جنوب عباس‌آباد، در یک روند شمال خاوری- جنوب باختری باریکه‌ای از سنگ‌های دگرگونی با ترکیب شیست، گنایس، آمفیبولیت و مرمر برونزد دارد، اگرچه این سنگ‌ها عمدتاً به سن پرکامبرین دانسته شده‌اند ولی مقایسه‌های منطقه‌ای نشان می‌دهد که در دگرگونی سن سنگ‌ها، رویداد

تکتونیک تریاس بالا (سیمین پیشین) نقش بیشتری داشته است. سنگ‌های جوان‌تر ناحیه از نوع گدازه‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی به سن ائوسن- اولیگوسن هستند. جایگیری توده‌های اولیگوسن به درون گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌های ائوسن عموماً همراه با ایجاد هاله دگرگونی به ویژه کانی‌سازی از نوع سرب، روی و مس گردیده که گاهی طلای همراه آن‌ها در حد قابل توجه است.

فصل سوم

زمین شناسی منطقه امی و

پتروگرافی

۳-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی و بر روی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان واقع شده است. از آنجایی که توالی آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین میزبان کانی‌زایی‌های مختلف مس می‌باشند، لذا سعی گردید با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، عملیات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی واحدهای سنگی منطقه تشخیص داده شود. برای تشخیص واحدهای سنگی موجود در کانسار مس قله‌چیلی تعداد ۱۸ نمونه سنگ از واحدهای سنگ میزبان جهت تهیه مقطع نازک گرفته شد. با استفاده از مطالعه میکروسکوپی مقاطع تهیه شده سه واحد سنگی آتشفشانی، نفوذی و آذر آواری در کانسار مس قله‌چیلی مشخص گردید. در این فصل ابتدا زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه به اختصار شرح داده می‌شود، سپس واحدهای سنگی موجود در منطقه تشریح می‌گردد.

۳-۲- واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در منطقه

۳-۲-۱- ائوسن

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های متعلق به پالئوسن رخنمون ندارند و با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود، توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن باکنگلومرایی به سن ائوسن شروع می‌شود و سپس به یک مجموعه آتشفشانی- رسوبی تبدیل می‌گردد که تناوبی از گدازه‌های حدواسط تا بازیک و مقداری توف، شیل توفی، ماسه‌سنگ توفی، شیل و ماسه‌سنگ و بندرت کنگلومرا می‌باشد.

۳-۲-۲- مارن‌های میوسن

منطقه جنوب گسل ترود عمدتاً توسط مارن‌های میوسن پوشیده شده‌اند. باریکه‌ای از این سنگ‌ها در حفاصل معلمان تا ترود- مولحه رخنمون دارند. این سنگ‌ها غالباً از رسوبات مارنی، سیلتستونی،

میکروکنگلومرایی، مارن‌های گچ‌دار، میان لایه‌های ژئپسی و نمک تشکیل شده‌اند. در بعضی موارد به شدت چین خورده و در مجموع طاقدیس و ناودیس‌های بزرگی را به نمایش می‌گذارند.

۳-۲-۳- رسوبات آبرفتی - آبراهه‌ای عهد حاضر

این رسوبات که از ارتفاعات منطقه مورد مطالعه نشأت گرفته‌اند غالباً به صورت رسوبات آبراهه‌ای، مخروط افکنه‌های جوان و یا دشت‌های پست و فروافتاده رخنمون دارند و سهم کمی از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند. این رسوبات به صورت دگر شیب واحدهای سنگی قدیمی‌تر را می‌پوشانند.

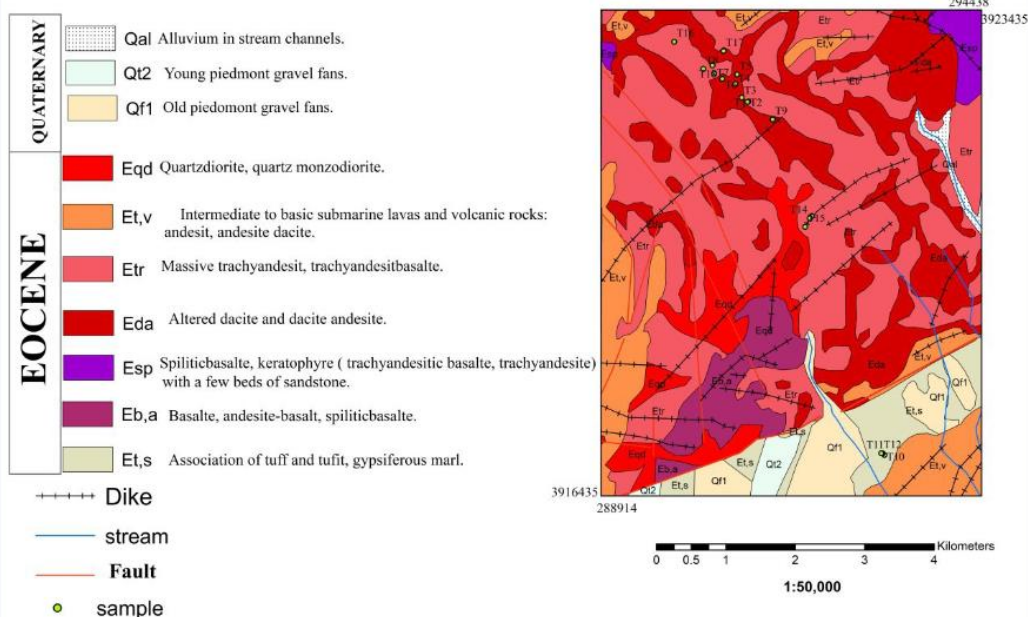
۳-۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از جنوب به گسل ترود و از شمال به گسل انجیلو محدود می‌شود و بخشی از کمربند ماگمایی البرز و در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی و بخشی از توالی آتشفشانی - رسوبی ترود - چاه‌شیرین (شرقی - غربی) واقع شده است.

واحد ها و رخنمون‌های سنگی کانسار مس قله‌چیلی بخشی از بالا آمدگی توالی آتشفشانی - رسوبی ترود - چاه‌شیرین می‌باشد که این توالی بیشتر از گدازه‌هایی به سن ائوسن میانی تشکیل شده‌اند. این گدازه‌ها در میان خود دارای دایک‌ها و گسل‌های متعددی هستند که شرایط را برای کانی‌زایی و دگرسانی را فراهم می‌سازد. حجم زیادی از رخنمون‌های سنگی کانسار قله‌چیلی را سنگ‌هایی با ترکیب آندزیتی، آندزیت - بازالتی و داسیتی به سن ائوسن تشکیل می‌دهند که کهن‌ترین واحدهای تشکیل دهنده این ناحیه است که این مجموعه نیز تحت تأثیر تزریق توده‌های نفوذی عمیق - نیمه‌عمیق با ترکیب گرانودیوریتی و مونزودیوریتی قرار گرفته است.

LEGEND

Geological map of Ghollecholi copper Area



شکل ۳-۱. نقشه زمین شناسی کانسار مس قله چیلی که از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و همکاران، ۱۳۸۵) برگرفته شده است.

۳-۴- تکتونیک منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر حرکت گسل‌های اصلی انجیلو و تروود گسله شده و کانی‌زایی‌ها در ارتباط با گسل‌ها و شکستگی‌های ایجاد شده در منطقه هستند. گسل خوردگی در منطقه به دلیل پوشیده شدن و دگرسانی بصورت واضح مشاهده نمی‌شوند. امتداد گسل‌های اصلی که کانی‌سازی را کنترل می‌کند $N15^{\circ}E$ می‌باشد و دارای جهت شیب $75^{\circ}W$ است.

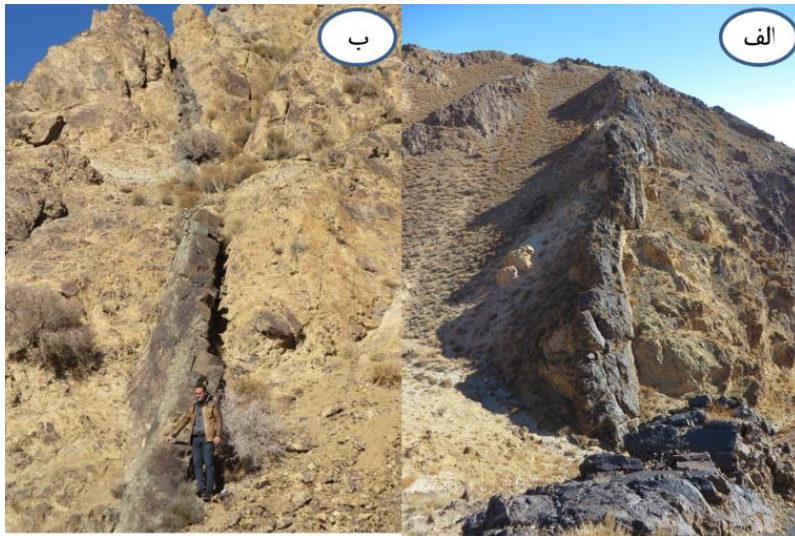
۳-۵- مطالعات پتروگرافی و طبقه‌بندی سنگ‌ها

بر اساس شواهد صحرایی، مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های دستی و مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک میتوان سه واحد پتروگرافی در گستره منطقه مس قله چیلی متذکر شد که در ادامه هر یک از واحدها را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

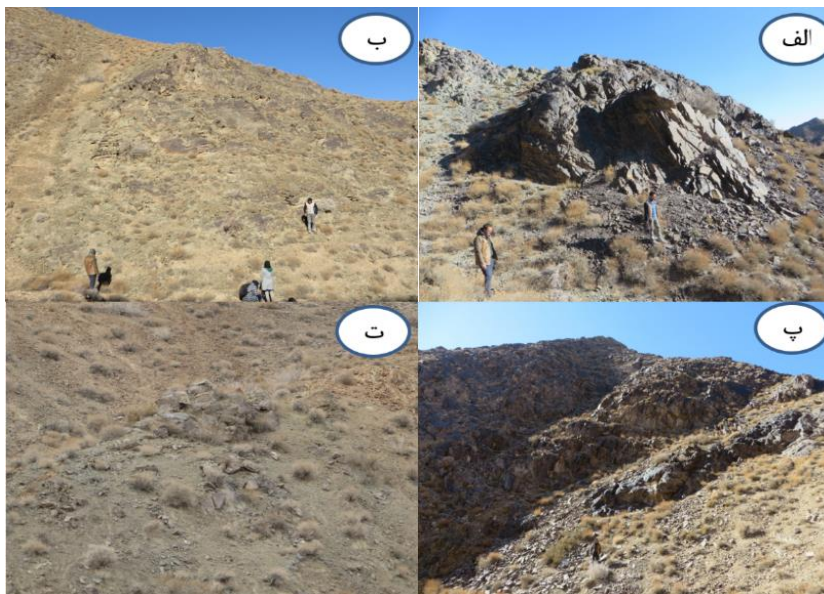
الف. واحد سنگ‌های آتشفشانی

ب. واحد توده‌های نفوذی

ج. واحد آذر آواری



شکل ۳-۲. تصاویری از دایک‌های موجود در منطقه الف) دایک آندزیتی (دید به سمت شمال)، ب) دایک آندزیت-بازالتی که توسط توف آندزیتی میزبانی می‌شود (دید به سمت شمال غرب).



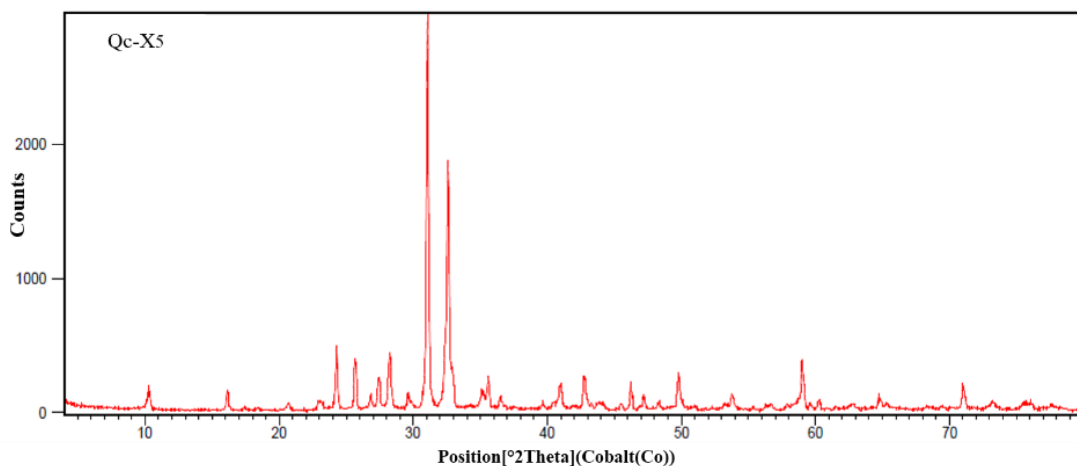
شکل ۳-۳. واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه. الف) گدازه‌های آندزیتی (دید به سمت شرق)، ب) توف آندزیت-بازالتی (دید به سمت شمال)، پ) گدازه‌های داسیتی (دید به سمت جنوب)، ت) توده مونزودیوریتی (دید به سمت شمال).

۳-۲-۱- واحد سنگ‌های آتشفشانی

سنگ‌های آتشفشانی در این منطقه دارای گسترش وسیع و پراکنده‌ای هستند. این سنگ‌ها غالباً گدازه-هایی با ترکیب حدواسط تا اسیدی از نوع آندزیت تا آندزیت-بازالت و داسیت به سن ائوسن می‌باشند. رنگ این سنگ‌ها از ارغوانی، سبز تیره، خاکستری تا سفید متغییر است. که دگرسانی شدید در این واحدها مشاهده می‌شود.

۳-۲-۱-۱- آندزیت

آندزیت نوعی سنگ آتشفشانی ریز بلور می‌باشد که از کانی‌های پلاژیوکلاز (آندزین و الیگوکلاز) و کانی مافیک همچون بیوتیت، هورنبلند و پیروکسن تشکیل شده است. کوارتز، اسفن، زیرکن و آلکالی فلدسپار و کانی‌های اپک از کانی‌های فرعی آندزیت‌ها محسوب می‌شوند. سریسیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت و هماتیت نیز کانی‌های ثانویه و دگرسانی آندزیت‌ها می‌باشد. بافت معمول در آندزیت‌ها پورفیری با زمینه ریز و گاهاً حفره‌ای و بادامکی می‌باشد (سنگ‌شناسی آذرین، همام). سنگ‌های آندزیتی موجود در منطقه در بازدیدهای صحرایی و نمونه‌های دستی با رنگ‌های سبز تیره و ارغوانی دیده می‌شوند. نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس نیز وجود سنگ آندزیتی را تأیید می‌کند.



Peak List
01-085-0796SiO ₂ ;Quartz

01-072-1245;Na(AlSi ₃ O ₈);AlbiteLow
01-080-0742(k0.82Na0.18)(fe0.03Al1.97)(AlSi ₃ O10OH) ₂ ;Muscovite2M1
01-075-1190;K(AlSi ₃)O ₈ ;orthoclase

شکل ۳-۴. نتایج پراش پرتو ایکس نمونه سنگ آندزیتی موجود در منطقه مورد مطالعه.

۳-۲-۱-۲-داسیت

داسیت را معادل بیرونی و دانه ریز گرانودیوریت و تونالیت در نظر می‌گیرند. داسیت‌ها عموماً از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، کوارتز و اورتوکلاز یا سانیدین تشکیل شده‌اند. هورنبلند و بیوتیت کانی‌های مافیک آن می‌باشد. بافت معمول در آن‌ها پورفیری و ویتروفیری می‌باشد (سنگ‌شناسی آذرین، همام).

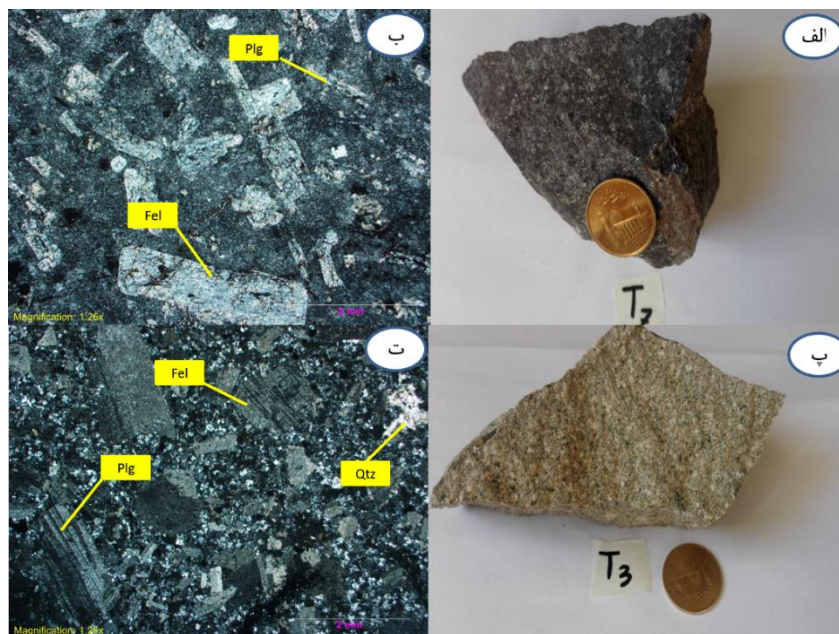
داسیت‌ها به رنگ سفید تا خاکستری، دارای بافت پورفیری هستند و فرایند دگرسانی بر روی آن‌ها عمل کرده و حاصل آن کائولینیتی شدن و سریسیتی شدن است. فنوکریست‌ها به ترتیب فراوانی در سنگ به شرح زیر می‌باشند:

الف-پلاژیوکلاز: با توجه به مقاطع میکروسکوپی پلاژیوکلازها درشت بلور، دارای ماکل پلی‌سنتیک می‌باشند و اکثر بلورهای پلاژیوکلاز سریستی شده‌اند .

ب-کوارتز: بلور کوارتز در خمیره سنگ وجود دارد و هم بصورت شکافه پرکن و هم بصورت خلیجی و گردشده حضور دارد که وجود خوردگی می‌تواند در نتیجه واکنش با مذاب باشد.

ج-کانی‌های فرعی: اپیدوت و کانی‌های اپک (باتوجه به شکل دار بودن و مطالعات مینرالوگرافی پیریت می‌باشند) نیز به مقدار خیلی کم در زمینه مشاهده می‌شود.

د-کانی‌های ثانویه: کانی کلریت و سریسیت از کانی‌های ثانویه است که در بافت زمینه مشاهده می‌شود.



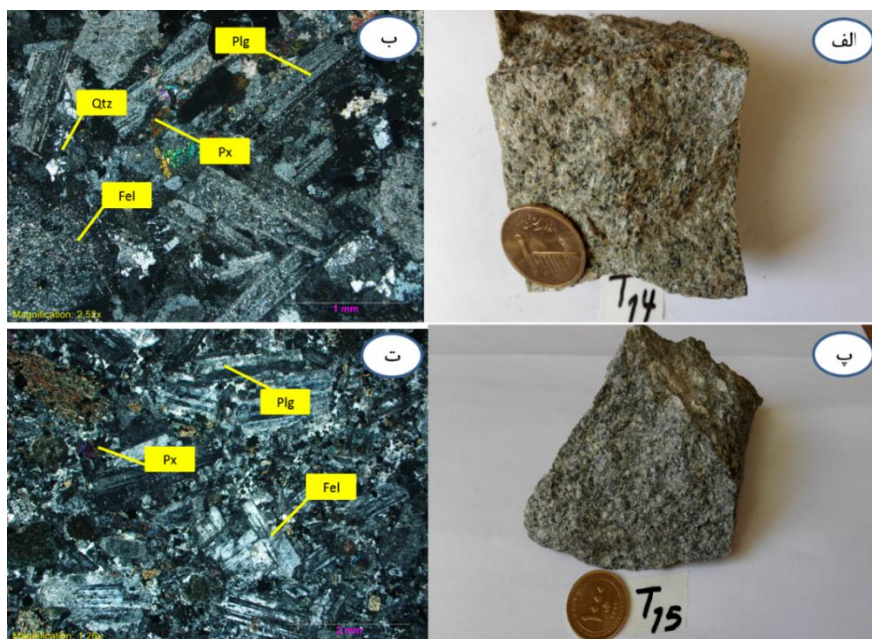
شکل ۳-۵. الف) تصویر نمونه دستی از آندزیت، ب) تصویر میکروسکوپی (در حالت XPL) از آندزیت با بافت پورفیری که اکسید آهن، شکستگی پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها را پر کرده‌است، پ) تصویر نمونه دستی از داسیت، ت) تصویر میکروسکوپی (در حالت XPL) از نمونه داسیت با بافت پورفیری دانه متوسط که پلاژیوکلازها بعضاً از داخل و اطراف تبدیل به سریسیت شده‌اند. فلدسپات: Fel، کوارتز: Qtz، پلاژیوکلاز: Plg

۳-۲-۲- واحد توده‌های نفوذی منطقه

توده‌های نفوذی در منطقه قله‌چیلی در قسمت‌های مختلف دارای رخنمون هستند، که به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده‌اند. ترکیب این توده‌ها مونزودیوریتی و گرانودیوریتی می‌باشد.

مونزودیوریت: این سنگ در مقاطع میکروسکوپی بافت گرانولار و اینتراگرانولار دارد. کوارتز، پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار کانی‌های اصلی و پیروکسن و آمفیبول کانی‌های فرومنین آن را تشکیل می‌دهد. پلاژیوکلازها به صورت خودشکل و نیمه خود شکل و دارای ماکل تکراری می‌باشند و گاه‌ها حاشیه آن‌ها دچار خوردگی شده و حالت مضرسی را نشان می‌دهد که حاکی از عدم تعادل کانی‌شناسی با ماگمای در حال انجماد می‌باشد. آلکالی فلدسپارها به صورت خودشکل و بی‌شکل با ماکل کارلسباد حضور دارند. تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی کلسیت، کلریت، اکسید آهن، اپیدوت، کانی‌های رسی و مقداری کوارتز در مقاطع مشاهده می‌شوند.

گرانودیوریت: گرانودیوریت‌ها سنگ‌های آذرین درونی اسیدی تمام بلورین دانه درشت تا دانه متوسط هستند. این سنگ‌ها همراه با مونزودیوریت در منطقه مورد مطالعه رخنمون داشتند. کانی‌های اصلی سنگ شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، بیوتیت و هورنبلند می‌باشند. پلاژیوکلازها دارای ماکل پلی-سنتتیک و کارلسباد می‌باشند و در برخی موارد حالت منطقه‌بندی نشان می‌دهند. سنگ دچار دگرسانی شده است که کلریت، سریسیت کانی‌های حاصل از دگرسانی می‌باشند. کانی‌های اپک نیز در مقاطع نازک مشاهده شد که به نظر می‌رسد حاصل دگرسانی کانی‌های فرومنیزین باشند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌ای درشت بلور تا متوسط دانه، گرانولار و اینترگرانولار می‌باشند.



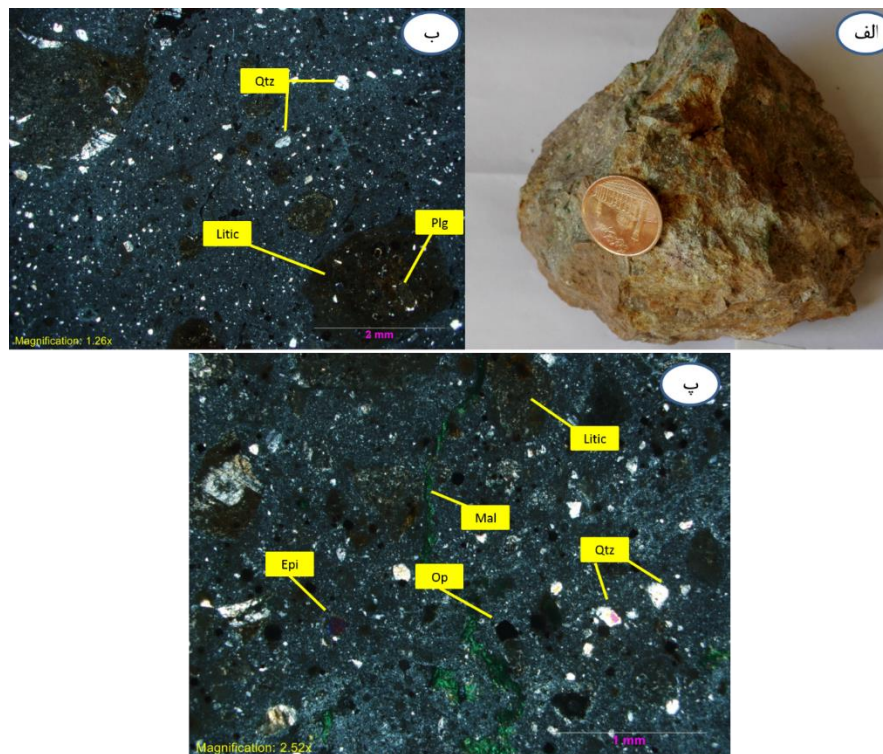
شکل ۳-۶. الف) تصویر نمونه دستی از توده گرانودیوریتی موجود در منطقه، ب) تصویر میکروسکوپی (در حالت XPL) از گرانودیوریت شامل بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و کوارتز با بافت گرانولار و اینترگرانولار، پ) تصویر نمونه دستی از توده مونزودیوریتی موجود در منطقه، ت) تصویر میکروسکوپی (در حالت XPL) از مونزودیوریت شامل بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و فلدسپات با بافت گرانولار و اینترگرانولار.

۳-۲-۳- واحدهای آذرآواری

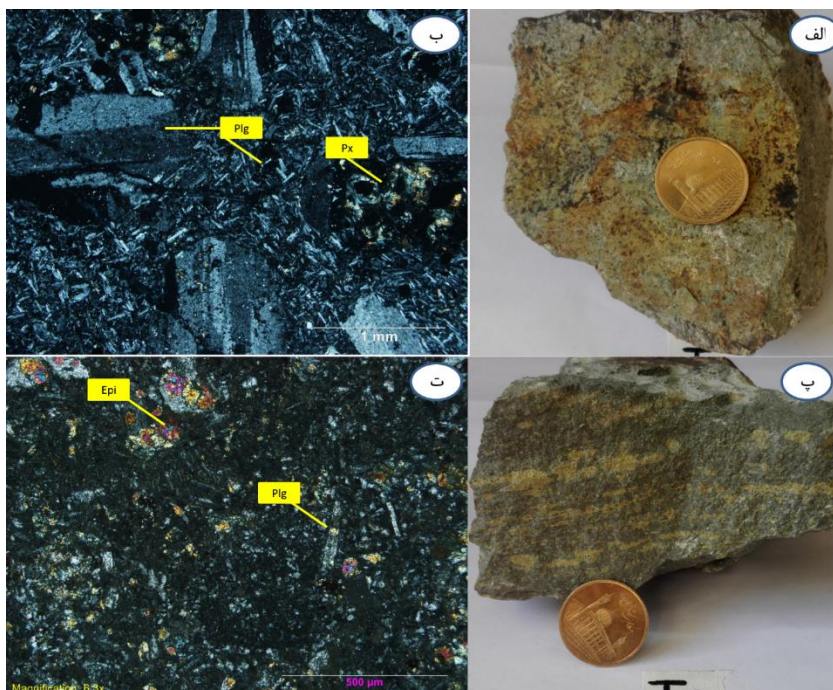
در مشاهدات صحرایی گسترش این واحد زیاد بوده و با واحدهای گدازه‌ای هم‌رند می‌باشد، و به رنگ‌های قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به قرمز و خاکستری متمایل به سبز و ارغوانی با دگرسانی شدید مشخص می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری کانسار دارای دامنه‌ای از توف آندزیتی تا آندزیت-بازالتی و لیتیک‌توف

می‌باشند که دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن، اپیدوت، کوارتز و به‌صورت پراکنده در آن‌ها پیریت دیده می‌شود. سنگ‌های آذرآواری بافت ولکانوکلاستیک با زمینه‌ی میکرولیتی دارند و در بیشتر موارد پرشدگی حفره‌ها و دانه‌ها توسط کوارتز در آنها دیده می‌شود. در این واحد تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی کانی‌های کلریت، اپیدوت و اکسید آهن تشکیل شده که در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است.

لیتیک توف: لیتیک توف‌ها در نمونه دستی به رنگ تیره متمایل به سبز با دانه‌بندی متوسط تا ریزدانه دیده می‌شوند. قطعه‌سنگ به میزان فروان در سنگ وجود دارد. پلاژیوکلازها به شدت دگرسان شده‌اند به گونه‌ای که کانی‌های اصلی اولیه سنگ قابل تشخیص نیست. اپیدوتی شدن نیز در سنگ مشاهده می‌شود. این سنگ دارای آغشتگی خفیف به ملاکیت نیز می‌باشد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۷. الف) تصویر نمونه دستی از لیتیک توف، ب) تصویر میکروسکوپی از لیتیک توف که در آن قطعات لیتیک در یک بافت میکرولیتی که دچار دگرسانی شده‌است مشخص گردیده است، پ) تصویر میکروسکوپی از لیتیک توف دارای رگه ملاکیت.



شکل ۳-۸. الف وب) تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی توف آندزیتی با بافت پورفیری، پ وت) تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی توف آندزیت-بازالتی که تحت تأثیر دگرسانی، اپیدوتی شده است. پیروکسن: PX، کوارتز: Qtz، پلاژیوکلاز Plg:

فصل چهارم

کافی زایی و

دکرسانی

کانسارمس قله‌چیلی بر روی پهنه آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین، و بین دو گسل ترود و انجیلو واقع گردیده است. پهنه ترود- چاه‌شیرین جزئی از کمان آتشفشانی کالک‌آلکان ترشیری در زون ساختاری سبزوار در نظر گرفته می‌شود (Aghanabati & Alavi, 1991). بر پایه مطالعات هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، اوج فعالیت ماگمایی در این مجموعه طی ائوسن میانی تا پسین رخ داده‌است، نفوذ توده‌های آذرین اسیدی تا حدواسط

در سنگ‌های آتشفشانی منطقه باعث دگرسانی و کانی‌سازی‌های متفاوتی در برخی از قسمت‌های منطقه شده است (اخیانی و همکاران، ۱۳۹۲).

از ویژگی‌های بارز این توالی وجود کانسارها و اندیس‌های معدنی متنوع و معدنکاری‌های قدیمی است. یکی از عوامل مهم مؤثر در کانه‌زایی در هر ناحیه‌ای گسلش و شکستگی‌های موجود می‌باشند که در واقع راهی برای نفوذ سیالات کانه‌دار هستند. همچنین فضاهای باز موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن‌ها به صورت محلول‌های کانه‌دار به مناطق سطحی می‌گردد. تغییر درجه حرارت (سرد شدن)، افت فشار، واکنش بین سیال و سنگ دیواره، اختلاط با آب‌های جوی، جوشش سیالات، تغییر PH و Eh باعث تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محلول شده و نهشت مواد معدنی را سبب می‌گردد (گیلبرت و پارک ۱۹۹۷). اصولاً تأثیر این عوامل در نهشت کانه‌زایی به صورت دسته جمعی می‌باشد. شکل‌گیری ذخایر و ارتباط آن‌ها با فرآیندهای زمین‌ساختی راهنمای ارزشمندی برای کشف ذخایر جدید و یا ارزیابی مجدد ذخایر می‌باشد. لذا بامشاهدات صحرائی و مطالعات میکروسکوپی کانسار مورد مطالعه، زون‌های کانه‌زایی به همراه گستره‌ایی از دگرسانی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. در این فصل به بررسی کانه‌زایی و انواع دگرسانی‌ها در کانسار مس قله‌چیلی می‌پردازیم.

۴-۲-کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه

زیرپهنه ترود-چاه شیرین، به جهت وجود رخدادهای معدنی و معادن متروکه متعدد بویژه رگه‌های فلزات پایه با منشأ اپی‌ترمال از جمله کانسارهای گندی (Au-Pb-Zn)، ابوالحسینی (Pb-Zn)، چشمه حافظ (Pb-Zn)، چاه موسی (Cu)، دارستان (Cu-Au)، و موارد متعدد دیگر از نظر زمین‌شناسی اقتصادی مورد توجه بوده‌است، و تاکنون مطالعات متعدد زمین‌شناسی در آن صورت گرفته است (رشیدنژاد عمران، ۱۳۷۱؛ عابدیان و دری، ۱۳۷۵؛ برنا و عشق آبادی، ۱۳۷۶؛ تاج الدین، ۱۳۷۷؛ شمعیان اصفهانی، ۱۳۸۲؛ فرد، ۱۳۸۰). فعالیت‌های ماگمایی بصورت وجود سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی-داسیتی، سنگ‌های پیروکلاستیک (عمدتاً توف) و سنگ‌های گرانیتوئیدی رخنمون یافته از یک طرف و از سوی دیگر وجود درزه‌ها و گسل‌ها شرایط مناسبی برای عملکرد محلول‌های گرمابی و کانی‌سازی پدید آورده‌اند.

بر اساس شواهد زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی دو تیپ کانی‌سازی متفاوت در محدوده قله‌چیلی وجود دارد که در این بخش به ویژگی‌های هر یک از کانی‌سازی‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱-رگه‌های سیلیسی مس‌دار

رگه‌های سیلیسی مس‌دار با برونزادی به ضخامت تقریبی یک متر و طولی در حدود ۲۵۰ متر در سنگ‌های نفوذی مونزودیوریتی و گرانودیوریتی الیگو-میوسن تشکیل شده‌است، و کانی‌زایی توسط پهنه گسلی با راستای N15°E و شیب 75°SW کنترل می‌شود. با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی ساختار کانی‌سازی در این محدوده از نوع رگه-رگچه‌ای می‌باشد. در این محدوده آثار معدنکاری قدیمی به صورت حفر تونل که عمود بر امتداد رگه صورت گرفته‌است، و همچنین آثاری از سرباره‌های حاصل از ذوب سنگ جهت استحصال مس مشاهده می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ تصاویر کانه‌زایی رگه سیلیسی مس دار. الف) سرباره‌های بر جامانده از کارهای شدادی انجام شده در منطقه، ب) تونل قدیمی که عمود بر رگه سیلیسی حاوی کانه زایی حفر شده است، پ) رگه سیلیسی حاوی کانه‌زایی مس

۴-۲-۲- کانی‌سازی مس همراه سنگ‌های آندزیتی و آندزیت - بازالتی

در بخش دیگری از محدوده قله‌چیلی کانه‌زایی در داخل سنگ‌های آندزیتی ارغوانی رنگ رخ داده است. ماده معدنی در این محدوده به صورت مالاکیت، کریزوکولا و کالکوسیت است، و بافت‌های رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۴-۲ الف و پ). عنصر مس در این محل از کانه‌های سولفیدی اولیه مثل کالکوسیت توسط آب‌های جوی شسته شده و در درز و شکستگی‌های آندزیت‌ها بصورت مالاکیت و کریزوکولا نهشته شده است. در سنگ میزبان آندزیتی آثار پراکنده‌ای از پیریت و پیریت هماتیتی شده هم مشاهده می‌شود.

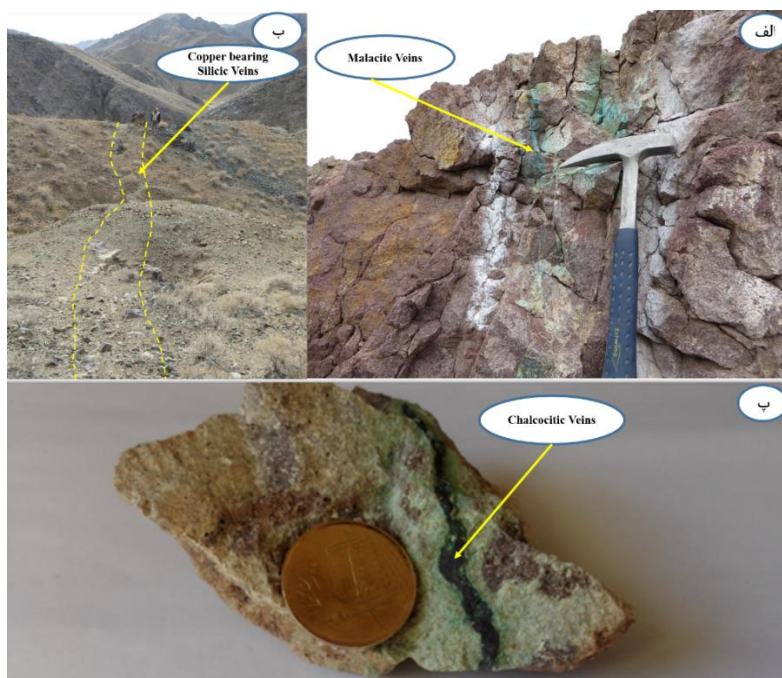
۴-۳- شکل رخداد کانه‌زایی در منطقه

در محدوده کانسار مس قله‌چیلی کانی‌سازی به صورت رگه‌رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی است، که غالب کانی‌سازی‌ها در هر دو محدوده به صورت رگه-رگچه‌ای می‌باشد. در ذیل به تفصیل به هر کدام از

کانی‌سازی‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۳-۱- کانی‌سازی رگه - رگچه‌ای

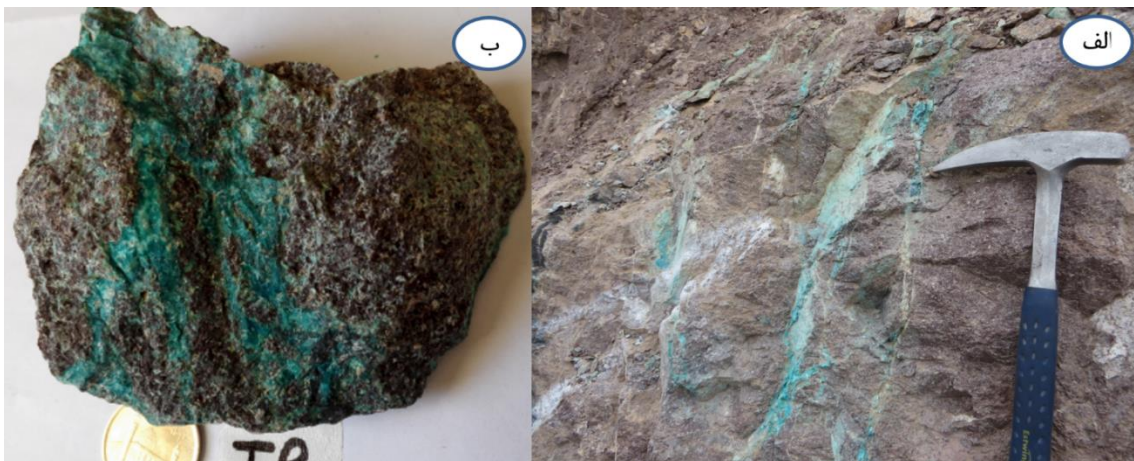
کانی‌سازی رگه‌ای در ارتباط با زون‌های گسله و درزه و شکستگی‌ها دیده می‌شود. به‌طور کلی سیستم گسلی منطقه دارای امتداد N15E است. شیب عمده این گسل‌ها حدود ۷۵ درجه به سمت جنوب غرب است. بخش عمده کانی‌سازی مس در امتداد این شکستگی‌ها تشکیل شده است. انواع رگه - رگچه‌های مشاهده شده در منطقه شامل رگه‌های سیلیسی کالکوپیریت، گالن و کالکوسیت‌دار و نیز رگه‌های حاوی مالاکیت، آزوریت و کریزوکولا می‌باشد. این نوع کانه‌زایی در هر دو محدوده منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲. تصاویر از کانه‌زایی رگه - رگچه‌ای موجود در منطقه، الف) رگه‌های مالاکیتی موجود در سنگ‌های آندزیتی، ب) رگه سیلیسی حاوی کانه‌زایی، پ) رگه کالکوسیتی که توسط سنگ‌های آندزیتی میزبانی می‌شود.

۴-۳-۲- کانه‌زایی پرکننده فضاهای خالی

طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، این نوع کانه‌زایی بیشتر در سنگ‌های آندزیتی گسترش دارد، و ناشی از انحلال پلاژیوکلازها و پر شدن این فضاهای خالی توسط مواد معدنی است. این کانه‌زایی به وسیله محلول کانه‌دار با پر کردن فضاهای خالی داخل سنگ‌ها به صورت اپی‌ژنتیک صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۴. تصاویری از کانه‌زایی پرکننده فضای خالی، که فضای خالی بین شکستگی‌ها توسط مالاکیت و کریزوکولا پر شده‌است.

۴-۳-۳- کانه‌زایی دانه پراکنده

کانی‌سازی دانه پراکنده بیشتر شامل کالکوسیت و پیریت‌های هماتیته شده در متن سنگ‌های آندزیتی محدوده کانی‌سازی مس همراه آندزیت‌ها مشاهده می‌شود. برخلاف این محدوده در قسمت کانی‌سازی رگه سیلیسی این نوع کانه‌زایی دیده نمی‌شود و غالب کانی‌سازی این محدوده رگه- رگچه‌ای است.

۴-۴- دگرسانی

دگرسانی گرمابی شامل مجموعه تغییرات بافتی، شیمیایی و کانی‌شناختی است که در اثر برهم‌کنش سیالات آبی داغ با سنگ‌ها در طی چرخش سیالات و تحت تحول شرایط فیزیکی و شیمیایی ایجاد می‌شود (پیرژانو، ۲۰۰۹). دگرسانی می‌تواند در طی فرایند سنگ‌شدگی یا دیاژنز رسوبات در فرآیندهای ناحیه‌ای نظیر دگرگونی و نیز فعالیت‌های بعد ماگماتیسم یا ولکانیسم و همچنین بعنوان فرآورده‌های حاصل از کانی‌سازی ظاهر شود (گیلبرت و پارک ۱۹۹۷). عوامل کنترل کننده نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که در سنگ ایجاد می‌شود توسط ترکیب شیمیایی محلول گرمابی و ماگمایی، دما، عمق، شرایط fO_2 ، fS_2 ، pH و Eh محلول و ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ آلتزه کنترل می‌شود. سنگ‌های در برگیرنده کانسارهای گرمابی، تقریباً همیشه آثار واکنشی نشان می‌دهند که نتیجه تمایل سیال‌های داغ به برقراری تعادل با سنگ‌های اطراف گذرگاه آن‌ها است. در جریان این

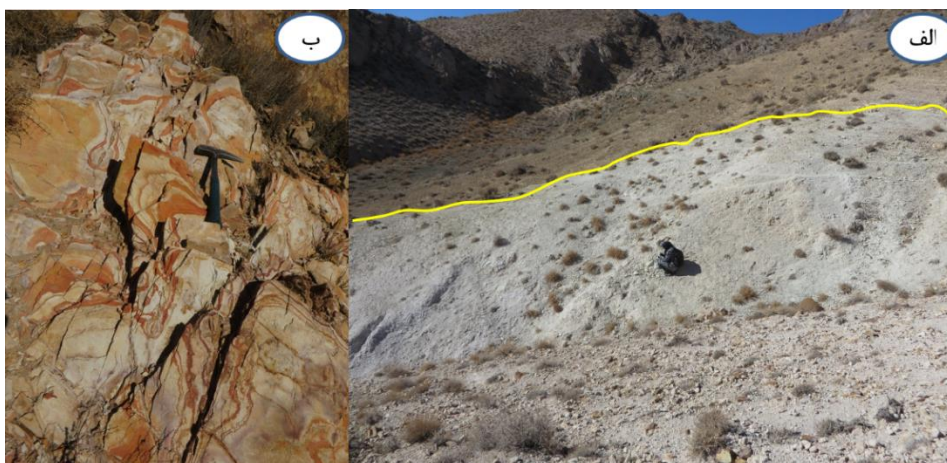
فرایند، سیال‌ها و سنگ‌ها خود را با شرایط جدید وفق می‌دهند. تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی حاصل از این واکنش‌ها می‌توانند با تغییراتی در میزان عناصر اصلی و کمیاب و به جانشینی کانی‌های اولیه توسط کانی‌های ثانویه گرمابی منجر شوند. دگرسانی گرمابی یکی از پدیده‌هایی است که در بررسی کانسارهای گرمابی دارای اهمیتی ویژه است. شناسایی منطقه‌های دگرسانی که احتمالاً از نظر ژنتیکی به ذخایر معدنی وابسته باشند گام مهمی در پیجویی ذخایر است (Gifkins *et al.*, 2005).

۴-۵- دگرسانی‌های موجود در منطقه

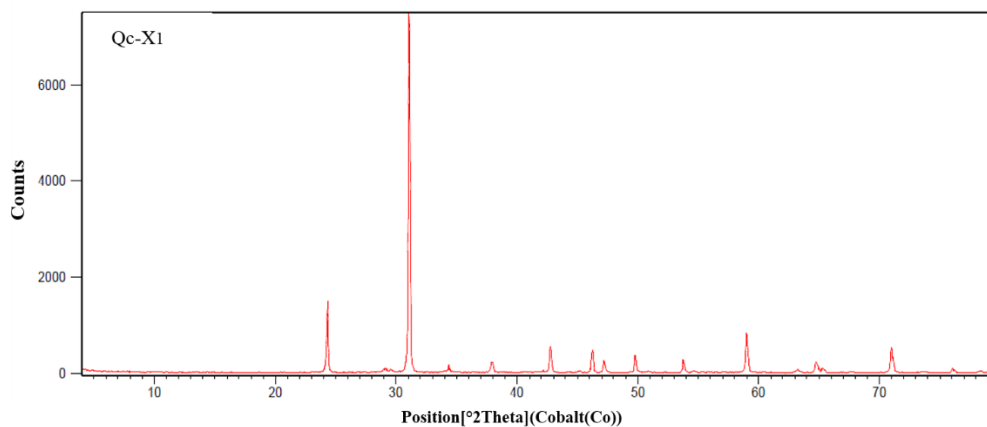
آثار دگرسانی در سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری منطقه ترو-چاه‌شیرین در برخی نقاط یکی از بارزترین پدیده‌های زمین‌شناسی می‌باشد که در محدوده تأثیر توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق مشاهده می‌شود (لیاقت و همکاران ۱۳۸۷؛ مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹؛ خاکزاد، ۲۰۰۶؛ Fard *et al.*, 2006). زمین‌شناسی منطقه و تأثیر سیالات گرمابی در شکل‌گیری دگرسانی‌های موجود در منطقه تأثیرزبادی داشته است.

۴-۵-۱- دگرسانی آرژیلیکی

تشکیل کانی‌های رسی جدید در سنگ‌های سیلیکاته مشخص کننده دگرسانی آرژیلیک است در تشکیل این دگرسانی شرایط اسیدی حاکم است و تحت تأثیر محیط اسیدی کاتیون‌های آلکالن از محیط شسته می‌شوند. دگرسانی آرژیلیکی بر حسب شدت شستشوی کاتیون‌های آلکالن به دو نوع آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک حد واسط قابل تقسیم است. دگرسانی آرژیلیکی را می‌توان محصول هیدرولیز سیلیکات‌های آلومینیوم دار (مثل میکا و فلدسپار) در یک محیط اسیدی دانست. این دگرسانی در کانسارهای رگه‌ای فلزات پایه در محیط چشمه‌های آبگرم و همچنین کانسارهای کم عمق فلزات قیمتی دیده می‌شود. در کانسار قله‌چیلی با توجه به وجود سنگ‌های گدازه‌ای اسیدی بیشترین حجم دگرسانی مربوط به دگرسانی آرژیلیکی می‌باشد. براساس مطالعات کانی‌شناسی و پراش پرتو ایکس (XRD) بر روی نمونه‌های X_1 و X_2 بیشتر کانی‌های دگرسان آن شامل کوارتز، ایلیت، کلسیت، مسکوویت و آناز است.

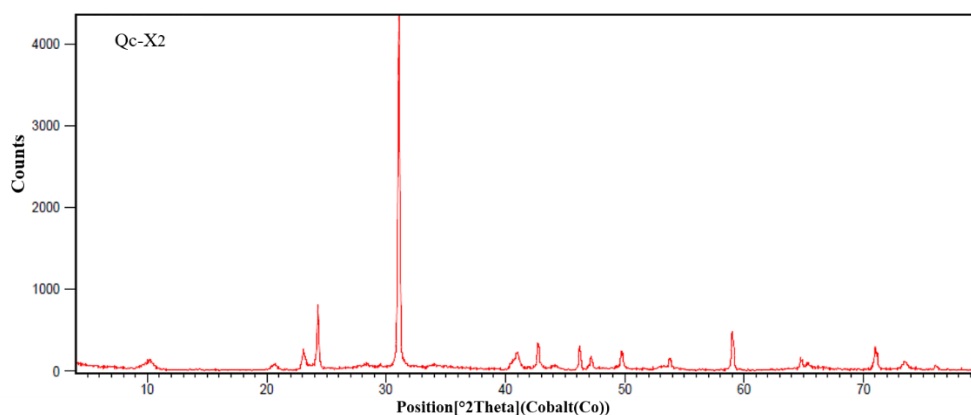


۴-۴. تصاویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی موجود در منطقه (دید به سمت شرق جنوب شرق).



Peak List
01-085-0796;SiO ₂ ;Quartz
00-029-1496;ko.7Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ;Illite-1/TM/RG
01-072-1652;CaCO ₃ ;Calcite
00-002-038;;TiO ₂ ;Anatase

شکل ۴-۵. نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه.



Peak List
01-085-0796; Quartz
00-029-1496; ko.7Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; illite-1 /TM/RG
00-007-0025; KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ ; Muscovite-1 /TM/RG.Syn
01-071-1166; TiO ₂ ; Anatase

شکل ۴-۶. نتایج پراش پرتو ایکس از نمونه‌های آرژیلیکی حدواسط در منطقه مورد مطالعه.

۴-۵-۲- دگرسانی پروپیلیتیکی

دگرسانی پروپیلیتیکی با ظهور مجموعه کانی‌های کلسیم و منیزیم‌دار شناخته می‌شود و معمولاً با

دگرگونی رخساره

شیست سبز معادل فرض می‌شود (بین و تایتلی ۱۹۸۱). کانی‌های شاخص این نوع دگرسانی شامل

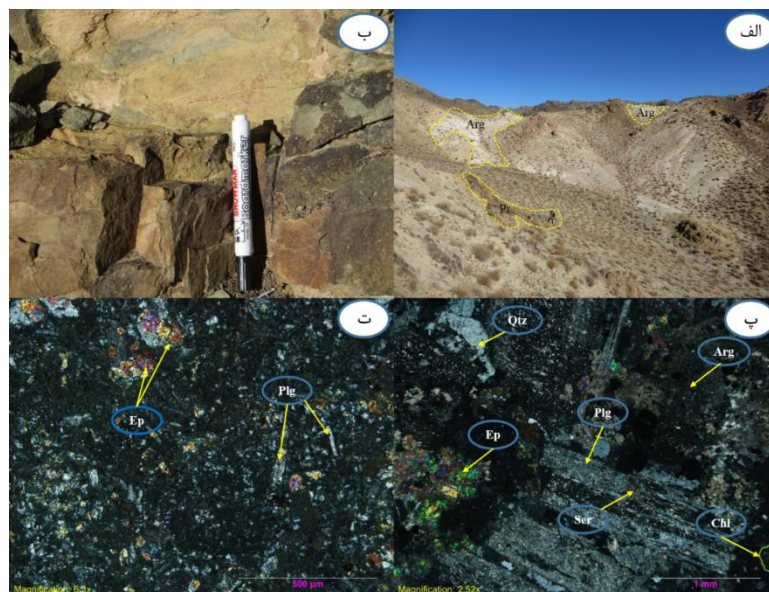
کلریت اپیدوت کربنات (کلسیت و دولومیت) آلبیت بعلاوه سربیسیت و پیریت در مقادیر کم ظاهر می‌شود.

در ایجاد دگرسانی پروپیلیتیکی محلول‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از آهن، منیزیم، کلسیم و بی کربنات

نقش مهمی را ایفا می‌کنند. چرخش سیالات با حرارت کم و غنی از Ca با منشاء جوی باعث ایجاد

دگرسانی پروپیلیتیکی می‌گردد (پیروان و امینی، ۱۳۸۴). این دگرسانی در منطقه بیشتر با کانی اپیدوت

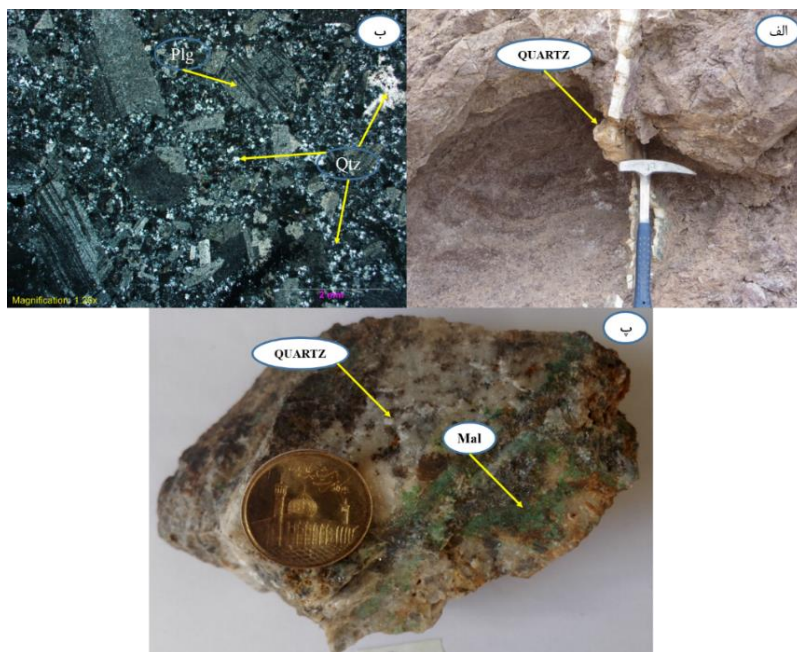
مشخص می‌شود.



شکل ۴-۷-الف) تصویر صحرایی از دگرسانی پروپلیتیکی در مجاورت دگرسانی آرژیلیکی، ب) تصویر صحرایی از دگرسانی پروپلیتیکی، پ و ت) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پروپلیتیکی که کانی اپیدوت در آن‌ها مشخص شده است.

۳-۵-۴- دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی که یکی از متداول‌ترین دگرسانی‌ها است که در اثر افزایش سیلیس در سیال باعث ته نشینی کوارتز به اشکال مختلف می‌گردد (Piranjno, 2009). این دگرسانی به طور گسترده رگه‌ها و یا فضاهای خالی نظیر حفره‌ها و شکستگی‌های بین قطعات یک سنگ را پر می‌کند و یا به طور کامل جانشین یک کانی می‌شود. این دگرسانی در گستره وسیعی از دما رخ می‌دهد (Lagast, 2009). محصولات اصلی دگرسانی سیلیسی شامل کوارتز بصورت توده‌ای، دانه پراکنده تا رگه‌ای و نیز به صورت سیلیس مخفی بلور می‌باشد (Ferkus & Leblanc, 1995). این دگرسانی در منطقه به شکل رگه و رگچه و انتشاری به شکل ذرات پراکنده و ریز در متن سنگ‌ها قابل مشاهده است.

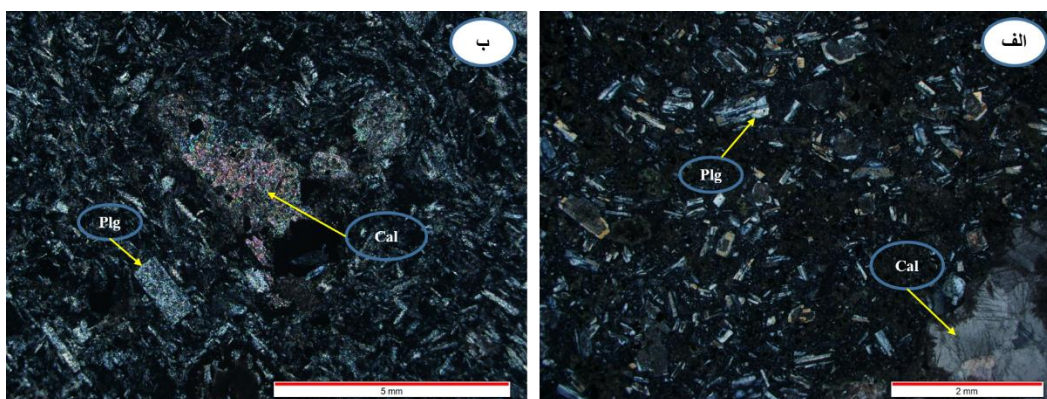


شکل ۴-۸. الف) تصویر صحرایی از رگه سیلیسی فاقد کانه‌زایی، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی در سنگ‌های آندزیتی، پ) نمونه دستی از رگه سیلیسی دارای کانه‌زایی.

۴-۵-۴- دگرسانی کربناتی

محصولات اصلی کربناتی شدن، کلسیت، دولومیت و آنکرایت هستند. همچنین می‌تواند به همراه کانی‌های دیگر مانند تالک، کلریت، سریسیت و آلپیت باشد. رخداد دگرسانی کربناتی، نتیجه واکنش میان سیال هیدروترمال غنی از CO_2 و سنگ دیواره است. (Reed, 1997) این دگرسانی در منطقه با حضور کلسیت مشخص می‌شود. انجام

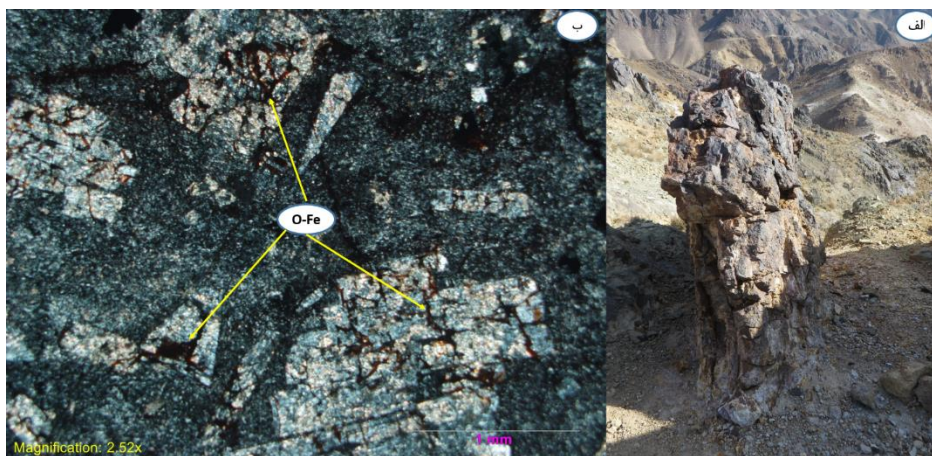
آنالیز XRD نیز وجود این دگرسانی در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹. تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی کربناتی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه.

۴-۵-۵- دگرسانی اکسید آهن

با توجه به مطالعات صحرایی از جمله دگرسانی‌های موجود در منطقه می‌توان به آغستگی‌های اکسیدهای آهن اشاره نمود. شدت این دگرسانی در منطقه متفاوت بوده و با تراکم درزه‌ها و شکستگی‌ها رابطه مستقیم دارد، که در نتیجه سوپرژن و هوازگی است. دگرسانی اکسیدهای آهن در واحد گدازه‌ای در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها در مجاورت با رگه‌های کانهدار مشاهده می‌شود. این دگرسانی همچنین بصورت نسبتاً زیاد واحدهای سنگی توف را تحت تأثیر قرار داده است و با رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند.

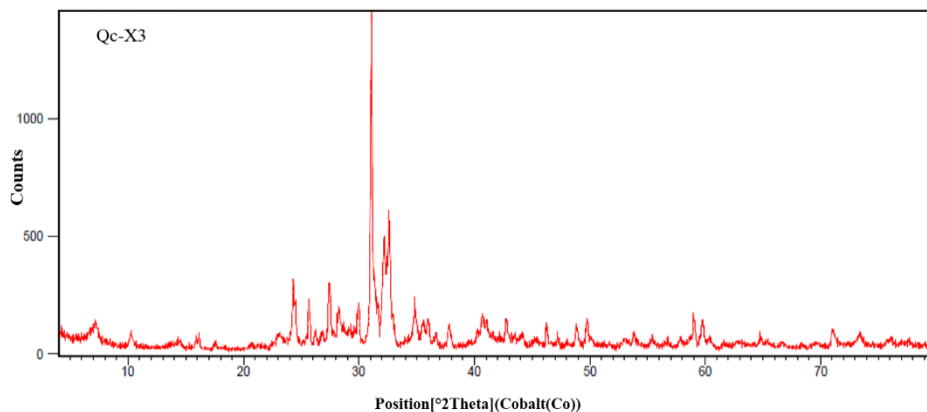


شکل ۴-۱۰. تصویر صحرایی و میکروسکوپی از دگرسانی اکسید آهن در سنگ‌های منطقه.

۴-۵-۶- دگرسانی سریسیتی

سریسیت نام عمومی اعضای دانه‌ریز گروه میکا به خصوص مسکوویت است که در کانسارهای اپی‌ترمال در شرایط نسبتاً اسیدی و در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (زراسوندی، ۱۳۸۶). دگرسانی سریسیتی (فیلیک) که از تأثیر محلول‌های اسیدی بر روی سنگ‌های آذرین به ویژه غنی از Al و سنگ‌های رسوبی نظیر شیل‌ها و مارن‌ها تأثیر گذاشته و آن‌ها را هیدرولیز کرده و بر اثر خارج شدن کاتیون‌های Ca, Mg, Na و باقی ماندن کاتیون K در سیستم تشکیل می‌شود. در طی سریسیتی شدن، فلدسپات‌ها، هورنبلند، بیوتیت متلاشی شده و کوارتز آزاد شده باعث سیلیسی شدن سنگ می‌گردد. در طی دگرسانی سریسیتی، فلدسپات‌های اولیه موجود در سنگ به کانی سریسیت

تبدیل می‌شوند. کانی‌های مهم این زون شامل سریسیت، کوارتز، پیریت و کانی‌های رسی می‌باشند. این دگرسانی در منطقه گسترش فراوانی دارد و گاهی همراه با دگرسانی کربناتی در سنگ مشاهده می‌شود.



Peak List
01-085-0796SiO ₂ ; Quartz
01-075-1190;K(AlSi ₃)O ₈ ; orthoclase
01-072-1245;Na(AlSi ₃ O ₈); Albite low
01-086-1385k0.86Al _{1.94} (Al _{0.965} Si _{2.895} O ₁₀)(OH) _{1.744} f0.256); Muscovite-2 \TIM#1/RG
01-076-0847;Mg _{3.41} si _{2.86} Al _{1.140} 10(OH) ₂ (H ₂ O) _{3.72} . Vermiculite

شکل ۴-۱۱. نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های سریسیتی منطقه مورد مطالعه.

فصل پنجم

کانی شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراشیمی کانی ها

۵-۱ مقدمه

مهمترین بخش مطالعه و شناسایی ویژگی‌های محیط تشکیل هر کانسار، مطالعه کانی‌شناسی، ساخت، بافت و رابطه پاراژنزی بین کانی‌ها است. در مطالعات کانی‌شناسی کانی‌های تیره و کانی‌های باطله مشاهده شده در مقاطع صیقلی و روابط بین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند (Lnsn, 2000)، که برطبق مطالعات کرینگ و وقان (Craig & Vaughan, 1994) رفتار کانی‌های تشکیل دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل دهنده آن است. علاوه بر این با مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنزی می‌توان اطلاعات مفیدی را در مورد الگوی پیدایش نهشته‌ها، تعیین رابطه بین کانه‌های معدنی و سنگ درونگیر آن‌ها بدست آورد. بدین منظور پس از نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف گستره معدنی کانسار مس قله‌چیلی تعداد ۸ مقطع صیقلی و ۸ مقطع نازک صیقلی تهیه شده‌است که پس از تهیه، به کمک میکروسکوپ پلاریزان و انعکاسی مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی زمین‌شناسی و زمین‌شناسی صحرایی بیانگر رخداد احتمالی دو تیپ کانی‌سازی متفاوت در منطقه است، که از نظر سنگ میزبان نیز با هم متفاوتند. در این فصل به بررسی کانی‌شناسی، ساخت، بافت و روابط پاراژنزی کانسارهای مس قله‌چیلی پرداخته می‌شود.

۵-۲- کانی‌شناسی محدوده‌های مورد مطالعه

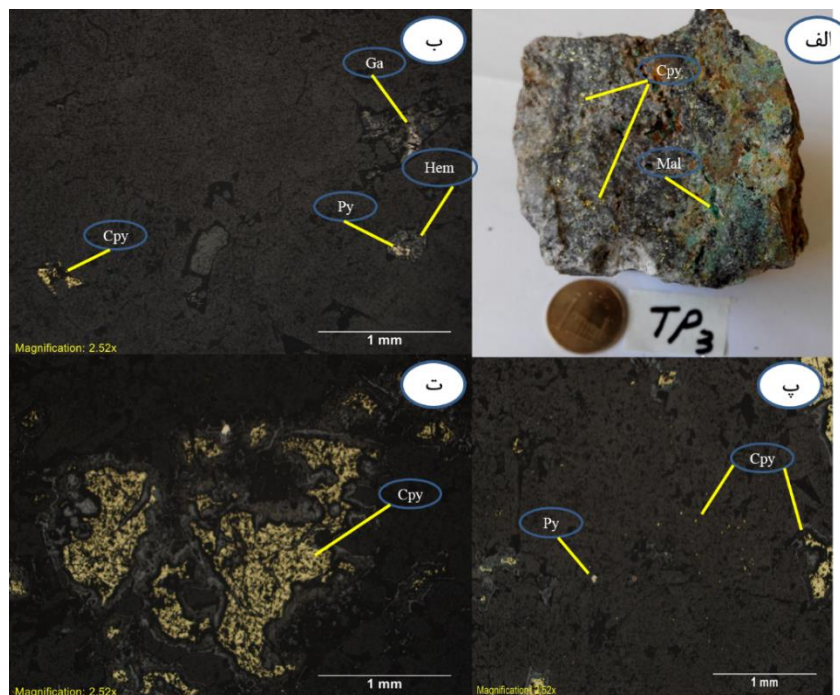
در محدوده قله‌چیلی بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی صحرایی بیانگر رخداد احتمالی دو تیپ کانه‌زایی متفاوت در منطقه است، که از نظر سنگ میزبان و کانی‌شناسی با هم متفاوت هستند. از نظر کانی‌شناسی محدوده شماره یک شامل کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و همچنین آثار پراکنده‌ای از پیریت و پیریت‌های هماتیتی شده در سنگ‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی می‌باشد. محدوده شماره دو (رگه‌های سیلیسی مس‌دار) نیز شامل کانه‌زایی‌های کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن است. که در زیر هریک از کانی‌ها به طور جداگانه توصیف شده است:

۵-۲-۱-کانی‌های سولفیدی

کانی‌های سولفیدی اصلی در کانسار مس قله‌چیلی کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، کالکوسیت و کوولیت می‌باشد. که در محدوده شماره یک کالکوسیت به صورت اولیه بوده که به کانی‌های کوولیت، مالاکیت و کریزوکولا تبدیل گردیده است، اما در محدوده شماره دو کالکوسیت کانی ثانویه بوده و در نتیجه جانشینی کالکوپیریت ایجاد شده است. کانی‌های سولفیدی اغلب در شرایط سطحی اکسید شده و کانی‌های ثانویه مس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن را به وجود می‌آورند.

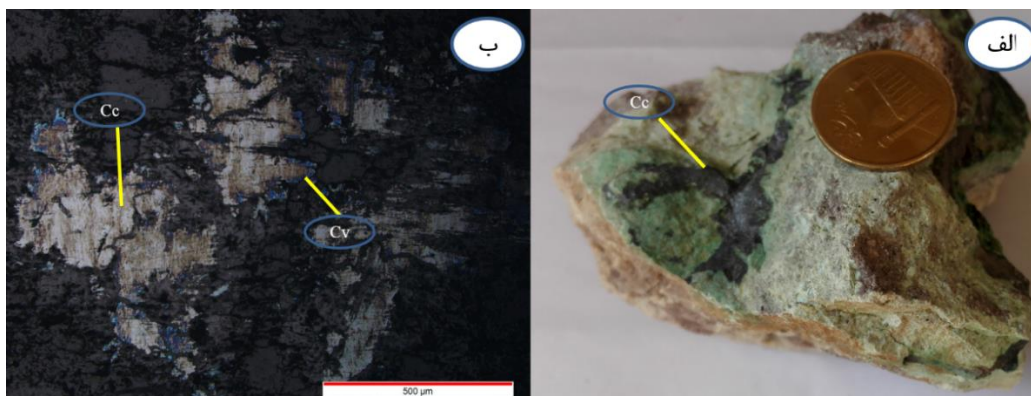
کالکوپیریت (CuFeS_2): یکی از کانی‌های رایج در اکثر کانسارهای سولفیدی به حساب می‌آید که دارای رنگ زرد طلایی می‌باشد. این کانی، در محدوده شماره دو به مقدار خیلی زیادی همراه با گالن، پیریت، کوولیت و کالکوسیت حضور دارد، که تحت تأثیر فرآیندهای سوپرژن به کانی‌های کوولیت و کالکوسیت و هیدروکسیدهای آهن از جمله گوتیت تبدیل شده است، در بعضی موارد با پیشرفت غنی سازی ثانویه کانی کالکوپیریت از بین رفته و به صورت آثار برجای مانده بافت جانشینی یا جزیره‌ای را نشان می‌دهد. در محدوده شماره یک (سنگ‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی مس‌دار) کالکوپیریت مشاهده نشده است.

پیریت (FeS_2): پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین بوده و معمولاً به صورت کانی تیره در سنگ‌ها مشاهده می‌شود (Craig and Vokes, 1993). پیریت، کانی منطقه هیپوژن است که در مقاطع میکروسکوپی اندک بوده، و در هر دو محدوده به صورت دانه‌های شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، پراکنده و دانه ریز موجود است.



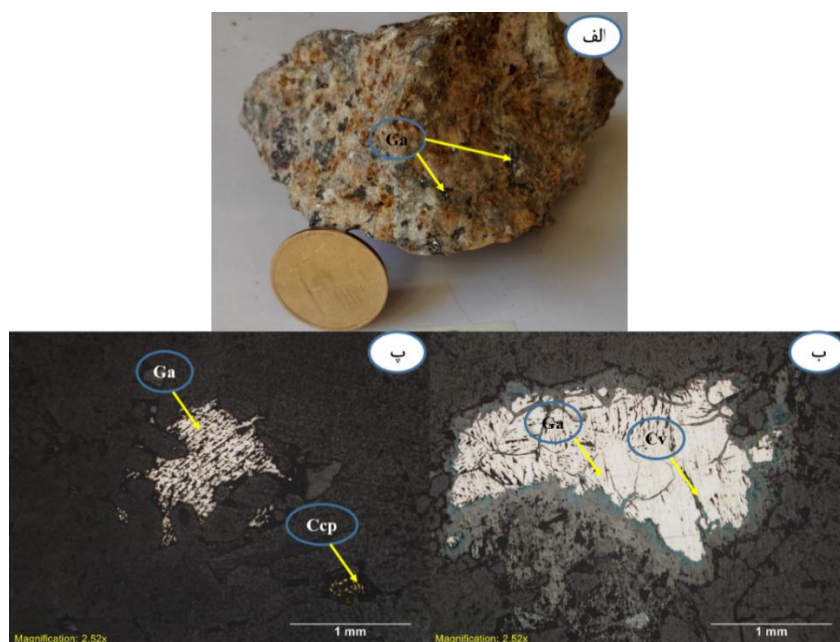
شکل ۵-۱. الف) تصویر نمونه دستی که کانی‌های کالکوپیریت و مالاکیت در آن دیده می‌شود، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های گالن کالکوپیریت و پیریت‌هایی که هماتیتی شده‌اند، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های کالکوپیریت که بافت پرکننده فضای خالی و دانه پراکنده را نشان می‌دهد، کانی پیریت نیز به صورت پراکنده در زمینه دیده می‌شود، ت) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت با بافت جانشینی که کالکوپیریت در حال تبدیل شدن به گوتیت است.

کالکوسیت (Cu_2S): این کانی در نمونه دستی به صورت سیاه تا نقره‌ای‌رنگ در سطح تازه سنگ مشاهده می‌شود. کالکوسیت یکی از فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی در منطقه است که در مقاطع صیقلی بصورت رگه-رگچه‌ای و شکافه پرکن و همراه با کالکوپیریت، کوولیت، اسفالریت و مالاکیت دیده می‌شود. این کانی در محدوده شماره ۱ به صورت اولیه و کانه اصلی ولی در محدوده شماره ۲ به صورت جانشینی کالکوپیریت می‌باشد. از لحاظ محیط تشکیل این کانی بیشتر در کانسارهای اپی ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshall et al, 2004).



شکل ۵-۲. الف) تصویر نمونه دستی از رگه کالکوسیتی موجود در سنگ‌های آندزیتی (ب) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت با بافت جانیشینی که کالکوسیت در حال تبدیل شدن به کوولیت می‌باشد.

گالن (PbS): گالن کانی با رنگ سفید، رخ مثلثی و از کانی‌های سولفیدی اولیه، که در کانسار قله‌چیلی در یک زمینه سیلیسی پراکنده می‌باشد، و همراه با کوولیت، کالکوسیت و کالکوپیریت قابل مشاهده است.



شکل ۵-۳. الف) تصویر نمونه دستی از کانی‌سازی گالن در رگه سیلیسی، (ب) تصویر میکروسکوپی از کانی گالن که از اطراف به کوولیت تبدیل شده است، (پ) تصویر میکروسکوپی که کانی‌های کالکوپیریت و گالن فضای بین دانه‌های کوارتز را پر کرده‌اند.

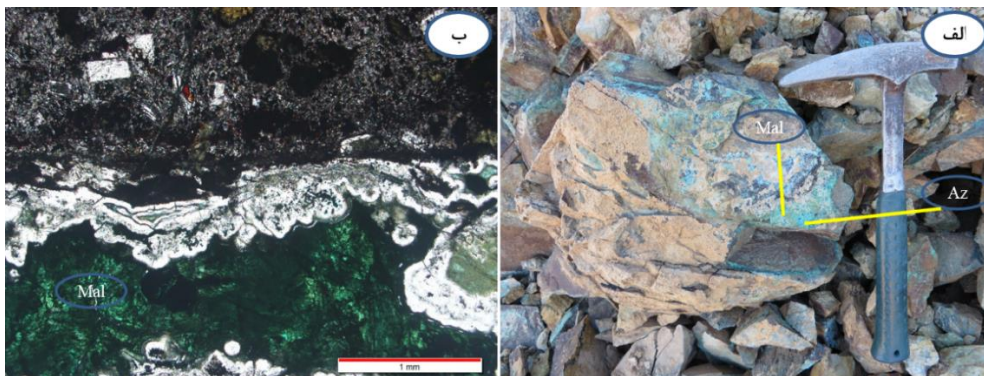
اسفالریت (ZnS): مهم‌ترین کانسنگ روی است که همراه با گالن در رگه‌های هیدروترمالی به صورت جزئی یافت می‌شود. اسفالریت در نمونه‌های دستی کانسار قله‌چیلی مشاهده نمی‌شود، حتی در مقاطع میکروسکوپی هم بندرت دیده شده‌است.

کولیت (CuS): کولیت یک کانی ثانویه می‌باشد که در کانسار قله‌چیلی از تجزیه سولفیدهای مس مثل؛ کالکوسیت، گالن و کالکوپیریت تشکیل شده است، بیشترین گسترش این کانی در بخش‌های هوازده است. کولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالایی دارد و به صورت جانشینی در حاشیه کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و گالن مشاهده می‌شود.

۵-۲-۲- کانی‌های کربناتی

پس از کانی‌زایی سولفیدی، در طی فرآیند سوپرژن اکسیدی کانی‌های کربناته مس نظیر مالاکیت و آزوریت به همراه اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در شکستگی‌ها و فضاها کم فشار به شکل رگه‌ای، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاها خالی و پراکنده تشکیل می‌گردند.

مالاکیت یکی از فراوان‌ترین کانی‌های کربناتی مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در نمونه دستی به رنگ سبزآبی دیده می‌شود و در مقاطع نازک رنگ سبز مایل به زرد تند می‌باشد. این کانی در مقطع صیقلی دارای رنگ سبز، انعکاس کم و آنیزوتروپی قوی دارد، که معمولاً بصورت رگه-رگچه‌ای و شکافه-پرکن همراه با آزوریت و سایر کانه‌های مس‌دار مشاهده می‌شود. کانی مالاکیت، بطور معمول در پهنه اکسیدان کانسارهای مس رگه‌ای یافت می‌شود و در رده کربنات‌های مس قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۵. الف) تصویر صحرایی از کانی سازی ملاکیت و آزوریت در سنگ‌های آندزیتی موجود در منطقه، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی ملاکیت که بافت رگه‌ای را نشان می‌دهد.

۵-۲-۳-کانی‌های سیلیکاتی

کریزوکولا $(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_{4.n} (\text{H}_2\text{O})$ کانی سیلیکات آبدار مس، به رنگ آبی مایل به سبز، به حالت بی شکل تا ریز بلور، همراه کانی ملاکیت و بسیار فراوان است. از نظر ظاهری شبیه اوپال و معمولاً نرم تر از آن است، جلای چرب و حالت کدر دارد. کانی کریزوکولا، همراه کانی ملاکیت در پهنه اکسیدان یافت می‌شود و نشاندهنده بالا بودن غلظت Si در سیال می‌باشد.



شکل ۵-۵. تصویر نمونه دستی از کانی سازی کریزوکولا در سنگ‌های آندزیتی.

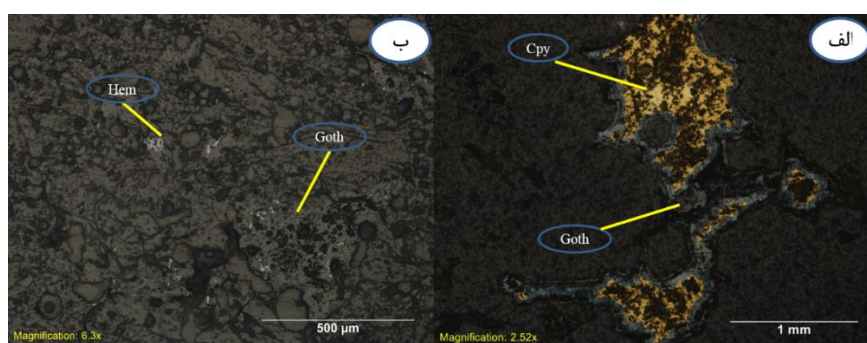
۵-۲-۴-کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی

تأثیر آب‌های جوی اکسیدان بر روی کانی‌های سولفیدی اولیه نزدیک سطح موجب شسته شدن مس و

انحلال آن از کانی‌ها می‌گردد. این سیالات در طی مسیر خود، کانی‌های سوپرژن نظیر مالاکیت، آزوریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن را ایجاد می‌نمایند. تشکیل هماتیت، جایگزینی پیریت، کالکوپیریت و کربنات‌های مس، اشاره به اکسایش در شرایط سوپرژن دارد.

اکسید و هیدروکسیدهای آهن در کانسار مس قله‌چیلی شامل: هماتیت، لیمونیت و گوتیت می‌باشند. عملکرد آب‌های جوی بر روی درزه‌ها و شکستگی‌ها موجب اکسید شدن کانه‌های سولفیدی شده و تشکیل اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن را داده است. آب‌های جوی غنی از اکسیژن اغلب به عنوان بهترین منبع خارجی تأمین کننده اکسیژن مطرح هستند (Haynes et al., 1995). در واقع در اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی دچار انحلال می‌شوند و در نتیجه یون گوگرد آن‌ها از محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای مانده‌اند (Ramdhor, 2013).

هماتیت (Fe_2O_3) و گوتیت ($FeOOH$)، به عنوان کانی ثانویه فلزی در این کانسار می‌باشد. در مقاطع میکروسکوپی هماتیت با رنگ سفید خاکستری و گوتیت با رنگ خاکستری متمایل به تیره در اطراف رگه‌های کانه‌زایی قابل مشاهده هستند. این کانی‌ها بیشتر به صورت دانه‌ریز، پراکنده و پرکننده فضای خالی یا به صورت رگچه‌های ثانویه اکسید و هیدروکسیدهای آهن مشاهده گردیده‌اند.

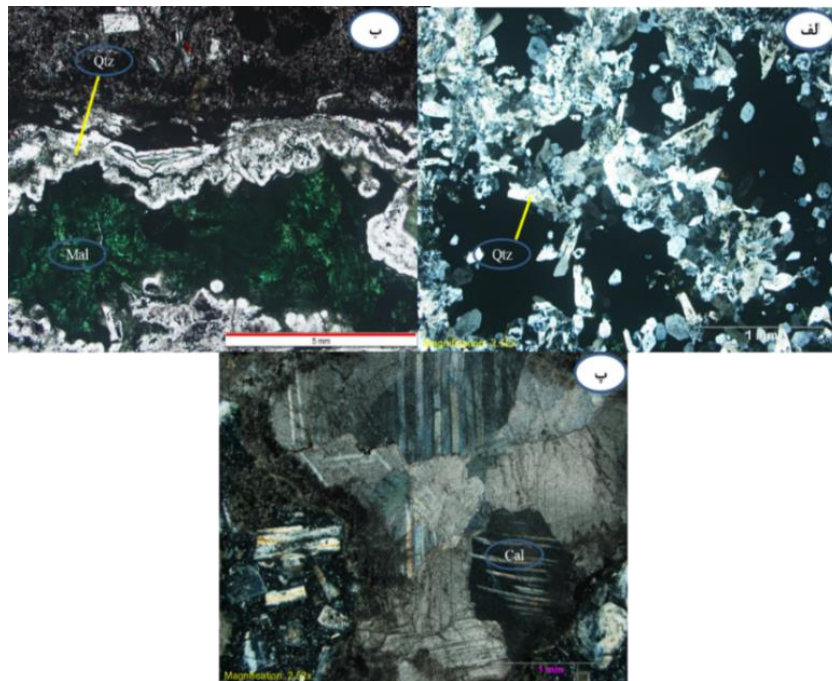


شکل ۵-۶. الف) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که از اطراف به گوتیت تبدیل شده‌است، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های گوتیت با بافت کلوفرمی و هماتیت‌هایی که جانشین پیریت شده‌اند.

۵-۲-۵ کانی‌های باطله:

کانی‌های باطله‌ای که کانی‌سازی مس را در منطقه همراهی می‌کنند شامل کلسیت ($CaCO_3$),

کوارتز (SiO_2) و کانی‌های رسی می‌باشند. کلسیت در مقاطع میکروسکوپی بصورت پراکنده و رگه ای قابل مشاهده است. کوارتز به عنوان رگه سیلیسی حاوی کانه‌زایی و کانی‌های رسی در زون دگرسانی فراوان یافت می‌شوند.



۵-۷. الف) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های کوارتز که فضای خالی بین دانه‌های کوارتز توسط کانی‌های اپیک پر شده است، ب) تصویر میکروسکوپی از رگه کوارتز که دارای کانه‌زایی مالاکیت است، پ) تصویر میکروسکوپی از رگه کلسیتی موجود در سنگ‌های آندزیتی.

۵-۳- ساخت و بافت مواد معدنی

ساخت از روی شکل، اندازه و حالت تک تک دانه‌ها تعیین می‌گردد و در زیر میکرو سکوپ و در بیرون زدگی‌ها و حتی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است و بافت از روی نحوه قرار گرفتن کانی‌هایی که از نظر شکل، اندازه و حتی ترکیب با هم متفاوتند، تعیین می‌گردد (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). در بررسی میکروسکوپی نور انعکاسی، به ویژه مطالعه کانه‌ها، شناسایی و تفسیر روابط بین دانه‌ها (بافت)، به همان اندازه مهم است که شناسایی کانه‌ها اهمیت دارد. شناسایی بافت کانه‌ها در موارد زیر کاربرد دارند (لیاقت و جامی، ۱۳۷۸):

(۱) تقدم و تأخر تشکیل کانه‌ها و باطله‌ها

۲) رابطه‌ی دانه‌ها با یکدیگر و با باطله‌ها

۳) درجه آزادی دانه‌ها

۴) مشخص کردن ماهیت فرآیندهای درگیر در نهشته‌شدن کانه‌ها

۵) مشخص کردن رخداد‌های ثانویه مانند برقراری تعادل دوباره، هوازدگی، اکسایش و سیمانی-

شدن مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بافت‌های ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه از

نوع رگه- رگچه‌ای دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی، اسکلتی، کلوفرمی و جانیشینی و

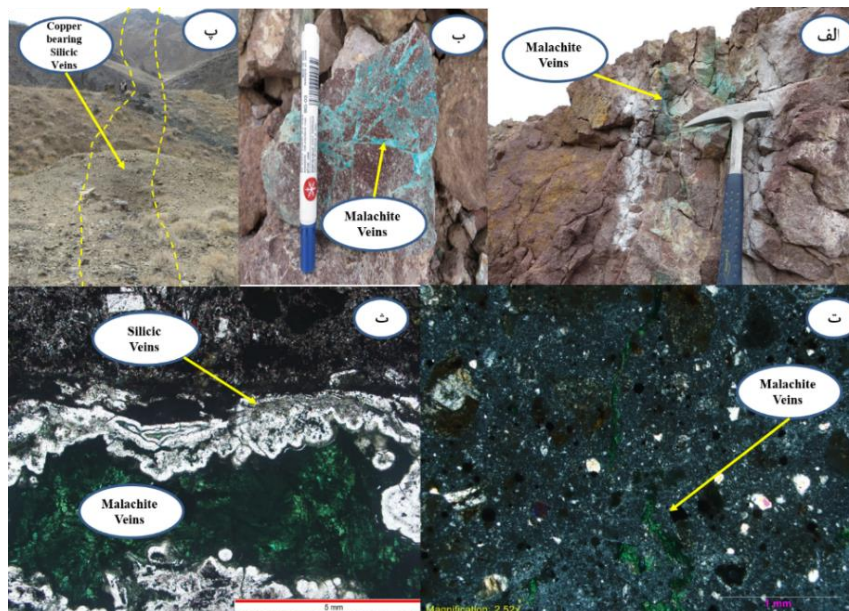
ساختارهای کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود.

۵-۳-۱- ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای

ساخت رگه- رگچه‌ای اصلی‌ترین ساخت مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کانی‌هایی که

بصورت رگه- رگچه‌ای مشاهده می‌شود شامل کالکوسیت، مالاکیت و کریزوکولا که در امتداد درزه و

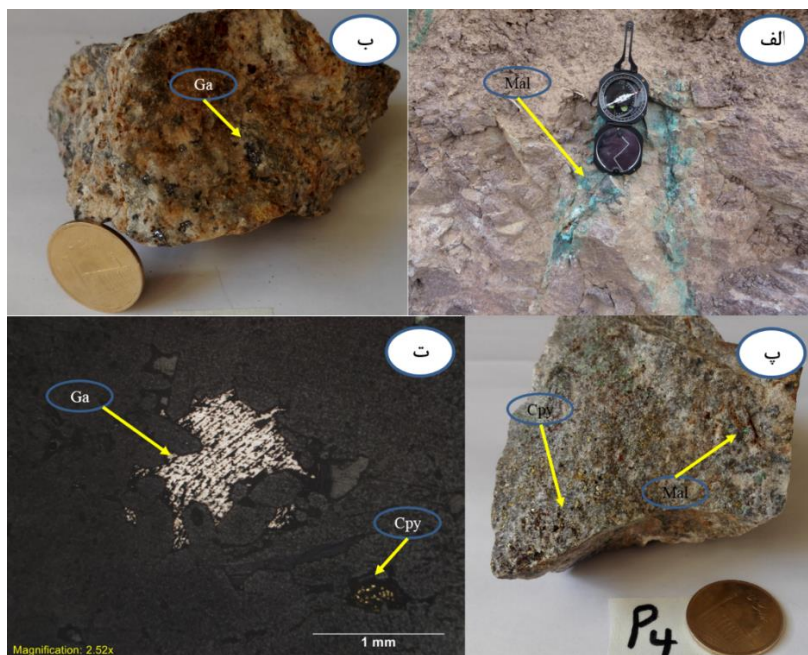
شکاف‌ها تشکیل شده‌اند، همچنین رگه‌های کوارتزی دارای کانه‌زایی در منطقه وجود دارد.



۵-۸. تصاویر از ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای موجود در منطقه، الف) و ب) رگه- رگچه‌های مالاکیت و آزوریت موجود در سنگ‌های آندزیتی را نشان می‌دهد، پ) رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی سولفیدی مس، ت) تصویر میکروسکوپی از رگه مالاکیتی، ث) تصویر میکروسکوپی از رگه سیلیسی که حاوی رگه مالاکیت می‌باشد.

۵-۳-۲- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی

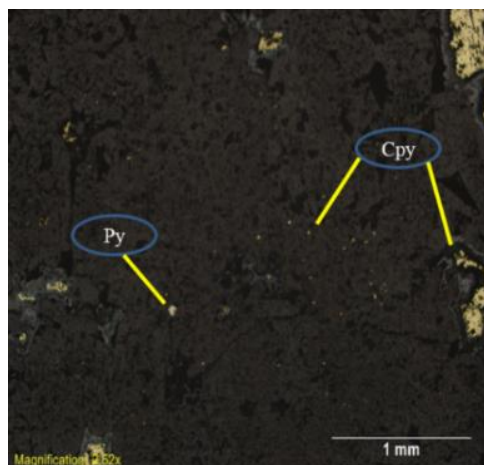
محلول‌های گرمابی یا ماگمایی هنگام عبور از مجرای گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و یا فضای بین قطعات سنگ‌های آذرآواری، موادمعدنی همراه خود را برجای می‌گذارند، و ساخت و بافت پرکننده فضای خالی را تشکیل می‌دهند (Craig & Vaughan, 1981) این نوع ساخت و بافت در کانسار مس قله‌چیلی یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل کالکوپیریت، گالن و مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضاهای خالی بین کانی‌ها و سنگ‌ها را که ناشی از انحلال هستند را پر کرده است.



۵-۹. تصاویری از ساخت و بافت پرکننده فضای خالی، الف) تصویر صحرایی از درز و شکستگی‌های موجود در منطقه که توسط مالاکیت پر شده‌اند، ب) تصویر نمونه دستی که فضای خالی بین دانه‌های کوارتز توسط گالن پر شده‌است، پ) تصویر نمونه دستی که فضای بین دانه‌های کوارتز توسط کالکوپیریت پر شده‌است، ث) تصویر میکروسکوپی از پرشدن حفرات بین دانه‌های کوارتز توسط کالکوپیریت و گالن.

۵-۳-۳-بافت دانه‌پراکنده

بلورهای کالکوپیریت و پیریت به صورت دانه‌پراکنده در مقاطع مشاهده شده‌اند و تشکیل این کانه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد سیالات گرمابی در مرحله اول کانه‌زایی و تراوش این سیالات به داخل سنگ میزبان باشد.

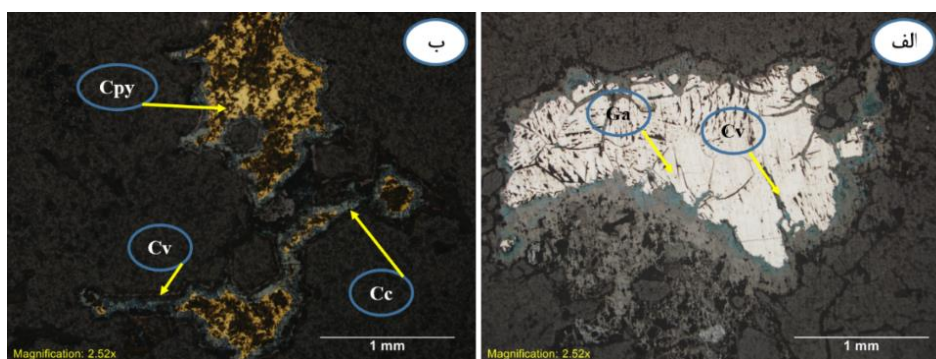


شکل ۵-۱۰. تصویر میکروسکوپی از بافت دانه پراکنده که کانی‌های پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده در بافت سنگ مشاهده می‌شوند.

۵-۳-۴ بافت جانشینی

جانشینی ممکن است نتیجه‌ی یک یا چند نمونه از فرآیندهای (۱) انحلال و ته‌نشینی مجدد پسین (۲) اکسیداسیون. (۳) انتشار حالت جامد باشد (Craig and Vaughan, 1994). ادوارد (۱۹۴۷)، باستین (۱۹۵۹) و رامدور (۱۹۶۹)

انواع گسترده‌ای از جانشینی -حاشیه‌ای، ناحیه‌ای و frontal و ... را توصیف کرده‌اند اما به نظر می‌رسد همه‌ی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییرات فرآیند یکسانی هستند. کانی‌های سولفیدی مس، بر اساس تفاوت در میزان گوگرد و مس موجود در سیال کانه‌دار، از مرکز قسمت کانه‌زایی به سمت حاشیه تغییر ترکیب می‌دهند و حالت منطقه‌بندی را ایجاد می‌کنند. همانطور که در شکل (۵-۱۱) مشاهده می‌شود کالکوپیریت از حاشیه به کانی‌های کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است.



شکل ۵-۱۱. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی، الف) تصویری از کانی گالن که از اطراف توسط کوولیت جایگزین شده است، ب) تصویری از کالکوپیریت که از اطراف توسط کالکوسیت و کوولیت جایگزین شده است.

۵-۳-۴ بافت باقیمانده

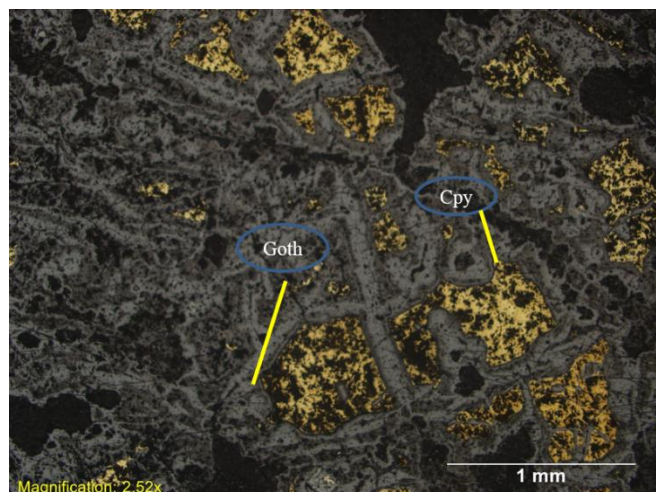
کالکوپیریت در برخی موارد ابتدا به کوولیت و سپس گوتیت تجزیه شده است شدت هوازدگی بعضاً به حدی است که این کانی به طور کامل به گوتیت تبدیل شده و یا تنها بقایایی از آن به صورت بافت بازماندی یا جزیره‌ای (Ineson, 1989) باقی مانده است.

۵-۳-۵ بافت کلوفرمی

بافت کلوفرمی به خصوص در کانی‌های اکسید آهن و منگنز معمول است. وجود بافت کلوفرمی گوتیت، نشان دهنده ته‌نشست این کانی در شرایط حرارت پایین در فضای خالی بین سایر کانی‌ها می‌باشد.

۵-۳-۶ بافت بافت جعبه‌ای

این نوع بافت در نتیجه تجزیه و انحلال سنگ و بر جای گذاری دیواره‌هایی در آن بوجود می‌آید (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). ساخت های سلول وار که عموماً جعبه‌ای نامیده می‌شوند در هر شرایط محیطی که سیالات در ناپیوستگی موجود در کانی یا سنگ نفوذ کند و کانی‌ها از آن ته‌نشین شوند (به عنوان شیارهای باریک که حتی در فرایندهای هوازدگی باقی می‌مانند) توسعه پیدا می‌کنند. کوچک، مجراها شامل مرز دانه‌ها، کلیواژ، شکستگی‌های دانه‌های منفرد و در مقیاس بزرگتر الگوی شکستگی سنگ می‌باشند. در اغلب موارد مرحله اصلی توسعه شیارهای بافت جعبه ای در اطراف سطح ایستابی (به خصوص بالای سطح ایستابی) اتفاق می‌افتد و به عنوان باقیمانده از کانی‌هایی که بوسیله فرآیندهای اکسیداسیون حذف شده است (معمولاً کانی‌های سولفیدی) در معرض دید قرار می‌گیرد و این تصور که توسعه شیارها در رخنمون شسته شده و بخشی از فرآیندهای هوازدگی سطحی است، به نظر فقط در برخی از موارد صدق می‌کند (تیلور، ۲۰۱۱).



شکل ۵-۱۲. تصویر میکروسکوپی از از کانی کالکوپیریت که بافت جعبه‌ای جزیره‌ای و کلوفرمی را به خوبی نشان می‌دهد.

۵-۴- توالی پاراژنتیکی

توالی پاراژنتزی، ترتیب تشکیل کانی‌ها (کانه و باطله) و تقدم و تأخر زمانی حوادثی را ارائه می‌دهد که کانسار و یا منطقه کانه‌زایی را تحت تأثیر قرار داده است (Craig and Vaughan, 1994). یک توالی پاراژنتزی می‌بایست شرایطی که فازها بر اساس آنها پدید آمده یا به تعادل دوباره رسیده‌اند را شرح دهد. توالی پاراژنتیکی معمولاً به صورت نمودارهای خطی ترسیم شده و در آن ارتباط زمانی مواد معدنی و باطله، فراوانی نسبی کانی‌ها و توالی تشکیل مجموعه کانی‌های دگرسانی در حین تکامل سیستم کانه‌زایی خلاصه می‌شود (Barker, 1991) اگرچه با بررسی رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری به اطلاعات زیادی می‌توان رسید، اما مطالعه‌ی توالی کانی‌ها عملاً به مطالعات میکروسکوپی محدود است. برای تعیین ترتیب نهشت کانی‌ها از آنالیز دقیق بافت‌ها و ساخت‌های میکروسکوپی استفاده می‌شود (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷).

در کانسار مس قله‌چیلی به دلیل اینکه احتمالاً دو تیپ متفاوت کانه‌زایی وجود دارد روابط کانی‌شناسی و بافتی متفاوتی در دو محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود که به همین دلیل برای هر یک از مناطق موجود توالی پاراژنتیکی جداگانه‌ای ترسیم می‌شود.

جدول ۵-۱. توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در رگه‌های سیلیسی مس‌دار کانسار مس قله‌چیلی

Stage Mineralogy		Hypogene		Supergene		
		Stage1	Stage2	Reduction	Oxidation	
Minerals	Sulfide Minerals	Pyrite Chalcopyrite Sphalerite Galena Chalcocite Covellite	██████ - - - - ██████ ██████ ██████	██████ - - ██████ ██████	██████ ██████	
	Oxide & Hydroxide & Carbonate	Hematite Goethite Limonite Malachite Azhorite			██████ ██████ ██████ ██████ ██████	
	Altration	Quartz Clay minerals Chlorite Epidote	██████ ██████ ██████ ██████	██████ ██████ ██████ ██████		
Texture	Dissiminated Replacment Vein- Veinlets Open space filling Colloform	██████ ██████ ██████		██████ ██████ ██████	██████ ██████ ██████ ██████	

در محدوده کانی‌سازی رگه سیلیسی کانسار مس قله‌چیلی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، وگالن اولیه هستند، کانی‌های پیریت و کالکوپیریت دارای دو فاز تشکیل می‌باشند که فاز اولیه آن به صورت بافت پراکنده در زمینه قرار گرفته‌اند و فاز ثانویه به صورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی مشاهده می‌شوند. کانی‌های ثانویه در این محدوده کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشند که در اثر هوازدگی تشکیل شده‌اند.

جدول ۲-۵. توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در سنگ‌های آندزیتی مس‌دار کانسار مس قله‌چیلی

Mineralogy		Stage	Supere		
			Hypogene	Reduction	Oxidation
Minerals	Sulfide Minerals	Pyrite	-----		
		Chalcosite	=====		
		Covellite		=====	
	Carbonate	Malachite			=====
		Azhorite			=====
	silicate	Chrysocolla			=====
	Oxide & Hydroxide	Hematite	-----		=====
		Goethite			=====
		Limonite			=====
	Altration	Quartz	=====		
Clay minerals		=====	-----		
Chlorite		=====	-----		
Epidote		=====	-----		
Texture	Dissiminated	-----			
	Replacment	-----	=====	=====	
	Vein- Veinlets	=====	=====	=====	
	Open space filling	=====	=====	=====	

در محدوده کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی کانسار مس قله‌چیلی کانی‌های پیریت، و کالکوسیت اولیه هستند، کانی‌های پیریت به صورت بافت پراکنده در زمینه قرار گرفته‌اند و کانی کالکوسیت به صورت رگه‌ای در درز و شکستگی‌ها و فضاهای خالی را پر می‌کند. کانی‌های ثانویه در این محدوده کوولیت، مالاکیت، آزرویت، کریزوکولا، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشند که در اثر هوازدگی تشکیل شده‌اند.

فصل هشتم

زبونی

۶-۱- مقدمه

ژئوشیمی علمی است که در آن با استفاده از ابزارهای شیمی به حل مسائل زمین‌شناسی پرداخته می‌شود. در واقع در این علم، از شیمی برای شناخت زمین و درک فرآیندهای آن کمک گرفته می‌شود. امروزه مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی، ارتباط مستقیم با نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی دارد. چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی آن‌ها با یکدیگر از مهمترین جنبه‌هایی است که همواره در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر قرار می‌گیرند. با استفاده از این داده‌ها می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرایندهای مؤثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد (Piercey, 2011). در مطالعات ژئوشیمیایی، عناصر تشکیل دهنده کره زمین در سنگ‌های آذرین به سه گروه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب تقسیم می‌شوند. در این تقسیم‌بندی، عناصر اصلی در مطالعات سنگ‌های آذرین برای محاسبه کانی‌های سنگ به روش نورم (CIPW) و سایر روش‌ها، بررسی تفریق و اختلاط ماگمایی، نامگذاری‌ها براساس نمودارهای استاندارد، تعیین سری سنگ‌ها و مطالعه دگرسانی کاربرد دارند. نقش عناصر فرعی و کمیاب نیز در سنگ‌های آذرین شامل نامگذاری سنگ‌های آذرین، تعیین سری ماگمایی، بررسی تفریق ماگمایی، بررسی منشأ از دیدگاه نوع کانی‌ها و درصد ذوب‌بخشی مذاب اولیه سنگ‌ها می‌باشد. عناصر اصلی و کمیاب در مطالعه دگرسانی‌ها، تشخیص کانسنگ‌های بارور و غیربارور، تعیین عناصر اصلی و جانبی کانسنگ‌ها، ارزیابی اقتصادی کانسارها و مطالعه‌ی خاستگاه و تکوین کانی‌سازی‌ها اهمیت زیادی دارند. مطالعات ژئوشیمی در این تحقیق به دو بخش تقسیم شده است: (۱) ژئوشیمی محیط سنگ و (۲) ژئوشیمی محیط کانسنگ.

۶-۲- ژئوشیمی محیط سنگ

۶-۲-۱- نمونه برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ

به منظور شناسایی عناصر اصلی سنگ میزبان و چگونگی رخداد فرآیند کانه‌زائی در کانسار مس قله-چیلی، طی چند مرحله بازدید صحرایی تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ ماده معدنی

با مختصات جغرافیایی مشخص و بر مبنای تنوع و تغییرات لیتولوژیکی جمع‌آوری شد. پس از مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۱۲ نمونه سنگ به روش XRF برای اکسید عناصر اصلی و ICP-OES/MS برای عناصر فرعی و کمیاب در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات و فرآوری‌های معدنی ایران با حمایت مالی شرکت ایمیدرو مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۶-۲) ارائه شده است. در این بخش سعی شده است که با استفاده از تجزیه‌های شیمیایی و نمودارهای مختلف، شرایط تشکیل سنگ‌های منطقه بررسی شود. نام و خصوصیات نمونه‌های برداشت شده در جدول (۶-۱) آورده شده است:

جدول ۶-۱- موقعیت مکانی و سنگ‌شناسی تعداد ۱۲ نمونه سنگ از کانسار مس قله‌چیلی.

شماره نمونه	نام سنگ	موقعیت جغرافیایی نمونه به (UTM)
QC-G ₁	دایک آندزیتی (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیرکسن، کلریت و اپیدوت)	X=291047 ,Y=3922109
QC-G ₂	داسیت (با بافت دانه متوسط و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن و کوارتز با حاشیه خلیجی)	X=290951 ,Y=3922166
QC-G ₃	دایک آندزیتی (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلندهای دگرسان شده)	X=290862 ,Y=3922362
QC-G ₄	توف دگرسان شده	X=290902 ,Y=3922537
QC-G ₅	آندزیت (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات، سرسیت و اکسیدهای آهن)	X=290554 ,Y=3922514
QC-G ₆	توف آندزیت- بازالتی (به شدت دگرسان شده و حاوی کانی‌های کلریت، اپیدوت، سرسیت و اکسید آهن)	X=290400 ,Y=3922580
QC-G ₇	آندزیت (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند- های دگرسان شده و کلریت)	X=291396 ,Y=3921852
QC-G ₈	آندزیت (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، کانی‌های فرومنیزین و اکسید آهن)	X=293007 ,Y=3917019
QC-G ₁₀	مونزودیوریت (با بافت گرانولار و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیوکسن و آمفیبول)	X=291933 ,Y=3920430
QC-G ₁₁	گرانودیوریت (با بافت گرانولار و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن)	X=291865 ,Y=3920305
QC-G ₁₂	آندزیت (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز)	X=289978 ,Y=3922970
QC-G ₁₃	آندزیت- بازالت (با بافت پورفیری و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول)	X=290690 ,Y=3922837

جدول ۶-۲- مقادیر اکسید عناصر اصلی (%)، عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۱۲ نمونه‌ی سنگ به روش ICP-

OES/MS

Sample	G ₁ .QC	G ₂ .QC	G ₃ .QC	QCG ₄	G ₅ .QC	QCG ₆	QCG ₇	G ₈ .QC	G ₁₀ .QC	QCG ₁₁	G ₁₂ .QC	QCG ₁₃
Major Oxids(wt%)												
SiO ₂	62.34	71.70	71.94	67.46	68.09	57.05	60.61	64.06	65.05	62.08	70.55	56.95
Al ₂ O ₃	16.45	12.77	13.17	14.62	14.71	17.94	16.11	16.87	13.85	14.37	12.86	16.38
Fe ₂ O ₃	7.81	4.04	5.29	4.96	4.57	8.57	6.84	7.27	6.60	7.39	4.20	8.70
MgO	3.32	1.95	2.67	2.57	1.58	3.50	3.87	0.48	3.27	3.85	2.27	3.53
CaO	2.674	2.086	0.798	3.22	3.388	7	4.088	3.598	3.92	5.25	2.03	9.058
Na ₂ O	3.68	3.96	3.37	3.37	3.63	2.16	4.73	3.57	3.85	3.68	4.53	2.92
K ₂ O	3.04	3.15	2.30	3.46	3.69	3.13	3.15	3.77	3.09	2.95	3.22	1.75
P ₂ O ₅	0.50	0.21	0.34	0.23	0.25	0.46	0.44	0.30	0.27	0.30	0.23	0.44
MnO	0.18	0.14	0.13	0.12	0.09	0.18	0.17	0.08	0.11	0.13	0.12	0.27
Trace Elements (ppm)												
As	27.07	9.36	11.38	11.9	20.19	19	16.38	20.16	12.93	11.78	8.53	8.93
Ba	503.9	515.9	359.6	589.9	530	625	442.9	443.4	485.3	476.7	487.6	366.3
Be	4.88	1.07	1.07	1.21	1.16	3.71	2.36	1.18	1.14	3.52	2.4	0.08
Co	19.25	9.76	17.77	12.38	11.07	25	20.06	14.74	15.78	18.49	10.81	22.49
Cr	21.47	30.15	33.52	40.35	24.34	56	59.07	30.6	31.9	44.03	26.11	15.09
Cs	2.26	2.27	1.53	1.88	4.01	0.75	1.6	3.16	1.67	1.15	1.17	4.06
Cu	296.3	434.8	47.27	50.44	40.98	135	1111	74.14	80.79	100.3	59.55	109.2
Hf	1.75	0.75	1.74	1.88	1.63	1.84	1.29	2.04	0.75	0.75	1.59	3.07
Li	18.66	9.81	12.68	12.08	6.73	8.12	12.5	4.46	5.81	5.24	12.79	21.92
Mo	1.62	0.75	1.98	0.75	3.23	3	1.67	2.24	1.46	1.78	0.75	2.33
Nb	9.17	7.34	9.22	5.61	4.39	5.3	6.98	5.74	6.64	5.22	6.58	6.57
Ni	11.6	9.78	17.83	11.26	1	17	20	8.5	8.43	9.7	11.18	6.97
Pb	15.89	26.13	15.47	19.56	16.98	21	25.26	30.61	12.98	16.81	46.21	25.74
Rb	75.91	63.29	61.8	49.15	51.13	34.96	42.37	67.97	52.98	50.44	59.9	3.91
Sb	2.92	2.07	0.75	3.74	2.77	1.02	2.75	2.35	1.81	1.91	0.75	1.24
Sc	11.76	6.28	7.66	8.34	8.54	19	8.98	10.55	11.54	13.87	6.47	10.89
Sn	1.16	1.98	1.92	2.07	1	1.89	1.7	1.52	2.62	1.9	2.09	1.91
Sr	422.5	478.1	354.4	499	473.2	510	596.8	662.6	495.2	649	476	844.6
Th	1.98	5.65	4.77	6.08	3.88	3.28	2.97	5.09	6.04	4.99	4.84	3.4
Ti	0.47	0.21	0.28	0.22	0.26	0.05	0.36	0.36	0.28	0.32	0.22	0.37
U	0.75	1.21	1.39	1.77	1.12	0.75	0.75	1.25	1.43	0.75	1.42	1.05
V	172.7	95.46	100.8	114.8	119.1	295	133	176	163.3	193.1	86.57	196.7
W	0.75	1.1	1.13	1.04	0.75	0.75	0.75	1.19	1.13	0.75	1.13	0.75
Y	13.85	10.21	9.6	11.32	12.35	1	14.56	8.67	15.88	16.44	8.1	25.6
Zn	115	101.7	79.5	66.8	52.41	110	82.93	56.87	40.9	41.41	96.92	115
Zr	34.44	41.9	66.95	117.3	101.99	36	92.41	119.1	28.44	38.78	76.95	144
Ga	16.63	11.38	15.46	8.74	8.6	14	11.46	14.82	13.97	13.36	13.26	18.04
Rare Earth Elements												
La	30.61	19.69	21.04	17.23	13.53	21	16	13.98	18.57	18.11	16.53	26.17
Ce	25.69	29.45	22.48	29.2	25.37	35	32.98	19.54	21.96	20.24	20.84	44
Pr	7.14	4.17	5.15	3.49	3.35	3.93	3.87	3.38	4.81	4.55	3.48	7.25
Nd	28.41	14.8	20.59	14.04	13.12	16.31	15.27	13.16	20.17	18.71	13.55	30.91

Sm	5.57	2.66	3.92	2.75	2.81	3.55	2.92	2.56	4.14	3.96	2.67	6.62
Eu	1.59	0.75	1.23	0.75	0.75	1.07	0.75	0.75	1.09	0.75	0.75	2.06
Gd	5.08	2.44	3.54	2.19	2.4	3.56	2.83	2.3	4.02	3.73	2.27	6.64
Dy	4.15	1.85	2.96	1.73	2.09	3.16	2.47	1.59	3.79	3.3	1.91	5.44
Er	1.6	0.75	1.21	0.75	0.75	1.34	0.75	0.75	1.54	1.37	0.75	2.28
Yb	1.99	1.04	1.58	0.75	1.11	1.73	1.32	0.75	2.23	1.87	1.04	3.09

۶-۲-۲- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

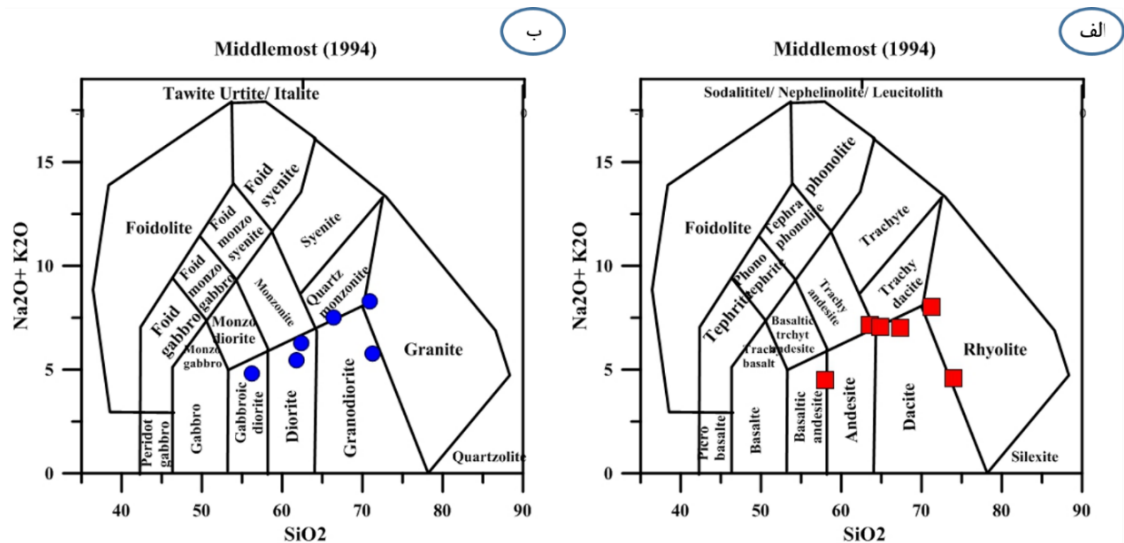
مهمترین واحدهای سنگ‌شناختی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین بیرونی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق تا عمیق می‌باشند که مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگ‌های منطقه در اختیار قرار خواهد داد. از داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین، درجه اشباع از آلومین و نیز تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها استفاده شده است. ژئوشیمی محیط سنگ دارای ۲ بخش (۱) ژئوشیمی عناصر اصلی و (۲) ژئوشیمی عناصر فرعی و کمیاب می‌باشد، که در زیر هر کدام جداگانه تشریح می‌شود.

۶-۲-۲-۱- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه بر اساس عناصر اصلی

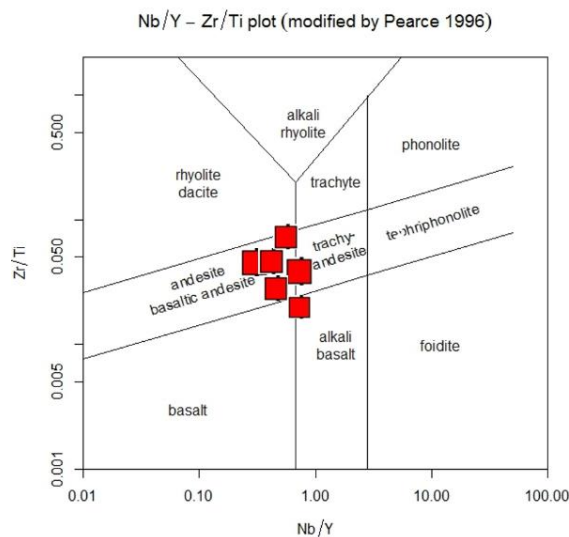
از عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین و تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها استفاده گردیده است. سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی همواره با استفاده از روش‌های مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نامگذاری می‌گردند، لیکن در برخی موارد، تغییرات بافت و دانه‌بندی، دگرسانی و حضور حفرات زیاد در سنگ مانع از تعیین نام صحیح سنگ می‌شود. لذا نامگذاری پتروگرافی از طریق مقایسه با تجزیه شیمیایی سنگ‌ها باعث افزایش دقت و جلوگیری از خطای احتمالی خواهد بود و در بسیاری موارد، نامگذاری پتروگرافی و شیمیایی با یکدیگر مطابقت دارند.

ما در این بخش برای نامگذاری سنگ از نمودار (Middlemost, 1994) که یکی از مفیدترین روش‌های طبقه‌بندی سنگ‌ها است استفاده کرده‌ایم، این نمودار براساس تغییرات میزان سیلیس (SiO_2) در مقابل مجموعه آلكالی ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) است که بر اساس این رده‌بندی، سنگ‌های آتشفشانی در برگیرنده

کانسار مس قله‌چیلی در محدوده آندزیت، آندزیت-بازالت و داسیت (شکل ۶-۱-الف) و سنگ‌های نفوذی در محدوده‌ی گرانودیوریت، مونزودیوریت و گابرو قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱-ب). اگرچه سعی شد نمونه‌های دارای کمترین دگرسانی برداشت شود ولی با توجه به گسترش دگرسانی در منطقه به منظور تعیین ترکیب و ماهیت سنگ‌های مورد نظر از نمودارهای دیگر نیز استفاده شد. نمودار (Modified by pearce, 1996) بر مبنای میزان تغییرات Nb/Y در مقابل Zr/Ti نامگذاری سنگ‌ها را انجام می‌دهد (شکل ۶-۲). در این نمودار سنگ‌های آتشفشانی منطقه ترکیبی از سنگ‌های آندزیت، آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت را شامل می‌شوند (شکل ۶-۲). با توجه به اینکه عناصر به کار گرفته در این نمودار جزو عناصر HFS بوده و غیر متحرک اند طبقه‌بندی انجام گرفته در این نمودار می‌تواند بیشتر از نمودارهایی که از اکسیدهای اصلی در طبقه‌بندی استفاده می‌کنند، مورد اطمینان باشد.



شکل ۵-۱. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost (1994). الف) سنگ‌های آتشفشانی. ب) سنگ‌های نفوذی.

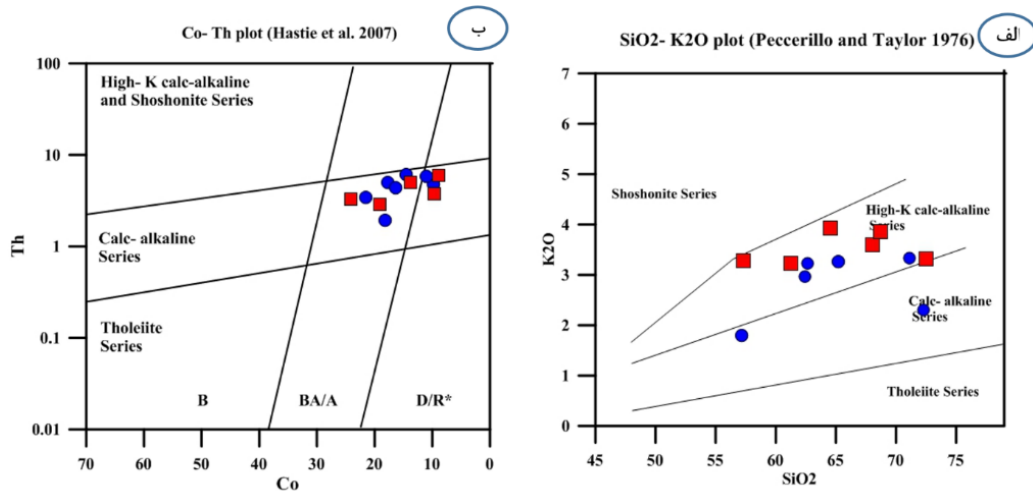


شکل ۵-۲. طبقه‌بندی سنگ‌های خروجی منطقه با استفاده از نمودارهای (Pearce, 1996). Modified by pearce

۶-۲-۲-۲- تعیین سری ماگمایی

سری ماگمایی به مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین گفته می‌شود که دارای ترکیب شیمیایی متفاوت بوده، ولی نتیجه تفریق یک ماگمای مادر بازیک می‌باشند (Kuno, 1968). روند تغییرات تدریجی شیمیایی وکانی‌شناسی در واحدهای سنگی یک منطقه می‌تواند نشان دهنده سرشت مشترک آنها از یک منبع واحد باشد. به طور کلی تعداد ۵ سری ماگمایی مشخص شده‌است (Middlemost, 1975). سری‌های ماگمایی مزبور شامل سری توله‌ایتی، آلکالن، کالک‌آلکالن، شوشونیتی و تحولی می‌باشند. برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌ها از نمودار سیلیس در مقابل K_2O (Peccerillo and Talor, 1976) استفاده شده است. این نمودار برای تعیین ماهیت آلکالن و ساب آلکالن به کار می‌رود. براساس نتایج حاصل از این نمودار، نمونه‌های سنگی منطقه در قلمروهای کالک آلکالن غنی از پتاسیم تا کالک آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۶-۳-الف). ماگماهای کالک آلکالن حاصل اختلاط ماگماهای منشأ گرفته از گوشته و پوسته‌اند (Tatsumi and Takahashi, 2006).

همچنین بر اساس نمودار دو متغیره (Hastie et al., 2007) که بر اساس مقادیر Th و Co ارائه شده است، اغلب سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه در محدوده کالک آلکالن معمولی واقع می‌شوند (شکل ۶-۳-ب).



شکل ۵-۳. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای ارائه شده (Hastie et al., 2007) و (Peccerillo and Taylor, 1976).

۶-۲-۲-۳-درجه اشباع از آلومین (ASI)

سنگ‌های آذرین براساس شاخص اشباع از آلومینیوم به گروه‌های پرآلومین، متآلومین و پرآلکالن (Shand, 1951) و ساب‌آلومین (Hyndmand, 1985) تقسیم می‌شوند (شاند، ۱۹۴۳). این طبقه‌بندی براساس مقادیر مولکولی Al_2O_3 ، Na_2O ، K_2O و CaO استوار است و به شرح زیر می‌باشد:

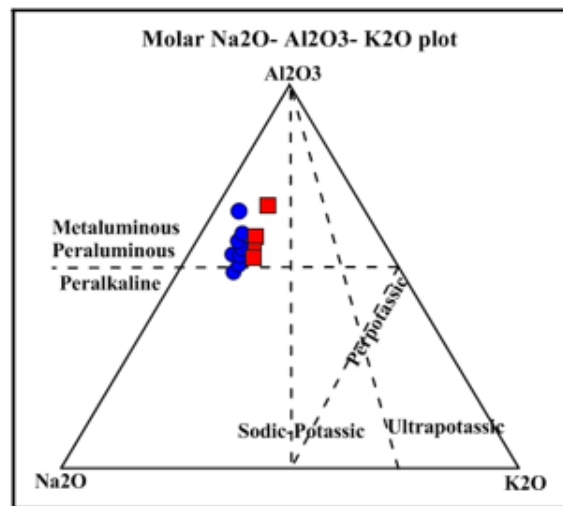
$$Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO \quad \text{۱- پرآلومین:}$$

$$(Na_2O + K_2O + CaO) > Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O) \quad \text{۲- متآلومین}$$

$$(Al_2O_3) = (Na_2O + K_2O) \quad \text{-پرآلکالن}$$

$$(Al_2O_3) < (Na_2O + K_2O) \quad \text{-ساب آلومین}$$

براساس دیاگرام سه‌تایی Al_2O_3 - Na_2O - K_2O که برای تعیین میزان آلومین کاربرد دارد توده‌های نفوذی کانسار مس قله‌چیلی در این دیاگرام در محدوده متآلومین، پرآلومین و مرز پرآلکالن قرار دارند (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۴. موقعیت توده‌های نفوذی منطقه بر روی دیاگرام سه‌تایی Al_2O_3 - Na_2O - K_2O برای تمایز سنگ‌های از نظر درجه اشباع از آلومین.

۶-۲-۲-۴- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین براساس عناصر اصلی و فرعی

نمودارهای جدا کننده محیط‌های تکتونوماگمایی، نمودارهای تغییرات ژئوشیمیایی هستند که براساس آنها، ماگماهای تولید شده در جایگاه‌های متفاوت تکتونیکی می‌توانند براساس ویژگی‌های شیمیایی از یکدیگر تفکیک شوند (Rollinson, 1993; Pearce and Cann, 1973). یک نمودار خوب متمایز کننده محیط زمین‌ساختی، باید با عناصری تشکیل شود که نسبت به فرایندهای ثانویه غیرحساس هستند و نیز اندازه‌گیری آنها، حتی در سطح غلظت پایین، به وسیله روش‌های تجزیه ساده و سریع، با دقت بالا امکان پذیر باشد (Rollinson, 1993). برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه از نمودارهای زیر استفاده شده است:

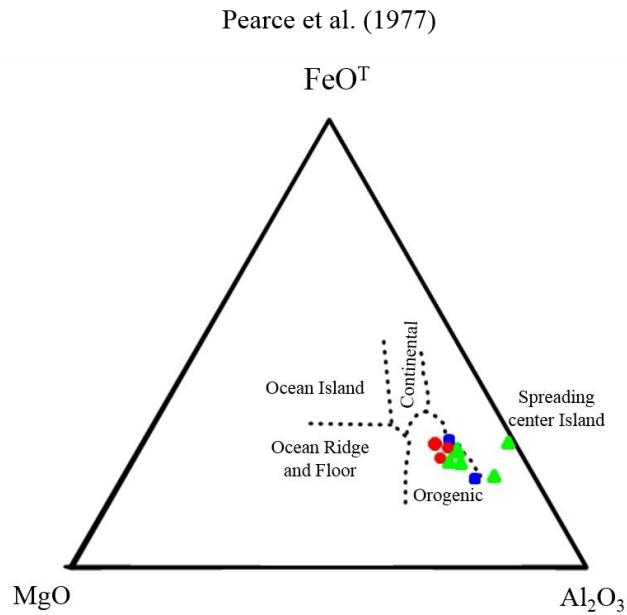
(۱) نمودار سه‌تایی MgO - FeO^T - Al_2O_3 (Pearce et al, 1977): این نمودار برای تفکیک بازالت‌های

قاره‌ای از اقیانوسی است. طبق این نمودار اکثر سنگ‌ها در محدوده کوهزایی قرار و تعداد اندکی در بخش محیط‌های زون گسترش جزایر قرار می‌گیرند.

(۲) تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آذرین منطقه (Pearce et al, 1984): سنگ‌های گرانیتی

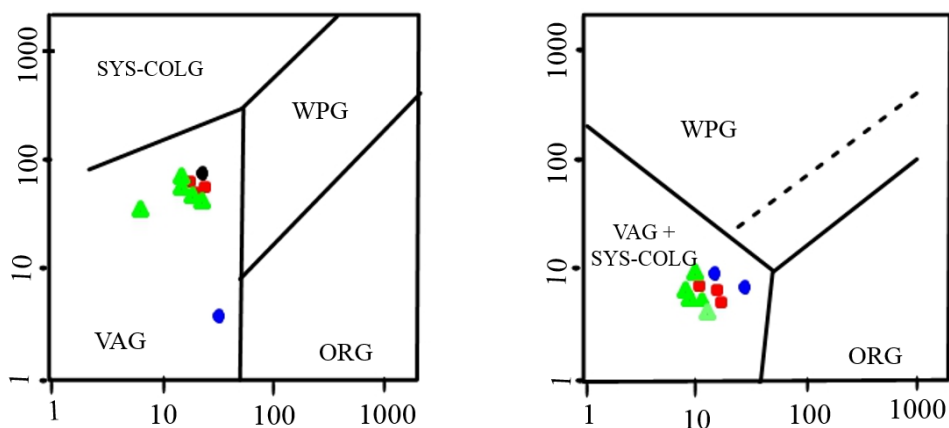
در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلفی تشکیل می‌شوند. با مطالعه ژئوشیمی عناصر جزئی می‌توان موقعیت تکتونیکی را مشخص نمود. عناصر Y، Rb و Nb به عنوان نشانگرهای بسیار مؤثری

برای انواع گرانیت‌های پشته‌های قوسی (ORG)، گرانیت‌های درون صفحه‌ای (WRG)، گرانیت-های کمان آتشفشانی (VAG) و گرانیت‌های مناطق برخوردی (Syn-COLG) برگزیده شده‌اند (Pearce et al, 1984). براساس این نمودارها، نمونه‌ها نشان‌دهنده‌ی موقعیت کمان آتشفشانی برای این منطقه می‌باشند (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۵. موقعیت نمونه‌ها در نمودار سه‌تایی $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ (Pearce et al, 1977).

Granite tectonic discrimination- Pearce et al(1984)



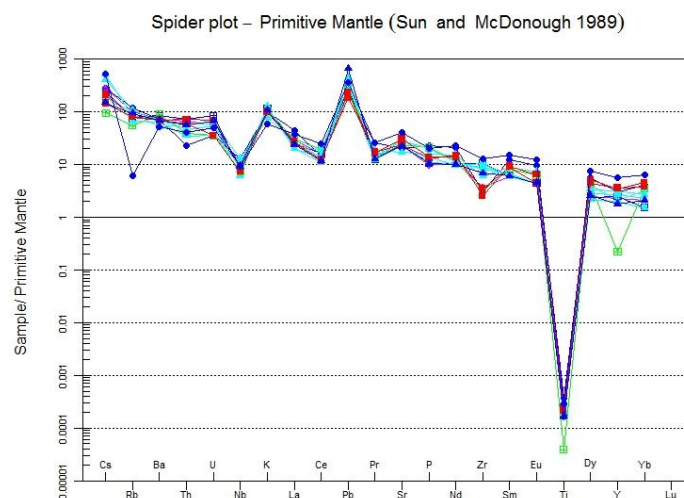
شکل ۶-۶. نمودارهای تفکیک موقعیت تکتونیکی (Pearce et al, 1984).

۳-۲-۶- نمودارهای عنکبوتی

نمودارهای عنکبوتی جهت بررسی میزان تغییر و تحولات ماگمای مولد نسبت به ماگمای اولیه و همچنین منشاء و روابط ژنتیکی آنها از اهمیت خاصی برخوردار هستند. نمودارهای عنکبوتی نمودارهایی هستند که بر اساس آنها مقادیر عناصر کمیاب نسبت به یک ترکیب اولیه (مانند گوشته یا شهاب سنگ کندریتی) تعدیل می‌شود. و براساس آنها می‌توان درجه تفریق یا ذوب بخشی هر سنگ را از یک الگوی توزیع اولیه (یا نرم اولیه) مطرح کرد. به طور کلی جهت بهنجار کردن داده‌های عناصر کمیاب از ترکیب تخمینی گوشته اولیه و متئوریت‌های کندریتی استفاده می‌شوند (رولینسون، ۱۹۹۳). به نظر بسیاری از محققین، بهنجارسازی عناصر با مقادیر گوشته اولیه مبتنی بر ارقام تخمینی است نه ارقام حقیقی. لذا هنجار کردن با مقادیر کندریتی بر مقادیر گوشته اولیه ارجحیت دارد. با استفاده از این نمودارها می‌توان میزان انحراف هر ترکیب را از الگوی ترکیبی اولیه در طی فرایندهای ذوب بخشی یا تفریق بلوری تعیین کرد. در همه نمودارها الگوی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه جز در موارد نادر، با یکدیگر هماهنگ و موازی می‌باشند. به عقیده (رولینسون، ۱۹۸۹) اگر یک مجموعه از سنگ‌های آذرین در اثر تحمل فرایندهای تبلور تفریقی با یکدیگر مرتبط باشند، در نتیجه باید مقادیر عناصر کمیاب و نادر خاکی آنها و نسبت آنها در یک سری سنگی، بطور ثابت و پیوسته تغییر کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگ‌های منطقه نیز تاییدکننده‌ی این امر و نیز نتایج بدست آمده در بخش‌های قبلی بر منشأ واحد این سنگ‌ها دلالت دارد و تبلور تفریقی‌ساز و کار اصلی در تشکیل و تحول آنها است. سنگ‌های منطقه از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) یک غنی‌شدگی یکنواختی را نشان می‌دهند که از خصوصیات سنگ‌های کالک-آلکالن کمان آتشفشانی است (Wilson, 1989). بطور کلی غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک را می‌توان به دو عامل درجات ذوب بخشی پایین منبع گوشته‌ای و یا آرایش ماگما توسط مواد پوسته‌ای نسبت داد.

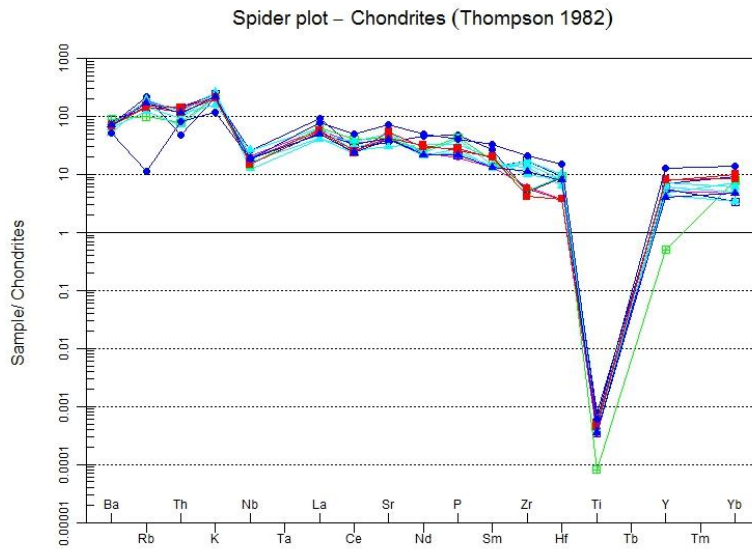
در بررسی الگوی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه از نمودارهای سان و مک دونوف (۱۹۹۴-۱۹۸۹)، و برای بررسی الگوی طراحی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی

بهنجار شده نسبت به کندریت از نمودار تامپسون (۱۹۸۲) استفاده شده است برطبق این نمودارها (شکل‌های ۶-۷ و ۸)، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از عناصر U, K, Cs, Pb و Sr غنی‌شدگی و از Nb ، Ce و Sm تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر Sr, K و Pb شاهد خوبی برای آرایش پوسته‌ای ماگمای سازنده است. در این سنگ‌ها، عناصر اورانیوم غنی‌شدگی نشان می‌دهد که با آرایش ماگمایی در طی تشکیل آنها سازگاری دارد. کاهش قابل ملاحظه در عنصر نئوبیوم و نیز افزایش سرب که از ویژگی‌های سنگ‌های قاره‌ای و شاخص‌های محیط‌های فرورانش پوسته قاره‌ای است ممکن است معرف آرایش ماگمایی توسط سنگ‌های پوسته‌ای (بخش زیرین پوسته قاره‌ای) باشد (رولینسون، ۱۹۹۳ و ناگودی و همکاران ۲۰۰۳). فقیرشدگی از عناصر نئوبیوم و تیتانیوم از ویژگی‌های ماگماهای حاشیه قاره‌ای محسوب می‌شوند. آنومالی منفی Nb به شکل بارزی در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای بوده و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده بوجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). تهی‌شدگی Ti و Nb از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای داخل صفحات لیتوسفری می‌باشد. با توجه به فرورانش ورق ایران مرکزی در جنوب منطقه و فعالیت‌های تکتونیکی منطقه مورد مطالعه این روند کاملاً سازگار می‌باشد.



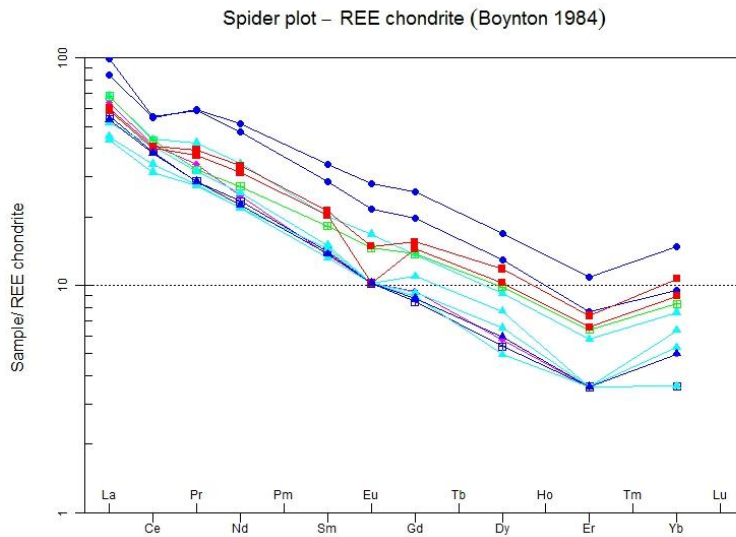
شکل ۶-۷. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995)

نرمالیزه شده‌اند.



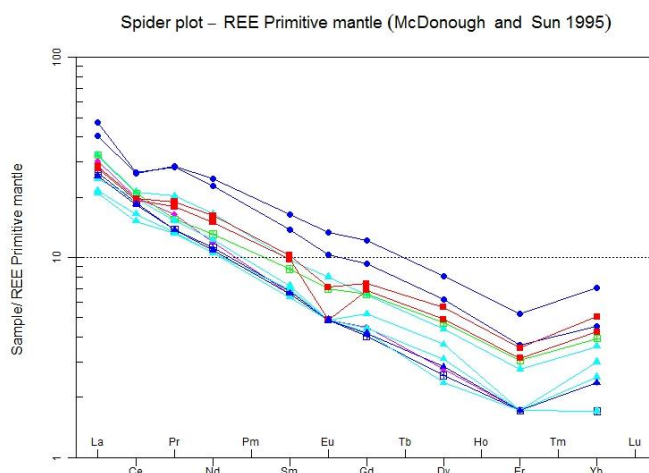
شکل ۶-۸. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت (Thompson, 1982)

نرمالیزه شده‌اند.



شکل ۶-۹. الگوی عناصر نادر خاکی نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت (Boynton, 1984) نرمالیزه شده-

اند.



شکل ۶-۱۰. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) نرمالیزه شده‌اند.

۳-۶- ژئوشیمی محیط کانسنگ

هدف از اکتشافات ژئوشیمیایی محیط کانسنگ، بررسی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه است. این امر در شناخت پتانسیل کانه زایی، تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای عملیات حفاری، شناسایی و مشخص کردن نحوه پراکندگی عناصر در سطح و عمق، بررسی میزان همبستگی عناصر با هم و... بسیار سودمند است. از بین ۳۰ فلز واسطه، Cu، Au، Ag، Zn، Mo، Co، Fe و Mn، عموماً ذخایر گرمابی بزرگی را تشکیل می‌دهند. در کانسار مس قله‌چیلی از سه محدوده کانی‌سازی در بخش‌های مختلف نمونه- برداری شد. از محدوده رگه سیلیسی مس‌دار تعداد ۱۱ نمونه از دیواره و سطح رخنمون گرفته‌شد که ۱۰ نمونه به روش XRF در شرکت کانساران بینالود و یک نمونه معرف به روش پکیج طلایی (ICP-OES/MS) و Fire Assay برای آنالیز طلا در آزمایشگاه زراآزما آنالیز شد. همچنین در محدوده کانی- سازی مس همراه سنگ‌های آندزیتی یک نمونه به روش پکیج طلایی (ICP-OES/MS) و Fire assay آنالیز شد، در محدوده کانی‌سازی رگه‌ای مس نیز تعداد سه نمونه به روش XRF آنالیز شدند. نتایج این آنالیزها در جداول زیر آمده‌است.

نسبت عناصر LREE/HREE در هر دو محدوده‌ی کانی‌سازی بالا می‌باشد، ولی کانی‌سازی در رگه‌ی سیلیسی مس‌دار نسبت به کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی نسبت بالاتری دارد. نسبت Eu/Eu^* و Ce/Ce^* نیز در رگه‌های سیلیسی بالاتر از کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی است، منفی بودن میزان Eu و Ce در رگه‌های سیلیسی نشان دهنده کانه‌زایی در دمای پایین (حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (Abedini et al; 2016) مجموع عناصر REE کانی‌سازی مس همراه سنگ‌های آندزیتی بیشتر از رگه سیلیسی می‌باشد.

بی‌هنجاری مثبت Eu در کانی‌سازی سنگ‌های آندزیتی می‌تواند در ارتباط با دگرسانی سریسیتی، کلریتی، افزایش سیلیس و حضور اکسیدهای آهن باشد (Henderson, 1984). Eu شعاع و بار یونی تقریباً مشابه با کلسیم دارد در ساختار پلاژیوکلازها جانشین کلسیم شده و در اثر دگرسانی این کانی آنومالی مثبت نشان می‌دهد.

	As(ppm)	Au(ppb)	Ag(ppm)	Ba(ppm)	Cu(ppm)	Sr(ppm)	Pb(ppm)	Ce/Ce*
مس در سنگ آندزیتی	20	5<	2.1	12700	27767	906.9	28	0.72
رگه سیلیسی	4	18	7.2	29	27187	25.5	2795	1.14
	V(ppm)	U(ppm)	Zn(ppm)	Zr(ppm)	REE	LREE/HREE	Eu/Eu*	
مس در سنگ آندزیتی	170	7.4	111	85	63.94	7.06	0.67	
رگه سیلیسی	23	1.8	626	4.5	65.82	11.68	2.5	

جدول ۶-۳. مقادیر عناصر فرعی و نادر خاکی (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش XRF.

sample	1	2	3	t7	t10	t6	t4	t3	t8	t5	t1	t9	t2
As(ppm)	44	82	61	2	8	26	41	41	204	7	103	168	19
Ba(ppm)	458	425	490	210	370	33	412	37	104	287	19	499	20
Ce(ppm)	11	65	88	42	87	56	24	31	22	9	42	160	9
Cl(ppm)	103	69	384	55	11	111	100	66	72	824	106	72	87
Co(ppm)	9	5	7	9	11	8	8	3	7	5	6	7	5
Cr(ppm)	9	9	7	9	7	5	25	7	5	7	6	7	8
Cu(ppm)	1986	1611	2631	2154	296	2541	196	20	124	5326	2895	997	325

	7	2	2	2	5	3	5	1		4	1		4
Ga(ppm)	11	13	5	19	21	2	19	10	11	49	8	19	8
La(ppm)	5	19	34	19	40	32	15	16	14	5	37	101	5
Mo(ppm)	1	4	2	4	2	4	2	1	2	1	2	1	2
Nb(ppm)	3	2	4	2	2	1	2	1	3	2	1	2	1
Ni(ppm)	35	42	41	38	36	30	39	39	39	38	27	37	44
Pb(ppm)	26	7	11	9685	750 0	867	792 1	39 6	124 1	3221	186	682 1	328
Rb(ppm)	84	91	65	27	65	17	106	21	15	47	16	22	16
Sr(ppm)	324	378	278	31	76	85	18	19	21	14	105	25	25
Th(ppm)	3	4	2	11	14	8	9	6	4	9	4	9	5
U(ppm)	1	2	1	1	4	4	6	4	2	6	2	1	2
V(ppm)	87	84	111	20	27	7	205	10	8	46	7	13	11
W(ppm)	3	2	7	2	8	5	4	2	5	11	2	3	1
Y(ppm)	36	42	30	32	140	19	40	9	6	54	18	31	21
Zn(ppm)	75	56	79	96	272	73	218 6	13	81	323	35	59	58
Zr(ppm)	242	271	191	14	8	25	60	18	21	10	29	12	12

جدول ۳-۶. مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و نادر خاکی (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش ICP-OES/MS.

Sample	QC-GM1	QC-GM2	Sample	QC-GM1	QC-GM2
Au(ppm)	2.1	7.2	Nd(ppm)	4.3	9.6
Al(%)	5.9539	0.6781	Ni(ppm)	14	11
As(ppm)	20	4	P(ppm)	1223	392
Ba(ppm)	1.27%	29	Pb(ppm)	28	2795
Be(ppm)	2.1	0.7	Pr(ppm)	2.5	3.65
Bi(ppm)	0.3	4.7	Rb(ppm)	59	17
Ca(%)	2.29	0.11	S(ppm)	2435	1893
Cd(ppm)	0.2	1.4	Sb(ppm)	5	7
Ce(ppm)	29	24	Sc(ppm)	8.9	1.6
Co(ppm)	8.3	6.7	Se(ppm)	1.56	11.4
Cr(ppm)	39	47	Si(%)	27.96	42.2
Cs(ppm)	5	0.7	Sm(ppm)	7.26	2.22
Cu(ppm)	27767	27187	Sn(ppm)	1	0.8
Dy(ppm)	1.6	2.62	Sr(ppm)	906.9	25.5
Er(ppm)	0.78	1.32	Ta(ppm)	0.63	0.12

Eu(ppm)	4.57	0.54	Tb(ppm)	0.26	0.4
Fe(%)	3.93	4.26	Te(ppm)	0.3	0.15
Gd(ppm)	1.72	2.38	Th(ppm)	4.06	0.09
Hf(ppm)	2.82	0.05	Ti(ppm)	3908	289
In(ppm)	0.5	0.95	Tl(ppm)	0.27	0.27
K(ppm)	25056	2520	Tm(ppm)	0.09	0.16
La(ppm)	13	16	U(ppm)	7.4	1.8
Li(ppm)	14	64	V(ppm)	170	23
Lu(ppm)	0.14	0.15	W(ppm)	1.3	0.9
Mg(ppm)	2869	762	Y(ppm)	9.6	14
Mn(ppm)	194	517	Yb(ppm)	0.6	0.9
Mo(ppm)	5.1	3.4	Zn(ppm)	111	626
Na(ppm)	22519	553	Zr(ppm)	85	4.5
Nb(ppm)	7.7	0.9			

مس: مس بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی حدود ۶۰ گرم در تن در دسته عناصر پایه قرار دارد. نماد این عنصر، Cu و عدد اتمی آن ۲۳ می‌باشد. مس یک عنصر فلزی با قابلیت انعطاف‌پذیری (چکش‌خواری) شکل‌پذیر، به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز، دارای جلای فلزی، وزن اتمی ۵۴/۶۳ ذوب آن ۲۵۹۵ درجه سانتیگراد، مقاوم در برابر خوردگی و دیامغناطیس است. مس یکی از فلزات غیرآهنی است که بیشترین کاربرد را بعد از آلومینیوم در گروه فلزات پایه غیرآهنی دارا است. مس تنها فلزی است که به صورت خالص، به مقدار زیاد در توده‌های بزرگ یافت می‌شود و رسانای الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشد (مورتیمر ۱۹۸۶؛ میتر، ۲۰۱۰) از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت سیدروفیل و کالکوفیل دارد. تغییرات pH و Eh و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس را در دماهای پایین کنترل می‌کنند (مینارد، ۱۹۸۳). مس تحت شرایط اکسیداسیون و pH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. همچنین، از آنجایی که مس تحت شرایط احیایی، بایستی به صورت سولفید یا مس طبیعی ته‌نشین شود، از این رو مس تمایل دارد از نواحی اکسیداسیون مهاجرت کرده

و در نواحی احیایی متمرکز شود. اکثر کانسارهای مس حاوی نقره هستند. نسبت مس به نقره این کانسنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد.

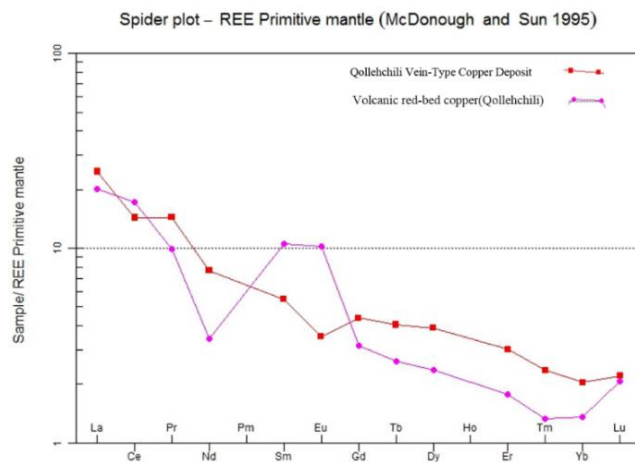
میانگین عیار مس بدست آمده در محدوده‌های رگه سیلیسی مس‌دار، مس‌های همراه سنگ‌های آندزیتی و محدوده کانی‌سازی رگه‌ای مس به ترتیب برابر با ۲۷۱۸۷، ۲۷۷۶۷ و ۲۰۷۶۳ گرم در تن است، و همچنین میانگین سرب محدوده‌های مورد نظر نیز به ترتیب ۲۷۹۵، ۲۸ و ۱۴ گرم در تن می‌باشد.

طلا: برای مشخص کردن حضور یا عدم حضور طلا در منطقه مورد مطالعه از آنالیز Fir Assay کمک گرفته شد:

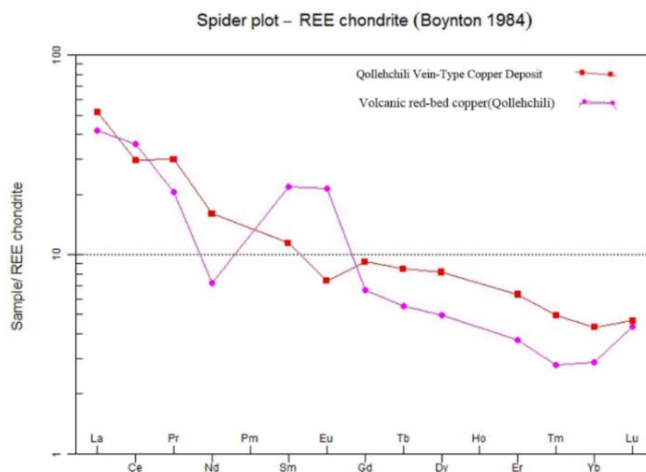
دو نمونه آنالیز به روش Fire Assay انجام شد. نمونه‌های شماره GM1 و GM2 به ترتیب مربوط به رگه سیلیسی مس‌دار و مس‌های همراه با سنگ‌های آندزیتی هستند که دارای ۱۸ میلی‌گرم در تن و کمتر از ۵ میلی‌گرم در تن طلا می‌باشند. طلا در کانسارهای گرمابی معمولاً بیشتر در فازهای سیلیسی و همرا با کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و غیره) یافت می‌شوند. نمونه GM2 مربوط به رگه سیلیسی هیدروترمالی می‌باشد که یک فاز سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی مس (کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت و کوولیت) است، و مقدار طلای آن بیشتر از مس‌های همراه با سنگ‌های آتشفشانی است. به‌طور کلی مقدار طلا در کانه‌زایی‌های مس قله‌چیلی پایین است.

۶-۳-۱- نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی

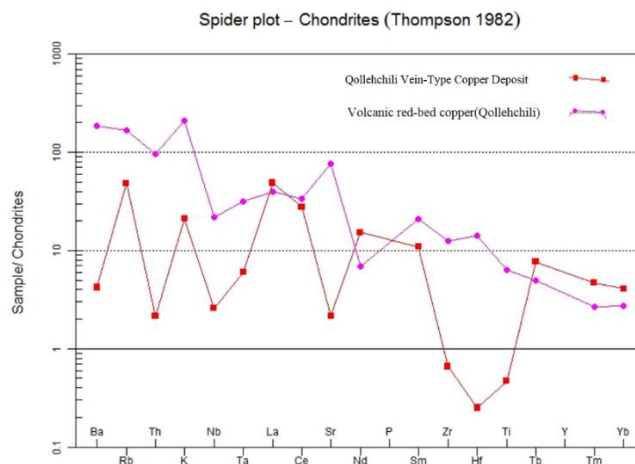
عناصر خاکی کمیاب، از مفیدترین عناصر کمیاب بوده و مطالعه آنها، کاربرد مهمی در سنگ‌شناسی (آذرین، رسوبی و دگرگونی) دارد. این عناصر در طی فرایندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمابی، به نسبت غیرمتحرک هستند. در الگو REE بدست آمده از نمونه‌ها روند تغییر الگو نشان دهنده دوتیپ متفاوت از کانه‌زایی می‌باشد.



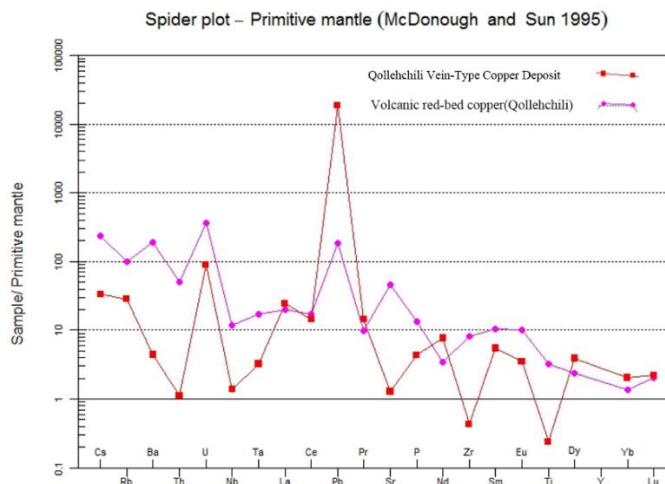
شکل ۶-۱۱. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) نرمالیزه شده‌اند.



شکل ۶-۱۲. الگوی عناصر نادرخاکی نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت (Boynton, 1984) نرمالیزه شده‌اند.



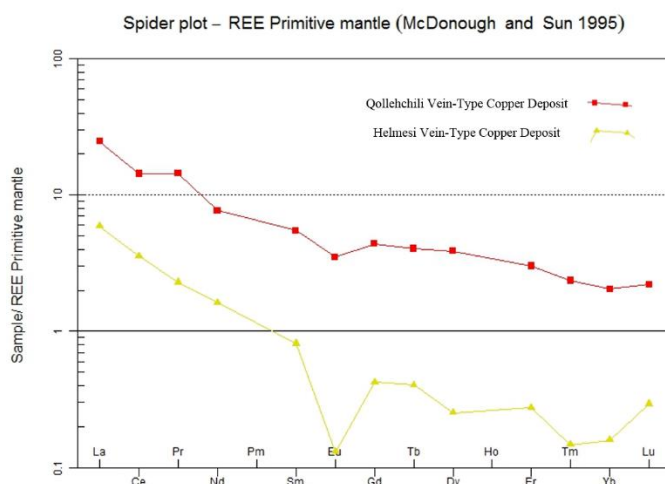
شکل ۶-۱۳. الگوی عناصر فرعی نمونه‌های کانسنگ که نسبت به کندریت (Boynton, 1984) نرمالیزه شده‌اند.



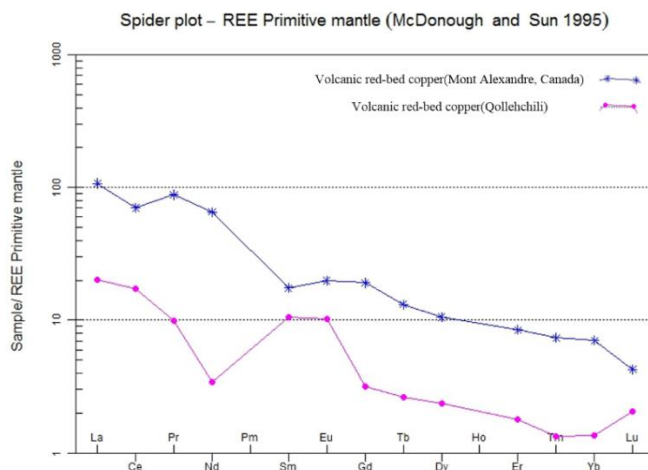
شکل ۶-۱۴. الگوی عناصر فرعی نمونه‌های کانسنگ که نسبت به گوشته اولیه (Mc Donough Sun, 1995)

نرمالیزه شده‌اند.

با مقایسه الگوی REE دو تیپ کانی‌سازی موجود در کانسار مس قله‌چیلی با کانسار هلمسی در ایران و کانسار Quebec Appalachians در کانادا نشان می‌دهد که تیپ رگه‌ای کانسار مس قله‌چیلی دارای روند الگوی REE مشابهی با کانسار هلمسی که یک کانسار رگه‌ای است، می‌باشد، همچنین کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی کانسار مس قله‌چیلی نیز روند مشابهی با کانسار Quebec Appalachians که یک کانسار ولکانیک رد بد است از خود نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۵. مقایسه الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ تیپ رگه‌ای کانسار مس قله‌چیلی با کانسار هلمسی که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) نرمالیزه شده‌اند.



شکل ۶-۱۶. مقایسه الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های کانسنگ موجود در سنگ‌های آندزیتی کانسار مس قله‌چیلی با کانسار Volcanic red-bed copper Quebec Appalachian در کانادا که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) نرمالیزه شده‌اند.

فصل ہفتم

مطالعہ می سیالات در کیر

۷-۱- مقدمه

همزمان با رشد بلورها، به علت ناهمسانی‌هایی که در رشد آن‌ها تحت تاثیر عوامل متعدد روی می‌دهد، فضاهایی در سطوح رشد بلور ایجاد شده و یا در ضمن رشد، درزه‌هایی در بلور ایجاد می‌شود که محلول-های کانه‌دار می‌توانند در آن محبوس شوند. به این گونه فضاها و محتویات داخل آن‌ها، انکلوزیون‌های سیال و یا سیالات درگیر گفته می‌شود (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه سیالات درگیر به عنوان کلید ارزشمندی در درک مسائل گذشته‌ی زمین‌شناسی از قبیل دما، فشار، شوری، چگالی، ترکیب شیمیایی سیالات کانسار ساز و همچنین ترکیب سیالاتی که تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و یا طی فرآیندهای بعدی از داخل آن‌ها عبور کرده‌اند، نقش دارد (Roedder, 1984). همچنین مطالعات سیالات درگیر به ویژه در زمینه الگوی تشکیل کانسنگ از اهمیت به خصوصی برخوردارند و نقش با ارزشی در درک فعلی ما از حمل و ترسیب کانسنگ‌ها داشته‌اند (Roedder, 1979). سیالات درگیر از فازهای جامد، مایع و گاز تشکیل می‌شود به لحاظ زمان تشکیل به گروه‌های اولیه، ثانویه و ثانویه‌ی کاذب تقسیم می‌شوند (Yermakon, 1965). کانی‌های مهمی که در آن‌ها سیالات درگیر مطالعه می‌شود شامل کوارتز، فلوریت، نمک طعام، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتريت می‌باشند. برای این منظور، کانی باید بیرنگ و شفاف باشد. میانبارهای سیال ممکن است از سیال‌های ماگمایی، سیال‌های آبی و یا سایر سیال‌های حاصل از گازهای متراکم به وجود آمده باشند (حاج علیلو، ۱۳۸۷). ابعاد اغلب میانبارهای سیال در آن حدی نیست که بتوان با چشم غیرمسلح آن‌ها را دید اندازه میانبارهای سیال مشاهده شده در نمونه‌ها بین ۵ تا ۱۲ میکرومتر (μm) می‌باشد.

در این کانسار، مطالعات بر روی سیالات موجود در کانی‌های باطله‌ی کوارتز انجام شده است. مهم‌ترین کاربرد سیالات درگیر در این تحقیق، تعیین دما، تغییرات شوری، چگالی، فشار و عمق می‌باشد.

۷-۲- نحوه‌ی انتخاب نمونه‌ها برای میانبارهای سیال

جهت تعیین دما، شوری، چگالی و نوع سیال عامل کانه‌زائی و دگرسانی در منطقه پس از تهیه‌ی مقاطع نازک، صیقلی و نازک صیقلی و مطالعه‌ی آن‌ها، تعداد ۴ نمونه انتخاب و مقطع دوبر صیقل تهیه شد و پس از پتروگرافی میانبارهای سیال تعداد ۲ نمونه برای مطالعات میکروترموتری انتخاب گردید، در شکل‌ها و جدول‌های زیر فقط مشخصات ۲ نمونه آورده شده است. مطالعات ترمومتری سیالات درگیر در شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا به کمک Stage:THMSG600 گرمایشی و سرمایشی با مدل Linkam صورت گرفته و دامنه‌ی حرارتی دستگاه $(\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C})$ ، $(-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ _ $+600\text{ }^{\circ}\text{C})$ می‌باشد. لنز شیئی 50 و لنز چشمی 20 بوده است. با توجه به اینکه کانه‌زایی مس به رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی مس محدود می‌باشد، کانی کوارتز که همزاد با کانه‌های اصلی بود به عنوان کانی مهم جهت مطالعه سیالات درگیر انتخاب شد. نبود رخ، شفافیت کانی و توانایی تبلور مجدد آسان، کانی کوارتز را به یک میزبان مناسب برای سیالات درگیر تبدیل کرده است (Walshe and Hobbs, 1999).

جدول ۷-۱. مشخصات نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه میانبارهای سیال

توضیحات	مختصات نمونه UTM	شماره نمونه
نمونه سیلیسی مس‌دار با کانی‌سازی مس (غالب کانی‌سازی کالکوپیریت)	X=291962 Y=3920459	SD ₂
نمونه سیلیسی مس‌دار با کانی‌سازی مس (غالب کانی‌سازی گالن)	X=291962 Y=3920459	SD ₃

۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

شناسایی روابط پتروگرافی اولین و مهمترین بخش مطالعه سیالات درگیر می‌باشد. تاریخچه سیالات در محیط زمین‌شناسی می‌تواند بسیار پیچیده باشد. شناسائی و تفکیک پدیده‌های سیال مورد نظر و تعیین

زمان نسبی آن، هدف اصلی مطالعه پتروگرافی می‌باشد. در این مطالعات، پارامترهایی از قبیل شکل، اندازه، فراوانی سیالات درگیر، نوع سیالات درگیر (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، پدیده‌های تغییر سیالات درگیر بعد از به دام افتادن مانند تراوش و تعیین نوع سیالات از لحاظ ژنتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌طور که ذکر شد کانی میزبان سیالات درگیر در نمونه‌های ما کوارتز می‌باشد و به طور کلی اندازه‌ی انکلوژیون‌های مطالعه شده در بلورهای موجود متفاوت بوده و از ۳ تا ۱۴ میکرون متغیر است. بر مبنای نحوه‌ی زایش یا زمان به تله افتادن سیال، میانبارهای سیال به صورت اولیه، ثانویه و شبه ثانویه می‌باشند که در نمونه‌های کانسار مورد مطالعه بیشتر از نوع اولیه هستند. در نمونه‌های مطالعه شده، میانبارهای اولیه به صورت مجزا و درشت در زمینه‌ی کانی میزبان (کوارتز) پراکنده هستند میانبارهای ثانویه و ثانویه کاذب نیز به صورت خطی دیده می‌شوند. با این تفاوت که میانبارهای ثانویه کاذب بر خلاف نوع ثانویه تا حاشیه بلور ادامه پیدا نمی‌کنند. اشکال میانبارها به صورت بیشکل، بیضی، کشیده، شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و کروی می‌باشند.

براساس تعداد فازهای موجود در دمای اتاق، انکلوژیون‌های موجود در این نمونه‌ها در دو گروه متفاوت جای می‌گیرند. ۱: میانبارهای تک فازی غنی از مایع (۱۵٪) ۲: میانبارهای دو فازی غنی از مایع (مایع + بخار باچیرگی فاز مایع ۰.۸۵) در پتروگرافی‌های انجام شده از میانبارهای سیال اثری از فازهای جامد مثل هالیت و انیدریت مشاهده نگردید که این موضوع بیانگر این است که میزان شوری سیالات کانه‌ساز در این منطقه کم تا متوسط است. سیالات درگیر اولیه در همه‌ی رگه‌های کوارتز به طور ساده ۲ فاز با اجزای مایع- بخار هستند این اجزا حاوی مایع و بخار با کمی CO₂ و بدون کانی دختر می‌باشند (Karimpour, Zaw and Huston, 2005). خلاصه‌ای از خصوصیات پتروگرافی میانبارهای سیال هر دو نمونه بررسی شده در جدول ۷-۲ و در ادامه نیز تصاویر انواع سیالات و فازهای موجود در آن‌ها (شکل ۷-۱) آورده شده است.

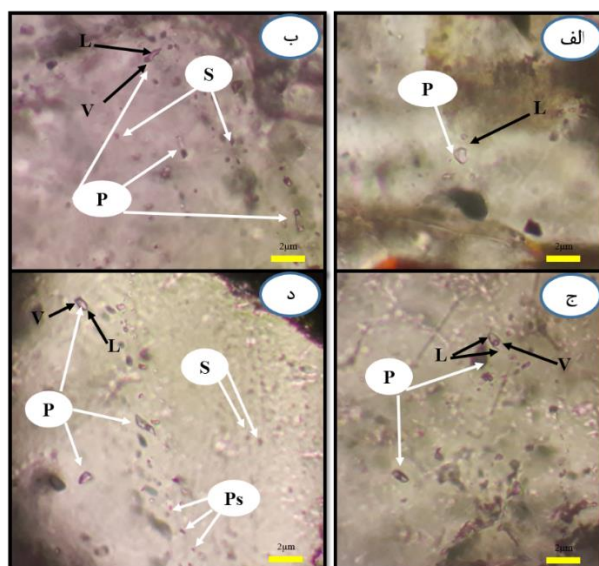
جدول ۷-۲. خصوصیات پتروگرافی میانبرهای سیال

Sample	Genetic	Size (μm)	Shape	Phases	L (%)	V (%)	T _e (°C)	T _m (ice)	Th(L) (°C)
QC-SD-2-1	P	8	Unshaped	L+V	90	10	-37.2	-4.5	176
QC-SD-2-2	P	5	Unshaped	L+V	95	5		-3	150.9
QC-SD-2-3	P	9	Elongated	L+V	95	5	-36.9	-2.8	154.3
QC-SD-2-4	P	10	کشیده	L+V	90	10	-37.6	-3.7	236.9
QC-SD-2-5	P	9	کشیده	L+V	90	10	39.2	-6.9	160.1
QC-SD-2-6	P	10	کشیده	L+V	90	10	-35	-2.2	172.4
QC-SD-2-7	P	12	Unshaped	L+V	90	10	-34.3	-2.8	154.6
QC-SD-2-8	P	7	کشیده	L+V	90	10	-31	-3.3	141.7
QC-SD-2-9	P	8	کشیده	L+V	90	10	-34.7	-1.9	158.9
QC-SD-2-10	P	8	Unshaped	L+V	90	10	-30.9	-3.2	154.2
QC-SD-2-11	P	8	Unshaped	L	100	0	-33.1	-1.4	
QC-SD-2-12	P	6	Subhedral	L	100	0	-29.8	-2	
QC-SD-3-1	P	9	کشیده	L+V	90	10	-33.7	-4.1	266
QC-SD-3-2	P	7	کشیده	L+V	90	10	-36.1	-1.2	132
QC-SD-3-3	P	7	Unshaped	L	100	0	-28.2	-4	
QC-SD-3-4	P	7	Unshaped	L	100	0	-26	-1.4	
QC-SD-3-5	P	7	Subhedral	L+V	90	10	-35.6	-4.8	237.6
QC-SD-3-6	P	9	کشیده	L+V	90	10	-30.8		219.3
QC-SD-3-7	P	7	Unshaped	L+V	90	10	-28.7	-2	196.8
QC-SD-3-8	P	12	Unshaped	L+V	95	5	-30.1	-2.4	168.8
QC-SD-3-9	P	8	Subhedral	L+V	90	10	-33.1	-4.3	145.7
QC-SD-3-10	P	8	Subhedral	L+V	90	10		-7.1	142.6
QC-SD-3-11	P	10	کشیده	L+V	90	10		-3.9	149.3
QC-SD-3-12	P	9	کشیده	L+V	90	10	-33.3	-3.7	134.1

QC-SD-3-13	P	6	Subhedral	L+V	95	5	-32.1	-2.6	137.9
QC-SD-3-14	P	6	Subhedral	L+V	95	5	-27.6	-0.4	130.9

Sample	Salinity (wt % NaCl equiv)	Host Mineral	FIA
QC-SD-2-1	7.17	Quartz	FIA-2-a
QC-SD-2-2	4.96	Quartz	FIA-2-a
QC-SD-2-3	4.65	Quartz	FIA-2-a
QC-SD-2-4	6.01	Quartz	FIA-2-b
QC-SD-2-5	10.36	Quartz	FIA-2-b
QC-SD-2-6	3.71	Quartz	FIA-2-b
QC-SD-2-7	4.65	Quartz	FIA-2-c
QC-SD-2-8	5.41	Quartz	FIA-2-d
QC-SD-2-9	3.23	Quartz	FIA-2-d
QC-SD-2-10	5.26	Quartz	FIA-2-d
QC-SD-2-11	2.41	Quartz	FIA-1-e
QC-SD-2-12	3.39	Quartz	FIA-1-f
QC-SD-3-1	6.59	Quartz	FIA-2-a
QC-SD-3-2	2.07	Quartz	FIA-2-a
QC-SD-3-3	6.45	Quartz	FIA-1-b
QC-SD-3-4	2.41	Quartz	FIA-1-b
QC-SD-3-5	7.59	Quartz	FIA-2-c
QC-SD-3-6	1	Quartz	FIA-2-c
QC-SD-3-7	3.39	Quartz	FIA-2-c
QC-SD-3-8	4.03	Quartz	FIA-2-d

QC-SD-3-9	6.88	Quartz	FIA-2-e
QC-SD-3-10	10.61	Quartz	FIA-2-e
QC-SD-3-11	6.3	Quartz	FIA-2-e
QC-SD-3-12	6.01	Quartz	FIA-2-f
QC-SD-3-13	4.34	Quartz	FIA-2-f
QC-SD-3-14	0.7	Quartz	FIA-2-f



شکل ۷-۱. الف) تصویر سیالات درگیر مقطع SD_2 که در آن فاز مایع از نوع اولیه نشان داده شده است. ب) تصویر سیالات درگیر مقطع SD_2 که در آن انکلوزیون‌های دوفازی دارای فاز مایع و گاز و همچنین انواع اولیه و ثانویه نشان داده شده است. ج) تصویر سیالات درگیر مقطع SD_3 که انکلوزیون دو فازی دارای فاز مایع و گاز و انواع اولیه آن را نشان داده است. د) تصویر سیالات درگیر مقطع SD_3 که در آن انکلوزیون‌های دو فازی مایع و گاز و همچنین انواع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب را نشان می‌دهد (L= فاز مایع، V= فاز گاز، P= نوع اولیه، S= نوع ثانویه و Ps= ثانویه کاذب).

۷-۴- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال

بررسی میکروترمومتری عبارتست از مطالعه غیرمخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دما، میزان شوری، وزن مخصوص (چگالی) و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آن‌ها ساخته شده است، که توسط عملیات سرد کردن (Freezing) و گرم کردن (Heating) انجام می‌پذیرد. در حقیقت، مبنای کار دماسنجی بر سرمایش و گرمایش میانبارهای سیال استوار است. هدف از سرد کردن و منجمد کردن میانبارها، پی

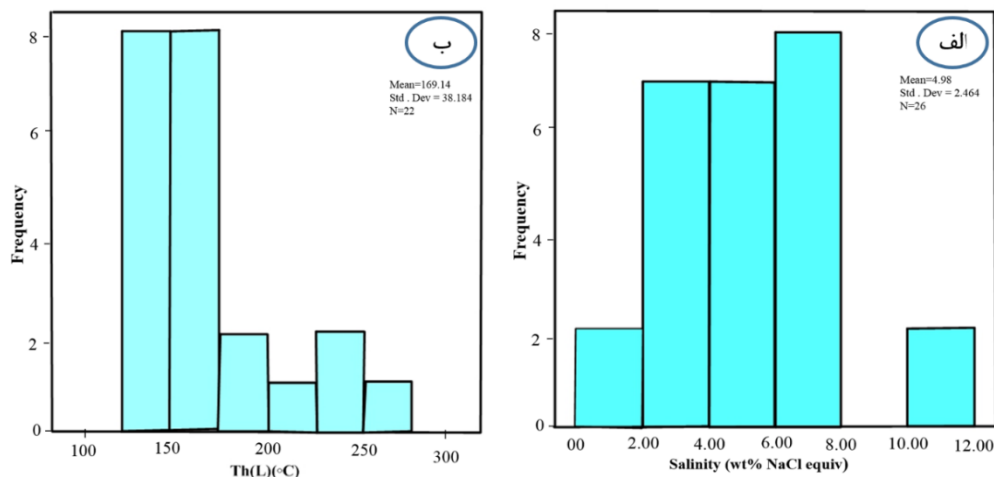
بردن به میزان املاح یا اصطلاحاً درجه شوری محلول می‌باشد. هدف از حرارت‌دادن آنها، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده یک میانبار سیال می‌باشد. دمای همگن شدن، یعنی دمایی که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه به صورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. اصطلاح سرد کردن (Freezing) به عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن یک سیال درگیر سرد می‌شود تا تغییر فاز مایع به جامد مشاهده شود. جهت انجام عملیات انجماد، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۱۰۰- درجه سانتی‌گراد منجمد می‌کنیم. سپس با یک روند آهسته حرارت اتاقک حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم و سیال درگیر منجمد شده را زیر نظر می‌گیریم. پس از مدتی، سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارت دیگر، اولین دمای ذوبی که در آن یخ به آب تبدیل می‌شود، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ بیشتر ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلور یخ نیز از بین برود. دمایی که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی (T_{mice}) اطلاق می‌شود.

۷-۴-۱-دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میزان دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال در جدول داده شده است. مقدار دما در محدوده بین ۱۳۰/۹ تا ۲۶۶ درجه سانتی‌گراد و مقدار شوری از ۰/۷ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند که حاکی از شوری پایین تا متوسط است. نبود فاز دختر در این سیالات نیز تأکیدی بر شوری متوسط تا پایین است (Roedder, 1984) و می‌تواند ناشی از اختلاط با آبهای جوی باشد (Barnes, 1979).

نمودار نشان‌دهنده‌ی این است که بیشترین فراوانی همگن‌شدگی دمایی نمونه‌های مطالعه شده، در محدوده دمایی ۱۲۵ تا ۱۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و فاز اصلی کانی‌سازی مس هم بین ۱۲۵ تا ۱۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. بر اساس شکل الف نیز می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین فراوانی

درصد شوری در محدوده بین ۲ تا ۸ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد و سیال اصلی کانی‌سازی در منطقه، سیالی با شوری ۶ تا ۸ درصد بوده است.



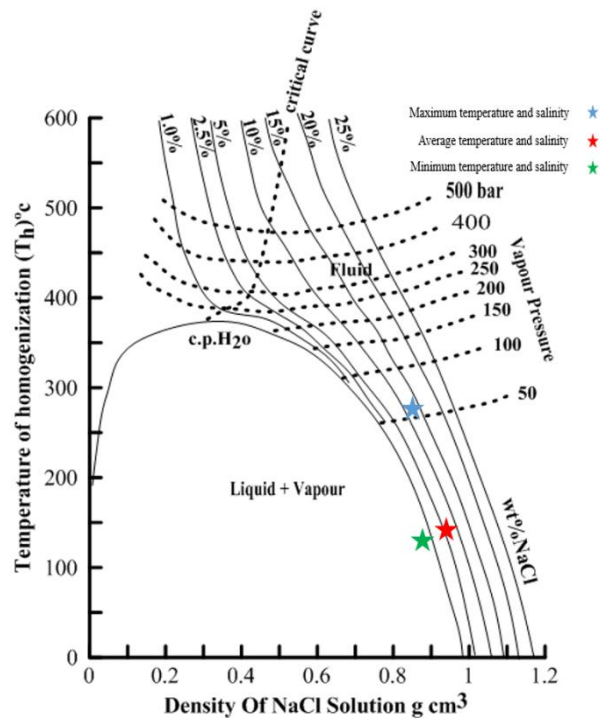
شکل ۷-۲. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن شدگی و شوری میانبرهای سیال نسبت به فراوانی آنها.

۷-۴-۲- فشار، چگالی و عمق سیالات درگیر

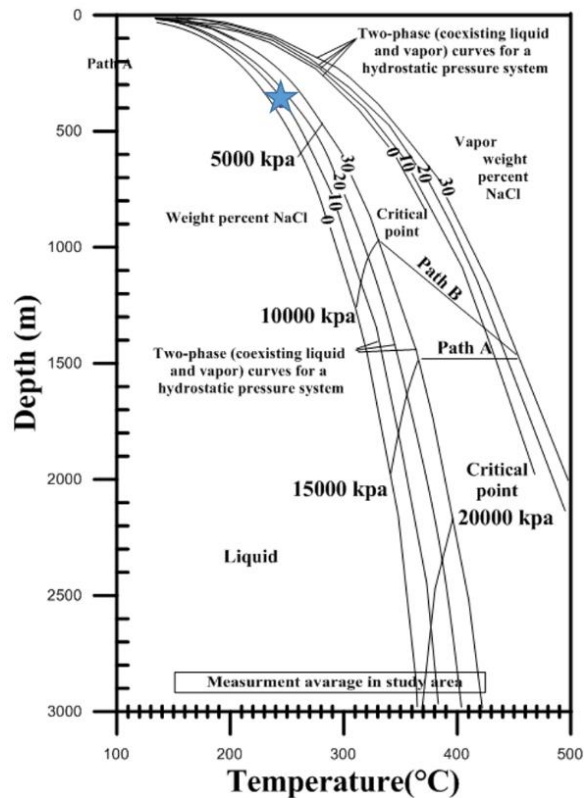
زمانی که اطلاعات بدست آمده در مورد دماهای همگن شدن میانبرهای سیال با اطلاعات داده‌های شوری ترکیب می‌شوند، می‌توانند چگالی سیال را بدون توجه به شرایط به تله افتادن آن معین کرد. تغییرات چگالی به‌ویژه با توجه به مکانیسم‌های جریان سیال و تکامل تغییرات ویژه در چگالی سیال، بخصوص در سیستم‌هایی که می‌توانند وقفه‌هایی در فرآیند جریان سیال ایجاد کنند، مهم است.

بر اساس نمودار shepherd et al (1985) سیالات با شوری ۱۰/۶۱ درصد و دمای همگن‌شدگی ۲۶۶ درجه سانتی‌گراد، دارای چگالی تقریبی ۰/۹ g/cm³ و حداکثر فشار ۵۰ bar می‌باشند.

بر اساس نمودار دما-فشار-عمق (Haas, 1971, 1976; Sourirajan and Kennedy, 1962) می‌توان عمق تقریبی کانی‌سازی را به دست آورد که کمتر از ۴۰۰ متر می‌باشد. از آنجا که محیط به تله افتادن میانبرهای سیال در منطقه ما، مرتبط با سطح زمین و در عمق کم می‌باشد، فشار حاکم بر محیط، فشار هیدرواستاتیک است. ولی اگر محیط به تله افتادن میانبرهای سیال در رابطه با ضخامت طبقات بالایی یا عمق تشکیل میانبرهای سیال باشد، فشار حاکم بر محیط، فشار لیتواستاتیک نامیده می‌شود.



شکل ۳-۷. نمودار دمای همگن‌شدگی - چگالی به منظور تعیین فشار با توجه به شوری سیالات درگیر.

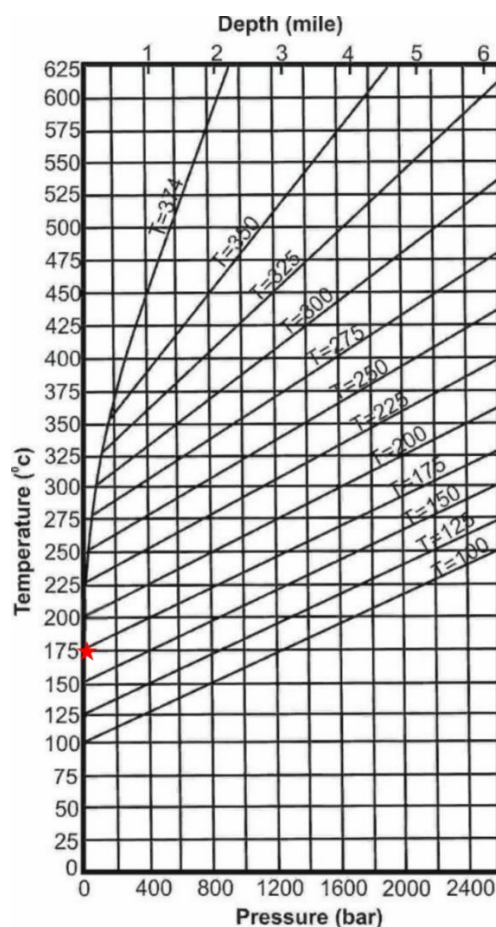


شکل ۴-۷. نمودار دما-فشار-عمق جهت تعیین عمق.

۷-۴-۳-دمای به تله‌افتادن و کمپلکس مؤثر در حمل عناصر کانسارساز

در صورتی که مقدار دمای همگن شدن و فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبار مشخص باشد می توان با استفاده از شکل که توسط کندی (1975) ارائه شده است، دمای به تله افتادن میانبار را محاسبه نمود. با در نظر گرفتن میانگین دمای همگن شدن که برابر ۱۷۰ درجه سانتی گراد است و فشار کمتر از ۵۰ بار، دمای

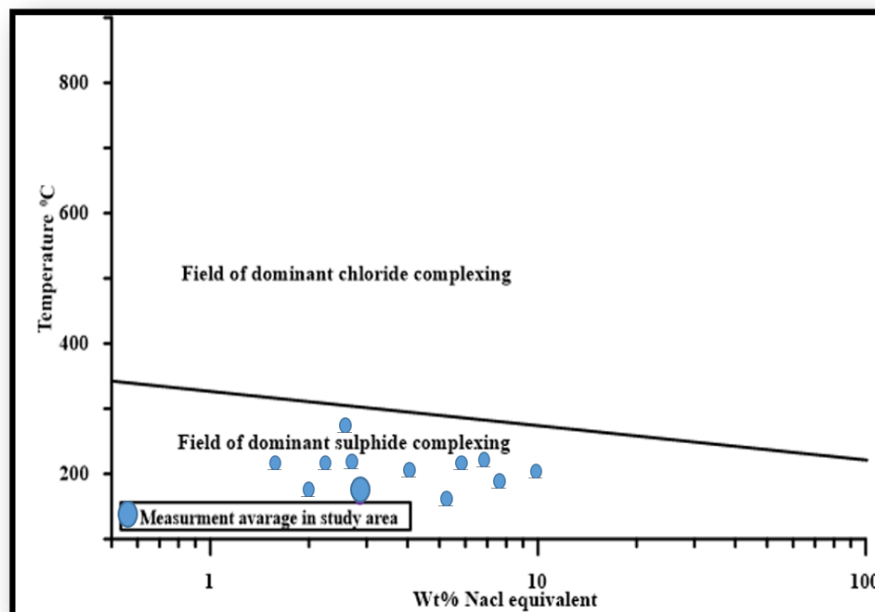
به تله افتادن میانبارهای سیال حدودا ۱۷۰ درجه سانتیگراد خواهد بود.



شکل ۵-۷. تعیین دمای به تله افتادن میانبارهای سیال با استفاده از دمای همگن شدن و فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبار.

با استفاده از نمودار (Pirajno 2009) که براساس دمای همگن شدگی و درصد وزنی نمک طعام در سیالات درگیر ارائه شده است می توان به کمپلکس مؤثر در حمل فلزات کانسار مس قله چیلی پی برد. همانطور که در شکل مشاهده می شود سیالات درگیر مورد مطالعه، در محدوده‌ی مربوط به کمپلکس‌های سولفیدی قرار می گیرند و می توان نتیجه گرفت که HS^- یا SO_4^{2-} مهم ترین آنیون های حمل کننده در

کمپلکس سولفیدی بوده‌اند. مشاهده‌ی کانی‌های پیریت و کالکوپیریت در کانسارمس قله‌چیلی این مطلب را تأیید می‌کند. مس در درجه حرارت‌های پایین‌تر و محیط‌های غنی از H_2S به صورت کمپلکس‌های بی‌سولفیدی (HS^-) ولی در حرارت‌های بالا به صورت کمپلکس‌های کلریدی $CuCl_2^-$ و $CuCl_3^{2-}$ حمل می‌گردد. در کانسارمس قله‌چیلی با توجه به حرارت پایین سیالات کانه‌ساز سهم کمپلکس‌های بی‌سولفیدی برجسته‌تر از نوع کلریدی می‌باشد.



شکل ۷-۶. نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) موثر در حمل عناصر کانسارساز

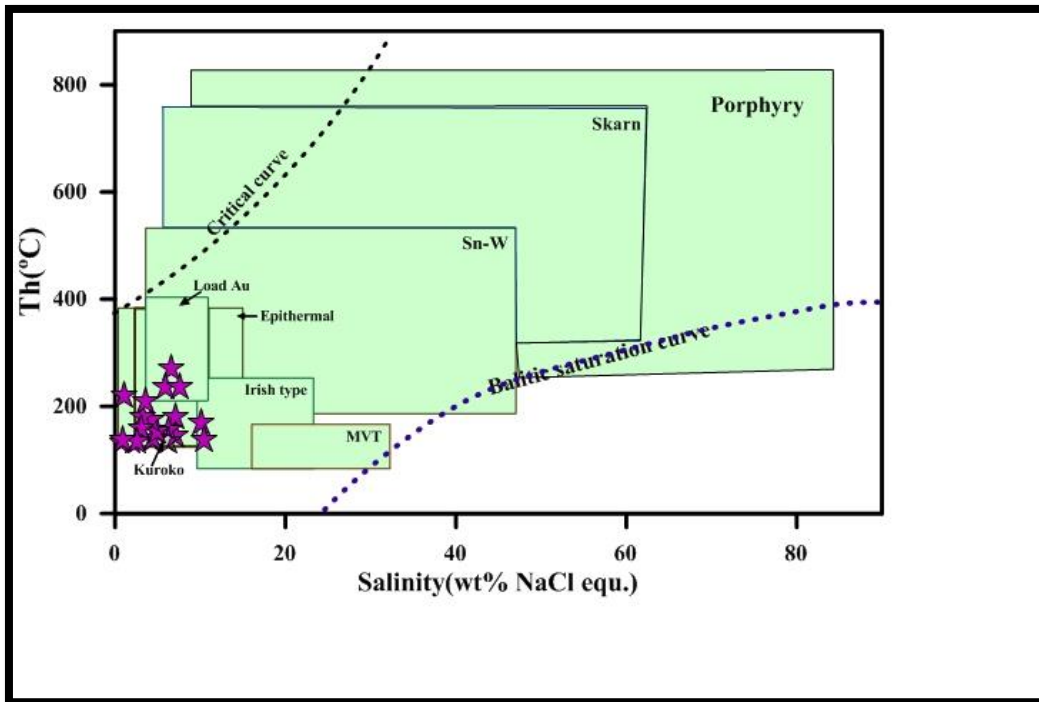
۷-۴-۴= تعیین تیپ کانه‌زایی و منشأ سیالات براساس داده‌های میانبارهای سیال

براساس نمودار ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن شدن که انواع سیستم‌های کانه‌زایی را از هم تفکیک نموده است (Wilkinson, 2001)، نمونه‌های بررسی شده از لحاظ دمایی و شوری در محدوده

کانی‌سازی‌های اپی‌ترمال (رگه‌ای) قرار می‌گیرند

(Wilkinson 2001) خصوصیات سیالات درگیر را در کانسارهای هیدروترمال آورده است که با توجه به

این جدول، تیپ کانسارمس قله‌چیلی باکانسارهای اپی‌ترمال مطابقت دارد.



شکل ۷-۷. نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن.

فصل ہشتم

بحث، نتیجہ گیری و

اراء مدلل زائشی

۸-۱ مقدمه

در فصول گذشته کلیه مطالعات صحرایی، میکروسکوپی، ژئوشیمیایی و سیالات درگیر برپایه مشاهدات و اطلاعات موجود و آنالیزهای شیمیایی انجام گرفته، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده، کانه‌زایی مس در کانسار مس قله‌چیلی در دوتیپ متفاوت، ولکانیک رد بد (VRB) و مس‌های رگه‌ای هیدروترمالی قرار می‌گیرد.

یکی از نکات مهم در مطالعه هر کانساری، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می‌باشد. بنابراین، بررسی و تحلیل فاکتورهایی که در تشکیل و تمرکز ماده معدنی نقش داشته‌اند، جهت شناسایی فرآیندهای مؤثر در کانه‌زایی، حائز اهمیت می‌باشد. در این رابطه، نوع و ماهیت سنگ میزبان، ماهیت فیزیکیوشیمیایی سیالات کانه‌ساز، تأثیر متقابل سیالات کانه‌ساز و سنگ‌های دیواره، دگرسانی، ماگماتیسم، ساختارهای تکتونیک و همچنین نحوه پراکندگی و توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، از جمله فاکتورهای اساسی هستند.

در این فصل، ابتدا خلاصه‌ای از شواهد مهم مرتبط با کانه‌زایی مس در کانسار قله‌چیلی آورده شده سپس بر مبنای اطلاعات و شواهد موجود، به مقایسه‌ی کانه‌زایی مشابه در ایران و دنیا پرداخته و در پایان مدل احتمالی برای کانه‌زایی مس ارائه شده است.

۸-۲- خلاصه‌ای از خصوصیات کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی، بررسی‌های میکروسکوپی (پتروگرافی و کانه‌نگاری)، آنالیزهای ژئوشیمیایی و همچنین نتایج و شواهد بدست آمده از مطالعات سیالات درگیر در کانسار مس قله‌چیلی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

منطقه مورد مطالعه در توالی آتشفشانی رسوبی ترود-چاه شیرین و در قسمت شمالی پهنه ایران مرکزی واقع شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی مس در رگه‌ی سیلیسی مونوزودیوریت و گرانودیوریت و گدازه و توف با ترکیب آندزیت تا آندزیت-بازالت می‌باشد، در محدوده دیگر، کانه‌زایی در سنگ‌های آندزیتی و

آندزیت- بازالتی وجود دارد. بافت‌های غالب در سنگ‌های آذرین پورفیریتیک، گرانولار و اینتراگرانولار می‌باشد. سن سنگ میزبان کانی‌سازی، در سنگ‌های آندزیتی ائوسن و در توده‌های نفوذی مربوط به الیگومیوسن و سن احتمالی کانی‌سازی الیگومیوسن می‌باشد. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه کالک آلکالن و از نظر درجه اشباع از آلومینیم، متاآلومین و پرآلومین می‌باشد. همچنین از نظر موقعیت زمین‌ساختی، کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی می‌باشند. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای قوسی مناطق فرورانش می‌باشد. کانه‌های اولیه در محدوده رگه سیلیسی شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و انواع ثانویه شامل، مالاکیت، کالکوسیت، کولیت، آزوریت، کریزوکولا، هماتیت، گوتیت و لیمونیت است. در محدوده سنگ‌های آندزیتی حاوی کانه زایی پیریت و کالکوسیت اولیه بوده که بر اثر هوازدگی و دگرسانی پیریت‌ها هماتیتی شده‌اند و کالکوسیت نیز از اطراف به کولیت و گوتیت تبدیل شده‌است. کانی‌های باطله در محدوده رگه سیلیسی شامل کوارتز، کربنات و کانی‌های رسی می‌باشد، و در محدوده کانه‌زایی در سنگ‌های آندزیتی نیز کانی‌های باطله شامل کوارتز، کانی‌های رسی و کربنات است. در محدوده کانی‌سازی رگه سیلیسی بافت‌های رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، جانشینی، باقیمانده، کلوفرمی، بافت جعبه‌ای و جزیره‌ای وجود دارد، که انواع رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی غالب هستند. ساخت‌های منطقه شامل رگه و رگچه‌ای، و گاهاً پرکننده فضاهای خالی می‌باشد، در محدوده کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی بافت‌های رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی غالب هستند، و ساخت منطقه نیز رگه- رگچه‌ای است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل آرژیلیکی، پروپیلی تیکی (اپیدوتی و کلریتی)، سیلیسی، سریسیتی، کربناته و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد، که در محدوده کانی‌سازی رگه سیلیسی آرژیلیکی، پروپیلیتیک و سیلیسی غالب است، در حالی که در سنگ‌های آندزیتی حاوی کانه‌زایی دگرسانی آرژیلیکی، سریسیت، کربنات، اکسید و هیدروکسیدهای آهن گسترش بیشتری دارد. براساس مطالعات سیال درگیر انجام شده بر روی نمونه‌ها،

نمونه‌های محدوده کانه‌زایی در سنگ‌های آندزیتی فاقد سیال درگیر بودند و سیالات محدوده رگه سیلیسی دمای همگن‌شدگی از ۱۳۰/۹ تا ۲۶۶ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۴۳°C) و میزان شوری نیز از ۰/۷ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی معادل نمک طعام (متوسط ۰/۴/۹٪) را نشان می‌دهند، که به اختلاط آب‌های ماگمایی و جوی (ویژه آب‌های ماگمایی) بعنوان حجم اصلی سیال‌های کانه‌ساز اشاره دارد، که در عمق کم جای گرفته‌اند. براساس مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری، کانی‌سازی مس در فشار کمتر از ۵۰ bar و عمق کمتر از ۴۰۰ متری رخ داده است. عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی در هر دو محدوده کانه‌زایی از گسل‌ها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کنند، در محدوده کانه‌زایی در سنگ‌های آندزیتی عامل پرکننده فضای خالی نیز مشاهده می‌شود. هوازدگی در محدوده رگه سیلیسی: کانی‌های سولفیدی در محیط‌های سطحی به وسیله عوامل جوی هوازده شده و به ترتیب به کانی‌های کالکوسیت، کوولیت، ملاکیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند، در محدوده کانی‌سازی همرا با سنگ‌های آندزیتی کانی کالکوسیت به همراه پیریت اولیه بوده و بعداً دچار هوازدگی شده و کانی‌های کوولیت، ملاکیت، آزوریت، کریزوکولا، اکسید و هیدروکسیدهای آهن را بوجود آورده است.

جدول ۸-۱. ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانسار مس قله‌چیلی.

مشخصات	رگه سیلیسی مس‌دار	کانی‌سازی در سنگ‌های آندزیتی
موقعیت جغرافیایی و زمین‌ساختی	بخش شمالی پهنه ایران مرکزی (توالی ترود- چاه‌شیرین)، استان سمنان	بخش شمالی پهنه ایران مرکزی (توالی ترود- چاه‌شیرین)، استان سمنان
سنگ میزبان	گرانودیوریت و مونزودیوریت	آندزیت و آندزیت-بازالت
سن احتمالی کانی‌سازی	الیگومیوسن	الیگومیوسن
کانی‌ها	کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، کوولیت، ملاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	پیریت، کالکوسیت، کوولیت، ملاکیت، آزوریت، کریزوکولا، پیریت هماتیتی‌شده و گوتیت

کانه‌های باطله	کوارتز ، کلسیت و کانی‌های رسی	کوارتز ، کلسیت و کانی‌های رسی
عیار مس و سرب	Cu: 27767 Pb:28	Cu: 27187 Pb: 2795
انواع بافت	پرکننده فضاهای خالی، رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، پراکنده، جانشین، اسکلتی، جزیره‌ای	رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، پراکنده، جانشین
انواع دگرسانی	پروپیلی تیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سیلیسی، سربستی، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	پروپیلی تیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سیلیسی، سربستی، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
سیال درگیر	متوسط دما °C ۱۴۳، متوسط شوری ۰/۴/۹، فشار کمتر از ۵۰ bar، عمق کمتر از ۴۰۰ متر	
محیط تکتونیکی	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی
عوامل کنترل کننده	توده نفوذی و گسل و شکستگی‌ها	گسل و شکستگی‌ها
هوازگی	کانی‌های سولفیدی در محیط‌های سطحی به وسیله عوامل جوی هوازده شده و به ترتیب به کانی‌های کالکوسیت، کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، گوتیت، مالاکیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند.	کانی‌های سولفیدی در محیط‌های سطحی به وسیله عوامل جوی هوازده شده و به ترتیب به کانی‌های کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، گوتیت، مالاکیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند.
شکل هندسی	رگه‌ای	چینه‌کران

۸-۳- طبقه‌بندی و ویژگی‌های عمومی کانسارهای مس

جدول ۸-۲. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس قله‌چیلی با برخی کانسارهای مس.

مشخصات	کانسارهای مس پورفیری	کانسارهای مس در طبقات سرخ آتشفشانی	کانسارهای مانتو	کانسارهای مس رگه-ای	تیپ رگه‌ای کانسار مس-چیلی	تیپ رد بد کانسار مس قله‌چیلی
جنس و سنگ میزبان کانی‌سازی	از گرانودیوریت، تونالیت، کوارتز مونزونیت تا دیوریت	گدازه‌های آتشفشانی، مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	گدازه‌های آندزیتی و بازالتی	گرانیتوئیدها و به مقدار کمتر سازندهای آتشفشانی، رسوبی و دگرگونی	سنگ‌های نفوذی و گرانودیوریتی و مونزودیوریتی رگه سیلیسی حاوی کانی‌زایی را در بردارد	آندزیت و آندزیت-بازالت
محیط تکتونیکی	حاشیه قاره‌ای فعال و جزایر قوسی	کافت درون قاره-ای و نزدیک به حواشی صفحات	محیط کششی مرتبط با فرورانش آند و حوضه-های پشت کمانی	حوضه‌های کششی پشت کمر بند زون فرورانش، ریفت‌های درون قاره‌ای و حوضه‌های کششی بعد از تصادم قاره‌ای	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی
سن تشکیل	پروتروزوییک تا ترشیری	پروتروزوییک تا ترشیری	ژوراسیک	پروتروزوییک تا ترشیری	الیگومیوسن	الیگومیوسن
نوع دگرسانی و محصولات	پتاسیک، فلیک، رسی، پروپیلیتیک	عموماً بدون دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی و اغلب با دگرگونی پرهنیت پومپله-ایت ، زئولیت، اپیدوت، کلریت و آلبریت	سیلیسی، کلسیتی، آلبریتی، پروپیلیتیک، کلریت، آلبریت، کوارتز و اپیدوت	سیلیسی، کلریتی، سربستی، پروپیلیتیک، آرژیلیک	پروپیلیتیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سربستی، سیلیسی، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	پروپیلیتیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سربستی، سیلیسی، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
پاراژنز کانیایی	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، مگنتیت، کالکوسیت، کوولیت و مولیبدنیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت و کوولیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوپیریت، انارژیت، مگنتیت، هماتیت، پیریت، کالکوسیت	کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	پیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، پیریت هماتیتی شده و گوتیت

رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، پراکنده، جانشینی	پرکننده فضاهای خالی، رگه و رگچه- ای، پراکنده، جانشینی، اسکلتی، جزیره‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای و پرکننده فضای خالی	رگه‌ای و پرکننده فضاهای خالی	انتشاری و رگچه‌ای	بافت
مطالعه حاضر	مطالعه حاضر	Sawkins (1972)	Oliveros et al; 2008	Lefebure and Church (1996) Cabral and Beaudoin (2007)	McMillan and Panteleyev (1988)	منابع

براساس خصوصیات کانسارهای مس ذکر شده در بالا و مقایسه این ویژگی‌ها با دو محدوده کانسار مس قله‌چیلی مشاهده می‌شود که تیپ محدوده‌های مورد مطالعه ما بیشترین شباهت را به کانسارهای پیش‌بینی شده (رگه‌ای و ولکانیک رد بد) دارد.

۴-۸ مقایسه‌ی کانسار مس قله‌چیلی با پاره‌ای از کانسارهای مس رگه‌ای در

پهنه‌های مختلف زمین‌ساختی ایران و جهان

با توجه به مطالعات انجام شده در این تحقیق و همچنین مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه با تیپ‌های مختلف کانسارهای مس، کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه با کانسارهای مس، کانه‌زایی در کانسار مس قله‌چیلی از دو تیپ رگه‌ای هیدروترمال و تیپ ولکانیک رد بد می‌باشد.

جدول ۳-۸. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار مس قله‌چیلی با چند کانسار مس (\pm عناصر همراه) از زون‌های زمین‌ساختی ایران.

مشخصات	کانسار علی‌آباد موسوی-خان‌چای	کانسار سه‌چنگی	کانسار چاه‌موسی	کانسار چاه‌مسی	محدوده رگه سیلیسی کانسار مس قله‌چیلی
موقعیت زمین- ساختی	زون البرز- آذربایجان (زیر زون طارم- هشتجین)	زون خرده قاره ایران مرکزی (زیر زون بلوک لوت)	زون ایران مرکزی (زیر زون نوار آتشفشانی ماگمایی ترود-چاه شیرین)	زون ایران مرکزی (بخش شمالی ارومیه- دختر)	بخش شمالی پهنه ایران مرکزی (توالی ترود-چاه- شیرین)،

سنگ‌های نفوذی گرانودیوریتی و مونزودیوریتی رگه سیلیسی حاوی کانی‌زایی را در بردارد	آتشفشانی- رسوبی	بیوتیت-هورنبلند آندزیت پورفیری	مونزونیت پورفیری	توف، گدازه	جنس و سنگ میزبان کانی‌سازی
کمان آتشفشانی		کمان آتشفشانی مرتبط با زون فرورانش	-----	حاشیه قاره‌ای فعال و پس از برخورد	محیط تکتونیکی
الیگومیوسن	ائوسن	ائوسن- الیگوسن	ائوسن پسین	ائوسن و بعد از آن	سن تشکیل
پروپیلی تیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سیلیسی، سریسیتی کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	کربناتی، سیلیسی، سریسیتی، پروپیلی تیک، آرژیلیک	فیلیک، کلریتی- کلسیتی، اپیدوتی- کلریتی-کلسیتی	سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی، فلوریتی- شدن	سیلیسی، کلریتی، پروپیلیتیک	نوع دگرسانی
رگه‌ای	رگه‌ای	افشان-رگه‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای	شکل کانی- سازی
کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن و به مقدار بسیار کمتر انارژیت، تتراهدریت، تنانتیت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت، نتوتسایت، هماتیت، گوتیت	گالن، اسفالریت، کمی کالکوپیریت و پیریت، سروسیت، آنگلزیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت	کالکوپیریت، پیریت، الیژنیت، مالاکیت، آزوریت	کانه‌ها
کوارتز، کلسیت و کانی‌های رسی	کربنات، کلریت، اپیدوت، کوارتز، سریسیت	کوارتز، کلسیت، کلریت، اپیدوت، بیوتیت، هورنبلند	کوارتز، فلوریت، کلسیت، کائولینیت، ایلیت	کوارتز، کلریت، پلاژیوکلاز، سریسیت، کلسیت،	کانی‌های باطله

پراکنده فضاهای خالی، رگه و رگچه‌ای، پراکنده، جانشینی، اسکلتی، جزیره‌ای	اسکلتی، برشی، پوسته‌گذاری	افشان، رگچه‌ای	جانشینی، پراکنده فضای خالی، برشی، رگه رگچه‌ای	دانه پراکنده- رگه- رگچه‌ای- برشی- پراکنده فضای خالی- جانشینی	بافت و ساخت
گسل‌ها مهم‌ترین عناصر ساختاری در محدوده‌ی مورد مطالعه	نقش عمده یک سامانه برشی، شکستگی‌های برشی، در جایگیری رگه‌های حاوی کانی‌سازی. کانی‌سازی در امتداد رگه‌های سیلیسی رخ داده است.			ساختارهای تکتونیکی نظیر گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها، عامل مهمی در کنترل و حرکت سیالات هیدروترمالی کانه-دار و تشکیل رگه-های کانه‌دار در این منطقه بوده‌اند.	نقش کنترل کننده‌های چینه-شناسی و ساختاری در تشکیل کانی‌سازی
دما: $130/9^{\circ}\text{C}$ - ۲۶۶ شوری: % wt ۱۰/۶۱ - ۰/۷	دما: $250-^{\circ}\text{C}$ ۳۰۰	متوسط دما: $^{\circ}\text{C}$ ۴۲۱ متوسط شوری: ۱۲/۹ % wt عمق: ۲۸۸ تا ۱۰۶۵ متر.	در فلوریت: دما $^{\circ}\text{C}$ ۱۵۱-۳۵۲ و شوری ۰/۵-۱۶/۵ % wt در کوارتز: $^{\circ}\text{C}$ ۲۱۵-۱۶۱ و شوری % wt ۰-۹/۷ عمق: کمتر از ۱۰۰ متر.	-	سیال درگیر
مس رگه‌ای (هیدروترمالی)	رگه‌ای اپی‌ترمال (سولفیداسیون متوسط)	مس (سرب، روی) رگه‌ای	سرب- روی (مس) اپی‌ترمال (رگه‌ای مرتبط با هیدروترمال ولکانیک- ساب ولکانیک)	مس رگه‌ای (کردیلرا؟)	ژنز
مطالعه حاضر	حسین‌خانی و همکاران (۱۳۹۰)	امام جمعه (۱۳۸۵)	Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour (2015)	سعیدی (۱۳۹۳)	منبع

جدول ۸-۴. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسارمس قله‌چیلی با چند کانسار مس (\pm عناصر همراه) در جهان.

مشخصات	کانسارهای سرب - روی - مس ± طلا ± نقره اپی ترمال در مناطق Koru و Tesbihdere	کانسار طلا - مس اپی ترمال با سولفیداسیون Cerro بالا Quema	کانسارهای مس رگه‌ای هیدروترمال Gyeongsang 'Basin جمهوری کره	کانسارهای مس - طلای Minto Williams Creek	محدوده رگه سیلیسی کانسار مس قله چیلی
موقعیت زمین- ساختی					بخش شمالی پهنه ایران مرکزی (توالی ترود- چاه- شیرین)،
جنس و سنگ میزبان کانی- سازی	توفهای ریولیتی و لاوا- گنبدهای ریولیتی	کمپلکس گنبدی داسیتی	سنگ‌های آتشفشانی (توف- ها)	سنگ‌های نفوذی (دیوریت، کوارتز دیوریت)	سنگ‌های نفوذی گرانودیوریتی و مونزدیوریتی رگه سیلیسی حاوی کانی‌زایی را در بردارد
محیط تکتونیکی	-----	پیش کمان آتشفشانی			کمان آتشفشانی
سن تشکیل	الیگوسن	ائوسن	کرتاسه بالایی	تریاس پسین - ژوراسیک پایینی	الیگومیوسن
نوع دگرسانی	آرژیلیتی، پروپیلیتیک (شامل اپیدوت، کلریت، سرسیت و کربنات)، سیلیسی و سرسیتی	آرژیلیک پیشرفته و حدواسط، پروپیلی تیک، کربناتی	سیلیسی، کلریتی	سرسیتی، هماتیتی، رسی، کلریتی	پروپیلی تیک (اپیدوتی)، آرژیلیک، سیلیسی، سرسیتی ، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
شکل کانی- سازی	رگه‌ای		رگه‌ای		رگه‌ای

کانه‌ها	کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، بورنیت، کولیت، کالکوسیت، تنانتیت، سروسیت، مار کاسیت، تتراهدریت، انارژیت، آنگلزیت و کوبانیت	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، گوتیت، هماتیت، گالن، اسفالریت، انارژیت، تنانتیت	کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، آرسنوپیریت، الکتروم، تتراهدریت، انارژیت، مار کاسیت، پیروتیت، دیژنیت، بورنوتیت، بورنیت، کولیت، کالکوسیت،	کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، کولیت، هماتیت، گوتیت، پیروتیت، مگنتیت، پیریت	کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت
کانی‌های باطله	اپیدوت، کلریت، سرسیت، کربنات، کوارتز، پیروکسن، آمفیبول، الیوین، بیوتیت	کوارتز، کلریت، سرسیت، ایلیت، دیکیت، کلریت، آپاتیت، کربنات، آلونیت، هورنبلند، پلاژیوکلاز	کوارتز، کلریت، سرسیت، کلسیت، آمیتست	کوارتز، کلریت، اپیدوت، کانیه‌های رسی، فلدسپار، بیوتیت، آمفیبول	کوارتز، کلسیت و کانیه‌های رسی
بافت و ساخت	جانشینی، اکسلوشن، رگه- رگچه‌ای، پرکننده شکستگی‌ها و اسکلتی	دانه‌پراکنده، رگه- ای، برشی، جانشینی، پرکننده فضاهای خالی، درهم‌شده‌ی	دانه‌پراکنده، برشی، جانشینی	پرکننده فضاهای خالی، رگه و رگچه‌ای، پراکنده، جانشینی، اسکلتی، جزیره‌ای	
عوامل کنترل کننده‌ی کانیه- سازی	مهم‌ترین ساختارهای کنترل‌کننده‌ی کانسنگ، گسل‌ها هستند.	رگه‌های حاوی کانیه‌سازی توسط حوادث تکنونیک مانند شکستگی و برشی شدن از هم جدا شده‌اند.	شکل‌گیری کانیه‌زایی قبل از تغییر شکل انعطاف‌پذیر	گسل‌ها مهم‌ترین عناصر ساختاری در محدوده‌ی مورد مطالعه	
سیال درگیر	دما: ۱۴۶- ⁰ C ۴۰۷ شوری: % wt ۰/۱۲-۲/۵	دما: ۱۲۰- ⁰ C ۳۵۰ شوری: % wt ۳- ۱۷ عمق: ۵۰-۱۲۵۰ متر	دما: ۱۳۰/۹-۲۶۶ شوری: % wt ۰/۷-۱۰/۶۱		

ژنز	سرب- روی- مس± طلا± نقره اپی ترمال	طلا- مس اپی- ترمال با سولفیداسیون بالا	رگه‌های هیدروترمال مس‌دار	رگه‌های مرتبط با توده‌های نفوذی هیدروترمالی	مس رگه‌ای (هیدروترمالی)
منبع	Mustafa Çiçek, Tolga Oyman (2016)	Corral et al (2016)	CHIL-SUP et al (1985)	Mortensen and tafti (2002)	مطالعه حاضر

۸-۵- مقایسه‌ی کانسار مس قله‌چیلی با پاره‌ای از کانسارهای مس مانتو و ولکانیک رد بد (Volcanic red-bed) در پهنه‌های مختلف زمین‌ساختی ایران و جهان

تاکنون انواع مختلف تیپ‌های کانسارهای مس در ایران مورد شناسایی قرار گرفته‌اند ولی ذخایر تیپ مانتو تنها در زون ارومیه -دختر، زون سنندج -سیرجان و زیر پهنه سبزوار گزارش شده‌اند. مقایسه ویژگی‌های اساسی محدوده کانسار مس قله چیلی که توسط سنگ‌های آندزیتی میزبانی شده است با کانسارهای مشابه در ایران در ارائه شده است.

جدول ۸-۵-مقایسه کانسار با کانسارهای تیپ مانتو و رد بد در ایران و جهان.

ویژگی‌های شاخص	Quebec Appalachians	کانسار عباس‌آباد	کانسار ورزگ	کانسار کشت‌مهکی	کانسار قله‌چیلی
موقعیت جغرافیایی	کانادا	شاهرود	جنوب غرب قائن	شمال شرق صفاشهر	جنوب غرب شاهرود
محیط تکتونیکی	کافت دورن قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای	محیط کافت درون کمان آتشفشانی	کمان ماگمایی
سنگ میزبان	بازالت دگرسان شده	آندزیت مگاپورفیری	آندزیت تا آندزیت-	کریستال لیتیک توف با	گدازه‌های آندزیتی تا

آندزیت - بازالتی	ترکیب تراکی - آندزیت - آندزیت	بازالت و آمیگدالوئیدال	وتوف برشی		
پیریت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، پیریت هماتیتی - شده و گوتیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت، کالکوپیریت، پیریت، کلاست - هالیت نقره - دار، کولیت، آنیلیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی و کمی کالکوپیریت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت و مس طبیعی	مس طبیعی، کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت کولیت، دیژنیت، مالاکیت	کانی شناسی
کوارتز، کربنات، کانی های رسی	کوارتز، کلسیت، اپیدوت، کلریت، آلبیت و زئولیت	کربنات وسیلیس	کربنات، کلریت، زئولیت و کوارتز	کوارتز، کلریت، کلسیت، آلبیت و پلاژیوکلاز	کانی های باطله
پروپیلی تیک (اپیدوتی)، آرژلیک، سیلیسی، سریسیتی ، کربناتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	پروپیلیتیکی، کاریتی، اپیدوتی، کلسیتی واکسیدی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی و زئولیتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سیلیسی	کلریتی، کربناتی، سیلیسی و آلبتی	دگرسانی

سن سنگ میزبان	سیلورین	اٹوسن	ترشیری	کرتاسه زیرین	اٹوسن
شکل هندسی	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران
منبع	Cabral et.al , 2007	مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳	علی زاده، ۱۳۹۱	بویری و همکاران، ۱۳۹۳	مطالعه حاضر

۸-۶- الگوی تشکیل رخداد کانسار مس قله چیلی

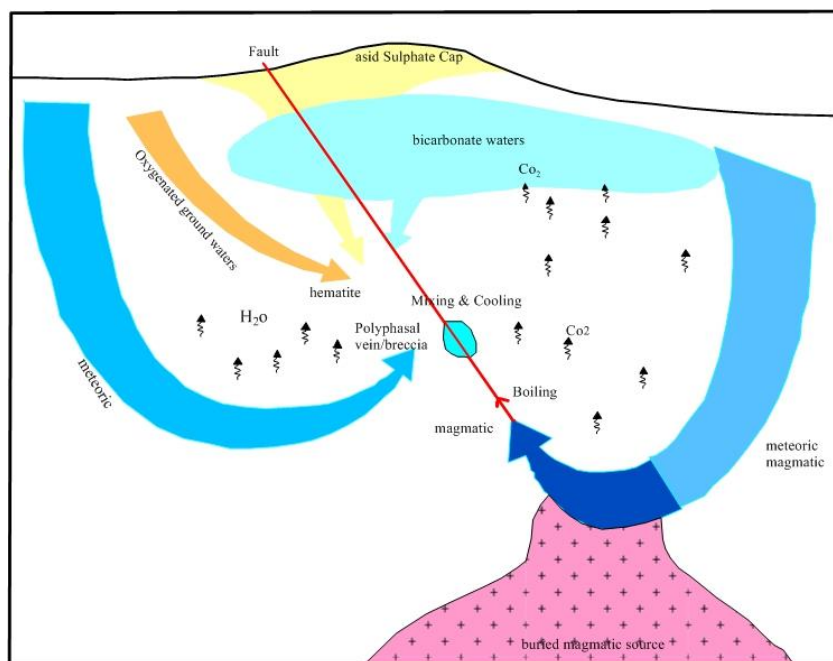
توالی آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین متشکل از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی، سنگ‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق و دایک به سن اٹوسن- کواترنری می‌باشد. در محدوده‌ی کانسار قله چیلی سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی مانند آندزیت، آندزیت- بازالت و داسیت به همراه سنگ‌های آذرآواری در یک محیط کمان حاشیه‌ی قاره‌ای تشکیل شده است. در این مرحله احتمال تشکیل شکل پراکنده‌ای از کانی‌سازی مس (پیریت، کالکوپیریت و بورنیت) به همراه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری وجود دارد. بالا بودن مقدار زمینه‌ی مس نسبت به کلارک جهانی آن در سنگ‌های آتشفشانی اٹوسن گویای این مسئله می‌باشد به طوری که دیاژنز و دگرگونی دفنی درجه پایین سنگ‌های آتشفشانی اٹوسن زمینه را برای تشکیل کانسارهای مس تیپ بازالتی، مانتو و مس به همراه طبقات قرمز آتشفشانی فراهم می‌نماید. ادامه این مرحله باعث ایجاد دو کانی‌سازی متفاوت مس در محدوده کانسار مس قله چیلی شده است که در ادامه ابتدا به توضیح الگوی تشکیل رگه سیلیسی مس دار در محدوده قله چیلی می‌پردازیم و سپس الگوی تشکیل کانی‌سازی تیپ ولکانیک ردبد را تشریح می‌کنیم.

الگوی تشکیل کانسار مس رگه‌ای در محدوده قله چیلی

در ادامه مراحل فوق سنگ‌های نفوذی (گرانودیوریت و مونزودیوریت) به داخل سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده در مرحله‌ی قبل نفوذ کرده‌اند. در جایگیری توده‌های نفوذی ساختارهای تکتونیکی مثل

خطواره‌ها، گسل‌ها و (بویژه مکان‌هایی که خطواره‌ها و گسل‌های عمیق همدیگر را قطع می‌کنند) نقش اساسی دارند. جایگیری توده‌های نفوذی به نوبه خود سبب فعال شدن گسل‌های قبلی و نیز پیدایش گسل‌های جدید می‌گردد. فرآیندهای ماگمایی بعد از جایگیری توده‌های نفوذی در تشکیل دایک‌های ریوداسیتی، ریولیتی، آندزیتی، دیابازی و نیز سیالات ماگمایی و گرمابی مهم می‌باشد. وجود دایک‌های آندزیتی، آندزیت-بازالتی، داسیتی و رگه‌های سیلیسی مس‌دار را می‌توان به فعالیت‌های ماگمایی بعد از توده‌های نفوذی نسبت داد. سیالات گرمابی با منشأ ماگمایی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها شروع به حرکت کرده و با آب‌های جوی مخلوط شده‌اند. چرخش این سیالات باعث توسعه

دگرسانی‌ها و شسته‌شدن مس از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آن‌ها در امتداد شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزها) و فضاهای خالی ناشی از انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون سنگ‌های نفوذی گرانودیوریتی، مونزودیوریتی و سنگ‌های آتشفشانی شده است. سن کانه‌زایی در منطقه احتمالاً با سن این توده‌های نفوذی (الیگومیوسن) مطابقت داشته باشد. در مراحل بعدی هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سبب فرسایش سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و توده‌های نفوذی شده و در نهایت ریخت‌شناسی کنونی حاصل اثرات هوازدگی سنگ‌های منطقه می‌باشد، به طوری که سنگ‌هایی که کیلومترها در عمق زمین بودند امروزه پس از گذشت میلیون‌ها سال در سطح کنونی ظاهر شده‌اند. آثار کانی‌سازی سولفیدی در منطقه در سطح نمود چندانی ندارد و تنها در رگه سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی مس و آغشتگی به مالاکیت دیده می‌شود.



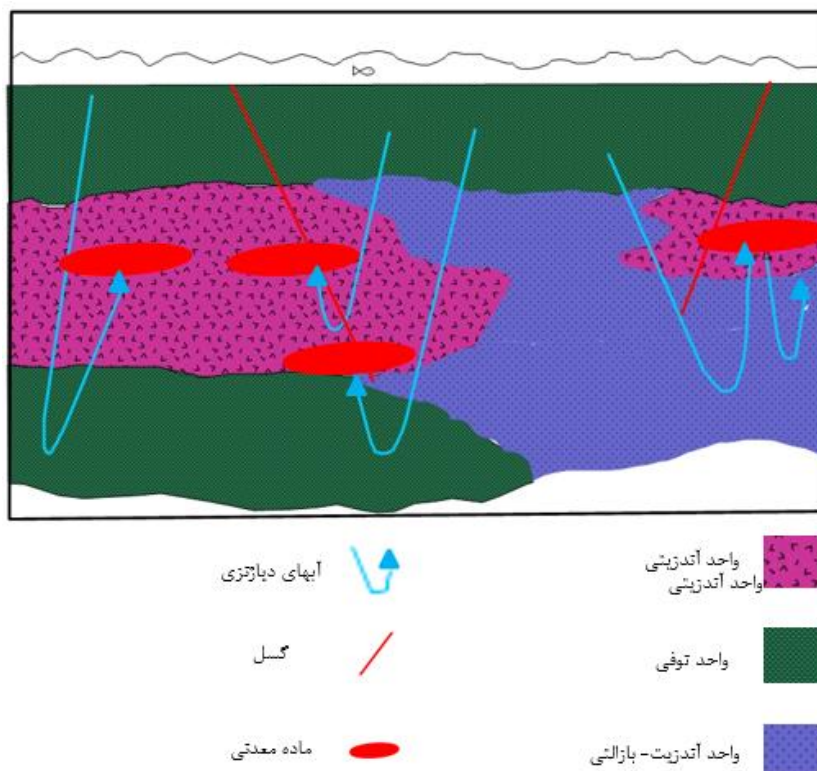
شکل ۸-۱. تصویری شماتیک از سیالات هیدروترمالی منشأ گرفته از توده‌ی نفوذی و تزریق آن در گسل‌های منطقه و اختلاط با آب‌های جوی و ته‌نشین شدن ماده معدنی.

الگوی تشکیل تیپ ولکانیک ردبد در کانسار مس قله‌چیلی

بر پایه مشاهدات صحرائی، نمونه دستی، مطالعات میکروسکوپی، ارتباط ساخت و بافت کانه‌های موجود، کانی‌شناسی سنگ میزبان کانه‌زایی و توالی پاراژنزی کانه‌های فلزی نحوه تشکیل کانسار مس مانند در محدوده قله‌چیلی به صورت زیر خلاصه شده است ۱: مرحله فعالیت آتشفشانی قبل از کانه‌زایی (Per-) (mineralization): شرایط کشش حاکم بر حوضه درون کمان آتشفشانی ائوسن در توالی آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین موجب تشکیل سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و کربناته شده است. از همراهی سنگ‌های رسوبی تخریبی و کربناتی همراه با سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پیروکلاستیک‌ها در شرایط زیرآبی یا در حوضه کم عمق محیط ساحلی (رامیرز و همکاران، ۲۰۰۶؛ کابرال و بیودوین، ۲۰۰۷) تشکیل شده‌اند. ادامه فعالیت‌های آتشفشانی و رسوب‌گذاری موجب ضخیم‌شدن توالی آتشفشانی-رسوبی در این حوضه شده است. همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی در مرحله دیاژنز اولیه؛ تشکیل پیریت‌های دانه پراکنده (به عنوان اولین کانی سولفیدی) موجب ایجاد شرایط احیایی در سنگ میزبان کانه‌زایی، شده است (کناری و همکاران، ۲۰۱۳) ۲- مرحله کانی‌زایی اولیه

(هیپوژن) (Mineralization) در این مرحله افزایش ضخامت رسوبات باعث افزایش تدفین، افزایش فشار و درجه حرارت شورابه‌های بین حوضه‌ای (دیاژنز تدفینی) می‌شود. در اثر دفن شدن واحدهای آتشفشانی و افزایش فشار موجب تحرک محلول‌های اکسیدان در بین توالی آتشفشانی می‌شود. این شورابه‌ها به دلیل دمای نسبتاً بالای محیط و چرخش در بین واحدهای آتشفشانی از مس غنی شده است. محلول‌های اکسیدان غنی از مس به طرف نقاط کم فشار واحدهای بالایی حرکت کرده است. ورود این محلول‌ها به واحد آندزیتی دارای پیریت سبب احیا شدن آن‌ها و تهنشست مس به شکل کانی‌های سولفیدی می‌شود. شست و شوی مس از واحدهای سنگی آتشفشانی توسط محلول‌های اکسیدی و تهنشینی آن در محیط احیایی به عنوان عامل اصلی کانه‌زایی در نظر گرفته می‌شود. شست و شوی مس از واحدهای سنگی اکسیدی در محیط‌های ساحلی، عامل تامین کننده مس در برخی از ذخایر بیان شده است (کیرکهام، ۱۹۹۶) سولفیدهای اولیه مس (کالکوسیت) در این مرحله تشکیل شده‌اند. مرحله کانه‌زایی برونزاد (Supergene) در این مرحله و پس از فرآیندهای تکتونیک و زمین-ساختی در منطقه در اثر چین خوردگی و بالا آمدگی و رخداد هوازدگی و فرسایش موجب فرایندهای برون زاد (سوپرژن) شده است. این فرآیند سبب تغییر در ترکیب کانه‌نگاری سنگ‌ها و تبدیل کانه‌های سولفیدی اولیه نظیر (کالکوسیت) به کانه ثانویه سولفیدی مس مانند کوولیت و همچنین کانه‌های کربناتی و سیلیکاته مس مانند مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و تشکیل هماتیت و گوتیت شده است. سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت و آندزیت-بازالت) میزبان تیپ ولکانیک ردبد کانسار مس قله‌چیلی از نوع کالکالکالن و در شرایط کششی پشت کمان آتشفشانی زون فرورانش تشکیل شده‌اند. با توجه به عدم حضور سنگ دگرگونی در منطقه می‌توان فرآیند دیاژنز تدفینی را برای گردش سیالات حاصل از آن در میان واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-تخریبی در نظر گرفت که مس را از واحدهای سنگی شسته و در محیط احیایی مناسب (واحد آندزیت پورفیری حاوی پیریت) تهنشست داده‌اند. بر طبق نظر (کیرکهام، ۱۹۹۶) واحدهای سنگی ایجاد شده در محیط‌های ساحلی می‌توانند مهمترین منشأ

مس در نظر گرفته شوند. فلزات کانی سازی به طور عمده از سنگ های میزبان آتشفشان حاصل شده اند. حرارت حاصل از عمق، منبع حرارتی این نوع ذخایر در نظر گرفته شده است (کوجیما و همکاران، ۲۰۰۹) آنالیزهای انجام شده بر روی واحدهای سنگ آندزیت میزبان کانه-زایی در منطقه قله چیلی غلظت مس ۲۷۷۶۷ ppm می باشد. کانی شناسی مهم کانسار شامل کالکوسیت، پیریت، کولیت، مالاکیت، کریزوکولا، آزوریت و هماتیت است که از نظر کانی شناسی ساخت و بافت و توالی پاراژنری این کانسار شباهت های زیادی با کانسارهای مس ولکانیک رد بد نشان می دهند.



شکل ۲-۸ الگوی تشکیل و تکوین نماین تیپ ولکانیک رد بد در کانسار مس قله چیلی در طی دیاژنز تدفینی (Burial Metamorphism) سنگ میزبان واحد آندزیتی می باشد.

پیشنهادها برای رگه‌ی مس دار کانسار مس قله چیلی

- تهیه نقشه زمین شناسی معدنی ۱/۱۰۰۰

- نمونه‌برداری‌های بیشتر از سنگ‌های دربرگیرنده برای تعیین جنس سنگ‌های میزبان و نوع دگرسانی‌ها
 - نمونه‌برداری بیشتر برای مطالعات کانه‌نگاری، ساخت و یافت
 - نمونه‌برداری سیستماتیک از رگه‌های کوارتز به ازای هر ۲۵ متر در طول رگه یک نمونه، فاصله نمونه‌ها در امتداد عرض رگه نیم متر
 - تجزیه نمونه‌ها برای فلزات پایه و گرانبها به روش جذب اتمی و طلا به روش Fire Assay
 - پیشنهاد کار ژئوفیزیکی به روش IP و RS
 - حفر ترانشه اکتشافی عمود بر امتداد رگه در جاهایی که رگه توسط خاک سطحی پوشیده شده‌است
 - تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، اکتشاف ژئوشیمی سطحی و داده‌های ژئوفیزیکی
 - انتخاب مکان مناسب برای حفر گمانه‌های اکتشافی کاربردی
 - انجام مطالعه میانبارهای سیال بر روی تعداد حداقل ۶ نمونه (نمونه‌های سطحی و غیر سطحی) و در صورت امکان تجزیه شیمیایی میانبارهای سیال
 - تجزیه ایزوتوپ‌های پایدار O و H بر روی کوارتزهای همزاد کانه‌زایی برای تعیین منشأ سیال
 - مطالعه ایزوتوپ گوگرد بر روی کانی پیریت، کالکوپیریت و گالن برای تعیین منشأ و شرایط تشکیل کانسار
 - انجام مطالعات تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و گالن
- پیشنهادها برای محدوده کانی‌سازی ردبد کانسار مس قله‌چیلی**
- تهیه نقشه معدنی در مقیاس ۱/۱۰۰۰
 - نمونه‌برداری بیشتر از سنگ‌های میزبان کانه‌زایی برای تعیین جنس و نوع دگرسانی
 - حفر ترانشه اکتشافی عمود بر گسترش کانی‌سازی
 - نمونه‌برداری سیستماتیک در امتداد ترانشه‌ها

- فاصله ترانسه‌ها حدود ۲۵ متر و نمونه‌برداری در امتداد ترانسه به ازای هر یک متر
- پیشنهاد کار ژئوفیزیکی به روش IP و RS
- حفر گمانه‌های اکتشافی بر اساس تلفیق داده‌ها
- مطالعه ایزوتوپ گوگرد بر روی کانی کالکوسیت برای تعیین منشأ و شرایط تشکیل کانسار
- مطالعات تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های کالکوسیت

منابع فارسی

- ابولی پور م، راستاد ا و رشید نژاد عمران ن، (۱۳۹۴)، "کانه‌زایی مس چینه‌کران نوع مانتو (Manto Type) در پهنه دهج - ساردوییه در ناحیه کشکوییه رفسنجان"، دومین همایش زمین‌شناسی اقتصادی، سال ۲۴، شماره ۲۵، ص ۱۲۳ - ۱۴۴.
- اشراقی س، جلالی ا، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آق‌آباتی س ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ ص.
- امام جمعه ا، راستاد ا، بوذری ف، رشید نژاد عمران ن (۱۳۸۷)، "معرفی سامانه واحد کان‌زایی افشان - رگچه ای و رگه ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه موسی - قله کفتران"، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود - چاه شیرین. ش. ۷۰: ۱۱۲ تا ۱۱۵.
- برنا ب، و عشق آبادی م، (۱۳۷۶)، "گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس‌های سرب و روی استان سمنان"، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- بویری کناری م، راستاد ا و رشید نژاد عمران ن، (۱۳۹۳)، "کانه‌زایی مس (نقره) نوع Volcanic Redbed" در کانسار کشک مهکی، شمال باختر صفا شهر، پهنه سندنج - سیرجان جنوبی"، مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۳، ص ۱۹ - ۳۶.
- پورشعبان ا، خاکزاد ا، ابراهیمی میمند الف، (۱۳۸۹)، "مطالعات کان‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی در کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران سمنان"، فصلنامه علمی پژوهشی واحد لاهیجان، ش ۴، ۲۵ تا ۳۰.
- پیروان ح، امینی ص، (۱۳۸۴)، "بررسی ژنز و ارائه مدل ژنتیکی زون‌های آلتراسیون هیدروترمال گستره طارم قزوین - زنجان"، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی.
- تاج الدین، ح، (۱۳۷۷)، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز اثر معدنی طلای دارستان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.

- جعفریان، م، (۱۳۷۳)، " نقشه زمین شناسی چهارگوش کلاته- رشم با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور".
- حاج علیلو، (۱۳۸۷)، " ژئوترمومتری میانبارهای سیال"، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۶ ص.
- حسینخانی، ا، عبادی ل و علوی، ا، (۱۳۹۰)، "کانسار رگه‌ای اپی ترمال چند فلزی چاه‌موسی، شمال شرق شهربابک: ماهیت سیال‌های کانه‌زا و ارتباط بین الگوهای شکستگی با جای‌گیری رگه‌های کانه‌دار". فصلنامه زمین شناسی ایران، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۱۵-۳.
- رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، " بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو در جنوب شرق دامغان". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- زراسوندی ع، چیت‌سازان م، سواعدی ع، (۱۳۸۶)، اطلس دگرسانی: راهنمای مطالعات صحرایی میکروسکوپی برای کانی‌های دگرسانی گرمایی، انتشارات دانشگاه شهید چمران. زمین‌شناسی ایران، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۳-۱۵.
- سعیدی ع، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد "پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی منطقه علی آباد موسوی -خان چای (منطقه طارم، استان زنجان) نگرشی بر کانی‌سازی مس"، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان.
- شمعیان غ، (۱۳۸۲)، " مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانپها در منطقه معلم، جنوب خاور دامغان"، پایان نامه دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- شهاب پور ج، (۱۳۸۰)، " زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۵۴۳ ص.
- صالحی ل، رسا، ا، علیرضایی س و کاظمی مهرنیا، (۱۳۹۴)، " کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود"، مجله علوم زمین، سال ۲۵، شماره ۹۸، ص ۹۳-۱۰۴.
- طالع ماسوله س، قربانی، حکیمی آسیابر، س، (۱۳۸۹)، " مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب تروند". فصلنامه علمی پژوهشی واحد لاهیجان، ش ۱. ۳۹۰ تا ۵۱.

- عابدیان ن. و دری م.، (۱۳۷۵)، "بررسی معادن مس استان سمنان"، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- عبدالهی ا.، (۱۳۹۶)، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان"، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- علی‌زاده و، مومن‌زاده م و امامی م ه.، (۱۳۹۱)، "سنگ نگاری، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه زایی کانسار مس ورزگ-قاین". مجله علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۶، ص ۴۷ - ۵۸.
- فرد م.، راستاد ا.، مهرپرتو م.، قادری م.، (۱۳۸۰)، "ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی کانسار اپی ترمال طلای (فلزات پایه) گندی - جنوب شرق دامغان"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- قربانی ق.، (۱۳۸۴)، "پترولوژی سنگ های ماگمایی جنوب دامغان، رساله دکتری"، دانشگاه شهید بهشتی.
- کریم پور م ح.، سعادت س.، (۱۳۸۸) "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات نشر مشهد، چاپ چهارم.
- محمدزاده م.، (۱۳۹۱)، طرح اکتشافی کانسار دیان.
- مغفوری س.، موحدی‌نیا م و لای ک.، (۱۳۹۳)، "زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسارهای مس عباس آباد شاهرود و مقایسه آنها با کانسارهای تیپ مانتو"، انجمن زمین‌شناسی ایران.
- مهربابی ب.، طالع فاضل ا.، قاسمی سیانی م و علی اقبالی م.، (۱۳۸۸)، "بررسی نحوه کانی‌سازی و تشکیل رگه‌ای مس - طلا گلوچه (شمال زنجان) براساس شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر"، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۵، شماره ۴، ص. ۱۸۵ - ۱۹۹.
- ناهیدی فر م.، (۱۳۹۳)، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.

- هوشمندزاده ع، علوی نائینی م، حقی پور ع، (۱۳۵۷)، " تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References:

- Abdalian S. (1953). "Le tremblement de terre de Toroud on Iran. La Nature", 81(3222), 314-319, Paris.
- Aghanabati A. (1990). "Distribution of Magmatic Rocks in Iran (Scale: 1: 2,500,000)". Geological Survey of Iran.
- Alavi M. (1991). "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran". Geological Society of America Bulletin, 103(8), pp. 983-992.
- Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirlwall M and Mitchell J. G. (2000) ."Petrogenetic evolution late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey" Journal of Volcanology and Geothermal Research., 102, pp 67-95.
- Baker R.C., Guilbert J.M. (1991). "Regional structural control of porphyry copper deposits in northern Chile." Geological Society of America, Abstracts with Programs, 578.
- Barnes H. L. (1979). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", John Wiley & Sons, p.420-583.
- Boric R., Holmgren C., Wilson N. S. F., Zentilli M. (2002). "The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile". Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and related deposits: a global perspective (Porter, TM, pp. 163-184.
- Boynton W.V. (1984). "Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. *In*: Rare earth element geochemistry". Henderson, P. (Editors), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 63-114.
- Cabral A. R. and Beaudoin G. (2007) "Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexander, Quebec Appalachina".
- Chil-sup S. Se-jung Ch. Kevin L. Brain, J. (1985) "Copper-Bearing Hydrothermal Vein Deposits in the Gyeongsang Basin, Republic of Korea" Economic Geology., 80, pp 43-56.

- Çiçek M. Oyman T. (2016) "Origin and evolution of hydrothermal fluids in epithermal Pb-Zn-Cu ±Au ± Ag deposits at Koru and Tesbihdere mining districts, Çanakkale, Biga Peninsula, NW Turkey" *Ore Geology Reviews.*, 78, pp 176–195.
- Corral I. Cardellach E. Corbella M. Canals A. Gomez-Gras D. Griera A. Cosca M. (2016) "Cerro Quema (Azuerro Peninsula, Panama): Geology, Alteration, Mineralization, and Geochronology of a Volcanic Dome-Hosted High-Sulfidation Au-Cu Deposit" *Economic Geology.*, 111, pp 287–310.
- Craig J. R and Vaughan D. J. (1981). "Ore Microscopy and Ore Petrography": John Willy, 406 P.
- Craig JR., Vaughan DJ. (1994). "Ore Microscopy and Ore Petrography". 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Ltd. 434 p.
- Edwards C.M.H., Menzies M.A., Thirlwall M.F., Morrid J.D., Leeman W.D., Harmon R.S., (1994). "The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: The Ringgit-Beser Complex, East Indonesia". *Journal of Petrology* 35, 1557-1595.
- Gifkins C. C., Herrmann W., Large, R. R. (2005). "Altered volcanic rocks: A guide to description and interpretation".
- Guilbert H. M. and Park. C. F. (1997) "The geology of ore deposits", W. H. Freeman., pp. 983.
- Haas J. L. (1971) "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure" *Econ. Geology*, 66, 6, pp 940-946.
- Hastie A. R., Kerr A. C., Pearce J. A. & Mitchell S. F. (2007). "Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements": development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*. 48 pp, 2341-2357.
- Haynes D.W., Cross K.C., Bills, R.T., Reed M.H. (1995) "Olympic Dam ore genesis; a fluid-mixing model" *Economic Geology*, 90(2), pp.281-307.
- Helmhacker, R. (1898). "Die nutzbaren tagerstatten Persian". *Z. Park. Geol. V. G*, P: 40.
- Henderson P. (1984). "Rare earth element geochemistry" (No. 550.42 RAR. Hōy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File
- Huber,H., (1957), *Geology of the east Semnan Area* . N.A.O.C. Geology report. unpublished , 40p.

- Hyndman D. W. (1985). "Petrology of Igneous and Metamorphic rocks": Second Editin, Mc Graw Hill Book company, 786p.
- Karimpour M.H., Zaw K., Huston D.L., 2005. S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-oxide Cu-Au-Ag mine, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 16, 153–168.
- Kirkham R. V. (1996). "Volcanic redbed copper. *Geology of Canadian Mineral Deposit*". Types: Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, (8), pp. 241-252.
- Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi, K. I. (2009). "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits". *Resource geology*, 59(1), pp. 87-98.
- Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi, K. I. (2009). "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits". *Resource geology*, 59(1), pp. 87-98.
- Kuno H. (1968) "Origin of andesite and its bearing on the island arc structure. *Bulletin Volcanologique*" 32(1), pp.141-176.
- Kuno, H. (1968). "Differentiation of Basalt Magmas. In: Hess, H.H. and Poldervaart, A., Eds., *Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition*, Interscience Publishers", New York, 623-688.
- Lefebure D.V. Church B. N. (1996) "Volcanic Redbed Cu, in selected British Colombia Mineral Deposit Profiles".
- Lefebure, D.V. and Church, B.N. (1996): Volcanic Redbed Cu, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 - Metallic Deposits, Lefebure, D.V. and Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, pages 5-7.
- Liaghat S., Moore F and Jami, (1999), The Kuh-e-Surmeh mineralization, a carbonate-hosted Zn-Pb deposit in the simply floded belt of the Zagros Mountains, SW Iran. *Mineralium Deposita* 35(1), 772-78.
- Maksaev V., Zentilli, M. (2002). "Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: An overview. Hydrothermal iron oxide copper–gold and related deposits: a global perspective, 2, pp. 185-205.

- Malekzadeh Shafaroudi A. Karimpour M.H. (2015) "Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead–zinc (–copper) deposit, Eastern Iran" *Journal of African Earth Sciences.*, 107, pp 1-14.
- Marshal D., (Lyn) Anglin C. D., and Mumin H. (2004), "Ore Mineral Atlas".107 Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaze.
- McMillan W.J. Panteleyev A. (1988) "Porphyry copper deposits, in Roberts, R.G., and Sheahan, P.A., eds., Ore deposit models" *Geoscience Canada, Reprint Series.*, 3, pp 45-58.
- Mehrabi B., Siani M. G. (2012). "Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu (\pm Ag-Au) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran". *Journal of the Geological Society of India*, 80(4), pp. 563-578.
- Middlemost E. A. (1975). "The basalt clan". *Earth-Science Reviews*, 11(4), pp. 337-364.
- Middlemost E. A. (1994). "Naming materials in the magma/igneous rock system". *Earth-Science Reviews*, 37(3), pp. 215-224.
- Mortensen J.K. Tafti R. (2002) "Nature and origin of copper-gold mineralization at the Minto and Williams Creek deposits, west-central Yukon" *Preliminary investigations, Yukon exploration and geology.*
- Nagudi B., Koeberl C., Klotzli U. (2001). "In: Schumann", A., (Ed.), €
- Nogole-Sadat M.A.A. and Almasian A. (1993). "Tectonic map of Iran", 1:1000,000, treatise on the geology of Iran.
- Olivero E, B and Malumian N. (2008). Mesozoic- Cenozoic stratigraphy of the Fuegian, Andes, Argentina; *Geological Acta*, v. 6. p. 5-18.
- Pearce J.A., Baker P.E., Harvey P.K. and Luff I.W. (1977) "Geochemical evidence for subduction fluxes, mantle melting and fractional crystallization beneath the South Sandwich arc" *Journal of Petrology*, 36, 1073–1109.
- Pearce J.A., Cann J.R. (1973). "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses". *Earth Planet. Sci. Lett.* 19 (2), 290–300.
- Pearce, J., (1996). Sources and setting of granitic rocks, *Episode*, 19, 120-125.

- Pearce J.A. Harris N.B.W. Tindle A.G. (1984) "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks" *Journal of petrology*, 25, pp 956- 983.
- Peccerillo A & Taylor S. R. (1976). "Geochemistry of Eocen calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Piercey S. J. (2011). "The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits". *Mineralium Deposita*, 46(5-6), pp. 449-471.
- Pirajno F. (2009) "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist», Springer pp. 706.
- Ramdohr P. (1969). "The ore minerals and their intergrowths". Pergamon Press.
- Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths, 2nd edn" *International Series in Earth Sciences* 35. Reich M., Deditius A., Chryssoulis S., Li J.W., Ma C.Q.
- Ramirez A And Catherine M. (2006). "Temporal and spatial patterns in stream physicochemistry and insect assemblages in tropical lowland streams", *The North American Benthological Society*, 25(1):108-125.
- Rodder E. (1976). "Fluid inclusions: Reviews in mineralogy". v.12, miner. Soc. Am. Reston, Virginia.
- Roedder E. (1984). "Fluid inclusions" *Reviews in Mineralogy, Mineral Society of America.*, pp 12, 644.
- Rollinson H.R. (1993) "Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation" Longman Scientific and Technical, pp 352.
- Ruiz C., Peebles F. (1971). "Geología, distribución y génesis de los yacimientos metalíferos chilenos". Editorial Universitaria.
- Sawkins F J. (1972) "Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics" *Journal of Geology.*, 80, pp 377-397.
- Shamanian G. H., Hedenquist J. W., Hattori K. H., Hassanzadeh J. (2004). Alborz Magmatic Arc, Semnan Province, Northern Iran. *Economic Geology*, Vol. 99, pp. 691–712.

- Shand S.J. (1943). "Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite" New York: John Wiley and Sons.
- Shepherd T., Rankin A. H and Alderton D. H. M. (1985). "A Practical guide to fluid inclusion studies. Blackie", USA Chapman and Hall New York, 239 p.
- Sourirajan S. and Kennedy G. C. (1962) "The system H₂O-NaCl at elevated temperatures and pressures" Am. Jour. Sci., 260, pp 115-141.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989). "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts": implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) Magmatism in ocean basins: Geol Soc Lond Spec Pub., v. 42, p. 313–345.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1995). "The composition of the Earth", Chemical geology, pp, 223-253.
- Tatsumi Y., Takahashi T. (2006). "Operation of subduction factory and production of andesite". Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 101(3), pp. 145-153.
- Taylor J.F., Repetski J.E., Loch J.D and Leslie S.A., (2011). Biostratigraphy and chronostratigraphy of the Cambrian-Ordovician Great American Carbonate Bank: *in* J.R. Derby, R.D. Fritz, S.A. Longacre, W.A. Morgan, and C.A. Sternbach (eds.), The Great American Carbonate Bank: The geology and economic resources of the Cambrian-Ordovician Sauk megasequence of Laurentia: AAPG Memoir 98, p. 15-35.
- Thompson R. N. (1982). "Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scottish Journal of Geology", 18(1), pp. 49-107.
- Tristán-Aguilera D., Barra F., Ruiz J., Morata D., Talavera-Mendoza O., Kojima S., Ferraris F. (2006). "Re–Os isotope systematics for the Lince–Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile. Mineralium Deposita, 41(1), pp. 99-105.
- Tristán-Aguilera D., Barra F., Ruiz J., Morata D., Talavera-Mendoza O., Kojima S., Ferraris F. (2006). "Re–Os isotope systematics for the Lince–Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile". Mineralium Deposita, 41(1), pp. 99-105.

- Walshe J.L., and Hobbs B. E. (1999). "Hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration". CSIRO Exploration and Mining Research Reviews 30-31.
- Wilkinson J.J. (2001). "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits": *Lithos*, 55, pp. 229-272.
- Wilson M. (1989). "Igneous Petrology: A global tectonic approach" Unwin Hyman Ltd., pp. 46.
- Wilson N. S., Zentilli, M. (2006). "Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile". *International journal of coal geology*, 65(1), pp. 158-169.

Abstract

Qollehchili copper deposit is located in 175 km south of Shahrood at Semnan province, in the northeast part of the Central Iran structural zone. Lithological units in the study area, including; Submarine lava with composition of andesite, andesite-basaltic and dacite, pyroclastic units including; andesitic to basaltic andesite tuff and lithic tuff and monzodiorite. According to the geochemical studies, igneous rocks are of the calc-alkaline nature and metaluminous, and formed in the subduction basins related to the volcanic arc. Argillic, sericitic, epidotic and silicic are most alterations in the region. Based on field evidence, mineralogy and geochemistry, there are two different types of mineralization in the Qollehchili area: 1) mineralized silicic veins that are hosted with monzodiorite masses and andesitic lava. In this mineralization type are observed Chalcopyrite, Pyrite, Galena, and Sphalerite. Hyposion, Chalcocite, Covellite, Malachite, Hematite, Goethite and Limonite. Supersession ore, gangue materials are quartz, Calcite and Clay minerals. The main structure dominant are vein-veinlets and open space-filling, and the texture dominant include vein-veinlets, open space-filling, disseminated, colloform and replacement of this mineralization. Cu, Pb, and zinc amounts are 2.7, 0.27, 0.66, respectively and Au 18 ppb, that copper and lead grades are significant. In the pattern of rare earth elements, the mineralogical veins where the composition of the primary mantle and the chondrite is normalized the LREE / HREE enrichment and the strong negative Eu anomalies. Fluid inclusions micro-thermometry studies upon coexist quartz with vein Mineralization display that the temperature homogenization amounts is 140° to 266 °C (average 143°C). The salinity of ore-forming fluids vary from 0.7 to 10.61 Wt % NaCl (4.9%). Based on temperature homogenization and salinity, Copper mineralization occurred on 4 pressure less than 50 bars and depth about Less than 400 m. 2) Copper mineralization with andesitic rock to andesite-basaltic rocks: The host rocks of this type of mineralization have a red to purple brown color with an andesite to andesite-basaltic composition. Chalcocite and pyrite from Hyposion minerals and colloform, covellite, malachite, azurite, chrysocolla, hematite, goethite and limonite are Supersession minerals and gangue materials are plagioclase, amphibole, clay minerals, quartz and calcite. The main structure dominant are vein-veinlets and open space-filling and the texture dominant include vein-veinlets, open space-filling, disseminated of this mineralization. Copper is the only mineral element and its content is 2.7 %. In the rare earth element pattern, that

normalized to the composition of the primary mantle and the chondrite, there is enriched LREE / HREE and the strong positive Eu anomalies. Based on evidence of geology, mineralogy, geochemistry and fluid inclusions of mineralized silica veins in the Qollehchili region with are similar type of hydrothermal vein and copper mineralization with are similar andesite to andesite-basaltic rock with Volcanic Red Bed.

Keywords: Mineralogy, Geochemistary, Fluid inclusion, Vein copper , Volcanic Red Bed, Qollehchili



Shahrood University Technology

Faculty of Sciences

M.Sc Thesis of Earth Sciences

**Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of the Gollehchili
copper deposit, South of Damghan**

By:

Omolbanin Asadolahnzhad

Supervisor:

Dr. Masoud Alipour Asll

September 2018