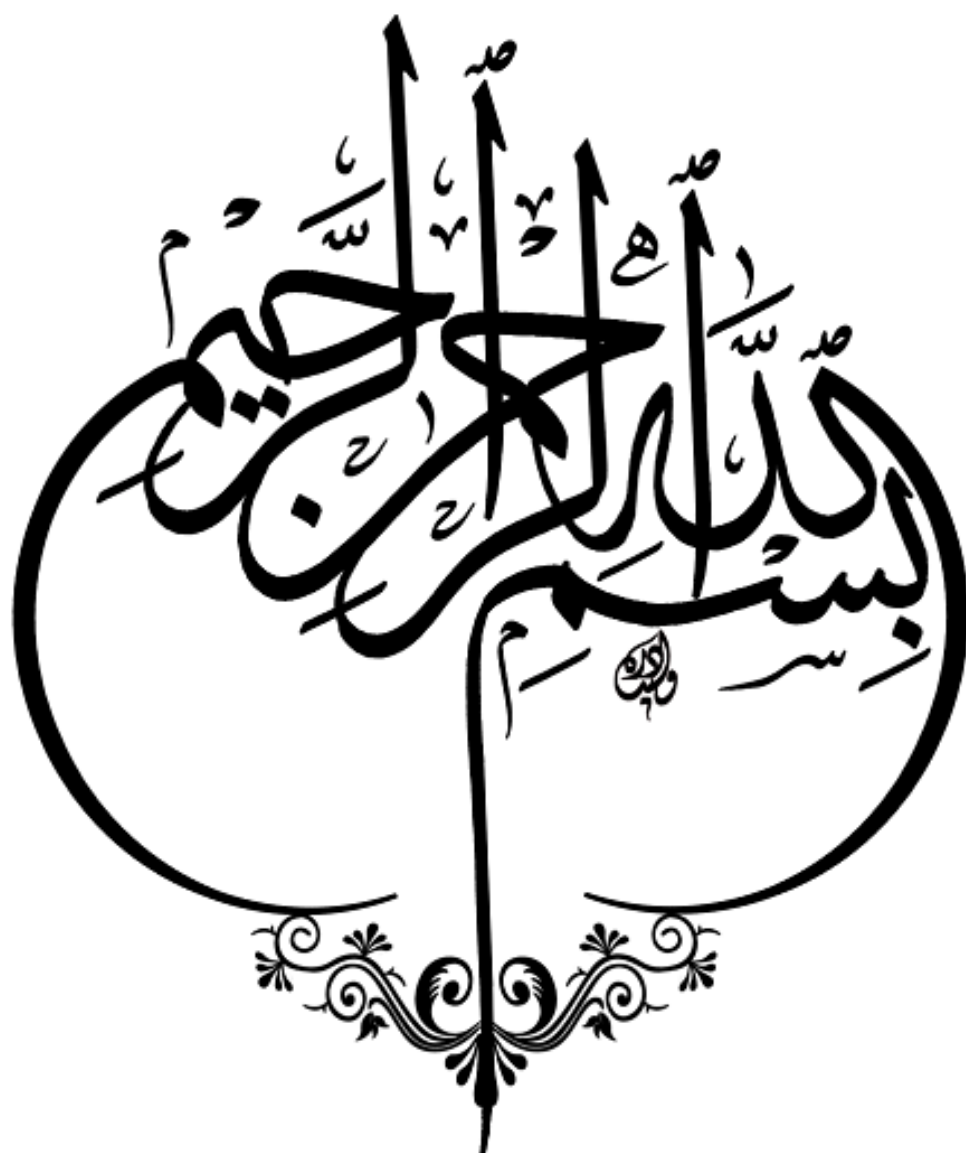






دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل اندیس مس پیرمردان ،

شمال غرب ترود

نگارنده: حمیده سالاری سربزی

استاد راهنما:

دکتر فرج الله فردوست

استاد مشاور:

دکتر محمود صادقیان

بهمن ۱۳۹۹

تقدیم به

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و به همسرم، اسطوره زندگیم، پناه حسیتم و امید بودم

برادرها و خواهرهای عزیزم، همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او

را گزاردن توانند.

سپاس و قدردانی

سپاس و ستایش مخصوص خداوندی است که نعمت بزرگ تعقل و انسانیت را به آدمی ارزانی داشت و همواره انسان را از خوان نعمت‌های بی‌دینش بهره‌مند ساخت. اینجانب در طول تحصیل از رهنمودهای ارزنده و بی‌دینغ افراد بزرگوار و برخوردار بودم که بر خود لازم میدانم از زحمات بی‌شائبه ایشان بازبانی قاصر قدردانی نمایم.

در ابتدا از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر فرج‌الله فردوست که با سه صدر و بزرگواری، اینجانب را مشمول الطاف خود ساختند و تمامی موانع موجود را برایم هموار نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین سپاس از ارشادات ارزشمند استاد بزرگوار مشاور جناب آقای دکتر محمود صادقیان که مراد این راه‌برای نمودند.

در آخر از زحمات دلسوزانه اساتید بزرگوار و محترم گروه زمین‌شناسی به ویژه جناب آقایان دکتر علیپور، دکتر موسوند، دکتر رضایی که همواره از راهنمایی‌های بی‌دینشان بهره‌برده‌ام نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از دوستان و همراهان گرامی خانم راضیه نصیری، نیم نوروزی، الهام رضا زاده، جناب آقایان مهندس رضانعی، اکبر عبدالمی تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از مدیریت محترم شرکت معین کانسار ان‌توس جناب آقای مهندس تبریزی جهت درک و حمایتی که داشتند کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب حمیده سالاری سربزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه اندیس مس پیرمردان، شمال غرب ترود تحت راهنمایی دکتر فرج الله فردوست متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

کانسار مس پیرمردان در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شاهرود در استان سمنان و در شمالی ترین پهنه ساختاری ایران مرکزی در نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین واقع شده است. شکل هندسی و ژئومتری ماده معدنی در این معادن چینه کران و سنگ درون گیر عمده ماده معدنی آندزیت بازالت، آندزیت و پورفیری بازالت با سن ائوسن می باشد. کانه زایی در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر فرایندهای گسلی به صورت رگه- رگچه ای و پرکننده فضای خالی قابل مشاهده است. در این کانسارها کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت سولفیدهای اصلی مس هستند که با مالاکیت همراهی می شوند. ساخت و بافت ماده معدنی به صورت پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچ ای و جانیشینی است. دگرسانی های عمده در این کانسار شامل کربناتی، سیلیسی، سرسیتی، آرژیلیک به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن می باشد. بر اساس ویژگیهای همچون شکل هندسی ماده معدنی، کانه زایی، دگرسانی، ساخت و بافت، کانی شناسی کانسار مس پیرمردان شباهت های زیادی را با کانسارهای تیپ مانتو در دنیا نشان می دهند. رخداد این تیپ کانه زایی مس در منطقه پیرمردان نشانگر اهمیت فرایندهای وابسته به سنگ های آتشفشانی در کانه زایی مس، افزون بر فرایندهای مرتبط با پلوتونیسم مولد کانه زایی است.

کلمات کلیدی: سنگ میزبان، مس پیرمردان، کانه زایی مس، تیپ مانتو، پیرمردان، سمنان، ایران مرکزی

مقالات مستخرج از این پایان نامه:

کانه زایی، ژئوشیمی و ژئو اندیس مس پیرمردان، جنوب شاهرود، سمنان، بیست و سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، آبان ۱۳۹۹.

فهرست

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه ۳
- ۱-۳- شرایط آب و هوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی ۵
- ۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی ۷
- ۱-۵- زمین ریخت شناسی منطقه ۸
- ۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی ۹
- ۱-۷- اهداف و طرح مسئله ۱۱
- ۱-۸- ضرورت انجام تحقیق ۱۲
- ۱-۹- روش مطالعه ۱۳
- ۱-۹-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع ۱۳
- ۱-۹-۲- مطالعات صحرایی ۱۳
- ۱-۹-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی ۱۳
- ۱-۹-۴- مطالعات دفتری ۱۴
- ۱-۱۰- انواع کنسارهای مس ۱۴
- ۱-۱۰-۱- کنسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال ۱۵
- ۱-۱۰-۲- کنسارهای سولفید توده‌ای مس ۱۶
- ۱-۱۰-۳- کنسارهای مس ماگمایی ۱۶
- ۱-۱۰-۴- کنسارهای با میزبان رسوبی ۱۷
- ۱-۱۰-۵- کنسارهای مس تیپ کوبیناوی (تیپ مانتو و آتشفشانی - لایه‌ای سرخ) ۱۸
- ۱-۱۱- انواع تیپ های کانه زایی مس در ایران ۱۹

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

- ۲-۱- مقدمه ۲۲
- ۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری -رسوبی ایران مرکزی ۲۳
- ۲-۳- ویژگی‌های عمومی نوار آتشفشانی - رسوبی طرود- چاه شیرین ۲۴
- ۲-۳-۱- جایگاه تکتونیکی ۲۵
- ۲-۳-۲- گسل خوردگی‌ها و چین‌ها ۲۶
- ۲-۴- چینه‌شناسی ۲۹

۲۹.....	۲-۴-۱- سنوزوئیک
۳۳.....	۲-۴-۲- سنگ‌های نیمه آتشفشانی - توده های نفوذی نیمه ژرف
۳۵.....	۲-۴-۳- دایکها
۳۸.....	۲-۵- زمین شناسی اقتصادی

فصل سوم: زمین‌شناسی و پتروگرافی محدوده معدنی

۴۲.....	۳-۱- مقدمه
۴۲.....	۳-۲- چینه‌شناسی منطقه
۴۳.....	۳-۲-۱- نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ بخش شرقی پیرمردان
۴۵.....	۳-۳-۱- بازالت پورفیری
۴۶.....	۳-۲-۲- بازالت
۴۷.....	۳-۲-۳- آندزیت بازالت
۴۹.....	۳-۲-۴- آندزیت
۵۰.....	۳-۲-۵- لیتیک توف

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۵۲.....	۴-۱- مقدمه
۵۳.....	۴-۲- عوامل مؤثر در کانه‌زایی
۵۴.....	۴-۳- کانه‌زایی در محدوده معدنی پیرمردان
۶۰.....	۴-۳-۱- کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای
۶۲.....	۴-۳-۲- کانه‌زایی برشی و پرکننده فضای خالی
۶۳.....	۴-۴- دگرسانی
۶۳.....	۴-۴-۱- دگرسانی کربناته
۶۴.....	۴-۴-۲- دگرسانی سیلیسی
۶۵.....	۴-۴-۳- دگرسانی سربسیتی
۶۶.....	۴-۴-۴- دگرسانی آرژیلیکی
۶۷.....	۴-۴-۵- دگرسانی کلریتی- هماتیتی
۶۸.....	۴-۴-۶- دگرسانی آلبیتی

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیکی

۷۰.....	۵-۱- مقدمه
۷۰.....	۵-۲- کانی‌های سولفیدی
۷۰.....	۵-۲-۱- کالکوپیریت (CuFeS_2)

۷۱	۵-۲-۲- پیریت (FeS_2)
۷۱	۵-۲-۳- بورنیت (Cu_5FeS_4)
۷۱	۵-۲-۴- کالکوسیت (Cu_2S)
۷۲	۵-۲-۵- کوولیت (CuS)
۷۳	۵-۳- کانی‌های کربناته مس
۷۳	۵-۳-۱- ملاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
۷۴	۵-۳-۲- آزوریت ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$)
۷۴	۵-۴- کانی سیلیکاته مس
۷۴	۵-۴-۱- کریزوکلا ($(\text{Cu, Al})_2\text{H}_2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
۷۴	۵-۵- کانی‌های اکسیدی و هیدرو اکسیدی
۷۴	۵-۵-۱- پیرولوویت
۷۵	۵-۵-۲- مگنتیت Fe_3O_4
۷۵	۵-۵-۳- هماتیت Fe_2O_3
۷۵	۵-۵-۴- گوتیت $\text{FeO} \cdot \text{OH}$
۷۶	۵-۶- کانی‌های باطله
۷۷	۵-۷- بافت کانی‌ها
۷۸	۵-۷-۱- ساخت رگه- رگچه‌ای
۷۸	۵-۷-۲- ساخت برشی و پرکننده فضای خالی
۷۹	۵-۷-۳- بافت دانه‌پراکنده
۷۹	۵-۷-۴- بافت جانشینی
۸۰	۴-۷-۵- بافت شانه ای و شعاعی
۸۱	۵-۸- توالی پاراژنتیک

فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی

۸۴	۶-۱- مقدمه
۸۵	۶-۲- ژئوشیمی محیط سنگ
۸۵	۶-۲-۱- نمونه‌برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ
۸۷	۶-۲-۲- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس عناصر اصلی و کمیاب
۹۰	۶-۲-۳- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های محدوده پیرمردان
۹۱	۶-۲-۴- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین
۹۳	۶-۳- ژئوشیمی محیط کانسنگ
۹۴	۶-۳-۱- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر
۹۵	۶-۳-۲- ژئوشیمی عناصر کمیاب

۳-۳-۶- به‌هنجارسازی عناصر کمیاب خاکی کانسنگ‌های منطقه پیرمردان نسبت به کندریت۹۶
فصل هفتم: مطالعات سیال درگیر

- ۷-۱- مقدمه۱۰۰
۷-۲- انتخاب و آماده‌سازی نمونه برای مطالعات میکروسکوپی۱۰۰
۷-۳- نتایج حاصل از پتروگرافی و مطالعات دماسنجی در مقاطع مورد مطالعه۱۰۱
۷-۴- بررسی و تفسیر داده‌های سیالات درگیر۱۰۴
۷-۴-۱- محاسبه شوری، چگالی، فشار و عمق سیالات درگیر۱۰۶
فصل هشتم: نتیجه‌گیری، تیپ و الگوی تشکیل کانسار و پیشنهادات

- ۸-۱- مقدمه۱۱۰
۸-۲- خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی۱۱۰
۸-۲-۱- زمین‌شناسی۱۱۰
۸-۲-۲- دگرسانی و کانه‌زایی۱۱۱
۸-۲-۳- کانی‌شناسی و ساخت و بافت۱۱۲
۸-۲-۴- ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده کانسار۱۱۳
۸-۲-۵- میانبارهای سیال۱۱۴
۸-۳- مقایسه کانسار مس پیرمردان با انواع کانسارهای مس۱۱۴
۸-۳-۱- مقایسه کانسار مس پیرمردان با تیپ گرمابی رگه‌ای (اپی ترمال)۱۱۴
۸-۳-۲- مقایسه با کانسارهای مس تیپ میشیگان۱۱۵
۸-۳-۳- مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو۱۱۶
۸-۴- الگوی تشکیل کانسار مس پیرمردان۱۱۸
۸-۵- مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسارهای منطقه، ایران و جهان۱۲۰
۸-۶- نتیجه‌گیری کلی۱۲۲
۸-۷- پیشنهادات۱۲۳
منابع۱۲۴
پیوست ها۱۲۹

فصل اول

- شکل ۱-۱: شمایی از محدوده پیرمردان ترود، محدوده مورد مطالعه در شرق منطقه..... ۴
- شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده اکتشافی مس پیرمردان..... ۵
- شکل ۳-۱: تصویر ماهواره‌ای از محدوده اکتشافی و راه دسترسی به آن..... ۵
- شکل ۴-۱: نمایی از پوشش گیاهی گز و طاق در محدوده مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۵-۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث به همراه مورفولوژی منطقه..... ۹
- شکل ۶-۱: نقشه پهنه‌های ساختاری (بر اساس آقناباتی، ۱۳۸۳ و علوی، ۱۹۹۴)..... ۲۰

فصل دوم

- شکل ۱-۲: موقعیت محدوده پیرمردان بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (بر اساس آقناباتی، ۱۳۸۳) (کادر آبی)..... ۲۲
- شکل ۲-۲: موقعیت محدوده اکتشافی پیرمردان بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)..... ۲۳
- شکل ۳-۲: پراکندگی گسل‌های نوار ترود-چاه شیرین و محدوده اکتشافی پیرمردان بر روی تصویر ماهواره- ای استر (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)..... ۲۷
- شکل ۴-۲: نقشه گسل‌های موجود در رشته کوه طرود-چاه شیرین، تهیه‌شده بر اساس نقشه گسل‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ معلمان، محدوده اکتشافی پیرمردان با چندضلعی مشخص شده است..... ۲۸

فصل سوم

- شکل ۱-۳: نقشه ساده زمین‌شناسی- معدنی محدوده معدنی پیرمردان شرقی. (گزارش پایانی عملیات اکتشاف محدوده‌ی اکتشافی پیرمردان شرقی و غربی، ترود-۱۳۹۷)..... ۴۳
- شکل ۳-۸: الف) نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس بخش اکتشافی پیرمردان شرقی، ب) مقطع عرضی از واحدهای سنگی میزبان در منطقه پیرمردان بر اساس بخش الف. (گزارش پایانی عملیات اکتشاف محدوده‌ی اکتشافی پیرمردان شرقی و غربی، ترود-۱۳۹۷)..... ۴۴
- شکل ۲-۳: الف) تجمع کانی پلاژیوکلاز (Pl) و بافت پورفیری، ب) کانی کلینوپروکسن (Cpx) که به کلسیت (Cal) تبدیل شده و تجمع کانی‌های مافیکی و بافت گلومروپورفیری، پ) نمایی از تصویر میکروسکوپی تشکیل کانی کلسیت به صورت ثانویه و پراکنده در متن سنگ. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, ۲۰۱۰)..... ۴۵

شکل ۳-۳: الف) تصویر صحرایی از واحد بازالت در منطقه، ب) نمونه دستی واحد بازالت، پ) تجمع کانی پلاژیوکلاز (Pl) نشان‌دهنده بافت پورفیری و تشکیل کلسیت (Cal)، ت) تبدیل کلینوپروکسن‌ها به کانی فلزی (Opq)، ث) کانی الیوین (Ol) و تبدیل شدن به سرپانتین..... ۴۶

شکل ۳-۴: الف) تصویر صحرایی از نمونه آندزیت بازالت در منطقه، ب) نمونه دستی واحد آندزیت بازالت، پ) کانی پلاژیوکلاز (Pl) دگرسان شده، ت) بافت گلوپروپورفیری از کانی کلینوپروکسن (Cpx) و پلاژیوکلاز، ث) بلورهای گرد و بی‌شکل الیوین (Ol) که تماماً به سرپانتین تبدیل شده‌اند، ج) بلورهای شکل-دار کوارتز (Qz) که در زمینه حالت کلسدونی دارند..... ۴۸

شکل ۳-۵: الف) نمونه دستی از برش هیدروترمالی آندزیت همراه با کانه‌زایی، ب) پلاژیوکلازهای سیلیسی-شده، پ) رگچه‌های کلسیتی و سیلیسی همراه با زئولیت..... ۴۹

شکل ۳-۶: الف) نمایی از کوارتز ثانویه، ب) تصویری از کلسیت در نمونه توف..... ۵۰

فصل چهارم

شکل ۴-۱: تصویری از گسل موجود در منطقه و کانه‌زایی مس در اثر گسل در مرز بین دو واحد..... ۵۴

شکل ۴-۲: الف) نمایی کلی از ترانشه شماره ۱، ب) نمونه‌ای از کانه‌زایی مالاکیت در ترانشه شماره ۱..... ۵۵

شکل ۴-۳: الف) نمایی از ترانشه شماره ۲، ب) تصویری از کانه‌زایی مالاکیت به صورت برشی در بین قطعات سنگ میزبان آندزیت بازالت..... ۵۶

شکل ۴-۴: الف) نمایی کلی از ترانشه شماره ۳، ب) تصویری از کانه‌زایی رگه‌ای مالاکیت در ترانشه شماره ۳، پ) تصویری از کانه‌زایی مالاکیت به صورت برشی، ت) کانی زایی پیروکسیت به صورت پراکنده، ث) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت در ترانشه شماره ۳..... ۵۷

شکل ۴-۵: نمایی از ترانشه شماره ۴ و کانه‌زایی رگه‌ای در امتداد گسل‌های مزدوج به صورت کانه‌زایی مالاکیت در منطقه..... ۵۷

شکل ۴-۶: الف) نمونه‌ای از مغزه‌های حفاری در محدوده پیرمردان، ب) نمایی شماتیک از لاگ لیتولوژی گمانه‌های ۸ و ۱۱ در منطقه پیرمردان (راهنمای شکل مشابه جدول ۴-۲ است)..... ۶۰

شکل ۴-۷: الف) تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های مالاکیتی، ب) تصویر میکروسکوپی از رگه مالاکیتی به همراه کالکوسیت، پ) کانه‌زایی رگه - رگچه‌ای..... ۶۱

شکل ۴-۸: الف و ب) تصاویری از رگه - رگچه‌های برشی مالاکیت در سنگ میزبان پورفیری بازالت و آندزیت بازالت..... ۶۲

شکل ۴-۹: الف) در سنگ‌هایی با تخلخل و نفوذپذیری کم کلسیت در حضور سیالات غنی از CO_2 جانشین کانی‌های کلسیم‌دار (پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، زئولیت و اپیدوت) و شیشه‌های آتشفشانی می‌شود، ب) پیروکسن-ها دچار دگرسانی شده‌اند و قالب آن‌ها توسط کلسیت پر شده است و شکل کاذب یا دروغین نشان می‌دهند. ۶۴ شکل ۴-۱۰: دگرسانی سیلیسی در منطقه پیرمردان به همراه دگرسانی کربناته به صورت رگه..... ۶۴ شکل ۴-۱۱: الف و ب) نمایی از تجزیه شدید پلاژیوکلازها به سریسیت..... ۶۵ شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی سریسیتی و میزان بالایی از کانی‌های کوارتز، آلپیت، موسکوویت، کلسیت، کلریت، پتاسیم‌فلدسپار (سانیدین)، هماتیت است..... ۶۶ شکل ۴-۱۳: نمایی از دگرسانی آرژیلیکی در منطقه پیرمردان..... ۶۷ شکل ۴-۱۴: نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک و میزان بالایی از کانی‌های کوارتز، موسکوویت، ایلیت، کلسیت، هماتیت است..... ۶۷ شکل ۴-۱۸: تصویری از نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی آلپیتی در منطقه می‌باشد..... ۶۸

فصل پنجم

شکل ۵-۱: الف) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت (Ccp) به صورت دانه‌ریز، ب) نمونه‌ای از کانی پیریت (Py) در منطقه، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت (ت) نمونه کانه کالکوسیت (Cct) که از اطراف به کوولیت (Cv) تبدیل شده است..... ۷۲ شکل ۵-۲: کانی کوولیت (Cv) که به صورت جانشینی در اطراف کالکوسیت (Cct) قرار گرفته است..... ۷۳ شکل ۵-۳: الف) نمونه دستی از رگچه‌های مالاکیت در منطقه ب) تصویر میکروسکوپی از رگچه مالاکیت..... ۷۳ شکل ۵-۴: الف) نمونه دستی از کانی‌های کریزوکلا (Chry)، مالاکیت (Mal) و آزوریت (Azo)، ب) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی کانی کریزوکلا در کنار مالاکیت (Mal)..... ۷۴ شکل ۵-۶: الف-تصویر مقطع صیقلی کانی مگنتیت (Mt) در حال تبدیل به هماتیت ب-عکس میکروسکوپی رگه-رگچه‌ای و تیغه‌ای کانی هماتیت (Hem) و کانی‌های ثانویه سولفیدی (کوولیت) و اکسیدی (مالاکیت) مس، پ) تصویری از کانی گوتیت (Goth) به همراه مالاکیت و کالکوپیریت..... ۷۶ شکل ۵-۷: الف) تصویری از کانی کلسیت (Cal) در منطقه، ب) نمونه دستی از کانی باریت پ) نمایی از رگچه‌های کوارتز (Qz) و کربنات (Cb)..... ۷۷ شکل ۵-۸: ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای در محدوده اکتشافی پیرمردان بورنیت (brn) مالاکیت (mal)..... ۷۸ شکل ۵-۱۰: بافت دانه پراکنده معرف حضور دانه‌های پراکنده کالکوسیت (Cc) در زمینه سنگ میزبان..... ۷۹

شکل ۵-۱۱: بافت جانیشینی حاصل تجزیه کالکوسیت و تشکیل کوولیت و مالاکیت در حاشیه (مالاکیت mal، کوولیت COV)..... ۸۰

شکل ۵-۱۲: الف: بافت شعاعی در کانی زئولیت (zeo) کربنات (cb)، ب: بافت شانه‌ای در کوارتز (Qtz).... ۸۱

فصل ششم

شکل ۶-۱: الف) طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost, ۱۹۹۴)، ب) تصویری از رگه- رگچه‌های سیلیسی آغشته به آهن..... ۸۹

شکل ۶-۲: الف) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Cox et al, ۱۹۷۹)، ب) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار (Le bas et al., ۱۹۸۶)..... ۸۹
شکل ۶-۳: موقعیت قرارگیری نمونه‌های سنگی محدوده بر روی نمودار، (pearce (۱۹۹۶)..... ۹۰

شکل ۶-۴: تعیین سری ماگمایی سنگ‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای: الف) AFM (Irvin and Baragar, ۱۹۷۱) و ب) نمودار ارائه‌شده (Hastie et al, ۲۰۰۷)..... ۹۱

شکل ۶-۵: تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودار (Pearce, ۲۰۰۸)..... ۹۲
شکل ۶-۶: موقعیت نمونه‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار سه‌تایی $Zr/^{117}Th-Nb/^{16}$ ۹۳

شکل ۶-۷: نمودار به‌هنگار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., ۱۹۹۵)..... ۹۶

شکل ۶-۸: الگوی به‌هنگار شده عناصر کمیاب خاکی نسبت به کندریت (Boynton, ۱۹۸۴)..... ۹۸
شکل ۶-۹: نمودار عناصر کمیاب خاکی سبک به کندریت (Thompson, ۱۹۸۲) نرمالیزه شده‌اند..... ۹۸

فصل هفتم

شکل ۷-۴: الف) تصویر نمونه دستی از رگه سیلیسی، ب) سیالات درگیر اولیه (P) و ثانویه (S)، پ) سیالات درگیر اولیه P و تک‌فازی‌های مایع L..... ۱۰۲

شکل ۷-۵: الف) نمونه‌ی دستی از رگه‌های سیلیسی، ب) سیالات درگیر اولیه (P) و فازهای مایع (L) و گاز (V) سیالات درگیر اولیه..... ۱۰۳

شکل ۷-۶: نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر در منطقه اکتشافی مس پیرمردان..... ۱۰۵
شکل ۷-۷: هیستوگرام فراوانی کلی دماهای اوتکتیک سیالات درگیر منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۶

شکل ۷-۸: هیستوگرام فراوانی کلی شوری سیال‌های درگیر منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۷
شکل ۷-۹: نمودار تعیین چگالی سیالات درگیر بر حسب دمای همگن شدن و شوری، براساس نمودار تعیین چگالی (Brown, ۱۹۸۹)..... ۱۰۸

شکل ۷-۱۰: شکل ۷-۶: تعیین فشار بخار براساس دمای همگن شدن و میزان شور (Ramdohr, ۱۹۸۰) ... ۱۰۸

فصل هشتم

شکل ۸-۱: الگوی احتمالی و شماتیک کانه‌زایی در کانسار مس پیرمردان..... ۱۲۰

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل اول

- جدول ۱-۱: مختصات رئوس چندضلعی محدوده اکتشافی..... ۴
- جدول ۲-۱: مشخصات مهم انواع کانسارهای مس جهان بر اساس طبقه‌بندی کسلر (۱۹۹۴)..... ۱۵

فصل چهارم

- جدول ۱-۴: مشخصات ترانسه‌های حفر شده در محدوده پیرمردان..... ۵۴
- جدول ۲-۴: مشخصات جغرافیایی و عمقی گمانه‌ها در محدوده معدنی پیرمردان، به همراه مشخصات جغرافیایی و عمقی گمانه‌های ۸ و ۱۱..... ۵۹

فصل پنجم

- جدول ۱-۵: توالی پاراژنزی کانی‌های تشکیل دهنده کانسار پیرمردان..... ۸۲
- جدول ۱-۶: مقادیر اکسید عناصر اصلی (%) در ۵ نمونه‌ی سنگ به روش XRF..... ۸۵
- جدول ۲-۶: مقادیر عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۸ نمونه‌ی سنگ به روش ICP-OES/MS..... ۸۵

فصل ششم

- جدول ۳-۶: مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسون بر پایه‌ی لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی عناصر در ۸ نمونه محدوده پیرمردان..... ۹۴

فصل هفتم

- جدول ۱-۷: نتایج آنالیزهای دماسنجی، تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های منطقه پیرمردان..... ۱۰۳
- جدول ۲-۷: دماهای اوتکتیک ارائه شده برای سیستمهای نمک‌دار متفاوت..... ۱۰۶

فصل هشتم

- جدول ۱-۸: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار گرمابی رگه‌ای..... ۱۱۵
- جدول ۲-۸: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار نوع میشیگان..... ۱۱۶

جدول ۸-۳: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار نوع مانتو..... ۱۱۷

جدول ۶-۴: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس پیرمردان شرقی، مس پیرمردان غربی، ابری، عباس آباد و کشکوئیه ۱۲۰

جدول ۶-۵: مقایسه کانسار مس پیرمردان با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در شیلی..... ۱۲۲

فصل اول: کلیات

کانسار مس پیرمردان در استان سمنان و در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شهر شاهرود و ۲۱ کیلومتری غرب روستای ترود است. این منطقه در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و رشته کوه آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین واقع شده است. توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن رخنمون‌های سنگی این محدوده را تشکیل می‌دهد، که شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب غالب آندزیت و آندزیت بازالت و توده‌های نفوذی با ترکیب غالب دیوریتی بوده و میزبان کانسارهای متعددی است. سنگ میزبان کانه‌زایی در منطقه مس پیرمردان تشکیل شده از بازالت- پورفیری غیردگرسان و گدازه‌های آندزیت بازالتی، سنگ‌های آذرآواری مثل توف و سنگ آگلومرا به همراه سنگ‌های رسوبی از جمله شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک (با گسترش کم) که شدیداً دگرسان شده- اند. کانی‌سازی در منطقه پیرمردان بیشتر از نوع رگه-رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی می‌باشند. دگرسانی‌های موجود در منطقه دگرسانی‌های کربناته، سیلیسی، سرسیتی، آرژیلیکی، کلریتی -هماتیتی، آلبیتی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. کانی‌های سولفیدی شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت، کانی‌های کربناتی شامل مالاکیت و آزوریت، کانی‌های سیلیکاته شامل کریزوکلا، کانی- های اکسیدی شامل پیرولولوزیت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت بوده و کانی‌های باطله‌ها کلسیت، باریت و کوارتز می‌باشند. ساخت و بافت‌های غالب از نوع رگه-رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده، شانه‌ای، شعاعی و جانیشینی است. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه در محدوده سنگ‌های آندزیت تا آندزیت-بازالت قرار گرفته و از نظر موقعیت زمین‌ساختی در محیط‌های مربوط به کمان‌های آتشفشانی مرتبط با فرورانش قرار می‌گیرد. براساس مطالعات میانبارهای سیال میانگین دمایی تشکیل همگن شدن سیال در منطقه 211°C می‌باشد. محدوده شوری در منطقه ۱۶/۵ تا ۲۱/۱۱ درصد وزنی است. چگالی سیالات درگیر نمونه‌های بررسی‌شده در کانی‌های کوارتز چگالی ۰/۹ گرم بر سانتی متر معادل نمک‌طعام را نشان می‌دهند. در نهایت با توجه به مطالعات صورت گرفته و مقایسه کانسار مس پیرمردان با انواع کانسارهای مشابه در ایران و جهان می‌توان بیان کرد که کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه بیشترین شباهت را با انواع کانسارهای تیپ مانتو را دارد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

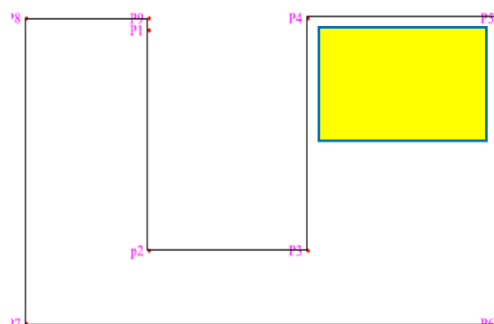
محدوده اکتشافی در قالب هشت ضلعی نامنظم است که مختصات رئوس آن در جدول (۱-۱) و شمایی از آن در شکل (۱-۱) ارائه شده است. این محدوده در نقشه چهارگوش زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵) قرار دارد. بیشترین محدوده دارای پتانسیل در شرق منطقه مورد مطالعه واقع شده است، که مطالعات و بررسی‌ها، بیشتر در بخش شرقی منطقه صورت گرفته است.

محدوده اکتشافی مس پیرمردان ترود در فاصله هوایی ۱۱۰ کیلومتری جنوب شاهرود واقع در شرق استان سمنان است. راه دسترسی به محدوده از طریق جاده آسفalte ترود- معلمان در حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب شهر شاهرود و ۲۱ کیلومتری غرب روستای ترود است. در شکل (۱-۲)، موقعیت محدوده به صورت علامت ستاره مشخص شده است.

طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			راس چند ضلعی
ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه	
۲۶.۶	۴۶	۵۴	۵.۱	۲۷	۳۵	P ₁
۲۶.۶	۴۶	۵۴	۵۹.۱	۲۵	۳۵	P ₂
۳۸.۴	۴۷	۵۴	۵۹.۱	۲۵	۳۵	P ₃
۳۸.۵	۴۷	۵۴	۱۰	۲۷	۳۵	P ₄
۱	۴۹	۵۴	۱۰	۲۷	۳۵	P ₅
۱	۴۹	۵۴	۴۰	۲۵	۳۵	P ₆
۳۵	۴۵	۵۴	۴۰	۲۵	۳۵	P ₇

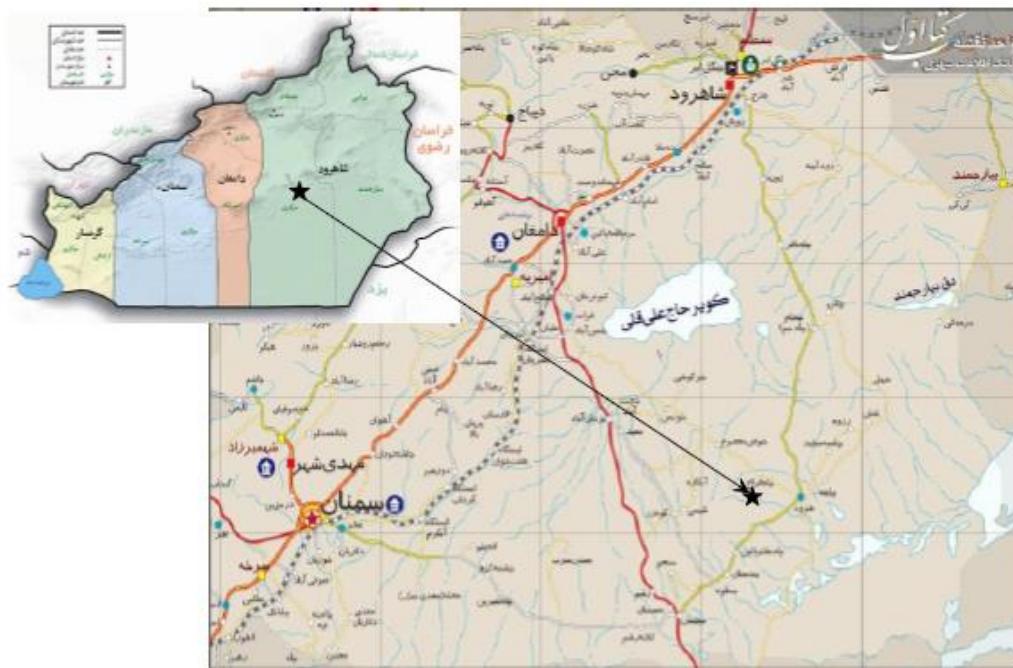
۳۵	۴۵	۵۴	۱۰	۲۷	۳۵	P_8
۲۶.۶	۴۶	۵۴	۱۰	۲۵	۳۵	P_9

جدول ۱-۱: مختصات رئوس چندضلعی محدوده اکتشافی.

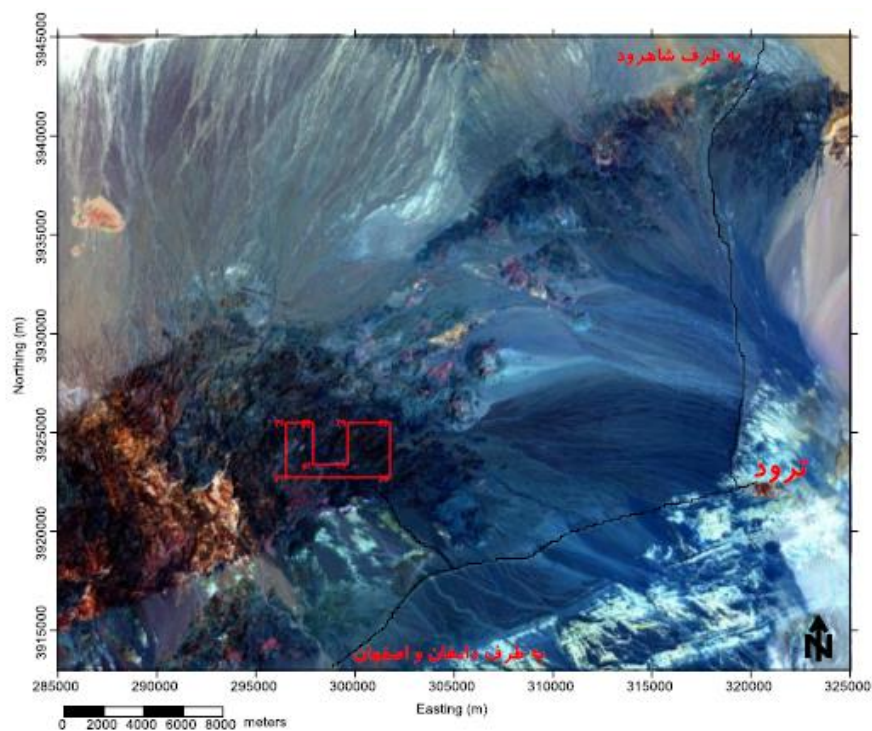


شکل ۱-۱: شمایی از محدوده پیرمردان ترود، محدوده مورد مطالعه در شرق منطقه.

نزدیکترین روستا در غرب تا جنوب غرب محدوده اکتشافی روستای کوچک سرتخت در جوار امامزاده پیرمردان است. معروفترین آبادی در حوالی این محدوده روستای ترود است که در فاصله تقریبی ۲۱ کیلومتری شرق آن واقع شده است. همان طور که در شکل (۱-۳)، مشاهده می شود، این محدوده در حدود کیلومتر ۱۶ جاده ترود- معلمان قرار دارد و از طریق جاده خاکی امامزاده پیرمردان به سمت شمال تغییر مسیر داده و پس از طی حدود ۵ کیلومتر به بخش جنوبی محدوده قابل دسترسی است. به طور کلی به دو صورت یکی از طریق شاهرود-ترود به سمت معلمان و دیگری سمنان-دامغان-معلمان به سمت ترود میتوان به محدوده دسترسی داشت.



شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده اکتشافی مس پیرمردان



شکل ۱-۳: تصویر ماهواره ای از محدوده اکتشافی و راه دسترسی به آن.

۳-۱- شرایط آب و هوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی

این منطقه یک قسمت کوچکی در حاشیه شمالی نواحی بیابانی و کویری ایران مرکزی است. در بخش جنوب ناحیه مورد مطالعه دشتی با شیبی متوسط دیده می‌شود. در این منطقه از شمال به ارتفاع تپه‌ها و کوه‌ها افزوده می‌شود و محدوده مورد نظر در بخش‌های کوهستانی درون مجموعه از سنگ‌های آتشفشانی به جنس آندزیت تا بازالت واقع است. آب و هوای در زمستان‌ها بسیار سرد و خشک و در تابستان‌ها گرما و حرارت تحت تاثیر از کویر بر منطقه است. خشکسالی در سالیان اخیر و تأثیر جریانات هوایی پهنه کویری جنوب باعث کاهش بارش‌های جوی به خصوص بارش برف در زمستان شده است. که این افزایش دما، کاهش دبی آب چشمه‌ها، عدم وجود رودخانه‌های دائمی و ناپایداری سبزی پوشش گیاهی و در نواحی مورد بحث به وقوع پیوسته است. در این محدوده حداقل دما ۱۵-، حداکثر دما ۴۵ همچنین میانگین بارش سالیانه کمتر از حدوداً ۱۰۰ میلی متر است. میانگین رطوبت نسبی هوا در سال بین ۳۰-۵۴ درصد تغییر می‌کند (سالنامه هواشناسی، ۱۳۸۱)، معمولاً در یک الی دو ماه از فصل زمستان به جهت بارندگی برف و برودت هوا، امکان ادامه فعالیت معدنکاری نیست و همچنین راه‌های مواصلاتی معدن در فصل سرما و بارندگی با مشکل مواجه شده و رفت و آمد ترانزیت ها را سخت می‌کند. با توجه به شرایط آب و هوایی حاکم بر منطقه تقریباً می‌توان در تمام سال به ویژه از اسفند تا آخر خرداد ماه و از اواخر شهریور تا اواخر فصل پاییز به فعالیت معدنکاری پرداخت. پوشش گیاهی محدوده شامل بوته های کوتاه قد با تراکم متوسط و ندرتاً بصورت پراکنده درختچه های گز و طاق نیز در منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴: نمایی از پوشش گیاهی گز و طاق در محدوده مورد مطالعه.

۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی

وضعیت اقتصادی و معیشتی مردم عمدتاً شغل دامداری سنتی است که در ییلاق های محل انجام می شود. شتر و شترداری یکی از مشاغل این منطقه است، به خاطر وجود شرایط لازم قابلیت تبدیل شدن به پرورش صنعتی و ایجاد مشاغل زیاد و درآمدهای پایدار را هم دارد. در بخش داخل روستا اغلب مردم به بافندگی قالیچه و فرش مشغول هستند. پرجمعیت ترین منطقه مسکونی در نزدیکی مس پیرمردان دهستان ترود با جمعیتی در حدود ۳۵۰۰ نفر می باشد که اغلب به شغل دامداری، کشاورزی و قالی بافی اشتغال دارند. خرما، انار و انجیر از جمله تولیدات زراعی این منطقه است.

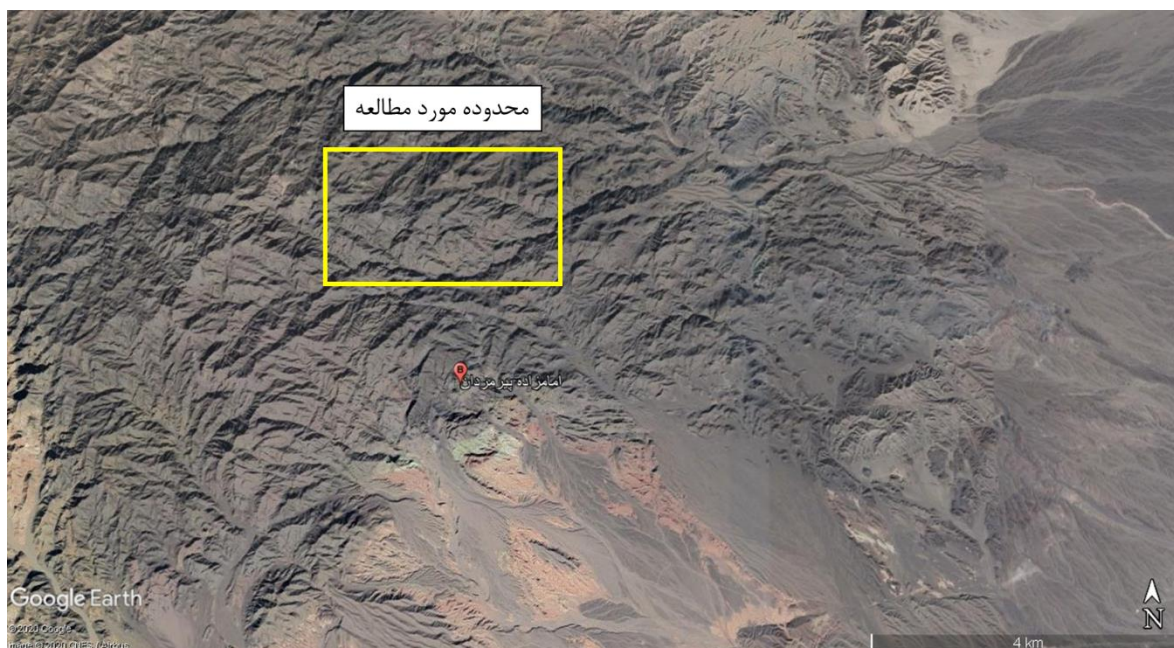
کل منطقه به جهت صنعتی کاملاً محروم و فاقد هرگونه فعالیت صنعتی و کشاورزی جدی و چشمگیری می باشد و از لحاظ امکانات رفاهی و موقعیت صنعتی جزء محرومترین مناطق استان می باشد. قرار گرفتن منطقه در حاشیه کویر و کمبود نزولات جوی و نامناسب بودن شرایط برای کشاورزی، باعث مهاجرت روستائیان به شهرها و کاهش جمعیت در این روستاها شده است. وجود معادن زیاد در منطقه امکان اشتغال تعدادی از مردم منطقه را به فعالیت معدنکاری محیا نموده است و مسلماً اکتشاف و فعال سازی مناطق امید بخش معدنکاری نقش مهمی در اشتغالزایی و جلوگیری از مهاجرت مردم بومی منطقه به شهرها را دارد.

۱-۵- زمین ریخت شناسی منطقه

سیمای متنوعی بر محدود و نواحی همجوار آن حاکم است. در جنوب گستره‌ی دشت کویر خودنمایی می‌کند. بلندترین نقطه این ارتفاعات از سطح دریا ۱۲۸۵ متر و کمترین تراز ارتفاعی ۱۰۱۵ متر است. از قسمت‌های جنوب به تپه ماهورهای کم ارتفاع و از شمال تا شمال شرقی به ارتفاعات منتهی می‌شود. ارتفاع و شیب کم دامنه کوه‌های منطقه متعاقباً باعث ایجاد دره‌هایی با بستر مسطح و دیواره‌های باز شده است. و نمای مقطع آن به شکل V باز است. روند کلی دره‌ها و آبراهه‌ها محصور در میان کوه‌ها اکثراً شمالی- جنوبی است که البته پیچ خوردگی‌هایی در راستای این روند دیده می‌شود.

محدوده مورد مطالعه در شمال غربی نوار ترود- چاه شیرین قرار گرفته است. این نوار با روند شمال شرقی- جنوب غربی تحت تاثیر دو گسل اصلی ترود و انجیلو به صورت برجسته مابین دو دشت کویری در شمال و جنوب واقع شده است. شکل (۱-۳ و ۱-۵)، موقعیت منطقه را بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد.

ناحیه ترود از نظر ساختمانی در زمره مناطق فعال و پویا در ایران مرکزی به شمار می‌رود که گسل‌های موجود در آن اصلی‌ترین ساختارهای تکتونیکی را تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی سه دسته گسل برای این محدوده شناخته شده است که شامل: گسل انجیلو، عطاری و سمنان است. گسل انجیلو در منطقه ترود در شرق سمنان و جنوب غربی دامغان با روند شمال شرقی- جنوب غربی کشیده شده است و باعث شده که وضعیت زمین‌شناسی در شمال و جنوب آن یکدیگر متفاوت باشد. گسل عطاری در منطقه جام با روند شمال شرقی- جنوب غربی و به موازات گسل انجیلو قرار دارد. هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) با مطالعه خش لغزها، به این نکته پی برده‌اند که حرکات این گسل‌ها دارای دو مولفه است: ۱- مولفه افقی که در گسل ترود چپ‌گرد و در گسل انجیلو راست‌گرد است، ۲- مولفه عمودی که سبب تمایل ۳۰ تا ۵۰ درجه‌ای خش لغزها شده و این کمربند را به صورت یک فرازمین بالا آورده است.



شکل ۱-۵: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث به همراه مورفولوژی منطقه.

۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

به دلیل اهمیت زمین‌شناسی و اقتصادی کمر بند ترود-چاه شیرین مطالعات زیادی روی این کمر بند انجام شده است، که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود.

- علوی و هوشمندزاده (۱۳۵۷)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود را تهیه نموده‌اند، که می‌تواند مبنایی برای چینه‌شناسی، لیتولوژی، سنی و ساختاری این مطالعات باشد.
- پور حسینی (۱۳۶۲)، ضمن مطالعه سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی ایران، احتمال ارتباط توده‌های نفوذی منطقه ترود با فازهای ماگمایی ائوسن پسین- الیگوسن را بحث نمود.
- امام جمعه (۱۳۸۵)، کانی‌سازی مس در منطقه چاه‌موسی را مطالعه کرده و تیپ کانی‌سازی را از نوع رگه‌ای گرمابی معرفی کردند.
- خادمی (۱۳۸۶)، ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده و تکوین ژئودینامیک منطقه ترود را در یک سیمای ساختار اصلی، یعنی گسل امتداد لغز ترود با روند شمال شرقی-جنوب غربی عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری این منطقه می‌داند.

- قربانی (۱۳۸۸)، ولکانیسم ائوسن در منطقه ترود، جنوب دامغان، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- شاه‌حسینی و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه خود تحت عنوان اسکارن‌زایی و متاسوماتیسم در منطقه نوکه بیان می‌کنند که در محل تماس بین توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریت، مونزوگرانیت و گرانیت با سنگ‌آهک‌های کرتاسه و ولکانی کلاستیکها و توف‌آهکی ائوسن، کانه‌زایی آهن صورت گرفته است. به نظر وی، جایگاه زمین‌ساختاری ماگماتیسم منطقه، حوضه پشت‌کمانی است که در مراحل اولیه تکامل خود قرار داشته و از این‌رو خصوصیات ماگمای قوس و سری سنگی کالک آلکالن را نشان می‌دهند.
- صالحی نسب (۱۳۹۳)، کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسار مس بندقیچی در منطقه ترود جنوب شاهرود طی مقاله‌ای بررسی نموده است.
- ناهیدی فر (۱۳۹۳)، در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد کانی شناسی - ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان را مطالعه نموده و به عنوان مس رگه‌ای معرفی نموده است.
- طائفی و همکاران (۱۳۹۳)، پایان نامه تحت عنوان بررسی ژنز کانه‌زایی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود مورد مطالعه قرار گرفته است.
- ناظمی و قطب تحریری (۱۳۹۴)، طی پژوهشی پتروگرافی، کانی شناسی و تاثیر عوامل دگرگونی در سنگهای منطقه ترود را مورد مطالعه قرار داده اند.
- عبداللهی (۱۳۹۵)، در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد کانسار مس و آهن رباعی را مطالعه نموده و این کانسار را یک کانسار گرمابی رگه‌ای معرفی نموده است.
- بخت‌آور (۱۳۹۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان شیمی کانی و سازوکار جایگزین توده آذرین نیمه عمیق کوه سوخته (شمال غرب ترود- جنوب شاهرود) با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) مورد بررسی قرار گرفته است.
- خرم تاش (۱۳۹۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

- مهابادی (۱۳۹۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس آبگاره، جنوب دامغان، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.
- مسکینی (۱۳۹۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی، الگوی تشکیل کانسار مس قیصری، جنوب دامغان مورد مطالعه قرار گرفته است.
- سرنخشی (۱۳۹۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کلوت بلند، جنوب دامغان، مورد بررسی قرار گرفته است.
- اصغری (۱۳۹۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس چاه گبری، جنوب دامغان مورد بررسی قرار گرفته است.
- ابراهیمی (۱۳۹۸)، در مقاله علمی پژوهشی کانی‌سازی سیالات درگیر مس پیرمردان جنوب غرب شاهرود را از نوع مانتو معرفی کرده است.

۱-۷- اهداف و طرح مسئله

شناسایی و مطالعه دقیق پتانسیل‌های معدنی کشور بدلیل نیاز روزافزون هر جامعه به مواد معدنی ضرورت دارد، مخصوصاً در استان سمنان که نوار متالوژنی ترود-چاه‌شیرین با سابقه فعالیت‌های معدنکاری از زمان بسیار قدیم بصورت شدادی در آن واقع شده است.

نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین به دلیل گسترش فعالیت آتشفشانی و نفوذی از جنبه اکتشاف مواد معدنی فلزی و غیرفلزی دارای پتانسیل قابل توجهی می‌باشد. این نوار در بخش شمالی پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. مواد معدنی مختلفی از جمله آهن، منگنز، مس، سرب، روی، طلا، باریت، بنتونیت، سیلیس، فیروزه و..... در این نوار شناسایی و مورد بهره برداری قرارگرفته‌اند، ولی مس بطور شاخص در این نوار پتانسیل نشان می‌دهند.

محدوده اکتشافی مس پیرمردان در ۱۵ کیلومتری شمال غرب ترود (جنوب شاهرود) واقع در مختصات جغرافیایی $54^{\circ}48'12''$ تا $54^{\circ}48'59''$ طول شرقی و $35^{\circ}26'31''$ تا $35^{\circ}27'10''$ عرض شمالی واقع شده

است. دسترسی به محدوده مورد نظر از ۲۱ کیلومتری جاده ترود-معلمان با طی حدود ۵ کیلومتر جاده خاکی به سمت شمال امکان پذیر می باشد.

سنگهای دربرگیرنده اندیس مس پیرمردان بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود و ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان را تشکیل می دهد. سنگ های میزبان کانه زایی شامل آندزیت، بازالت و سنگ های آذرآواری (توف و آگلومرا) هستند (شکل ۳). کانه زایی مس بصورت کانیه های سولفیدی (کالکوسیت و کوولین) و کربناته (مالاکیت) بصورت شکافه پرکن داخل شکستگی های سنگ میزبان تشکیل شده است. تاکنون تنها یک گزارش اکتشافی مقدماتی درخصوص محدوده اکتشافی نوشته شده است. به دلیل اهمیت مطالعات زمین شناسی اقتصادی در اکتشاف مواد معدنی، در این تحقیق سعی می شود با استفاده از مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی، خصوصیات کانی شناسی، سنگ شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی سنگ های میزبان و کانسنگ مورد بررسی قرار گیرد.

سؤالاتی که در این پایان نامه باید به آنها پاسخ داده شود به صورت زیر است:

- ۱- رابطه کانه زایی با سنگ های میزبان آنها چگونه است؟
- ۲- کانی شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی کانیه ها در این اندیس معدنی چگونه است؟
- ۳- ویژگی های ژئوشیمیایی و پهنه بندی فلزی این اندیس معدنی چگونه است؟
- ۴- پهنه بندی دگرسانی و ضخامت آنها در پیرامون این اندیس مس به چه صورت است؟
- ۵- الگوی تشکیل کانه زایی چگونه است؟
- ۶- مقایسه تیپ کانه زایی مس پیرمردان با موارد مشابه در ایران و جهان

۸-۱- ضرورت انجام تحقیق

برنامه های چشم گیر جایگزین کردن مواد معدنی و فرآورده های آن بجای نفت در کشور اهمیت اکتشاف مواد معدنی را دو چندان می کند. لذا مواد معدنی مختلف نقش بسیار مهمی در صنعت دارند. مطالعات زمین شناسی مهمترین قدم در اکتشاف مواد معدنی می باشد، زیرا براساس این مطالعات و تعیین ژنز کانسارها، شکل کانسار و ارتباط کانه زایی

با سنگ‌های میزبان و همچنین ساختارهای منطقه می‌تواند یک کلید اکتشافی برای پی‌جویی مواد معدنی در منطقه یا تعقیب آن در مناطق مجاور و حتی در مناطق مشابه در سایر نقاط کشور باشد.

مطالعه دقیق در مناطق دارای پتانسیل معدنی لازمه عملیات پی‌جویی و اکتشاف مواد معدنی محسوب می‌شود. با توجه به اینکه نوار آتشفشانی تروودچاه‌شیرین دارای پتانسیل قابل توجه از ذخایر فلزی و غیرفلزی می‌باشد که محدوده مس پیرمردان یکی از این پتانسل‌ها است که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

۹-۱- روش مطالعه

مراحل انجام تحقیق و مجموعه مطالعات صورت گرفته به شرح زیر است:

۹-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

- تهیه و مطالعات کتب و مقالات مطرح در زمینه موضوع پایان‌نامه.
- استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تروود، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی به منظور یافتن دید کلی نسبت به منطقه.
- برقراری ارتباط با زمین‌شناسان صاحب نظر به منظور دستیابی به منابع به روز.

۹-۱-۲- مطالعات صحرایی

- مطالعات صحرایی و بازدید از منطقه در چند مرحله به شرح زیر صورت گرفته است:
- بازدیدهای مقدماتی به منظور دستیابی به اطلاعات اولیه و کلی.
- شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی و انجام نمونه برداری از واحدهای مختلف.
- تهیه نقشه زمین‌شناسی
- بازدید نهایی از منطقه به منظور کنترل نتایج به دست آمده.

۹-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- تهیه و مطالعه تعداد ۳۰ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی.

-تهیه و مطالعه تعداد ۲۴ مقطع صیقلی از نمونه‌های کانسنگ جهت مطالعات کانی‌شناسی، بافت و توالی پاراژنتیکی کانه‌ها و سنگ درونگیر.

-انجام تجزیه دستگاهی تعداد ۶ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور تعیین کانه‌های اصلی و فرعی.

-انجام تجزیه دستگاهی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) بر روی تعداد ۵ نمونه جهت تعیین اکسیدهای اصلی و بررسی ژئوشیمی سنگ می‌باشد.

-انجام تجزیه دستگاهی ICP-Mass بر روی ۸ نمونه سنگی به منظور تعیین دقیق عیار عناصر مختلف و چگونگی تغییرات آنها در کانسار و همچنین نامگذاری دقیق سنگهای میزبان استفاده شده است.

۱-۹-۴- مطالعات دفتری

-مطالعه پایان نامه‌ها، مقالات و کتب مرتبط با موضوع تحقیق.

-ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه راه‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS.

-تلفیق نتایج حاصل از داده‌ها و نتیجه‌گیری.

-تدوین و نگارش پایان‌نامه.

۱-۱۰-۱- انواع کانسارهای مس

کانسارهای مس را می‌توان براساس خاستگاه آن‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. از جمله این تقسیم‌بندی‌ها، تقسیم بندی کسلر (Kesler, ۱۹۹۴) بر اساس خصوصیات ژنتیکی می‌باشد که بر این اساس کانسارهای مس را به ۵ گروه اصلی تقسیم نموده است که مشخصات آن‌ها در جدول (۱-۲) نشان داده شده است. این کانسارها از نظر محیط تشکیل زمین ساختی، نوع سنگ دربرگیرنده، هندسه ماده معدنی، نحوه تشکیل، عیار و ذخیره با یکدیگر تفاوت دارند.

جدول ۱-۲: مشخصات مهم انواع کانسارهای مس جهان بر اساس طبقه‌بندی کسلر (۱۹۹۴).

نوع کانسار	نحوه تشکیل	کانی های متشکله	عیار مس
کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال	تحت تاثیر تزریق توده‌های نفوذی و سیالات هیدروترمالی ایجاد شده اند	کوارتز و کالکوپیریت	۱ - ۰/۴
کانسارهای مس سولفید توده ای	به صورت لنزهایی از سولفید توده ای پلی متال در نزدیکی کف دریا در محیط های ولکانیکی- زیردریایی از سیالات هیدروترمالی غنی از فلزات تشکیل می شوند	پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و بورنیت	۵-۳
کانسارهای مس ماگمایی	تحت تاثیر فرایندهای مربوط به تکامل ماگما مانند تبلور و جدایش ثقلی ایجاد شده اند	پیروتیت، کالکوپیریت، پنتلاندیت، بورنیت، کوپریت، پیریت و مگنتیت	۲-۱
کانسارهای مس با میزبان رسوبی	تحت تاثیر فرایندهای رسوبی- دیاژنزی و در مواردی اپی ژنتیک به صورت چینّه سان و چینّه کران در واحدهای رسوبی میزبان ایجاد می شوند	هماتیت، مس طبیعی، کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت	۵-۱/۸
کانسارهای مس تیپ کوبناوی (تیپ مانتو و ولکانیک رد بد)	در اثر دگرگونی درجه پایین گدازه های بازالتی مس و سایر عناصر آزاد و درون حفرات سنگ های بازالتی قرار می گیرند	مس طبیعی، کالکوسیت، کوپریت، ملاکیت و آزوریت	۴

۱-۱۰-۱- کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال

مجموعه کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال یعنی سیستم‌های پورفیری، اسکارنی و رگه‌های حاوی کانه‌های مس‌دار را شامل می‌شود.

کانسارهای پورفیری از جمله شناخته شده‌ترین ذخایر هیدروترمال هستند که به واسطه همراهی با توده‌های آذرین درونی دارای بافت پورفیری به این نام معروف شده اند. 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 فضاها 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.

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، بوجود آورده‌اند. 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، هیدبرژیت 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.

۱-۱۰-۲ - کانسارهای سولفید توده‌ای مس

این کانسارها به شکل توده‌ای و یا داربستی بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوپیریت، اسفالریت، گالن می‌باشد. عیار معدن کاری در این کانسارها ۴-۶٪ می‌باشد. این تیپ کانسارها خود به روش‌های مختلفی به دسته‌های متعددی از کانسارها که یکی از کاربردی‌ترین این روش‌ها دسته‌بندی آن‌ها براساس سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی است که به چند دسته متفاوت تقسیم می‌شوند و هر یک شرایط تشکیل و محیط تکتونیکی متفاوتی دارند. این دسته‌ها شامل قبرسی، بتورست، کوروکو، نوراندا و بشی هستند (Franklin, ۲۰۰۷; Gally et al, ۲۰۰۹; Mosier et al, ۱۹۹۶). براساس دسته‌بندی دیگر کانسارهای سولفید توده‌ای به پنج دسته سیلیسی کلاستیک فلسیک، بایمودال فلسیک، بایمودال مافیک، پلیتیک مافیک و مافیک الترامافیک تقسیم می‌شوند (Franklin et al., ۲۰۰۵).

۱-۱۰-۳ - کانسارهای مس ماگمایی

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، گابرو دیوریت 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 بین ۱ تا ۲ و گاهی تا ۴۰ یا ۵۰ متر می‌رسد. ماده معدنی هم به صورت سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک دیده کانسارها پیروتیت، کالکوپیریت و پنتلاندیت کانی‌های اصلی هستند. کانی‌های فرعی نیز شامل مگنتیت، پیریت، بورنیت، نیکولیت، میلریت، ویولاریت، اسپرلیت و کوپریت می‌باشند. اولیوین، پلاژیورکلاز و پیروکسن به همراه گارنت، اپیدوت، سرپانتین، اکتینولیت، تالک، کلریت و کربنات‌ها کانی‌های غیرفلزی این کانسارها را می‌سازند.

۱۰-۴- کانسارهای با میزبان رسوبی

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 شده است. کانسارهای مس با میزبان رسوبی عمدتاً چینه‌سان یا چینه‌کران بوده و همراه با رسوبات آواری یا آواری کربناته تشکیل شده و منشا 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، وایت پاین در امریکا، ادوکان در شوروی سابق، دریاچه اسپار در آمریکا و کروکرو در بولیوی مهمترین کانسارهای مس استراتی باند -استراتی فرم رسوبی دنیا می‌باشند. این کانسارها به شکل لایه‌ای بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوسیت، می‌باشد.

۱-۱۰-۵- کانسارهای مس تیپ کویناوی (تیپ مانتو و آتشفشانی لایه‌ای سرخ)

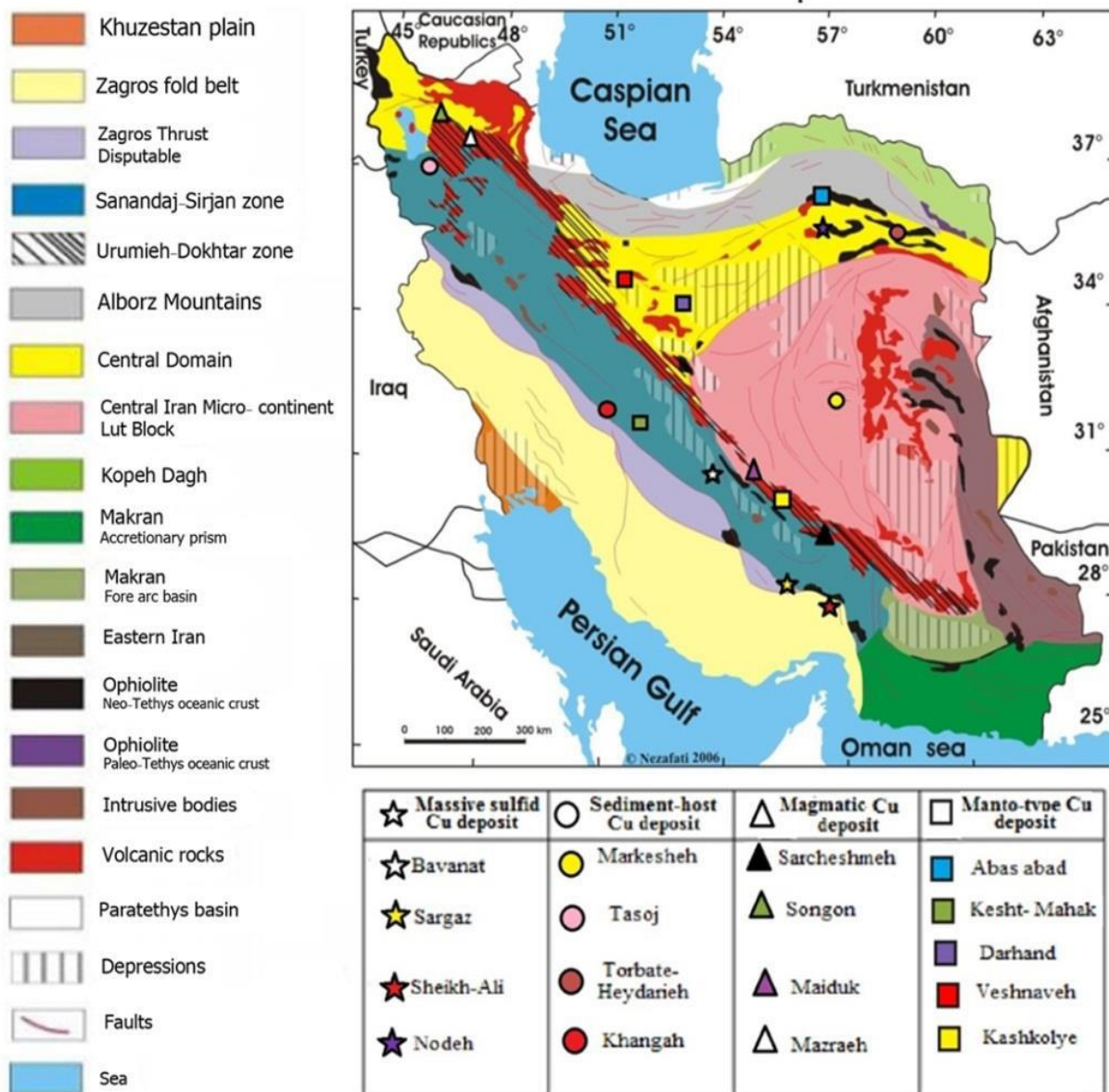
کانسارهای مس نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان، بازالتی نیز معروف می‌باشند، در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) به وفور یافت می‌شوند. در این کانسارها مس طبیعی کانی اصلی است و به طور فرعی کالکوسیت Cu_2S و دیژنیت $Cu_{1.8}S$ نیز حضور دارند که در هر دو نسبت فلز به گوگرد بالا است. ذخیره مس با مقداری نقره است که این موضوع نشان‌گر 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، پرکننده حفرات و انتشاری در آندزیت‌های کالک آلکالن یافت می‌شوند را کانسارهای مس نوع آندزیتی می‌نامند. این کانسارها را عده‌ای معادل بیرونی کانسارهای مس پورفیری می‌دانند.

واژه نوع مانتو (Manto type) واژه‌ای است که اولین بار در شیلی (Ruiz et., ۱۹۷۱) 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، کمربند فلززائی مهمی را ایجاد می‌کنند (Kojima et., ۲۰۰۹; Wilson & Zentilli, ۲۰۰۶). این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای IOCG، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به‌شمار می‌آیند (Trista- Aguilera et., ۲۰۰۶). 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, ۱۹۹۶). 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., ۲۰۰۲). 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, ۲۰۰۲). سنگ درونگیر این ذخایر، سنگ‌های

آتشفشانی آندزیتی و بازالتی با ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا تولئیت به رنگ خاکستری تیره تا سبز است. این سنگ در محیط کشتی مرتبط با فرورانش آند و حوضه‌های پشت کمانی تشکیل شده‌اند (Trista-Aguilera et al., ۲۰۰۶). بافت غالب این سنگ‌ها بافت پورفیریک، آفانتیک، بادامکی و برشی است (Oliveros et al., ۲۰۰۶). میانگین دامن‌های 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., ۲۰۰۸). دامن‌های تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ (Kojima et al., ۲۰۰۸) تا ۶۲ درصد وزنی نمک طعام (Ramirez et al., ۲۰۰۶) گزارش شده است.

۱۱-۱- انواع تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران

مهم‌ترین کانسارهای مس شناخته شده در ایران، کانسارهای پورفیری و اسکارنی هستند که برخی از این کانسارها مانند سرچشمه، میدوک و سونگون شهرت جهانی دارند. از دیگر تیپ کانسارهای مس در ایران کانسارهای سولفید توده‌ای، کانسارهای گروه میشیگان یا کوپناوی و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند شکل (۶-۱) تنها گروه کانساری که در ایران تاکنون شناسایی نشده است، کانسارهای مس ماگمایی است.

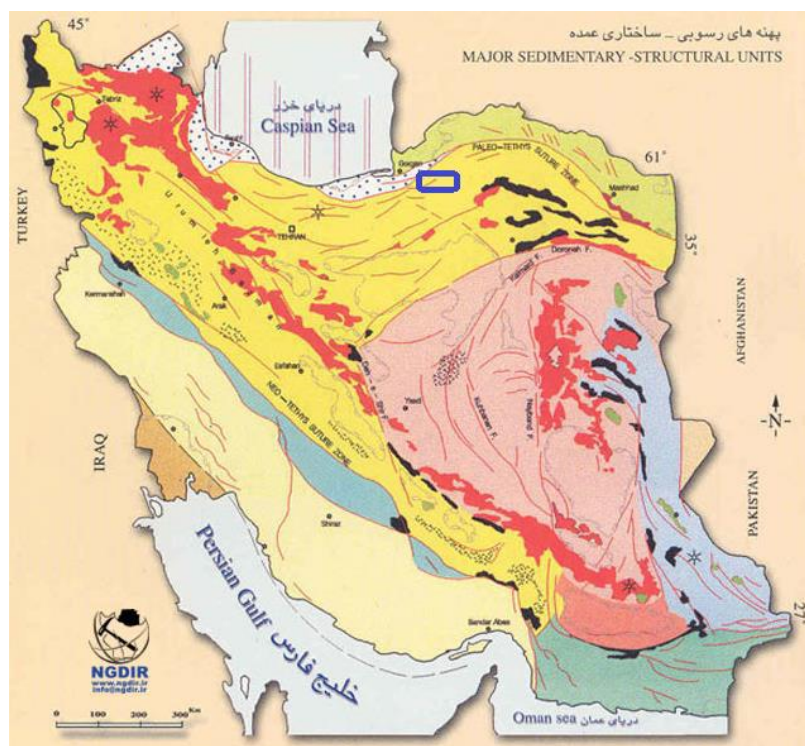


شکل ۱-۶: نقشه پهنه‌های ساختاری (بر اساس آقناباتی، ۱۳۸۳ و علوی، ۱۹۹۴).

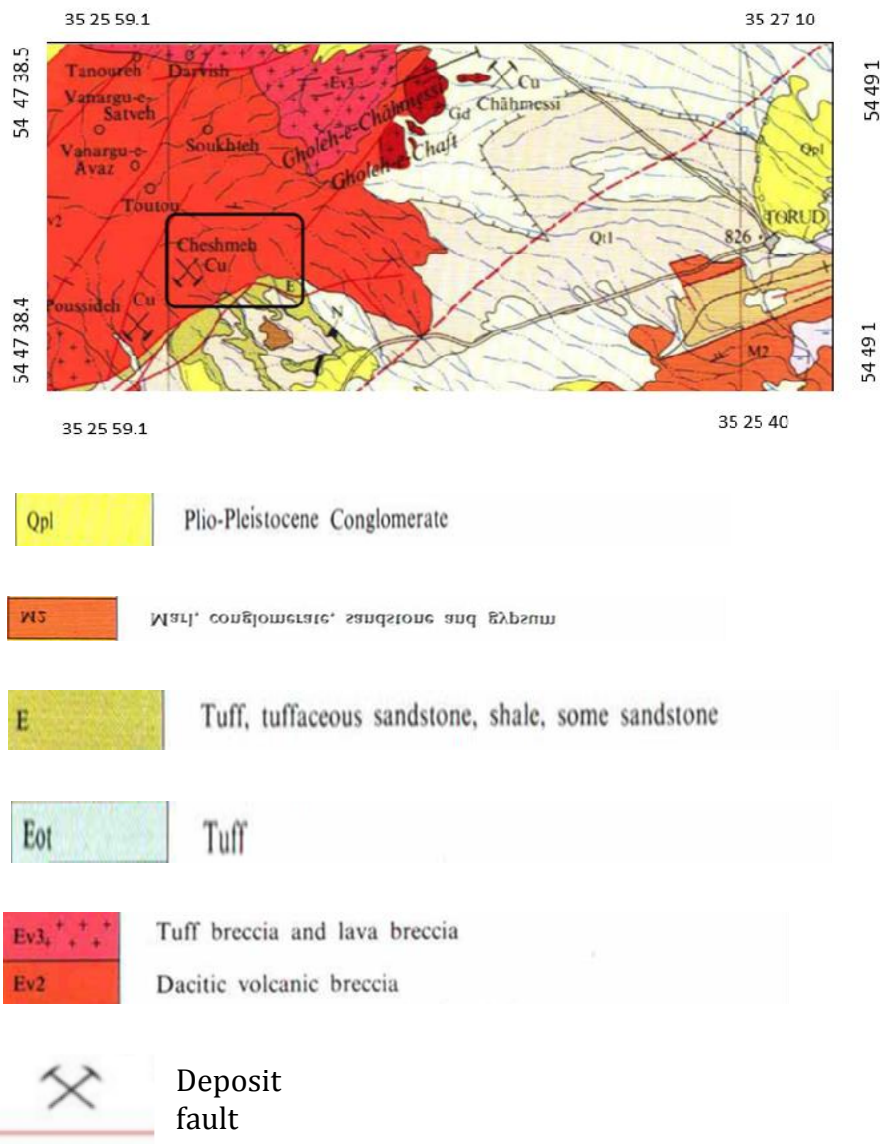
فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه ای

۱-۲- مقدمه

ایران را می‌توان یک پل ارتباطی بین گندوانا و لورازیا، در طی تکامل و تحول ژئوتکتونیک سپری شده بر این دو ابرقاره؛ دستخوش تغییرات فراوان شده است. تأثیرات حاصل از این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به پنج پهنه اصلی و دوازده پهنه فرعی ساختاری - رسوبی است (آقانباتی، ۱۳۸۳). محدوده اکتشافی مس پیرمردان در حدود ۱۵ کیلومتری غرب ترود و ۱ کیلومتری شمال روستای پیرمردان در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و رشته کوه آتشفشانی - رسوبی طرود - چاه شیرین واقع شده است که نام دیگر این منطقه چشم تاجی می‌باشد (شکل ۱-۲). این رشته کوه با توجه به تنوع واحدهای تکتونیک، سنگ‌شناسی و سرگذشتی که از پرکامبرین تا عهد حاضر به‌طور تقریباً مستمر گذرانده است، می‌توان شاهد فرایندهای مختلف متالوژنی و در نتیجه کانی‌زایی‌های گوناگون در مقیاس‌های مختلف بود. منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود را شامل می‌شود (شکل ۲-۲). ویژگی‌های پهنه ساختاری ایران مرکزی در مقیاس ناحیه‌ای و رشته کوه آتشفشانی - رسوبی طرود - چاه شیرین براساس این نقشه شرح داده می‌شود.



شکل ۱-۲: موقعیت محدوده پیرمردان بر روی نقشه پهنه بندی ساختاری - رسوبی ایران (بر اساس آقانباتی، ۱۳۸۳) (کادر آبی).



۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری -رسوبی ایران مرکزی

رشته کوه‌های البرز و از سمت جنوب و جنوب غرب به رشته کوه‌های سنندج- سیرجان و از سمت شرق به بلوک لوت و یک حالت مثلثی از خود نشان می‌دهد (اشتوکلین، ۱۹۶۸، نبوی، ۱۳۵۵).

بنا به نظر اشتوکلین فاز کوهزایی آلپی با چین خوردگی اصلی ایران مرکزی مرتبط می‌باشد: شامل ۵ فاز چین خوردگی آلپی در تریاس- لیاس، اوایل کرتاسه، اواسط و اواخر دوران سنوزوئیک در این منطقه قرار دارند.

چین خوردگی‌ها در آن روند یکنواخت ندارد، اینگونه که در شمال روند شرقی - غربی دارد. در شرق موازی با بلوک لوت (شمال- جنوبی) و در جنوب غرب به موازات منطقه سنندج - سیرجان (شمال غربی - جنوب شرقی) دیده می‌شود. ایران مرکزی در بخش میانی دارای شکستگی‌های زیادی با جهات مختلف دارد که نسبت به یکدیگر حرکاتی دارند که این به خاطر بالا آمدگی و فرورفتگی در حوضه درست شده‌اند.

خرد قاره ایران مرکزی در گذشته بیان می‌شد که بخشی از توده میانی ایران مرکزی میدانستند ولی با گفته اشتوکلین (۱۹۶۸)، بعد از سخت شدن پی سنگ پرکامبرین، بخش خرد قاره ایران مرکزی در زمان پالئوزویک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان‌های مزوزویک و سنوزویک به منطقه‌ای پرتحرک تبدیل شده است.

۲-۳- ویژگی‌های عمومی نوار آتشفشانی- رسوبی طرود- چاه شیرین

بخش شمال پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی، نوار آتشفشانی- رسوبی طرود- چاه شیرین وجود دارد که در اثر فرایندهای ماگماتیسم ترشیری در این بخش ایجاد شده است.

مجموعه ماگمایی طرود- چاه شیرین دارای گسترش نسبتاً کمی در این ناحیه می‌باشد که بیشتر اتفاقات متاسوماتیسم، ماگماتیسم، ولکانیسم، چین خوردگی، ناپیوستگی و پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی را در خود دارا می‌باشد. عمدتاً سنگ‌های آتشفشانی دارای ترکیب آندزیت و آندزیت بازالت و توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریتی در نوار طرود- چاه شیرین، میزبان کنسارهای مختلف مخصوصاً از نوع رگه‌ای از جمله فلزات پایه و طلا است (فرد و همکاران، ۱۳۸۰).

جایگاه تکتونیکی

همانطور که بیان شد نوار آتشفشانی طرود- چاه شیرین جزئی از پهنه ایران مرکزی می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳)،

که به همراه ماگماتیسزم مرکزی (Nogole Sadat, ۱۹۹۳)، کمان ماگمایی البرز (Shamanian et al., ۲۰۰۴) و یا کمان ماگمایی جدا شده از ارومیه دختر به وسیله کشیدگی میان کمانی (Hassanzadeh et al., ۲۰۰۲) از بخش پهنه ایران مرکزی تعریف شده است. کمان آتشفشانی طرود-چاه شیرین در شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل طرود با روند N۷۰ E ختم می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

این بخش را می‌توان به دو حوضه کوچکتر تقسیم بندی کرد شامل: ۱- بخش جنوبی ورقه در محدوده حوضه رسوبی جندق، ۲- بخش شمالی رشته کوه طرود-چاه شیرین. مرز بین دو بخش یاد شده توسط گسل ترود تقسیم بندی شده است. منطقه جندق یک حوضه فرو افتاده است که دریای میوسن آن را دربر گرفته است و رسوبات کم عمق دارای ضخامت زیاد با مارن، ماسه‌سنگ، نمک و گچ آن را دربر گرفته است. رشته کوه طرود - چاه شیرین در کل می‌توان گفت دارای روند شرق-شمال شرقی - غرب- جنوب غربی می‌باشد که در حاشیه فرورفتگی کویر جندق قرار گرفته است. رشته کوه طرود - چاه شیرین از لحاظ تکتونیکی بیشتر پدیده‌ها و پیآمدهای ناشی از حرکات تاریخی شامل متامورفیسزم، وجود سنگ‌های نفوذی و ولکانیکی و همچنین چین‌خوردگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و سایر پدیده‌ها را نشان می‌دهد. واحدهای سنگی قدیمی در غرب ورقه (منطقه رشم)، مجموعه سنگ‌ها از انواع شیست، سنگ‌های اولترامافیک، سنگ دیوریت، سنگ‌های سیلیس متامورف و لیستونیت تشکیل شده‌اند که برخی از بخش-های آن مربوط به پوسته اقیانوسی می‌باشد. رسوبات مربوط به کرتاسه زیرین به طور پراکنده در غرب منطقه و نواحی چاه شیرین قابل مشاهده است که به طور دگرشیب سنگ‌های دگرگونی ناحیه را دربر گرفته است. واحدهای ولکانیکی - رسوبی ترشیر با دگرشیبی بر روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر قرار گرفته که بیانگر حرکات لارامید می‌باشد. در اواخر ائوسن خروج گدازه‌های ولکانیکی پایان پذیرفته و در الیگوسن نیز این فعالیت از سر گرفته شده است. بخشی از فعالیت‌های ولکانیکی به صورت دایک و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق کوچکی در منطقه دیده می‌شود. در پایان زمان الیگوسن حوضه دریائی کم‌عمق جندق شکل گرفته است و ضخامت زیادی از رسوبات شبه مولاس مارنی، ماسه‌سنگی، گچی و نمکی در میوسن باقی مانده است. این نهشته‌های در نهایت، در آلپ پسین میوسن تحت تأثیر قرار گرفته و ساختمان‌های مختلف آنتی کلینالی و سنکلینالی جنوب ورقه را تشکیل داده‌اند (جعفریان، ۱۳۸۰).

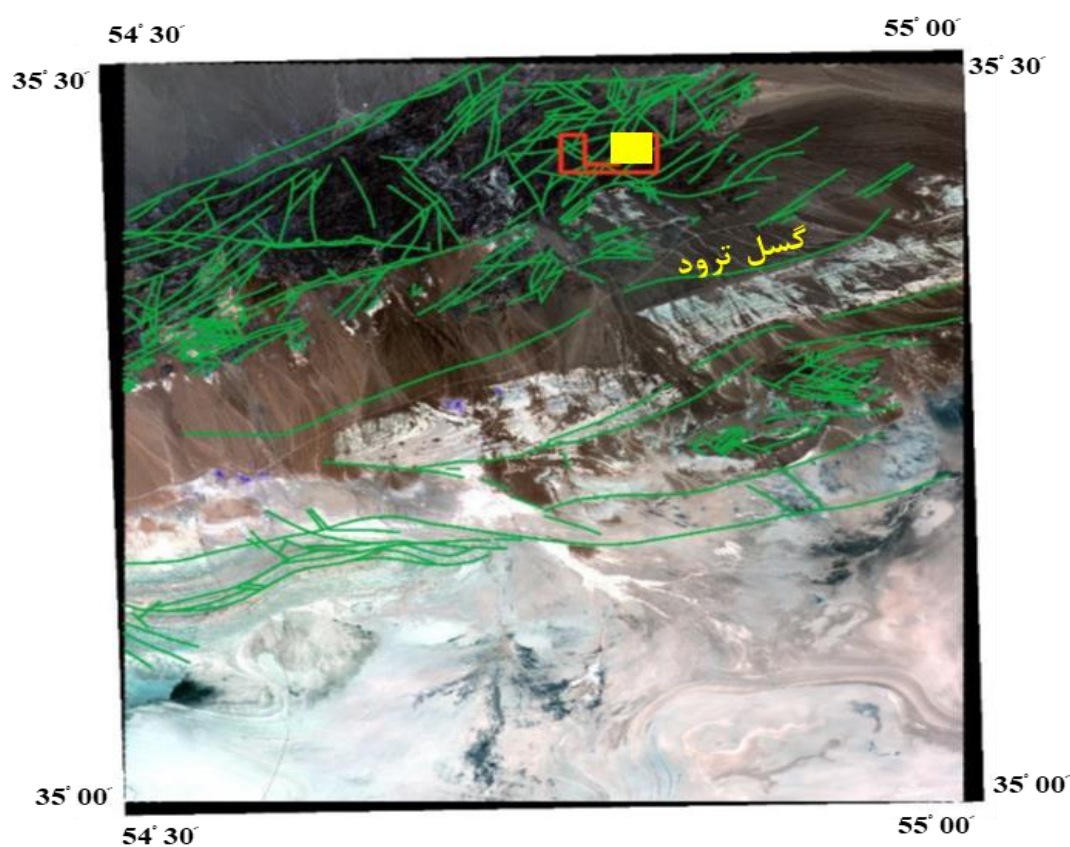
۲-۳-۱- گسل خوردگی‌ها و چین خوردگی‌ها

نوار طرود- چاه‌شیرین با توجه به فرایندهای تکتونیکی فراوان در منطقه دارای گسل‌ها و چین خوردگی فراوان می‌باشد. روند واحدهای سنگی این نوار با توجه به اینکه بخشی از رشته ایران مرکزی است نشان دهنده روندی شرقی- غربی در منطقه است. با توجه به اینکه، این بخش همانگونه که بیان شد از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که بین گسل‌های ترود و انجیلو واقع شده است. گسل انجیلو در شمال ناحیه و گسل ترود در بخش جنوبی واقع شده‌اند. یکی از عوامل موثر در تغییر شکل‌های ناحیه مربوط به همین دو گسل قدیمی می‌باشد. همچنین چین خوردگی‌ها در این نوار از روند گسل‌ها تبعیت می‌کنند که گسل‌ها به صورت امتداد لغز این راندگی‌ها را بوجود آورده‌اند. همانطور که در بخش‌های قبلی بیان شده سنگ‌های منطقه در فاصله بین این دو گسل بزرگ انجیلو و ترود قرار گرفته‌اند که عملکرد این گسل‌ها باعث بوجود آمدن یک منطقه Transtension در آن شده است که در نتیجه آن چین خوردگی‌ها و گسل‌های رانده با روندی نزدیک به عمود نسبت به این گسل‌های اصلی و قدیمی پدید آمده اند. به عقیده برخی از پژوهشگران تغییر در روند گسل‌ها را در اثر چرخش بلوک بین دو گسل قدیمی ترود و انجیلو می‌دانند و به حرکت چپ‌گرد این دو گسل در چند مرحله مرتبط می‌دانند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). فرایندهای آغازین این دو گسل کماکان به درستی مشخص نیست احتمالاً به کامبرین ربط داده شده است. ولی فعالیت این دو گسل که باعث بوجود آمدن چرخش در آن‌ها شده می‌توان گفت مربوط به زمانی بعد از لیاس و پیش از کرتاسه بیان کرد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

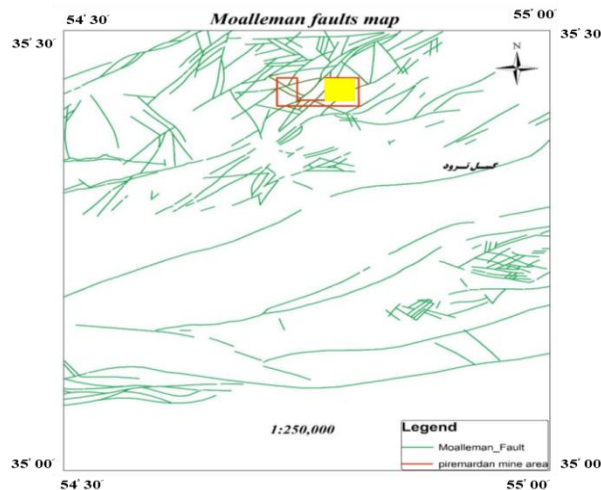
۲-۳-۲- گسل‌ها

نوار طرود- چاه‌شیرین از لحاظ تکتونیکی دارای فعالیت‌های تکتونیکی نسبتاً فعالی می‌باشد که دارای گسل‌های متعددی در این رشته کوه است. (زراسوندی و همکاران، ۱۳۸۹) (شکل ۲-۳ و ۲-۴). گسل‌ها در یک ناحیه نشان دهنده برخی از فرایندهای و فاکتورهای کنترل کننده کانی‌زائی می‌تواند باشد. برخی از گسل‌های موجود در این رشته کوه شامل گسل ترود- انجیلو که دارای امتداد تقریبی $N 60^{\circ}-70^{\circ}E$ و با شیب ۵۵ درجه به سمت جنوب شرقی غالباً امتداد لغز چپ‌گرد است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). گسل سرکویر که به موازات گسل‌های بزرگ ترود است عمدتاً در بخش‌های جنوبی معلمان و توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. گسل باغو که در شمال

منطقه با راستای 90°E - 70°N دارای طولی حدود ۲۰ کیلومتر در ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان دیده می‌شود. گسل رشم - پیرمردان، این گسل نیز می‌توان گفت دارای راستائی تقریباً موازی با گسل اصلی ترود می‌باشد و از غرب ورقه (نزدیکی روستای رشم- تا امامزاده پیرمردان) و از سمت شرق آن گسترش پیدا کرده. علاوه بر گسل‌های بیان شده تعدادی نیز از گسل‌های فرعی در منطقه دیده می‌شوند که نهشته‌های کرتاسه و ائوسن را جابجا کرده از جمله آن‌ها می‌توان به گسل‌های چالو، گندی، چشمه بیل‌بن، گسل شمال و شمال باختری آب پشک، گسل سیاه پشته و گسل دره حسن امروزه اشاره کرد.



شکل ۲-۳: پراکندگی گسل‌های نوار ترود-چاه شیرین و محدوده اکتشافی پیرمردان بر روی تصویر ماهواره‌ای استر(هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).



شکل ۲-۴: نقشه گسل‌های موجود در رشته کوه طرود-چاه شیرین، تهیه شده براساس نقشه گسل‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ معلمان، محدوده اکتشافی پیرمردان با چند ضلعی مشخص شده است.

۲-۲-۳-۲- چین خوردگی‌ها

همانطور که گفته شد فرایندهای تکتونیکی در این منطقه زیاد بوده است، در ادامه برخی از ناودیس و تاقدیس‌های ناحیه ای معرفی می شود (درویش‌زاده، ۱۳۸۵، علایی طالقانی، ۱۳۸۴، زمردیان، ۱۳۸۳).

برخی از ناودیس‌های منطقه شامل: ناودیس بیلین که یکی از بزرگترین ساختمان تکتونیکی در واحدهای سنگی دگرگونه پالئوزوئیک تا لیاس می‌باشد که بخش وسیعی از نقشه را در بر گرفته است. رودخانه بیلین در مسیر محور این ناودیس قرار گرفته است با روندی شمالی- جنوبی و سازند شمشک هسته آن را تشکیل می‌دهد. ناودیس کوچک دیان: این ناودیس در شرق دیان در واحدهای سنگی ولکانیکی - رسوبی ائوسن دیده می‌شود. ناودیس چاه نیو: این ناودیس در واحدهای سنگی ولکانیک و توفی ناحیه دارای اندازه کوچکتر دیده می‌شود. ناودیس جنوب باختر ورقه: این ناودیس در مارن‌های میوسن با هسته نمکی از وسعت و گسترش زیاد در منطقه برخوردار است. تاقدیس معلمان: تاقدیس معلمان به صورت یک چین نامتقارن (شکل ۲-۳)، خط محوری دارای انحنا و روندی شرقی- غربی با طولی بیش از ۱۰ کیلومتر در منطقه قابل مشاهده است. تاقدیس بیدستان با طولی حدود ۲۵ کیلومتر و دارای ویژگی مشابه ویژگی‌های تاقدیس معلمان دیده می‌شود که با برگشتگی یال جنوبی در بخش شرقی آن همراه می‌باشد. در رشته طرود - چاه شیرین ساختمان‌های چین خورده ناهمگن بوده نهشته‌های ائوسن و همچنین بدلیل نفوذ توده‌های کم‌عمق و دایک‌های مختلف، دچار شکستگی‌های زیادی شده، که محورهای چین‌ها نامشخص است.

۲-۴- چینه‌شناسی

چینه‌شناسی و لیتولوژی در مقیاس ناحیه‌ای طرود- چاه‌شیرین بر مبنای نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (مهابادی، ۱۳۹۷) در نزدیکی منطقه مورد مطالعه به طور خلاصه در زیر شرح داده می‌شود:

۲-۴-۱- سنوزوئیک

نهمین دوره‌های دوران سنوزوئیک با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن زیرین آغاز می‌شود و در طی دوره پالئوژن حجم بسیار زیادی از مواد آذرین- رسوبی را پدید آورده است. این مواد در کالبد واحدهای سنگی گوناگون ارائه می‌گردد.

۲-۴-۱-۱- مجموعه سنگی $E^{t,v}$

پس از فعالیت‌های آتشفشانی که نهمین دوره‌های گوناگون واحدهای سنگی را بر جای نهاده است، دومین گام از فعالیت‌های ماگمایی ائوسن - الیگوسن در منطقه با فوران‌های آتشفشانی زیردریایی با ترکیب بازیک تا متوسط توام بوده است. در طی این گام حجم زیادی از مواد آذرین از طریق دایک‌های تغذیه‌کننده (Feeder dikes) به کف دریا ریخته‌اند. این مواد در محیطی سرد شده‌اند و ژرفای بیشتری داشته و کم و بیش شرایط احیائی در محیط زایش آن‌ها حاکم بوده است.

در نتیجه این فعالیت‌های ماگمایی مجموعه سنگی $E^{t,v}$ با ستبرای زیاد از سنگ‌های گدازه‌ای برشی شده، گدازه‌های اسپیلیتی شده، هیالوکلاستیک‌های بازیک تا میانه، توف- پیروکلاستیک‌های زیردریایی و سنگ‌های آلبیتوفیری، اسپیلیتی و کراتوفیری ساخته شده است. مجموعه $E^{t,v}$ دربرگیرنده سنگ‌های آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازال، بازالت‌های آلکان زیردریائی و آندزیت - داسیت‌های پورفیری است.

در بازیدهای روی زمین سنگ‌های آتشفشانی مجموعه $E^{t,v}$ در بخش‌های زیرین به صورت آندزیت و آندزیت بازال‌های برشی شده دیده می‌شوند که از راه برون‌ریزی گدازه‌ها دایک شده‌اند.

واحد $E^{t,v}$ به سمت بخش‌های میانی و بالایی پیکر تناوب‌های نامنظم و متغیر از سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک و اپی کلاستیک‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی، داسیتی - آندزیتی و ندرتاً توف‌های آلتره داسیت پورفیری ساخته شده‌اند.

سنگ‌های توف بلورین قطعه سنگ دار که حجم زیادی از واحد $E^{t,v}$ را می سازد. در بخش قطعه سنگی (Lithic) از سنگ‌های آتشفشانی و بلورها تشکیل شده است. بافت‌های موجود در قطعه سنگ ها بیشتر بگونه میکرولیتی، شیشه ای، کریپتوکریستالین، ویتروفریک می باشد. بافت سنگ‌های توف کریستالین قطعه سنگ دار در جاهای مختلف بگونه های کریستالوکلاستیک، لیتوکلاستیک، پورفیروکلاستیک، کلاستیک، میکروکریپتوکریستالین دیده می شود و سنگ‌شناسی آن‌ها در جاهای گوناگون ناهمسان است.

در این سنگ‌ها سودومورف کانی‌های مافیک (احتمالاً آمفیبول) دیده می‌شود که از کانی‌های کربنات، اکسید آهن و اپاک، کلریت و کانی‌های گروه سیلیس پر شده است. کانی‌های فرعی را آپاتیت، زیرکن، لوکوکسن و کانی‌های تیره پدید آورده است.

گروه دیگری از سنگ‌های ساخته شده در مجموعه $E^{t,v}$ را سنگ‌های گدازه ای، گدازه های برشی شده آندزیتی و تراکی آندزیتی ساخته است. این سنگ‌ها در میان دیگر سنگ‌های آتشفشانی- توفی و پیروکلاستیک‌های آندزیتی و آندزیت داسیتی به گونه تناوبهای نامنظم ساخته شده اند که تفکیک آن‌ها به‌عنوان یک واحد سنگی امکان پذیر نمی باشد.

ترکیب داسیت- آندزیت و لاتیت - آندزیتی در بخش های توف و برش‌های آتشفشانی جای دارند و بافت آن‌ها بیشتر پورفیری، کریپتوکریستالین و میکروکریستالین لیتیک‌دار است. این سنگ‌ها نیز به شدت دگرسان شده‌اند. مجموعه سنگی $E^{t,v}$ با در نظر گرفتن موقعیت چینه‌ای و هم ارزی با واحدهای ائوسن میانی- پسین ورقه کلاته رشم به لوتسین بالا و پس از آن نسبت داده می شود. مجموعه سنگی $E^{t,v}$ در جاهایی برحسب ترکیب سنگ‌های سازنده آن به واحدهای کوچکتری قابل جدایش است.

۲-۴-۱-۲- واحد E^{sp}

این واحد در بسیاری از نقاط رخنمون یافته است و در بیشتر موارد موقعیت چینه‌ای بخش زیرین مجموعه $E^{t,v}$ را نشان می‌دهد. دربردارنده ترکیب سنگ‌شناسی آندزیت های پیروکسن دار، آندزیت بازالت و بازالت آکالین بصورت اسپیلیت و کراتوفیری، گدازه‌های آندزیتی تیره و داسیت آندزیت‌های بشدت تجزیه شده با میان لایه‌های کم

ماسه‌سنگ توفی قرمز - قهوه‌ای است که در بسیاری از نقاط این سنگ‌ها را می‌توان یک هیالوپیروکسن آندزیت و آندزیت - بازالت‌های هیالوکلاستی نامید.

در بیشتر موارد رنگ سبز تا سبز خاکستری دارند و گاه قهوه‌ای تیره رنگ دیده می‌شوند. این سنگ‌ها به پیکر گدازه‌های آلتره شده و از دایک‌های تغذیه کننده اسپیلیتی شده، ساخته شده اند. بر روی هم رفته آن‌ها را می‌توان تیپ سنگ‌های آتشفشانی - نیمه آتشفشانی با گرایش به سوی اسپیلیتی - کراتوفیری شدن، در نظر گرفت. در بسیاری از نقاط لایه‌بندی نشان نمی‌دهند ولی لایه‌هایی با ستبرای کم ماسه‌سنگ توفی و توفیت در آن‌ها پدید آمده است. این سنگ‌ها آلتراسیون شدیدی را متحمل شده‌اند. در موارد زیادی، کف دره‌ها و مناطق با بلندای کم رخنمون یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها بطور معمول در بخش‌های گدازه‌ای بیشتر پورفیریتیک انترسرتال - جریان، اسپیلیتیک و پورفیریتیک با زمینه نامتجانس است. کانیهای بخش پورفیر را فلدسپات اغلب پلاژیوکلاز با ترکیب آلبیت - الیگوکلاز و کانی‌های مافیک ساخته شده است. کانی‌های مافیک در دو گروه متمایز می‌شوند. گروهی از آن‌ها قالب‌های بلور با کانیهای اکسید آهن پر شده است و گروه دیگر تماماً یا بخش خیلی زیادی از کانی‌های مافیک اولیه به کانی‌های ثانوی کلسیت، کلریت و سیلیس تبدیل شده‌اند. زمینه این سنگ‌ها را میکروولیت‌های پلاژیوکلاز ساخته است و در آن‌ها کانی‌های کلریت، اپاک و کوارتز بطور ثانوی پدید آمده است.

بافت این سنگ‌ها بیشتر میکروولیتی و پورفیریتیک - تراکتوئیدی است که در آن‌ها لیت یا میکروولیت‌های جهت یافته فلدسپات سدیک (آلبیت - الیگوکلاز) اساس سنگ را تشکیل می‌دهد. کانی ثانوی کلریت به میزان درخور توجه به پیکرهای گردآمدگی و پراکنده در این سنگ‌ها پدید آمده است.

یکی دیگر از سازندگان واحد E^{SP} را سنگ‌های تراکی آندزیتی به صورت توف - گدازه ساخته است. در این سنگ‌ها نیز میکروولیت‌های پلاژیوکلاز به همراه فلدسپات آلکالن سدیک با گردآمدگی‌های اکسیدهای آهن بخوبی گسترش یافته و این مواد در زمینه نیز ساخته شده است. فنوکریست‌ها را کلینوپیروکسن و قطعات لیتیکی آهن‌دار پدید آورده است. در نگاه کلی فرآیندهای دگرسانی آلبیت زایی، کربنات‌زایی، کلریت‌زایی و سیلیس‌زایی سنگ‌های واحد E^{SP} را در ردیف اسپیلیت و کراتوفیرها جای داده است. سن این واحد ائوسن میانی تا پسین تعیین شده است.

۲-۴-۱-۳- واحد E^{La}

ستبرائی در حدود ۲۰۰-۳۰۰ متر از سنگ‌های گدازه ای لاتیت - آندزیتی میکروپورفیری است و به نام واحد $E^{1.a}$ تفکیک شده است. این سنگ‌ها رنگ خاکستری تا خاکستری تیره دارند و ترکیب سنگ‌شناسی آن‌ها لاتیت - آندزیت، کوارتز لاتیت - آندزیت و گاهی کوارتز تراکی آندزیت است. بافت پورفیریتیک با زمینه میکروولیتی و گاهی میکروکریپتوکریستالین دارند و کانی‌شناسی آن‌ها شامل: پلاژیوکلاز، بیوتیت، کانی فرومنیزین آلتره شده (احتمالاً پیروکسن)، کوارتز، کانی‌های رسی، کانی کدر و آپاتیت است. پلاژیوکلازها از بلورهای درشت و نیمه درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار تشکیل شده است و در آن‌ها ماکل‌های تکراری، زونه‌ای و گاه کناره خورده شده (Corrosion) و یا بافت غربالی در آن‌ها پدید آمده است. در موارد کمی هم به پیکر گلومریک دیده شده‌اند.

بلورهای ریز و سالم بیوتیت ثانویه بمیزان کم در این سنگ‌ها پدید آمده است. در پیرامون روستای سرتخت و پیرمردان در این سنگ‌ها بلورهای اولیه البوین ایدینگسیتی شده نیز تشخیص داده شده است که به تقریب همه آن‌ها به کلریت و سرپانتین تجزیه شده‌اند. زمینه این سنگ‌ها بمقدار زیاد فلدسپاتیک است و از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز با بافت غربالی، بلورهای ریز پیروکسن دگرسان شده، بلورهای ریز کوارتز و کانی اپاک ساخته شده است. کانی‌های ثانوی این سنگ‌ها کربنات، کلریت، سریسیت، کانی رسی، ایدینگسیت، مسکویت، اکسید آهن و کوارتز است و کانی‌های فرعی آن‌ها آپاتیت، زیرکن، لوکوکسن و اپاک است. (مهابادی، ۱۳۹۷).

۲-۴-۱-۴-۲ واحد E^u

سازنده‌های این واحد را گدازه‌های پورفیری با ترکیب میانه به صورت بازیک تشکیل می‌دهد و بدلیل مواجه شدن با آب به صورت هیالوکلاستیت دیده می‌شوند. رنگ ظاهری آن‌ها خاکستری تیره، سبز، سبز متمایل به قرمز - قهوه ای است.

بیشتر تراکی آندزیت، تراکی آندزیت - بازالت و آندزیت - داسیت‌های پورفیری هستند که فاقد لایه‌بندی‌اند و توده‌ای یا گنبدی شکل پدیدار شده‌اند. گاه همراه با گدازه‌های تراکی آندزیتی واحد یاد شده، ترکیب‌های آندزیت حفره‌دار، آندزیت‌های هلوکریستالین، کریستال لیتیک توف‌های بلورین و شیشه‌ای پدید آمده است. ولی همواره بیشترین حجم واحد را تراکی آندزیت‌ها می‌سازد. تراکی آندزیت‌ها و تراکی آندزیت بازالت‌ها بیشتر بافت پورفیریتیک با زمینه میکروولیتی جهت یافته دارند و ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها عبارتند از: درشت بلورهای

پلاژیوکلاز، الیون تجزیه شده، پیروکسن و بیوتیت و زمینه آن‌ها را میکروولیت های پلاژیوکلاز، کربنات، بقایای الیون، سیلیس ثانویه، فلدسپاتوئید (سودالیت و آنالیم) و دانه های ریز اپال ساخته است.

در این سنگ‌ها حفره های کوچکی پدیدار شده است که با کوارتز ثانوی و برخی کانی های فلدسپاتوئیدی مانند سودالیت و آنالیم پر شده است. آپاتیت و اپاک کانی فرعی آن‌ها محسوب می‌شود. در برخی جاها مانند دره چالو سنگ‌های آتشفشانی گدازه‌های تراکی آندزیتی دانه درشت تر شده و به سوی میکروکوارتز دیوریت تا میکروکوارتز مونزونیت تمایل پیدا می‌کند و تفکیک دو لیتولوژی یادشده در روی زمین دشوار است. بافت سنگ در این نواحی بگونه پورفیری با زمینه میکروگرانولار است و درشت بلورهای سنگ را پلاژیوکلاز، کلینوپیکروکسن و بیوتیت ساخته است که بیشتر دگرسانی پروپلیتی را پذیرا شده اند و زمینه آن‌ها نیز از کوارتز، فلدسپات پدید آمده است. کانی های ثانوی را کانیهای رسی، سریسیت، اورالیت، اپیدوت و کلریت می‌سازد. ترکیب تراکی آندزیت بازالت واحد E^{tr} در قسمت‌های میانی رشته کوه تروود – چاه شیرین پذیرای دگرسانی شدیدی شده است که در آن‌ها کانی اولیه سالمی را نمی‌توان دید. این سنگ‌ها بافت پورفیریتیک با زمینه میکروکریپتوکریستالین تا میکروولیتی دارند و پلاژیوکلازهای آن‌ها که فراوان‌ترین کانی درشت بلور سنگ را می‌سازد، همه یا بخش زیادی از آن‌ها به کانی‌های ثانوی مانند سریسیت، کلسیت و کلریت و ... تغییر یافته اند و تنها قالب بلوری آن‌ها بجا مانده است.

دگرسانی سنگ‌های واحد E^{tr} نشان می‌دهد که این سنگ‌ها آلتراسیون آرژیلی را پذیرا شده‌اند و کانی‌های آرژیلی، سریسیت، اپیدوت، کلریت، کربنات و اکسید آهن و گاهی کانه‌های فلزی در آن‌ها ساخته شده است. در بخش های بالائی این واحد ترکیب داسیتی تا داسیت آندزیتی بوجود آمده است و آلتراسیون آن‌ها بیشتر از نوع سیلیسی – سریسیتی بوده ولی فرآیندهای اپیدوت زائی، کلریت زایی و کربنات زایی در آن‌ها صورت انجام است. سن واحد E^{tr} ائوسن میانی – بالائی در نظر گرفته شده است.

۲-۴-۲- سنگ‌های نیمه آتشفشانی – توده های نفوذی نیمه ژرف

۲-۴-۲-۱- واحد da

فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن پسین که پدید آورنده سازنده‌های گوناگون مجموعه سنگی E^{trV} بوده است .

پس از مدتی توسط دایک‌ها قطع شده است. در نگاه کلی ماگمای حدواسط شمار زیادی رخنمون‌های کوچک را به پیکر توده‌های آتشفشانی نیم ژرف گنبدی شکل، استوک، دایک و رگه پدید آورده است. هوشمند زاده و همکاران (۱۳۵۷) و کهنسال (۱۳۷۷)، ذوالفقاری (۱۳۷۷) این سنگ‌ها را با نام‌های گنبد‌های درون‌زاد و گنبد‌های مخفی یاد کرده‌اند. در حقیقت این سنگ‌ها از یک ماگمای داسیتی (میکروگرانیتی) با گرانروی بالا سرچشمه گرفته‌اند که در بازدیدهای صحرایی به منزله توده‌های نفوذی کم ژرفا تظاهر می‌نمایند و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را بریده‌اند. این توده‌ها از گسترش و پراکندگی زیادی در سطح ورقه برخوردار است. و شمار زیادی از رخنمون‌های آن در محدوده شمال گندی - شرق معدن پوسیده، ده جعفر تا باغو رخنمون یافته است. ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های یادشده را داسیت، داسیت - آندزیت شدیداً دگرسان شده می‌سازد که به سمت شمال ورقه ترکیب آن‌ها داسیت پورفیری تا میکروگرانیت، میکروگرانیت تورمالین‌دار تغییر می‌کند.

زمینه آن‌ها ریزدانه و کاملاً سیلیسی شده است و از کوارتز کریپتوکریستالین با کانیه‌های ورقه‌ای (رس، میکا، کلریت) تشکیل شده است. در زمینه رشد توام کوارتز و فلدسپات دیده می‌شود. در کانیه‌های مافیک این سنگ‌ها که بشدت تجزیه شده‌اند، مسکویت، لوکوکسن و اکسید آهن، کلریت جایگزین شده است. این مناطق بافت پورفیری با زمینه میکروگرانولار دارند و درشت بلورهای آن‌ها پلاژیوکلاز سدیک شکل دار تا نیمه شکل دار و تجزیه شده به سریسیت و کانی رسی و با ماکل‌های تکراری، آلبیتی و زونه‌ای با کناره بلورهای پرشده با فلدسپات آلکان و بلورهای کوارتز و بلورهای مسکویت کشیده‌ای می‌باشد که با کلسیت و کانی اپاک جانشین شده‌اند. لازم به یادآوری است که گاه در واحد da تکه‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و یا توده‌های نفوذی کوارتز دیوریتی، کوارتز مونزودیوریتی وجود دارد که به سبب ابعاد کم آن‌ها امکان جداکردن نمی‌باشند. سن واحد da ائوسن پسین - الیگوسن آغازی است. (مه‌بادی، ۱۳۹۷).

۲-۴-۲-۲- واحد dp

این سنگ‌ها به پیکر توده‌های آتشفشانی نیم ژرف در شمال خاوری، در کوه و معدن چاه‌موسی رخنمون یافته است. رنگ ظاهری خاکستری روشن تا کمی تیره دارند و ترکیب آن‌ها در قسمت‌های میانی و کناره‌ای ناهمسانی‌هایی را نشان می‌دهد. در بخش‌های کناره‌ای توده یادشده ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز تراکی آندزیتی، تراکی آندزیتی و

کوارتز لاتیتی دارند و بافت آن‌ها پورفیریتیک با زمینه میکرولیتی - تراکیتی و گاهی کریپتوکریستالین است. درشت بلورهای آن‌ها را پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت و قالب‌های احتمالی پیروکسن ساخته است. پلاژیوکلازها شکل‌دار تا کمی شکل‌دار و گاه رشد توام با فلدسپات آلکالن دارند. ترکیب الیگوکلاز- آندزین داشته به کانی‌های سریسیت، کربنات، کانی رسی و کلریت تجزیه شده‌اند. به نظر می‌رسد که در توده یادشده از کناره به مرکز توده میزان فلدسپات‌های آلکالن بیشتر می‌شود و بلورهای سنگ نیز درشت تر شده آنچنانکه درشت بلورهای فلدسپات به حدود یک سانتیمتر می‌رسد و بندرت نشانه‌هایی از کانی سانیدین را در آن‌ها می‌توان دید. در این سنگ‌ها فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز نقش اساسی دارند و نامگذاری آن‌ها در رده بندی اشترایکایزن (۱۹۸۰) بیشتر ترکیب لاتیت، کوارتز لاتیت و کوارتز لاتیت - آندزیت پورفیری را نشان داده است.

زمینه این سنگ‌ها بافت جریان‌ی دارد و از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز به همراه فلدسپات‌های بی‌شکل بیشتر پتاسیک تشکیل گردیده، کوارتز بگونه‌ای ریز و نهان بلور و حاصل از پدیده Divitrification همراه با کانه اپاک فراوان (دانه‌های مانیتیتی) و کانی رسی پدید آمده است. کانی‌های فرعی را اپاک، اسفن اکسیدشده یا لوکوکسن و آپاتیت ساخته است. در این سنگ‌ها فرایندهای آرژیلی شدن، کربنات زایی، کلریت زایی و سیلیس زایی انجام گرفته است. یادآوری می‌شود که در بخش خاوری توده یادشده در مشاهدات روی زمین و میکروسکوپی انکلاوهای درشت از سنگ‌های نفوذی با ترکیب مونزوسینیتی دیده شده است که نشان می‌دهد پس از توده‌های نفوذی کوارتز دیوریتی و مونزوسینیتی پدید آمده‌اند. اگرچه این سنگ‌ها به پیکر گنبدی شکل دیده می‌شوند ولی در نگاه کلی دارای گسترش خطی موازی گسل اصلی تروود می‌باشند. سن واحد dp به دلیل بریدن دیگر سازندها الیگوسن آغازی پیشنهاد می‌گردد. (مهابادی، ۱۳۹۷).

۲-۴-۳- دایک‌ها

شمار زیادی دایک در گستره ورقه معلمان و در بخش زیرپهنه تروود - چاه شیرین رخمون دارد. این دایک‌ها را در سه گروه زیر میتوان دسته بندی نمود:

الف - دایک‌های با ترکیب سنگ شناسی میانه تا بازیک

ب - دایک های اسیدی (داسیتی)

ج - دایک های بازیک میکروآلکالی گابروئی

الف - دایک های با ترکیب سنگ شناسی میانه تا بازیک :

این گروه دایک ها در گستره ورقه بسیار فراوان ظاهر شده اند و به پیکر دایک های تغذیه کننده و فوج دایک ها دیده می شوند ترکیب سنگ شناسی آن ها به ترتیب فراوانی حجمی عبارتند از:

دایک های آندزیتی ، تراکی آندزیتی ، کوارتز لاتیتی و کوارتز لاتیت - آندزیتی، تراکی آندزیت بازالتی، میکروکوارتز دیوریتی، میکرومونزودیوریتی و ندرتاً میکرومونزوسینیتی و آلکالی گابرو تا دولریتی است. بطور معمول بافت های آن ها گرانولار تا میکروگرانولار، پورفیریتیک با زمینه جریان - اینترگرانولار و میکروپورفیزی با زمینه میکروگرانولار و در مواردی گلومریک و غربالی نیز دیده شده اند. ویژگی های سنگ شناسی دایک ها با توده های آتشفشانی نیمه ژرف یکسان است. دایک های تراکی آندزیتی، آندزیتی، آندزیت - بازالتی به رنگ های سبز تا خاکستری تیره دیده می شوند. دایک های کوارتز لاتیت و کوارتز لاتیت آندزیتی نیز به رنگ خاکستری و سبزی ۵-۱ متر دارند و شمار آن ها بسیار زیاد است. شماری دایک با ترکیب بازیک و به رنگ تیره در برخی نقاط از جمله در کوه دوشاخ ، اطراف سوسن وار، کوه شمشیر بران، دره آستانه امرو، دره سمپا، ناحیه پوسیده و جنوب کوه زر - باغو برون زد یافته است. این سنگ ها بافت گرانولار و میکروگرانولار دارند و ترکیب آن ها در حدود میکروگابرو و دلریتی است. (مهآبادی، ۱۳۹۷).

ب - دایک های با ترکیب سنگ شناسی اسیدی (داسیتی)

شمار دایک های اسیدی بسیار کمتر از دایک های بازیک تا میانه است و بیشتر زبانه هایی از واحد da می باشند. به دلیل رنگ روشن سفید تا سفید متمایل به صورتی به خوبی از سایر سنگ ها متمایز می باشند. این سنگ ها ترکیبات مشابه واحدهای da دارند و در مواردی بصورت دایک های داسیت پورفیری تا میکروگرانیت تورمالین دار دیده می شوند. در مواردی از سنگ های ریوداسیتی سفید رنگی ساخته شده است که در آن ها کوارتز و فلدسپات حجم عمده سنگ را می سازد. دایک های اسیدی بشدت دگرسان شده اند و کانی های ثانوی آن ها را مواد آرژیلی، سربیسیت ، مسکویت، کربنات، کوارتز و کمی اکسید آهن می سازد. کوارتز آزاد در این سنگ ها به بیش از ۲۰ درصد هم می رسد. در زمینه

این سنگ‌ها بیشتر کانی فلدسپاتیک دیده می‌شود که فلدسپات آلکالن آن‌ها بیشتر از پلاژیوکلازهاست. کربنات، اپاک و اکسید آهن نیز در این سنگ‌ها پدید آمده است. در مواردی رگه‌های گرانیتی کوارتز تورمالین دار به شیوه دایک سنگ‌ها را بریده است و خاستگاه آن‌ها به داسیت‌های پورفیری منطقه می‌رسد. این رگه‌ها یادآور گرانیت‌های گرایزنی است، به دلیل تمرکز کانه‌های سولفوری و عیار نسبتاً بالای طلا از آن‌ها به عنوان رگه‌های کوارتز - تورمالین طلا دار یاد شده است و در واحد Eal تمرکز زیادی دارند. سیالات گرمایی نقش اساسی در پیدایش این رگه‌ها داشته‌اند. سن این رگه‌ها و یا دایک‌های اسیدی با توجه به بریدن نهشته‌های دیگر در الیگوسن آغازی پیش بینی می‌شود.

ج - دایک‌های بازیک میکروآلکالی گابرو

رخنمون‌های این دایک‌ها تنها در کوه چاه موسی و در واحد dp با ستبرای ۱۰-۳ متر ظاهر شده است. رنگ ظاهری این دایک‌ها خاکستری تا خاکستری متمایل به سبز تیره است و عمدتاً از پلاژیوکلاز و کانی مافیک تشکیل شده است. ترکیب سنگ‌شناسی میکروآلکالی گابرو، دیاباز - گابرو دارند. دایک‌های یادشده در نگاه میکروسکوپی بافت گرانولار تا اینتراگرانولار و گاه افیتیک دارند. دارای بلورهای درشت پلاژیوکلاز از نوع لابرادوریت شکل دار تا کمی شکل دار با کناره واکنشی و با قطر ۰/۴ تا ۰/۶ میلی متر هستند، حباب‌های شیشه در هاله برخی بلورهای پلاژیوکلازها پدید آمده است و نشانه‌هایی از آغشتگی و یا آلودگی ماگمایی را نشان می‌دهند. رشد توام بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن نیز دیده می‌شود. تجزیه این بلورها کانی‌های ثانوی رس، کلریت و سیریسیت و در موارد کمی نوعی فلوگوپیت را ساخته است. آثار بلورهای اولیه الیوین با ساختمان مشبک (Mesh structur) باقیمانده است که از گردآمدگی کلریت و سرپانتین پر شده است. پیروکسن بگونه بی‌شکل و مونوکلینیک و گاهی تیتان اوژیت نیمه شکل دار با قطر ۲ تا ۰/۳ میلیمتر و با آثار خردشدگی و تجزیه شده به کلریت در این سنگ‌ها دیده شده است. کانی‌های ثانوی شامل کلریت، سیریسیت، کانی میکائی (فلوگوپیتی) و کانی رسی است و کانی اپاک و اکسید آهن به عنوان کانی فرعی پدید آمده است. حضور بلورهای درشت این سنگ‌ها نشانه‌ای از توقف ماگما در ژرفا است و نمودی از پدیده تبلور وزنی می‌باشد. این سنگ‌ها بنظر می‌رسد که جوان‌ترین رخنمون ماگمایی در منطقه است. سن آن الیگوسن آغازی است.

در محدوده پیرمردان دایک مشاهده نشده ولی احتمال می رود در منطقه وسیع تر اطراف پیرمردان دایک وجود داشته باشد زیرا توده نفودی موجود در عمق و گرمای دایک حاصل از توده در روند کانی سازی تاثیر دارد.

۲-۵- زمین شناسی اقتصادی

ورقه معلمان از دیرباز مورد توجه معدنکاران بوده است. شمار زیادی از سرباره‌های ذوب، پاره‌ای وسایل اولیه، قلعه‌های باستانی و کارهای معدنی کهن (معادن شدادی) در منطقه شناخته شده است. روی هم رفته از نگاه زمین شناسی اقتصادی و از دیدگاه کیفی، کانی‌زائی‌های ورقه را در گروه‌های زیر می توان جدا کرد: (مه‌بادی، ۱۳۹۷).

الف: کانی‌سازی‌های عناصر فلزی: در این گروه می‌توان نشانه‌های معدنی، معادن کهن و متروکه و در حال کاری را برشمرد که در آن‌ها تمرکز کانه‌های فلزی مس، طلا، سرب و روی، آهن شناخته شده است. پیدایش این کنسارها در ارتباط با فعالیت‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن – الیگوسن زیرین (فاز پیرنه) است.

۱- کانی سازی سرب و روی: بیشتر از گونه کنسارهای سرب و روی گرمایی هستند و بارزترین نشانه شناخته شده آن‌ها، شامل سرب و روی انارو در باختر ورقه، خانجار و سنج‌دو، گندی، چشمه سفید، ابوالحسنی، چشمه فرخ، چشمه حافظ، چهارسنگی، تنگه و... است. این کانی‌زایی‌ها بیشتر از نوع چند فلزی (Polymetal) بوده و در آن‌ها افزون بر سرب و روی ناهنجاری‌های عناصر طلا، نقره، کادمیوم، مس، آهن و جیوه و باریم نیز شناسائی شده است. کانی‌شناسی کانسنگ‌ها بیشتر از گالن، سروزیت، آنگلیت، پیریت و کالکوپیریت، باریت و کلسیت است. در مواردی اسمیت زونیت، اسفالریت و هیدروزونیت نیز به‌میزان کم شناخته شده است.

در رگه‌های سرب و روی معدن گندی، پاراژنز سرب و روی، مس و طلا، با عناصر فلئور و بر همراه بوده، کانی فلورین و تورمالین پدید آمده است و تجزیه نمونه‌های آن عیار بالای طلا را نیز نشان داده است (حدود ۷۰ گرم در تن).

۲- کانی‌سازی مس: در بسیاری از نقاط ورقه آغشتگی‌های کانه‌های مس‌دار دیده شده است. در مواردی کانه‌های مس‌دار با طلا، آهن، سرب و روی همراه است. از نشانه‌های مس می‌توان به معدن فعال مس چاه موسی، زرشک کوه (متروکه) جنوب علیخان (متروکه) و غیره اشاره کرد. کانی‌سازی‌های مس در پیرامون دایک‌ها در ناحیه

چاه موسی، بیدمحمدحسن، منزل عبدالله، تنگه و پاره‌ای نقاط دیگر شناسائی شده است. معدن فیروزه باغو که در حال حاضر نیمه فعال است، دارای رگه‌ها و رگچه‌های فیروزه، به‌گونه‌های نهان بلورین، پوسته‌ای، رگچه‌ای و پرشدگی حفرات است که در سنگ‌های داسیتی دگرساں شده واحد da پدید آمده است. معدن فیروزه باغو در تونل‌های موسوم به احمدزاده، موحد، جوان و کارگاه روباز بهره‌برداری شده است و از دگرساںی شدید، بویژه کائولن‌زایی سنگ مادر پدید آمده است. کانی‌های همراه با فیروزه عبارتند از: کوارتز، سریسیت، کائولینیت، کالکوپیریت، پیریت و تورمالین.

۳- **کانی‌سازی طلا:** نشانه‌هایی از کانی‌سازی طلا در نواحی باغو - کوه زر، دارستان، گندی و پوسیده به‌دست آمده است که ویژگی‌های آن‌ها بیشتر با تیپ کانسارهای گرمابی چند فازه، بویژه‌ای اپی‌ترمال با سنگ میزبان آتشفشانی هم‌خوانی نسبی دارد و در پیوند با سیالات مشتق شده از ماگماتیسیم ائوسن - الیگوسن شکل گرفته است. گستره‌هایی که دگرساںی آرژیلی با شدت و ضعف ناهمسان و با رنگ سطحی سفید تا کرم روشن، سفید گرانیده به خاکستری روشن و قهوه‌ای تا قهوه‌ای روشن دارند و در بسیاری از رخنمون‌های سنگ‌های آتشفشانی و در هم‌بری توده‌های آتشفشانی نیمه ژرف یا دایک‌ها دیده می‌شوند، به‌عنوان راهنمایی برای اکتشاف طلا می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. بر روی هم رفته، طلا با عناصر $Zn, Fe, Cr, Sb, Mo, As, Cu$ همبستگی مثبت نشان داده است و در پیوند با گامه تاخیری ماگمائی، از سیالات سیلیسی سولفید داری پدید آمده‌اند که توده های نفوذی اسیدی (واحد های gr, dp, qd, da و دایک ها) در شکل‌گیری آن‌ها نقش بارزی داشته است. کانسنگ‌های طلا دار به پیکر رگه‌های سیلیسی مس - طلا دار (دارستان)، رگه‌های سیلیس - تورمالین طلا دار (باغو، چال کفتری و ...)، پهنه‌های گسلی سولفید دار و پراکنده (اندیس حاجی) و همراه رگه‌های سرب و روی (معدن گندی، چشمه سفید، ابوالحسنی و ...) دیده می‌شود.

کانه‌های مس - طلا دار با حضور کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت اولیه، مالاکیت و آزوریت ثانوی در پاره‌ای نقاط بویژه در رگه‌های سیلیس داری که در راستای گسل‌ها دیده می‌شوند، راهنمایی برای کانی‌زایی طلا می‌باشد. در آبرفت‌های رودخان‌های و پادگانه‌های آبرفتی شمال باغو کاننه‌های طلا دار از نوع پلاسری و با طلای آزاد شناخته

شده است که عیار آن به ۰/۳ گرم در تن گزارش شده است و در آن‌ها کارهای معدنی کهن با حفر دخمه، تونل و برداشت روباز انجام گرفته است.

۴- **کانی‌زایی آهن:** گفتنی است نشانه‌هایی از کانی‌زایی آهن به پیکر اکسیدهای آهن مانند هماتیت، گوتیت، الیژیست و بندرت با منیتیت دیده شده است که در شمال روستای گندی (دره چالو) و کوه هشده در باختر ورقه دیده شده است. این کانی‌زایی‌ها در نزدیکی سنگ‌های کربنات دار و در درزه‌ها تشکیل شده‌اند. بطور معمول در نزدیکی توده‌های نفوذی کم ژرفا بوده و زایش گرمایی دارند، هرچند که در ناحیه دره چالو پدیده اسکارنی شدن نیز رخ داده است.

ب - کانی سازی های غیرفلزی

۱- بنتونیت: در چندین نقطه از توف‌های سفید گون (واحد E^{bn}) افق‌هایی از خاک بنتونیت شناخته شده است که در مواردی (مانند بنتونیت سوسن وار - رشم و گندی) بهره‌برداری می‌شوند و به اصطلاح به آن‌ها گل رشم نیز گفته می‌شود.

نتایج تجزیه کیفی (X.R.D) کانی‌های سازنده بنتونیت را بیشتر مونت موریونیت، زئولیت، فلدسپات، کریستوبالیت و کلسیت نشان داده است.

۲- خاک صنعتی کاکیه- گندی: دگرسانی شدید سنگ‌های ریوداسیتی - داسیتی تیغه‌ای شکل (واحد E^t) سبب پدیداری خاک صنعتی فلدسپات - کائولن داری شده است که در ناحیه کاکیه - معدن گندی مورد بهره‌برداری شده است. ترکیب کانی‌شناسی کوارتز، کائولینیت، کانی‌های رسی بیشتر ایلیت و بایدلایت، معدن یاد شده را از بنتونیت‌های منطقه متمایز می‌نماید.

۳- خاک صنعتی فلدسپات - کائولینیت دار پوسیده (معدن کائولن غیرفعال) نشانه معدنی دیگری است که در سنگ‌های داسیتی واحد da شناسایی شده است.

۴- رگه‌های سفید گون با ترکیب داسیتی در ناحیه باختری روستای جعفر رخنمون دارد که دارای فلدسپات‌های سدیم - پتاسیم بوده و تجزیه کمی آن‌ها (X.R.F) مجموع Na_2O, K_2O را حدود ۶ درصد تعیین کرده است و از سوی دیگر میزان آهن آن‌ها بسیار کم است. این رگه‌ها ممکن است به‌عنوان منابع فلدسپات‌دار مورد توجه قرار گیرد.

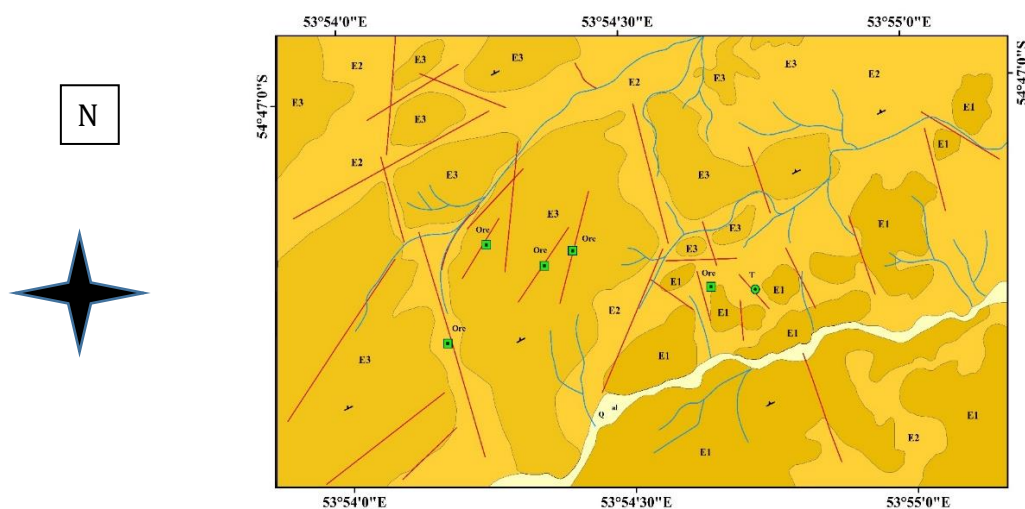
فصل سوم: زمین‌شناسی و پتروگرافی محدوده معدنی

هدف از بررسی زمین‌شناسی محدوده معدنی مورد نظر، مطالعه واحدهای سنگی در محدوده، روابط بین آن‌ها، ساختار و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانه زائی می‌باشد. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها آن کمک بسیار زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی کانه‌زایی‌ها و پی‌جویی آن در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد.

همچنین به منظور شناخت دقیق این واحدهای سنگی و تشخیص منشاء و نحوه تحول ماگما، مطالعات پتروگرافی جهت بررسی، ساخت و بافت و ترکیب کانیایی سنگ‌ها صورت گرفته است. از آنجا که توالی آتشفشان رسوبی ائوسن در منطقه میزبان کانی زائی مس می‌باشد، لذا سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود و ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth) و عملیات صحرایی انجام شده در محدوده معدنی، چینه-شناسی و نقشه زمین‌شناسی از محدوده مورد مطالعه تهیه شود. بنابراین با توجه به ستون چینه‌شناسی عمومی، هریک از واحدهای سنگی به ترتیب سنی در زیر توضیح داده می‌شوند.

۲-۳- چینه‌شناسی منطقه

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته، واحدهای سنگی مورد مطالعه در منطقه بیشتر با سن ائوسن هستند. به منظور مطالعه دقیق پتروگرافی در منطقه در محدوده پیرمردان نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ (شکل ۳-۱) کل محدوده پیرمردان با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و داده‌های DEM ترسیم گردیده است. از نظر سنگ‌شناسی واحدهای سازنده محدوده معدنی عمدتاً سن ائوسن دارند و براساس ترکیبات آن‌ها می‌توان به ۲ دسته تقسیم بندی کرد: ۱: مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی شامل، بازالت پورفیری، بازالت، آندزیت بازالت، ریوداسیت و آندزیت می‌باشد که گسترش قابل توجهی داشته و میزبان کانه‌زایی در منطقه نیز هستند، ۲: مجموعه آذرآواری شامل (واحد غنی از گدازه و واحد غنی از توف) می‌باشد. به منظور تفکیک این واحدها و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی و شناسایی رگه‌های معدنی نقشه زمین‌شناسی منطقه پیرمردان تهیه شده است (شکل ۳-۱). در ادامه با استفاده از اطلاعات موجود در نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات صحرایی، بررسی‌های سنگ‌شناختی، واحدهای سنگی رخنمون یافته و مطالعات میکروسکوپی در منطقه معدنی به بررسی واحدهای سنگی موجود در منطقه پرداخته می‌شود.



Legend

Cenozoic	Quaternary	Q _{al}
	Eocene	E ₃
		E ₂
		E ₁

Lithology

Recent Alluvium

Porphyry basalt

Basalt Porphyry

Red, Grey and Green altered volcanic rocks

symbols

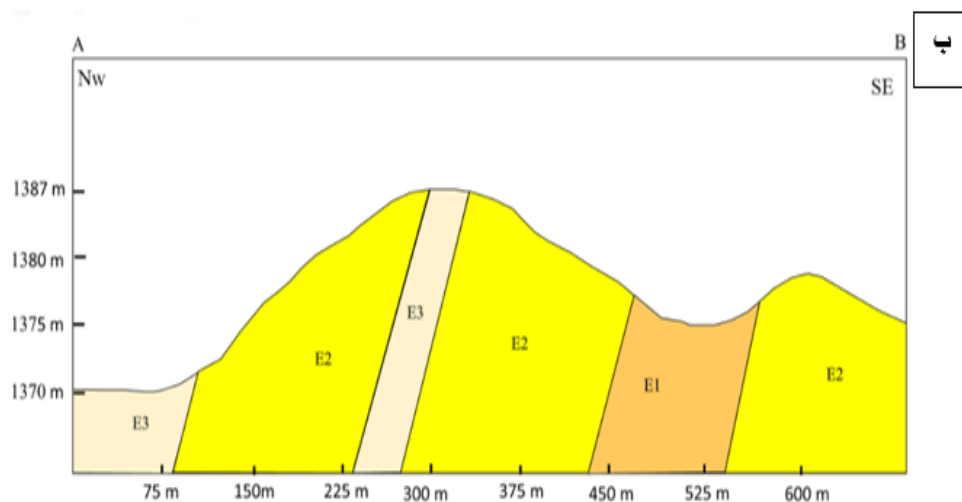
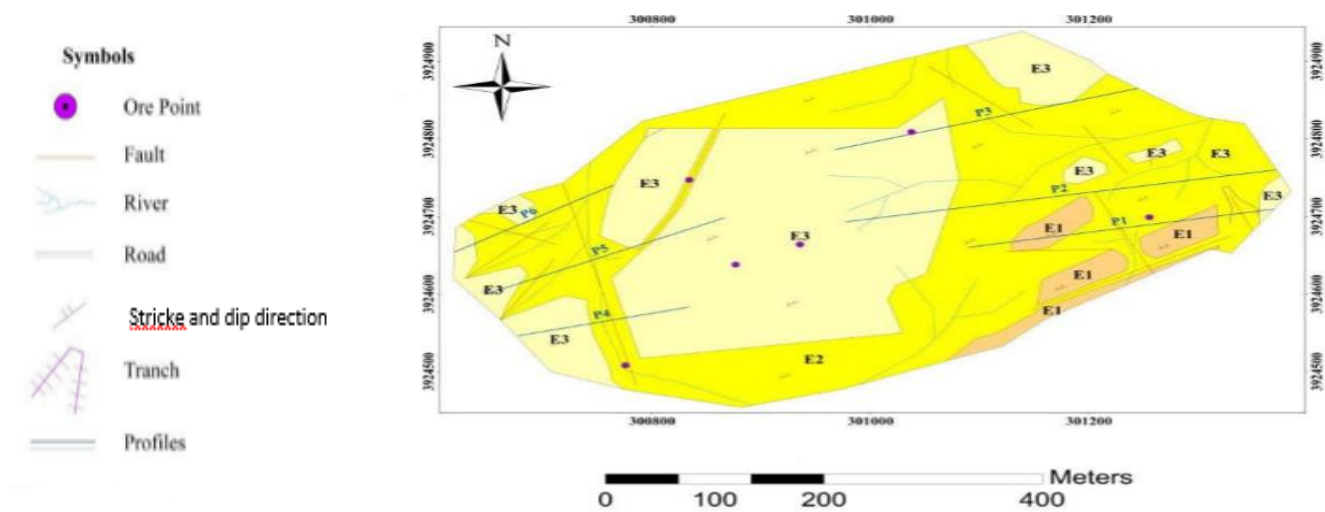
	Fault
	Stream
	Contact
	Tranch
	Ore point
	Strike and Dip direction

شکل ۱-۳: نقشه ساده زمین شناسی - معدنی محدوده معدنی پیرمردان شرقی. (گزارش پایانی عملیات اکتشاف محدوده ی اکتشافی پیرمردان شرقی و غربی، تروود-۱۳۹۷).

۱-۲-۳- نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ بخش شرقی پیرمردان

از کل محدوده اکتشافی پیرمردان که در نقشه زمین شناسی و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ ترسیم گردید (شکل ۱-۳)، بخشی از منطقه در شرق بیشترین کانه زایی را نشان می دهد که مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس با استفاده از نقشه زمین شناسی و توپوگرافی، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ از منطقه شرقی (شکل ۳-۸ الف) و همچنین نیمرخ

نقشه زمین شناسی (شکل ۳-۸ ب).

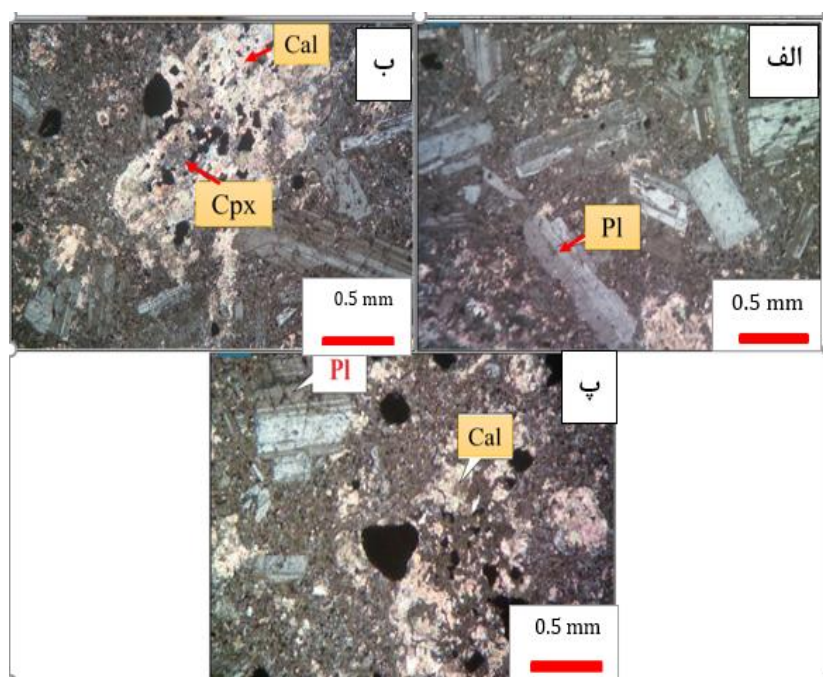


شکل ۳-۸: الف) نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس بخش اکتشافی پیرمردان شرقی، ب) مقطع عرضی از واحدهای سنگی میزبان در منطقه پیرمردان بر اساس بخش الف. (گزارش پایانی عملیات اکتشاف محدوده ی اکتشافی پیرمردان شرقی و غربی، ترو-۱۳۹۷).

۳-۳-۱- بازالت پورفیری

بازالت عموماً به صورت جریان گدازه‌ای، گدازه‌های بالشی و سیل‌ها دیده می‌شود. بافت این سنگ ممکن است پورفیریتیک، یا ریزبلور، بلورین یا شیشه‌ای و میکرولیتیک باشد. براساس مشاهدات صحرایی نمونه بازالت پورفیری در ابتدای محدوده کانه‌زایی عمدتاً به رنگ سیاه تا سبز تیره و در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره در منطقه گسترش فراوانی دارد. از لحاظ ویژگی‌های پتروگرافی بافت اصلی این واحد پورفیری است و بافت فرعی آن گلومروپورفیری می‌باشد (شکل ۳-۲، الف و ت). در بافت پورفیری، فنوکریست‌های این واحد در زمینه ریز بلور از

پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. همچون سایر نمونه‌ها درصد فنوکریست این واحد بین ۴۵ تا ۵۰ درصد متغیر بوده و از کانی‌های پلاژیوکلاز با فراوانی ۳۵ درصد و اندازه ۰/۳ تا ۶ میلیمتر (متوسط اندازه ۲ میلیمتر) همراه با ۱۵ درصد کلینوپیروکسن با اندازه ۰/۳ تا ۴ میلیمتر تشکیل شده است (شکل ۲-۳، ب). از نظر تجزیه‌ای، پلاژیوکلازها به میزان ۵ تا ۱۰ درصد به سریسیت و کلینوپیروکسن‌ها تا حدود ۷۰ درصد به کانی‌های کربناته تبدیل شده‌اند (شکل ۲-۳، ب). در این واحد رگچه‌های ظریف کربناته دیده می‌شود لذا دگرسانی سنگ کربناته متوسط در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۲-۳، پ). از نظر کانی‌های فلزی نیز در متن سنگ حدود ۳ درصد کانی فلزی با اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر مشاهده می‌شود.

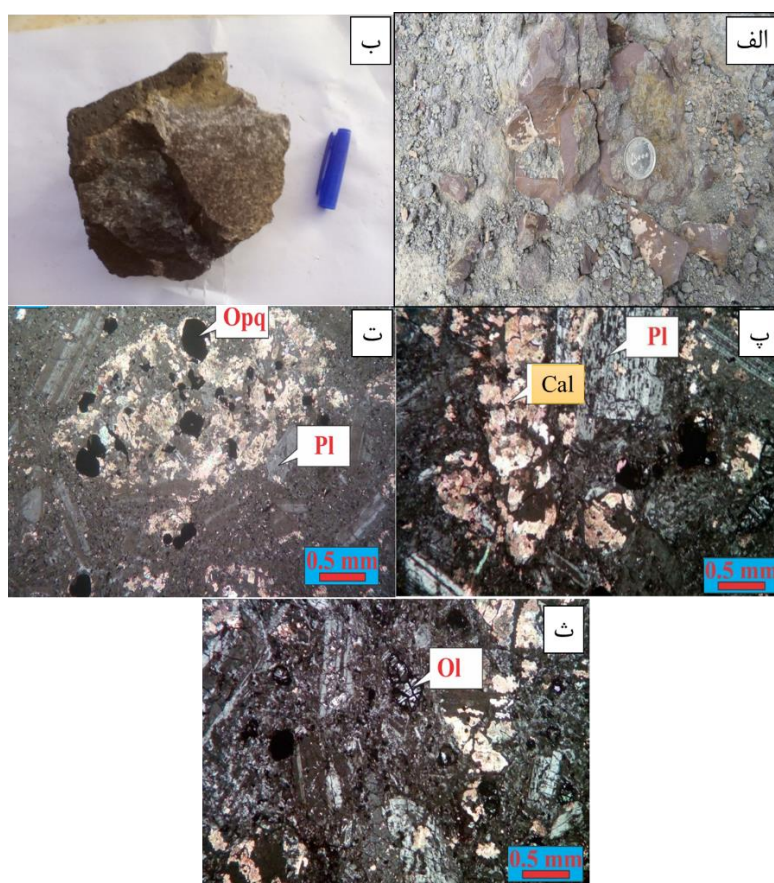


شکل ۲-۳: الف) تجمع کانی پلاژیوکلاز (Pl) و بافت پورفیری، ب) کانی کلینوپیروکسن (Cpx) که به کلسیت (Cal) تبدیل شده و تجمع کانی‌های مافیکی و بافت گلومروپورفیری، پ) نمایی از تصویر میکروسکوپی تشکیل کانی کلسیت به صورت ثانویه و پراکنده در متن سنگ. علایم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, ۲۰۱۰) اقتباس شده است.

۲-۳-۳- بازالت

گدازه‌های بازالتی در مشاهدات صحرایی به رنگ تیره دیده می‌شود. بازالت یکی از میزبان‌های اصلی کانه‌زایی در منطقه می‌باشد، در برخی مناطق دارای سطحی قرمز رنگ به دلیل آغشتگی به اکسیدهای آهن می‌باشد (شکل ۳-۳، الف و ب). براساس مطالعات میکروسکوپی بافت اصلی این واحد پورفیری است و بافت فرعی آن گلومروپورفیری می‌باشد.

باشد (شکل ۳-۲، پ و ت). درصد فنوکریست آن بین ۴۰ تا ۴۵ درصد متغیر است. دو تشکیل دهنده اصلی فنوکریست ها شامل: پلاژیوکلاز با فراوانی ۳۰ درصد و اندازه ۰/۵ تا ۶ میلیمتر (متوسط اندازه ۱/۸ میلیمتر)، همراه با ۱۵ درصد کلینوپیروکسن با اندازه ۰/۳ تا ۲ میلیمتر (متوسط اندازه ۱ میلیمتر) که تمام کلینوپیروکسن ها بین ۷۰ تا ۸۰ درصد به کربنات و ۵ تا ۱۰ درصد به کانی های فلزی تبدیل شده اند (شکل ۳-۳، ت). برخلاف کلینوپیروکسن ها که بواسطه دگرسانی شدید تنها قالب‌هایی از آنها باقی مانده است و ۸ درصد الیوین با اندازه ۰/۱ تا ۰/۴ میلیمتر تشکیل شده است. الیوین های این واحد تماما به سرپانتین، کلینوپیروکسن ها تا حدود ۷۰ درصد به کربنات و ۱۰ درصد به اکسید آهن (ایدینگزیتی) و پلاژیوکلازها بین ۵ تا ۱۰ درصد به کلسیت تجزیه شده اند (شکل ۳-۳، ث). از مشخصات این نمونه کربناته شدن شدید کلینوپیروکسن ها و دگرسانی ضعیف پلاژیوکلازها است (شکل ۳-۳، پ).

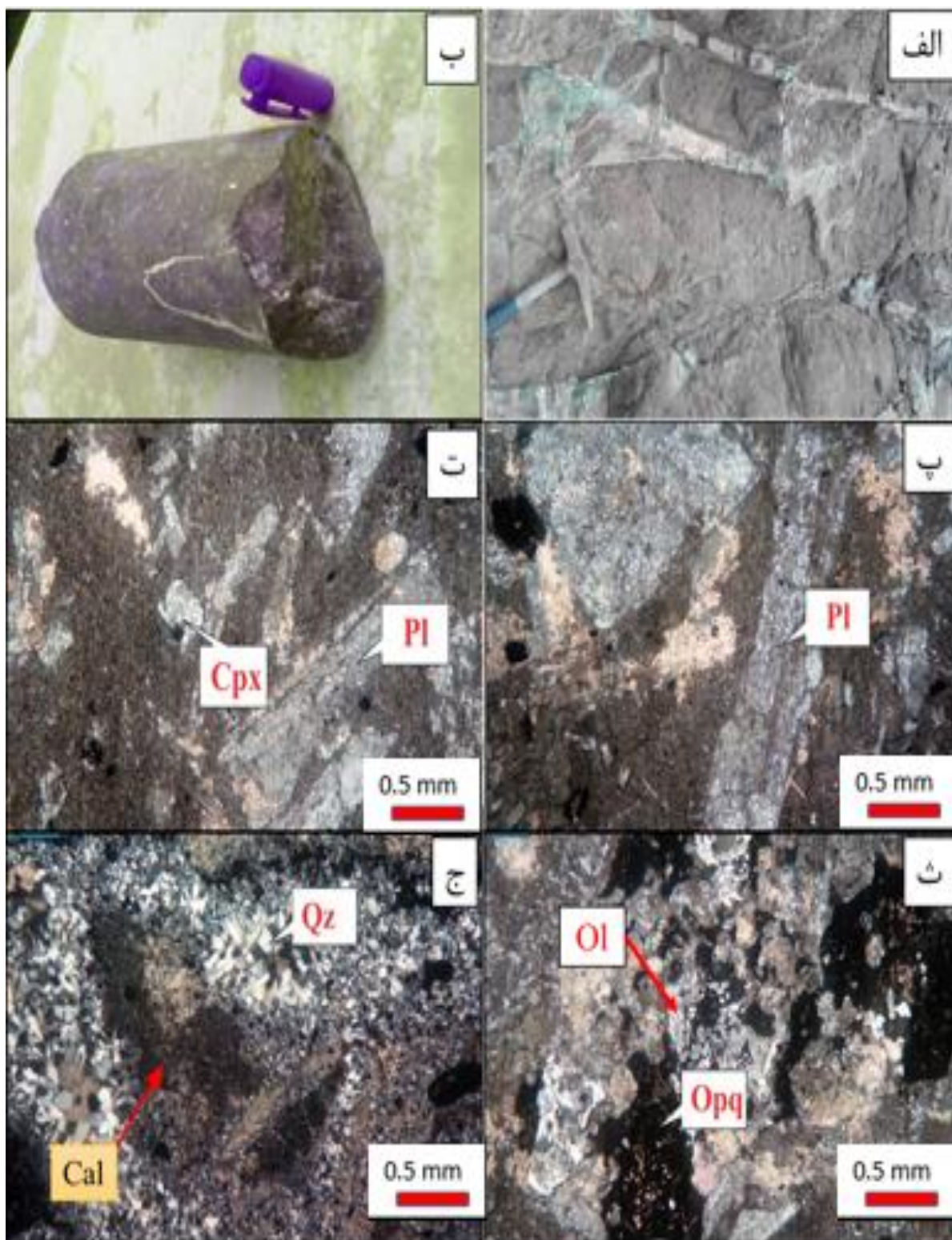


شکل ۳-۳: الف) تصویر صحرایی از واحد بازالت در منطقه، ب) نمونه دستی واحد بازالت، پ) تجمع کانی پلاژیوکلاز (Pl) نشان‌دهنده بافت پورفیری و تشکیل کلسیت (Cal)، ت) تبدیل کلینوپیروکسن‌ها به کانی فلزی (Opq)، ث) کانی الیوین (Ol) و تبدیل شدن به

سرپانتین.

آندزیت بازالت

واحد سنگی دیگر در منطقه که دارای کانه‌زایی می‌باشد واحد آندزیت بازالت می‌باشد که در برخی مناطق حالت برشی پیدا کرده است و کانه‌سازی مالاکیت حفرات بین آن‌ها را پر کرده است (شکل ۳-۴ الف و ب). مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که در مطالعات میکروسکوپی بافت اصلی این واحد پورفیریک و بافت‌های فرعی آن گلومروپورفیریک تشخیص داده شده است. درصد فنوکریست این واحد بین ۴۰ تا ۴۲ درصد متغیر بوده و دامنه تغییرات اندازه آنها بین ۰/۵ تا ۵ میلیمتر می‌باشد. پلاژیوکلاز را می‌توان فراوان‌ترین کانی موجود در سنگ‌های آندزیتی منطقه دانست. این کانی به دو صورت درشت بلور و میکروولیت (در خمیره سنگ) حضور دارد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد فراوانی داشته و اغلب به صورت بلورهای قطور مستطیلی شکل با ماکل پلی‌سنتتیک مشاهده می‌شوند. اندازه تقریبی این بلورها نیز بین ۰/۵ تا ۵ میلیمتر متغیر است این کانی به میزان ۲۵ درصد به سریسیت و ۱۰ تا ۱۵ درصد به کربنات تبدیل شده است. با توجه به بیشینه زاویه خاموشی، ترکیب درشت بلورهای پلاژیوکلاز در سنگ‌های آندزیتی در حد آندزین تا لابرادوریت بوده و ترکیب میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در زمینه، سدیک‌تر از درشت بلورها است. میکروولیت‌های زمینه با متوسط اندازه ۰/۱ میلیمتر تقریباً ۵۰ درصد حجم زمینه سنگ را در بر می‌گیرند (شکل ۳-۴ پ). کلینوپیروکسن دومین کانی فراوان در سنگ‌های آندزیتی منطقه است. این کانی هم به صورت فنوکریست و هم در زمینه سنگ تشکیل شده است. درشت بلورهای پیروکسن که از دید ویژگی‌های نوری بیشتر از نوع کلینوپیروکسن (اوژیت) هستند، به میزان ۶۰ درصد به کربنات و ۱۰ درصد به کانی‌های فلزی تبدیل شده است. این کانی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد فراوانی دارد. فنوکریست‌های کلینوپیروکسن اکثراً شکل‌دار بوده و به صورت مقاطع عرضی هشت ضلعی و کمتر به شکل مقاطع طولی با اندازه تقریبی بین ۰/۵ تا ۲ میلیمتر مشاهده می‌شوند. این کانی در قسمت‌هایی بافت گلومروپورفیری را نشان می‌دهد (شکل ۳-۴ ت). بلورهای گرد و بی شکل الیوین نیز با فراوانی ۵ درصد در این نمونه وجود دارد که تماماً به سرپانتین تبدیل شده اند (شکل ۳-۴ ث). کانی‌های فوق مبین واحد آندزیتی بازالتی هستند که این واحد برشی شده و فضاهای خالی عمدتاً با کوارتز ثانویه و کلسیت پر شده است. بلورهای کوارتز در این واحد شکل‌دار بوده و در زمینه حالت کلسدونی به خود گرفته است (شکل ۳-۴ ج).

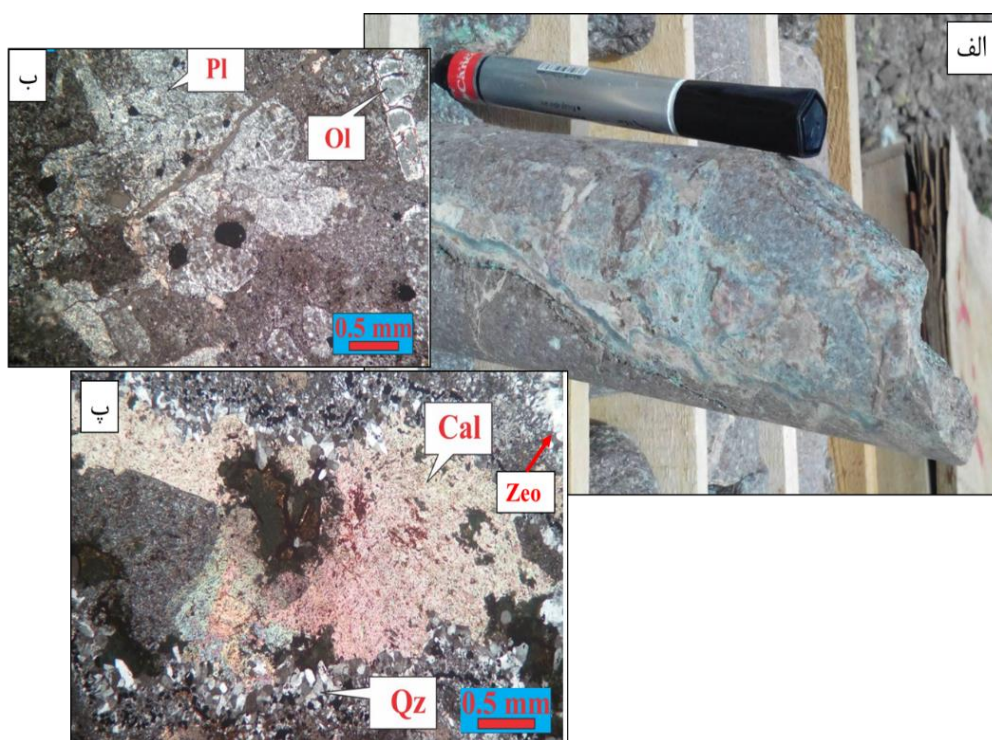


شکل ۳-۴: الف) تصویر صحرایی از نمونه آندزیت بازالت در منطقه، ب) نمونه دستی واحد آندزیت بازالت، پ) کانی پلاژیوکلاز (Pl) دگرسان شده، ت) بافت گلومروپورفیری از کانی کلینوپیروکسن (Cpx) و پلاژیوکلاز، ث) بلورهای گرد و بی شکل الیوین (Ol) که تماماً به سرپانتین تبدیل شده اند، ج) بلورهای شکل دار کوارتز (Qz) که در زمینه حالت کلسدونی دارند.

۴-۲-۳- آندزیت

متن سنگ ترکیب آندزیتی نشان می‌دهد و از کانی‌های پلاژیوکلاز- کلینوپیروکسن تشکیل شده است (شکل ۵-۳-۵ الف). پلاژیوکلازها به میزان ۶۰ درصد به سریسیت و ۱۰ درصد به کلسیت تجزیه شده و کلینوپیروکسن‌ها شدیداً سیلیسی شده‌اند. (شکل ۵-۳-۵ ب). این واحد به احتمال زیاد برشی شده و فضاهای خالی آن توسط کوارتز ثانویه کربناته پر شده است (شکل ۵-۳-۵ الف). این برشی شدن می‌تواند برش هیدروترمالی باشد چونکه همراه برشی شدن کانی سازی شدیدی نیز رخ داده است.

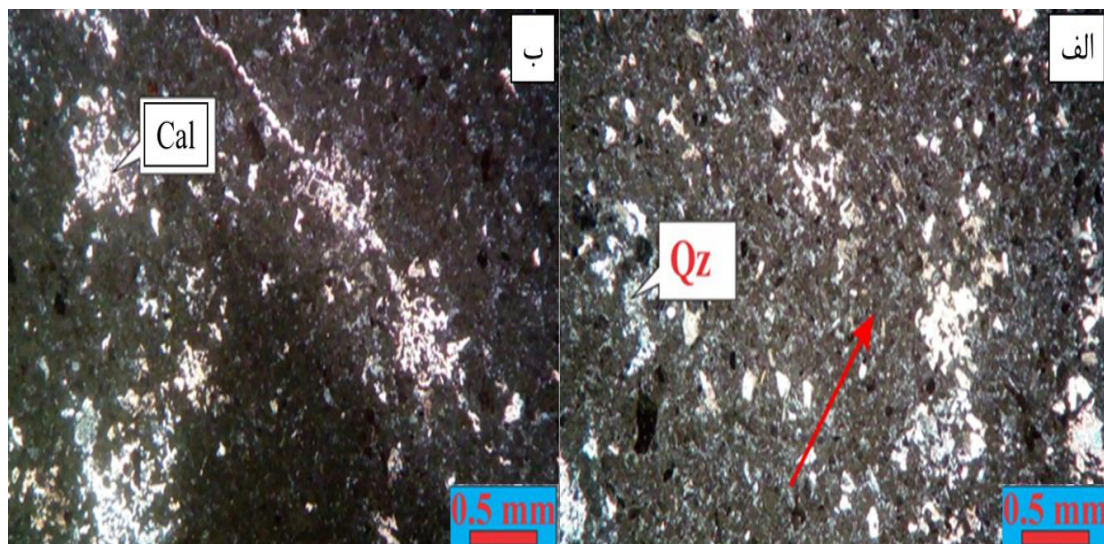
رگچه‌های مختلفی در این واحد وجود دارد که عبارتند از رگچه‌های مالاکیتی همراه با کوارتز، رگچه‌هایی با بافت شانه‌ای که در حاشیه کوارتز + کانی فلزی و در مرکز کلسیت قرار دارد و رگچه‌هایی که در حاشیه آن زئولیت (بافت شعاعی) قرار دارد. البته زئولیت به صورت پراکنده در متن سنگ نیز مشاهده می‌گردد (شکل ۵-۳-۵ الف و پ).



شکل ۵-۳: الف) نمونه دستی از برش هیدروترمالی آندزیت همراه با کانه‌زایی، ب) پلاژیوکلازهای سیلیسی شده، پ) رگچه‌های کلسیتی و سیلیسی همراه با زئولیت.

۵-۲-۳- لیتیک توف

این نمونه بسیار ریز بلور است و فقط بندرت قالب‌هایی از قطعات سنگی و کانی پلاژیوکلاز در آن قابل شناسایی است. قطعات سنگی تقریباً ۸۰ درصد نمونه را در بر گرفته و کریستال‌های پلاژیوکلاز فراوانی ۱۰ درصد دارند. در مجموع اندازه قطعات سنگی بین ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر و کانی پلاژیوکلاز حدود ۰/۱ میلیمتر است. به صورت پراکنده و با فراوانی کمتر از ۱ درصد کانی‌های فلزی در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۳-۶). همچنین رگچه‌های ظریف کلسیت با ضخامت ۰/۱ میلیمتر در این واحد وجود دارد و سنگ دگرسانی کربناته متوسط را نشان می‌دهد. ظاهر سنگ مشابه توف‌ها مخصوصاً لیتیک توف با ترکیب آندزیتی می‌باشد.



شکل ۳-۶: الف) نمایی از کوارتز ثانویه، ب) تصویری از کلسیت در نمونه توف.

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

یکی از نکات مهم در مطالعه‌ی هر کانساری، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می‌باشد. کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی شامل انواع ساختاری، چینه‌شناسی، فرایندهای ماگمایی و گرمایی هستند. شکل کانسارها ارتباط مستقیمی با کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی دارد و شامل انواع دانه‌پراکنده، توده‌ای، نواری، برشی، رگه-رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضا‌های ناشی از انحلال و غیره هستند. در تحقیق حاضر برپایه‌ی مشاهدات زمین‌شناسی صحرایی و مطالعه نمونه‌های دستی به بررسی ساختار کانی‌سازی در کانسار پیرمردان پرداخته شده است. شکل غالب کانی‌سازی در این کانسار از نوع رگه-رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی می‌باشد.

شناخت محصولات و فرایندهای دگرسانی که همراه با کانی‌زایی دیده می‌شوند، بنیان شناسایی فرایندهای مربوط به تشکیل کانسار است و موجب پیشرفت در روش‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, ۱۹۹۸). مجموعه کانی‌هایی که در دگرسانی‌های مختلف وجود دارند در نتیجه‌ی تغییرات فشار، درجه حرارت و ترکیب شیمیایی به وجود می‌آیند (Evans, ۱۹۹۷)، لیکن عامل تعیین‌کننده در تشکیل انواع دگرسانی و شدت آن‌ها، شیمیایی و حرارتی می‌باشد. در این میان انواع کانه‌سازی، صرف نظر از نوع آن، همیشه با یک سری نشانه‌ها و شاخص‌ها همراه است که شناسایی و تفکیک آن‌ها را با دقت و سرعت بیشتر ممکن می‌سازد. یکی از این نشانه‌ها و شاخص‌ها، هاله‌های دگرسانی است، به راستی دگرسانی چیست و چه مشخصاتی دارد؟ و مطالعه و درک مکانیسم تشکیل دگرسانی چه اهمیتی دارد؟ رابطه آن با انواع کانی‌سازی‌ها در چیست؟ در یک تعریف ساده و فراگیر دگرسانی یعنی، به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی گویند. به عبارتی دیگر سنگ‌های دربرگیرنده (سنگ‌های دیواره) و سنگ‌های مجاور کانسارهایی که خاستگاه گرمایی دارند معمولاً به وسیله سیال کانه‌دار پر حرارتی که از میان آن‌ها می‌گذرد، دگرسان می‌شود (Park and MacDiarmid, ۱۹۷۵). اما اهمیت مطالعه دگرسانی پیدا کردن رابطه یک یا چند نوع دگرسانی خاص با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی است. دگرسانی‌ها به علت داشتن وسعت فراوان‌تر نسبت به مناطق کانی‌سازی شده، شناسایی این مناطق را آسان‌تر کرده است. در اکتشافات هدفمند و سیستماتیک در سراسر دنیا از دگرسانی‌ها برای تشخیص مناطق کانی‌سازی شده به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود که این امر خود موجب کاهش هزینه و زمان لازم برای امر اکتشاف شده و این امر را

سودمند می‌کند. در این فصل با توجه به اینکه دگرسانی خود محصول جانبی کانی‌سازی و تغییر در ترکیب سنگ اولیه است، به رابطه دگرسانی با کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

برای بررسی دگرسانی‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه از شواهد صحرایی، نتایج مطالعات سنگ‌نگاری و XRD استفاده شده است. براساس نتایج این مطالعات پنج منطقه‌ی دگرسانی اصلی تشخیص داده شده است، که عبارتند از: کربناته، سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیکی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. هدف از این بخش شناخت مناطق دگرسانی و ارتباط آن با فرایندهای تشکیل کانسار می‌باشد.

۴-۲- عوامل مؤثر در کانه‌زایی

نهمین ماده معدنی در کانسارهای گرمابی عموماً توسط دو عامل اساسی شیمیایی و ساختاری کنترل می‌شود.

این دو عامل نقش مهمی در توزیع و تهنهشت کانه‌ها به عهده دارند. عوامل ساختاری در توزیع و تمرکز سیالات کانی‌ساز مؤثر بوده و عوامل شیمیایی حمل و ته‌نشست ماده معدنی را کنترل می‌کنند.

کنترل‌کننده‌های ساختاری: عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی به خصوص گسل‌ها موجب به وجود آمدن شکستگی‌ها و فضاهای مناسب جهت حرکت سیالات گرمابی می‌شوند. ارتباط تنگاتنگ تمرکزهای اقتصادی ماده معدنی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، فرضیه ایجاد فضای خالی توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها را تقویت می‌کند.

در محدوده معدنی پیرمردان دو دسته گسل با روندهای شمال‌شرقی - جنوب‌غربی و شمال‌غربی - جنوب‌شرقی در منطقه از فراوانی بیشتری برخوردار هستند. لذا کنترل‌کننده اصلی کانه‌زایی گسل‌ها بوده‌اند و جهت پی‌جویی مس در منطقه لازم است مسیر گسل‌ها تعقیب شود (شکل ۳-۱۰ و ۴-۱).

البته حضور سنگ‌های آتشفشانی به عنوان سنگ منشأ نیز یک فاکتور ضروری و اولیه می‌باشد. کانه‌زایی در منطقه از نوع اپی‌ژنتیک، هیدروترمالی و رگه‌ای می‌باشد. این تیپ کانه‌زایی معمولاً بصورت پراکنده و تعداد زیادی نقاط کانه‌دار هستند ولی حجم کم و عیار بسیار متغیر دارند. معیار اکتشافی در منطقه شامل دو معیار لیتولوژیکی (واحد‌های دگرسان شده) و ساختاری (گسل‌های شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی) می‌باشند.

۳-۴- کانه‌زایی در محدوده معدنی پیرمردان

سنگ میزبان کانه‌زایی در منطقه پیرمردان تشکیل شده از بازالت پورفیری غیر دگرسان و گدازه‌های آندزیت بازالتی، سنگ‌های آذرآواری مثل توف و آگلومرا به همراه سنگ‌های رسوبی از جمله شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک (با گسترش کم) که شدیداً دگرسان شده‌اند.

برای بررسی‌های بیشتر در منطقه، از ترانشه و گمانه در موقعیت‌های مختلف استفاده شده است. در بخش پیرمردان تعداد چهار ترانشه حفر شده که مشخصات آنها در جدول (۴-۱) (گزارش پایانی عملیات اکتشافی مس پیرمردان شرقی و غربی، تروود ۱۳۹۷) نشان داده شده است. ترانشه‌های مورد مطالعه در محدوده معدنی پیرمردان به ترتیب:



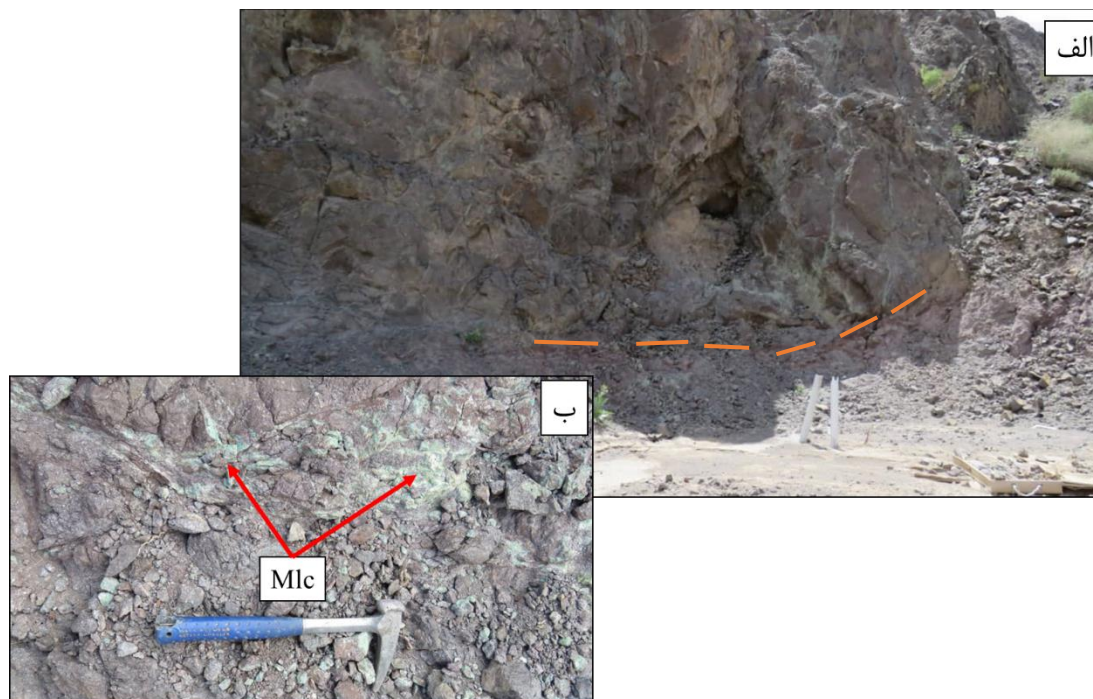
شکل ۴-۱: تصویری از گسل موجود در منطقه و کانه‌زایی مس در اثر گسل در مرز بین دو واحد.

جدول ۴-۱: مشخصات ترانشه‌های حفر شده در محدوده پیرمردان.

ردیف	نام ترانشه	مختصات جغرافیایی دهانه گمانه‌ها		ارتفاع بیشتر ترانشه	طول	عرض	عمق
۱	سکو حفاری ۸	35°26'42.47"	54°48'39.98"	۱۳۸۳	۲	۲۰	۲۵
۲	ترانشه گمانه ۱۱	35°26'45.20"	54°48'16.27"	۱۴۱۴	۱	۳	۱۰
۳	ترانشه گردنه	35°32'36.60"	54°50'43.80"	۱۴۴۳	۴	۷	۱۰
۴	ترانشه کار شدادی	35°32'15.36"	54°51'9.72"	۱۴۲۶	۳	۷	۵

۱- ترانشه شماره ۱:

این ترانشه عمدتاً دارای سنگ میزبان توف به همراه میزان کمتری گدازه می‌باشد. کانه‌زایی در این ترانشه عمدتاً شامل مالاکیت می‌باشد که در بخش‌های شیرزون در مرز بین گسل شاهد این نوع کانه‌زایی می‌باشیم. این ترانشه دارای دگرسانی‌های کربناته، سیلیسی، سرسیتی و آرژیلیکی است. شکل (۲-۴) تصاویر صحرایی از ترانشه شماره ۱ به همراه کانه‌زایی در آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴: الف) نمایی کلی از ترانشه شماره ۱، ب) نمونه‌ای از کانه‌زایی مالاکیت در ترانشه شماره ۱.

۲- ترانشه شماره ۲:

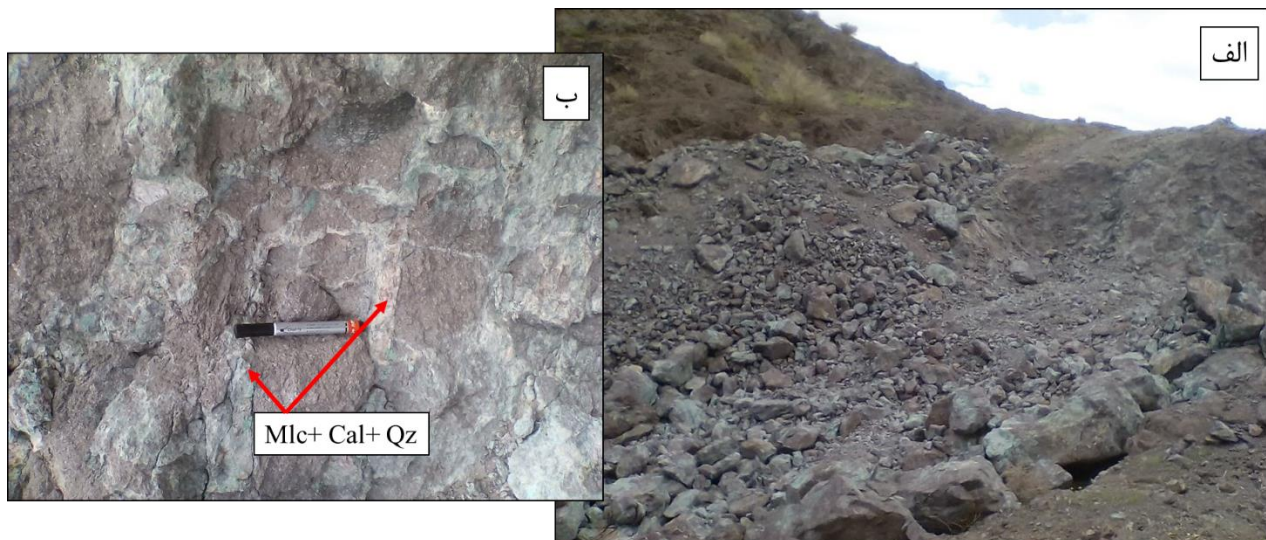
ترانشه شماره ۲ دارای سنگ میزبان آندزیت بازالیت که شدیداً در اثر فرایندهای گسلی حالت برشی پیدا کرده است و فضای خالی بین قطعات سنگ توسط کانی‌های مالاکیت، کلسیت و سیلیس پر شده است (شکل ۳-۴). این واحد شدیداً برشی شده و در فضای بین قطعات به وفور کوارتز ثانویه دیده می‌شود که این امر ناشی از دگرسانی می‌باشد. در مجموع ترکیب قطعات عمدتاً آندزیتی است که اندازه آن‌ها بین ۰/۲ تا ۴ میلیمتر متغیر است. از ویژگی‌های بارز این نمونه کانی‌سازی شدید به صورت پراکنده و رگچه‌ای است. این ترانشه دارای دگرسانی‌های سرسیتی، آرژیلیکی، کربناته و اکسید هیدروکسیدهای آهن می‌باشد.

۳- ترانشه شماره ۳:

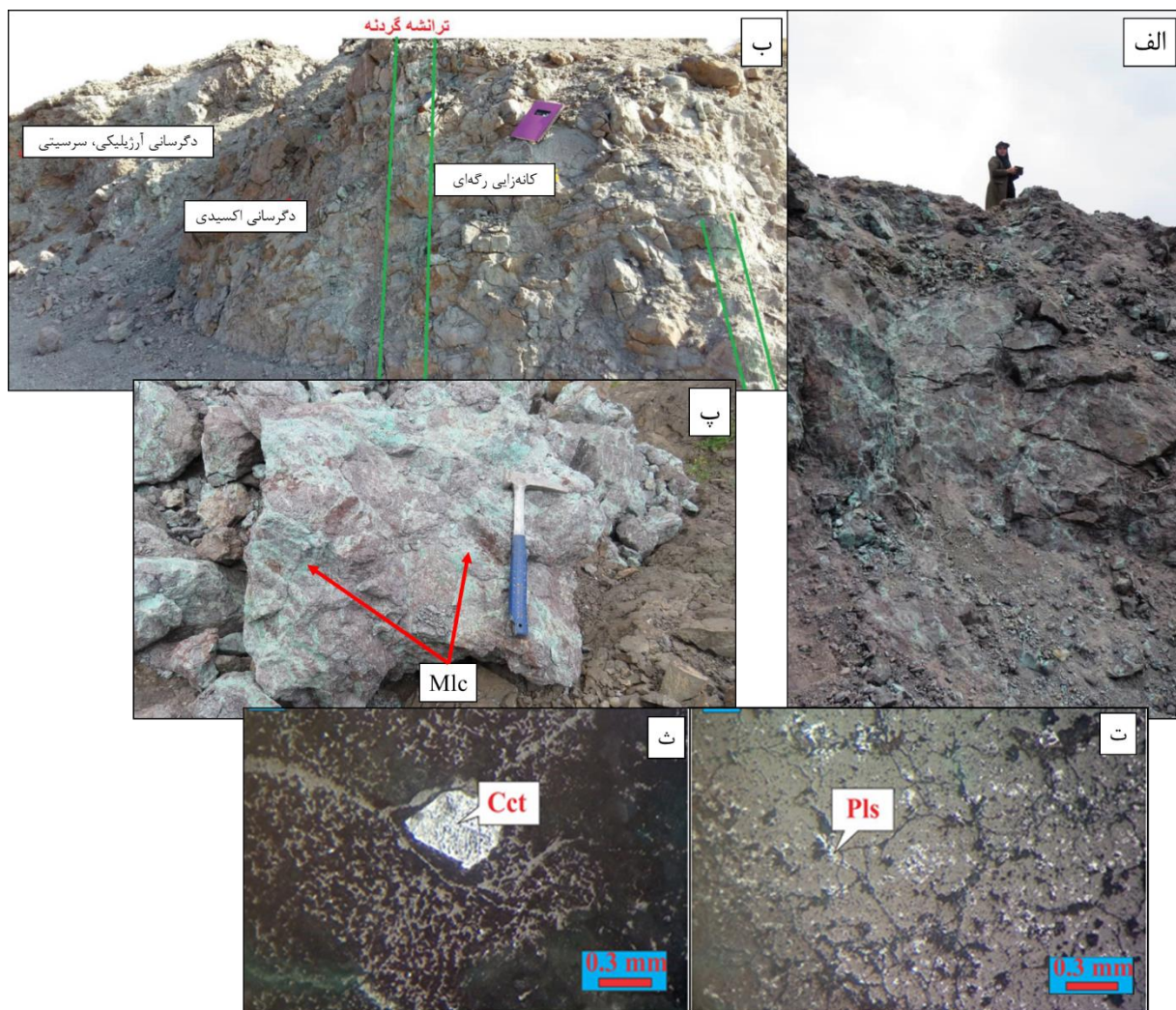
ترانشه شماره ۳ یا ترانشه گردنه دارای سنگ میزبان آندزیت بازالت می‌باشد به همراه دگرسانی‌های آرژیلیکی، سربستی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن در منطقه می‌باشد. ترانشه شماره ۳ دارای کانه‌زایی شدیدی به صورت رگه- رگچه‌ای و برشی دارای کانی‌های مالاکیت است (شکل ۴-۴ الف، ب و پ). کانی سازی در این ترانشه بسیار شدید بوده است و دارای کانی‌های پیرولوسیت، مالاکیت و کالکوسیت در منطقه می‌باشد (شکل ۴-۴ ت و ث).

۴- ترانشه شماره ۴:

ترانشه شماره ۴ یا تراشه کار شدادی که دارای اثرات معدن کاری قدیمی در منطقه است. این ترانشه نیز دارای کانه‌زایی مالاکیت در سنگ میزبان آندزیت بازالت منطقه است و کانه‌زایی در مرز بین دو واحد که گسلی شده است قابل مشاهده است. دگرسانی‌های موجود در این ترانشه آرژیلیکی، کربناته و سیلیسی است. کانی سازی در این نمونه به نسبت ضعیف تر از سایر نمونه ها است. مهم ترین کانی این واحد کانی اولیه کالکوسیت و مالاکیت است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۳: الف) نمایی از ترانشه شماره ۲، ب) تصویری از کانه‌زایی مالاکیت به صورت برشی در بین قطعات سنگ میزبان آندزیت بازالت.



شکل ۴-۴: الف) نمایی کلی از ترانشه شماره ۳، ب) تصویری از کان‌زایی رگه‌ای مالکیت در ترانشه شماره ۳، پ) تصویری از کان‌زایی مالکیت

به صورت برشی، ت) کانی زایی پیرولوسیت به صورت پراکنده، ث) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت در ترانشه شماره ۳.



شکل ۴-۵: نمایی از ترانشه شماره ۴ و کان‌زایی رگه‌ای در امتداد گسل‌های مزدوج به صورت کان‌زایی مالکیت در منطقه.

در ادامه همچنین جهت بررسی کیفیت و کمیت ماده معدنی در عمق، تعداد ۶ گمانه در بخش پیرمردان حفر شده است. جدول (۲-۴) مشخصات کلی، عمق و عیار میانگین هر یک از گمانه‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۶-۴، الف) نمونه‌ای از مغزه‌های حفاری در محدوده پیرمردان را نشان می‌دهد. در نهایت تعداد دو گمانه اصلی که بیشترین کانه‌زایی را نشان می‌دهد مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۴-۶، ب) براساس داده‌ها نمایی شماتیک از لاگ لیتولوژی گمانه‌ها به همراه مشخصات لیتولوژی و کانه‌زایی هر یک از واحدها بر اساس عمق مغزه‌های حفاری در محدوده پیرمردان را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات صحرایی اولیه انجام شده در محدوده مختصات کانسار مس در واحدهای ولکانیکی آندزیتی-بازالتی مربوط به ائوسن تشکیل شده است. کانسار مس موجود در این منطقه از نوع کربناته عمدتاً مالاکیتی است که درون شکستگی‌ها و گسله‌ها تشکیل شده است (شکل ۴-۱). تجمع مس به صورت کانی‌های مالاکیت و آزوریت درون شکستگی‌ها و صفحات گسلی برخی مناطق به صورت کاملاً یکپارچه و با پوششی سبز رنگ دیده می‌شود. عمدتاً کانی‌سازی در منطقه پیرمردان بیشتر از نوع رگه-رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی می‌باشند، که در ادامه به توضیح انواع کانه‌زایی پرداخته می‌شود.

جدول ۴-۲: مشخصات جغرافیایی و عمقی گمانه‌ها در محدوده معدنی پیرمردان، به همراه مشخصات جغرافیایی و عمقی گمانه‌های ۸

و ۱۱.

ردیف	شماره گمانه	مختصات جغرافیایی دهانه گمانه‌ها			عمق (متر)	عیار مس (درصد)	نوع حفاری
		Z	X	Y			
۱	BH.6	1388	54°48'36.36"	35°26'45.56"	۵۰	-	قائم، ۹۰ درجه
۲	BH.7	1385	54°48'34.67"	35°26'46.50"	۴۵	-	قائم، ۹۰ درجه
۳	BH.8	1383	54°48'39.98"	35°26'42.47"	۲۲/۲	۲/۶۱۲	قائم، ۹۰ درجه
۴	BH.9	1406	54°48'16.60"	35°26'46.46"	۲۰	-	قائم، ۹۰ درجه
۵	BH.10	1406	54°48'16.60"	35°26'46.46"	۱۵	۲/۷۵	قائم، ۹۰ درجه
۶	BH.11	1414	54°48'16.27"	35°26'45.20"	۲۵	۱/۸۴	قائم، ۹۰ درجه

شماره گمانه: BH.8					
X= 54°48'39.98"		Y= 35°26'42.47"			
راهنما	ردیف	عمق	لیتولوژی	التراسیون	کانه زایی
	۱	۰-۱	کانسنگ	سریسیتی + آرژیلیتی + کلریتی	مالاکیت
	۲	۱-۵	توف	سریسیتی + آرژیلیتی + کلریتی	فاقد
	۳	۵-۱۰	توف	کربناتی + سریسیتی + کلریتی	فاقد
	۴	۱۰-۱۱	توف	کربناتی	فاقد
	۵	۱۱-۱۳/۴		کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	مالاکیت
	۶	۱۳/۴-۱۴/۴	توف	سریسیتی + آرژیلیتی	فاقد
	۷	۱۴/۴-۱۴/۶	کانسنگ	کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	مالاکیت
	۸	۱۴/۶-۱۵	توف	کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	
	۹	۱۵-۲۰	توف	کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	مالاکیت در متر ۱۸/۵
	۱۰	۲۰-۲۲/۲	توف	کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	
نمونه سطحی از دیواره ترانشه ابعاد ۲۵*۲۰*۲ متر					
			کانسنگ (گدازه و توف دگرسان)	کربناتی + سریسیتی + آرژیلیتی	مالاکیت

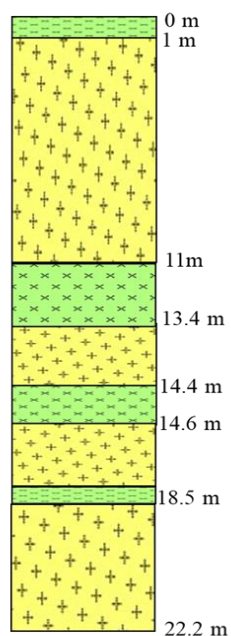
شماره گمانه: BH.11					
X=54°48'16.27"		Y=35°26'45.20"			
راهنما	ردیف	عمق	لیتولوژی	التراسیون	کانه زایی
	۱	۰-۳	سنگ خرد شده شدید	شدید	فاقد
	۲	۳-۵	توف قرمز کمی خرد شده	سریسیتی - آرژیلیتی اکسید آهن	فاقد
	۳	۵-۷	توف قرمز کمی خرد شده	سریسیتی - آرژیلیتی اکسید آهن	فاقد
	۴	۷-۱۰	توف آله‌ره حاوی کانه‌زایی (کانسنگ)	آرژیلیتی - سریسیتی اکسید آهن	مالاکیت
	۵	۱۰-۱۵	کانسنگ	سریسیتی - آرژیلیتی - کربناته اکسید آهن	مالاکیت
	۶	۱۵-۱۶	کانسنگ	سریسیتی - آرژیلیتی - کربناته اکسید آهن	مالاکیت
	۷	۱۶-۲۰	توف خاکستری تیره دگرسانی کم	آرژیلیتی - سریسیتی	فاقد
	۸	۲۰-۲۲/۳	کانسنگ	آرژیلیتی - سریسیتی - کربناته	مالاکیت
	۹	۲۳/۳-۲۵	بازالت تیره غیر دگرسان	-	-

BH10-dp12
40S 300744 3924743

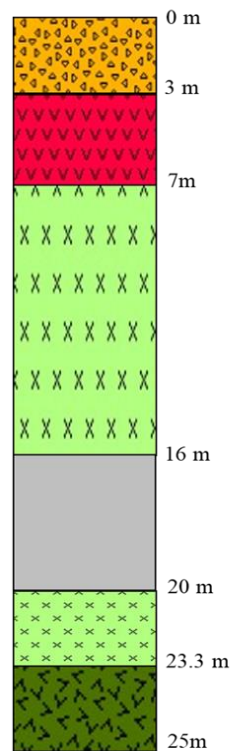
الف



BH.8



BH.11



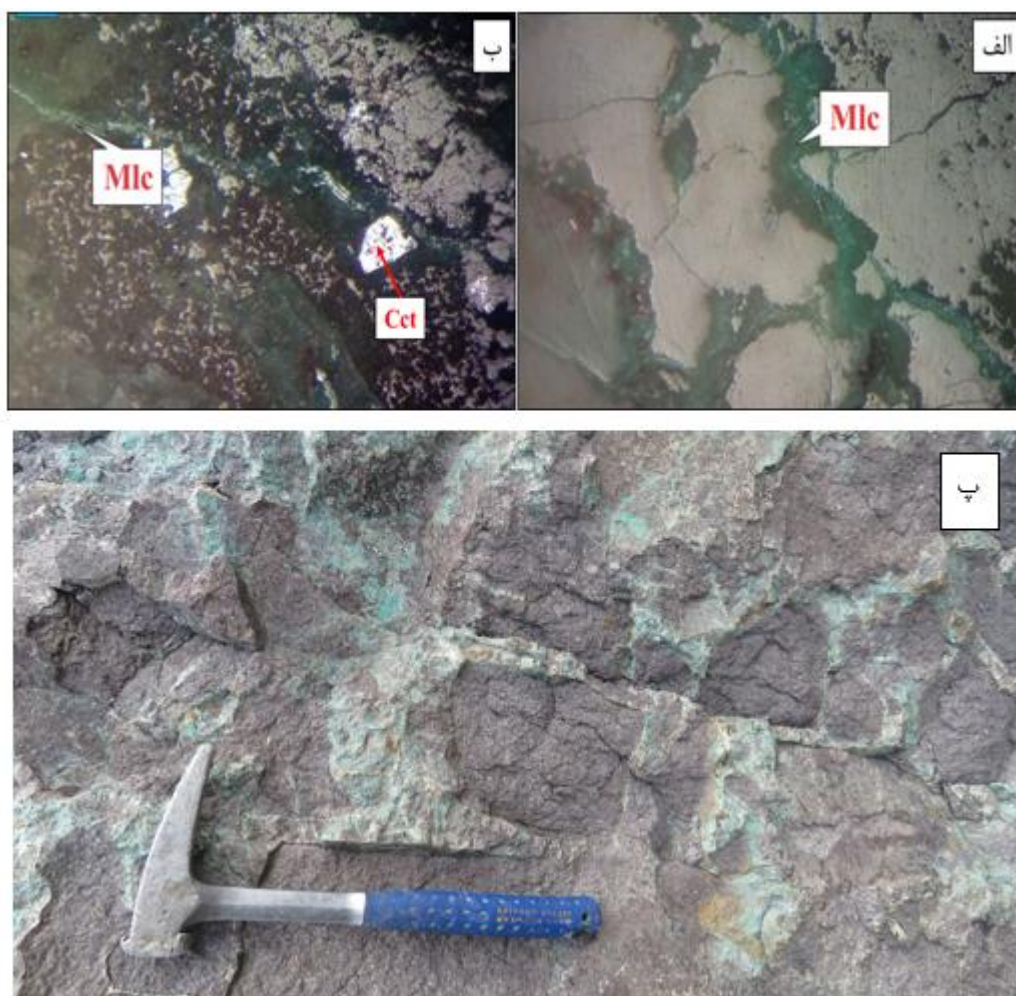
ب

شکل ۴-۶: الف) نمونه‌ای از مغزه‌های حفاری در محدوده پیرمردان، ب) نمایی شماتیک از لاگ لیتولوژی گمانه‌های ۸ و ۱۱ در منطقه پیرمردان (راهنمای شکل مشابه جدول ۴-۲ است).

۴-۳-۱- کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای

این نوع کانی‌سازی مختص پهنه‌های گسلی، درزه و شکستگی‌ها می‌باشد. زون‌های گسلی در منطقه دو دسته گسل با روندهای شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی در منطقه از فراوانی بیشتری برخوردار هستند. این گسل‌ها نقش اساس در کانه‌زایی در منطقه دارند.

این گسل‌ها و شکستگی‌ها در ادامه بر سنگ درونگیر- ساختارهای مورفولوژیک و توپوگرافی کلی ناحیه اثر خود را باقی گذاشتند. سنگ درونگیر رگه و رگچه‌ها سنگ‌های بازالت پورفیری و بازالت می‌باشد. عمدتاً سنگ‌های میزبان این منطقه دچار دگرسانی‌های کربناته، سیلیسی و سریسیتی شده‌اند. طبق شواهد صحرایی و میکروسکوپی رگه- رگچه‌ها کانی‌سازی متنوعی از کانی‌های کربناته عمدتاً مالاکیت نشان می‌دهند (شکل ۴-۷).

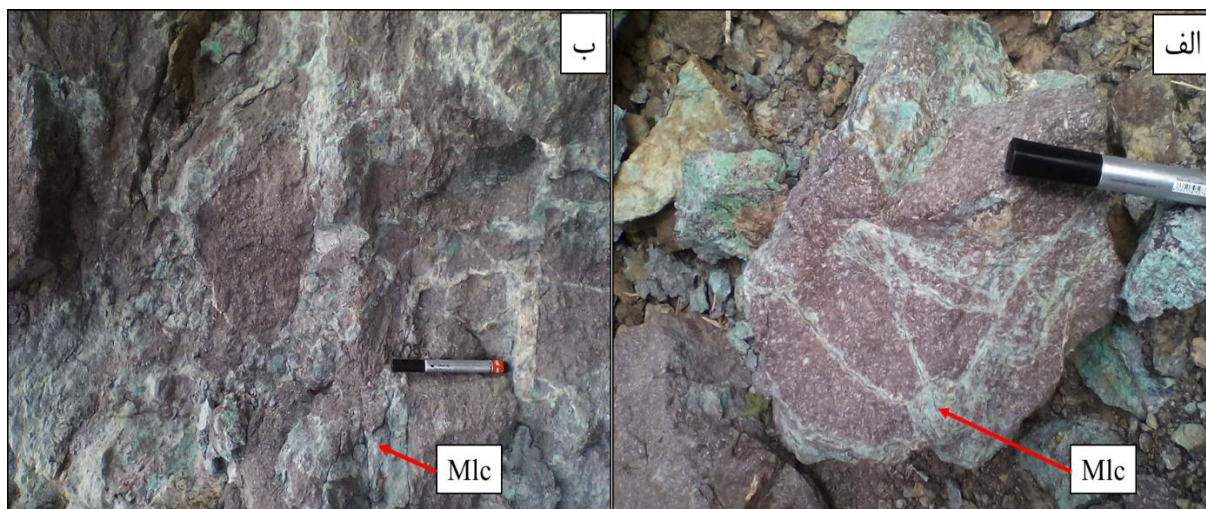


شکل ۴-۷: (الف) تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های مالاکیتی، (ب) تصویر میکروسکوپی از رگه مالاکیتی به همراه کالکوسیت،

(پ) کانه زائی رگه - رگچه ای.

۴-۳-۲- کانه‌زایی برشی و پرکننده فضای خالی

طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی این نوع کانه‌زایی در سنگ‌های بازالتی و آندزیت بازالت گسترش دارند. کانه‌زایی برشی در منطقه پیرمردان عمدتاً دارای گسترش فراوانی است. کانه‌زایی در منطقه به صورت کانی-سازی مالاکیت در منطقه قابل مشاهده است (شکل ۴-۸). بنابراین کانه‌زایی به وسیله محلول کانه‌دار با پرکردن فضاها و حفره‌های خالی داخل سنگ‌ها به صورت اپی‌ژنتیک صورت گرفته است.



شکل ۴-۸: الف و ب) تصاویری از رگه-رگچه‌های برشی مالاکیت در سنگ میزبان پورفیری بازالت و آندزیت بازالت.

۴-۴- دگرسانی

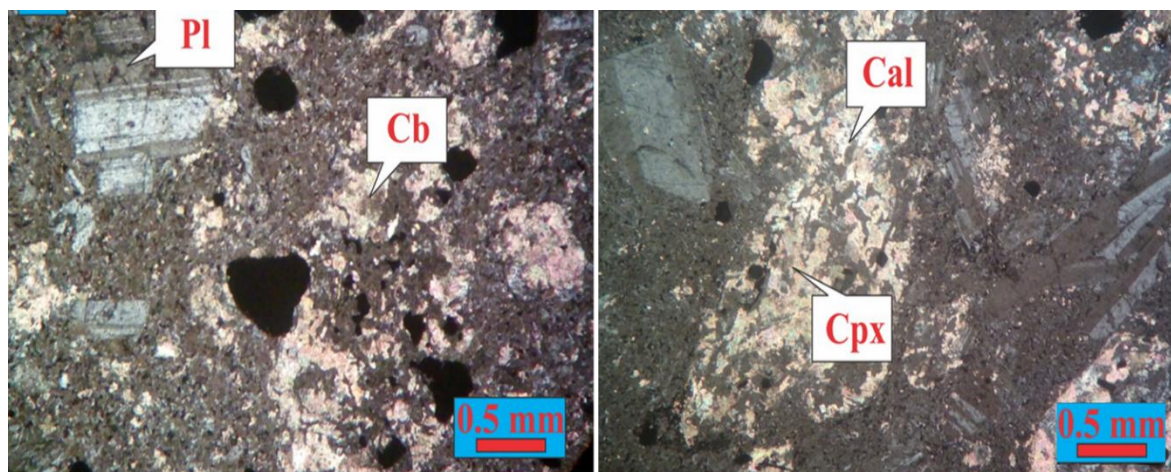
دگرسانی نشان دهنده یک فرآیند پیچیده‌ای است که دارای تغییراتی از جمله کانی‌شناسی، شیمیایی و بافتی ناشی از واکنش سیالات گرمابی داغ با سنگ‌هایی است که سیالات از آن‌ها عبور می‌کند و باعث تغییر و تحولات فیزیکوشیمیایی در آن‌ها شود (Pirajno, ۱۹۹۲, ۱۹۹۷; Guilbert and Park, ۱۹۹۷). چرخش این سیالات هیدروترمالی، تغییرات فیزیکوشیمیایی در سنگ ایجاد می‌کنند. که این موضوع نشان دهنده عنوان دگرسانی هیدروترمالی است. زمانی که این سیالات از بین سنگ‌ها نفوذ کرده، باعث واکنش‌های شیمیایی می‌شود و تمایل به رسیدن به تعادل، از طریق انحلال و ته‌نشست مجموعه‌ای از کانی‌های جدید را ایجاد می‌کنند (Pirajno, ۲۰۰۹). یک دگرسانی، نشان دهنده ارتباط مستقیم آن دگرسانی با عمق جایگزینی توده‌نفوذی و ماهیت سیالات دارد (Meinert et al., ۲۰۰۵). انواع دگرسانی، به شرایط مختلفی از جمله طبیعت، شیمی، دما و فشار سیالات در حال چرخش و به همین ترتیب، به طبیعت و ترکیب سنگ‌هایی که سیالات از میان آن‌ها چرخش می‌کنند بستگی دارد. ویژگی‌های

شیمیایی اجزای تشکیل‌دهنده سیالات مثل، H^+ , CO_2 , O_2 , K^+ , H_2S , SO_2 و غیره، در شناسایی نوع دگرسانی--کانی‌زایی مرتبط با فرآیندهای هیدروترمال و متاسوماتیک مؤثر است (Meinert, ۱۹۹۲). دگرسانی‌های موجود در منطقه معدنی پیرمردان شامل: دگرسانی‌های کربناته، آلبیتی، سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیکی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد.

۴-۴-۱- دگرسانی کربناته

فراوانی وجود کانی‌های کربناته در یک منطقه نشان‌دهنده دگرسانی پیروکسن‌ها و پلاژیوکلازها و نشان‌دهنده غنی بودن محلول از بی‌کربنات است. همراه بودن این زون‌های دگرسانی با شکستگیها، درزه‌ها و گسل نشان از نزدیک بودن این فرآیند با زون‌های گسلی است که در منطقه پیرمردان به فراوانی قابل مشاهده است. کانی‌های کربناته از ترکیب سنگ میزبان تبعیت می‌کنند. کلسیت‌ها در این دگرسانی گاهی رنگ قهوه‌ای روشن دارد که می‌تواند ناشی از آغستگی آنها با آهن باشد. دگرسانی کربناتی در قسمت‌های آتشفشانی حاشیه قاره‌ها می‌تواند حاصل چرخش آب‌های زیرزمینی و گرم شدن آنها در مجاورت توده‌های نفوذی باشد.

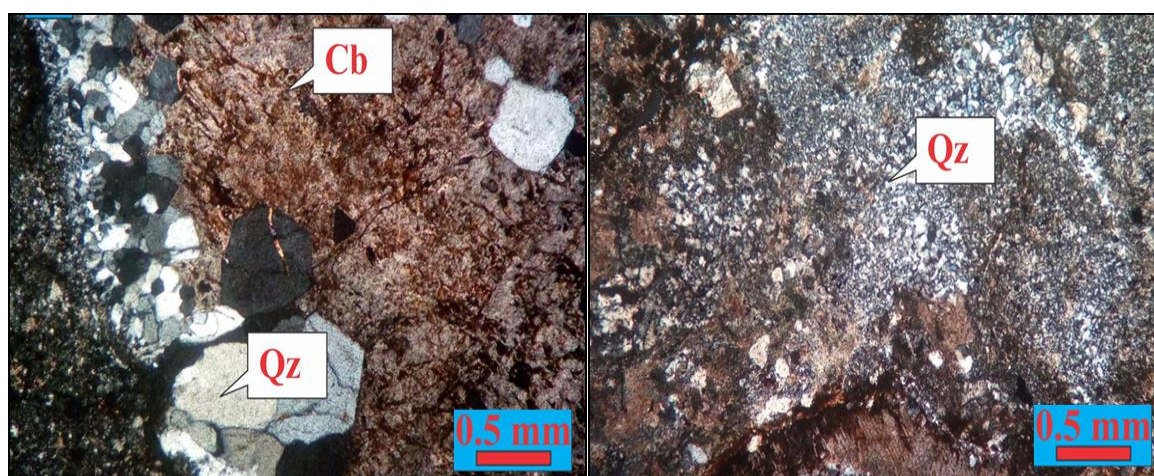
دگرسانی کربناته، بازتاب‌کننده ترکیب سنگ‌های میزبان دگرسانی، نزدیک به مناطق تغذیه‌کننده غنی از آهن و واکنش با آب دریا است. کانی‌های کربناته معمولاً به صورت پرکننده فضای باز در درز و شکاف‌ها و حفرات سنگ در یک ناحیه دیده می‌شود. تشکیل کلسیت در محدوده دمایی وسیع صورت می‌گیرد و پایداری آن عمدتاً تحت تأثیر غلظت گاز کربنیک معمول می‌باشد. در سنگ‌هایی با تخلخل و نفوذپذیری کم کلسیت در حضور سیالات غنی از CO_2 جانشین کانی‌های کلسیم‌دار (پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، زئولیت و اپیدوت) و شیشه‌های آتشفشانی می‌شود. در منطقه مورد مطالعه در کانسارها پیرمردان بیشترین دگرسانی کربناته را در سنگ میزبان بازالت و پورفیری بازالت و آندزیت‌ها داریم که همراه با کانه‌زایی قابل مشاهده است (شکل ۴-۹). برخی از پیروکسن‌ها دچار دگرسانی شده‌اند و قالب آنها توسط کلسیت پر شده است و شکل کاذب یا دروغین نشان می‌دهند. (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹: الف) در سنگ‌هایی با تخلخل و نفوذپذیری کم کلسیت در حضور سیالات غنی از CO_2 جانشین کانی‌های کلسیم‌دار (پلاژیوکلاز، کلسیم‌دار، زئولیت و اپیدوت) و شیشه‌های آتشفشانی می‌شود، ب) پیروکسن‌ها دچار دگرسانی شده‌اند و قالب آن‌ها توسط کلسیت پر شده است و شکل کاذب یا دروغین نشان می‌دهند.

۴-۴-۲- دگرسانی سیلیسی

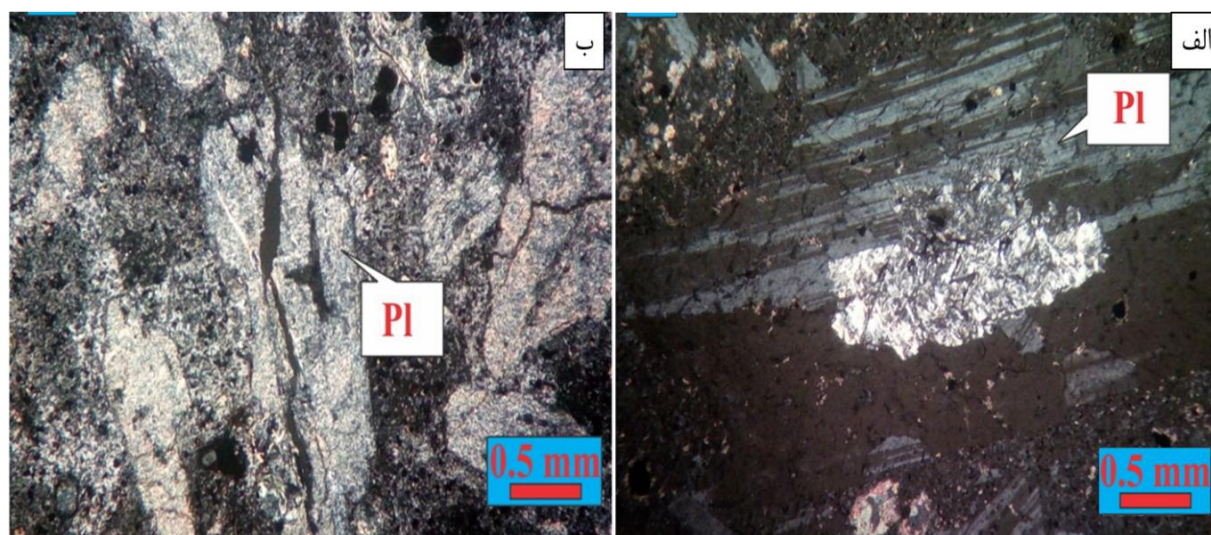
دگرسانی سیلیسی یکی از رایج‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمابی است که در اثر افزایش مقدار کوارتز و دیگر شکل‌های سیلیس (اوپال و کلسدون) در سنگ همراه می‌باشد. سیلیس آزاد شده از تجزیه کانی‌های سیلیکاته از عوامل اصلی سازنده این دگرسانی است ولی محلول‌های گرمابی غنی از سیلیس نیز در تشکیل این دگرسانی می‌تواند نقش داشته باشد (نجف زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در منطقه پیرمردان دگرسانی سیلیسی گسترش زیادی دارد و بیشتر به صورت رگه‌های سیلیسی و یا فضاهای خالی درز و شکاف‌ها و حفرات پر شده توسط کوارتز، اوپال کلسدونی تظاهر پیدا کرده است. حضور این دگرسانی اغلب همراه با دگرسانی کربناته است (شکل ۴-۱۰).



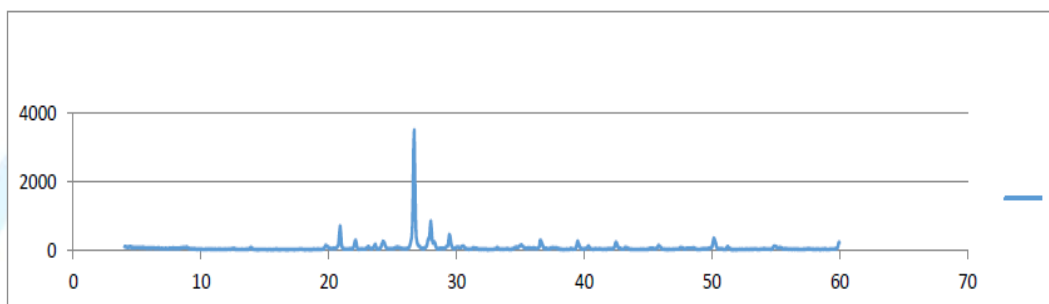
شکل ۴-۱۰: دگرسانی سیلیسی در منطقه پیرمردان به همراه دگرسانی کربناته به صورت رگه.

۴-۴-۳- دگرسانی سربستی

سربستی شدن با انحلال و خارج شدن کاتیون های Na، Ca، Mg و باقی ماندن کاتیون K در فرایند دگرسانی، تشکیل می شود. برخی از کانی های اصلی موجود به این دگرسانی سربستی، کوارتز و پیریت است که کانی های دیکیت، پیروفلیت، کائولینیت و آندالوزیت نیز گاهی با آنها همراه است (کریم پور، ۱۳۸۱). این دگرسانی در مراحل اولیه دگرسانی هیدروترمال، در شرایط عموماً اسیدی توسط هیدرولیز سیلیکات ها پیشرفت می کند و مقدار آن بستگی به ترکیب سنگ شناسی سنگ میزبان دارد. در زمان فرآیند دگرسانی کانی هایی نظیر پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکوویت و مقادیر H_2O و K^+ در سنگ افزایش یافته و مقادیر Fe و Ca کاهش پیدا می کند و کانی های جدید مانند مسکویت، سربستی و کوارتز حاصل می شود (Zhou & Wang, ۱۹۹۹). براساس مطالعات میکروسکوپی سربستی در مقاطعی دیده می شود که پلاژیوکلازها تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته اند (شکل ۴-۱۱) همانطور که مشاهده می شود، بسیاری از پلاژیوکلازهای موجود در این سنگها به سربستی تبدیل شده اند. کانی اصلی این دگرسانی سربستی بوده و این دگرسانی محصول تجزیه پلاژیوکلازها است و بیشتر در این کانی دیده می شود. سنگ هایی که متحمل دگرسانی سربستی شده اند میزبان کانه زایی هستند. تعداد ۱ نمونه از سنگ مشکوک به دگرسانی در منطقه پیرمردان جهت آنالیز XRD به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری زراژما ارسال گردید که نتایج آن در شکل (۴-۱۲) ارائه شده است.



شکل ۴-۱۱: الف و ب) نمایی از تجزیه شدید پلاژیوکلازها به سربستی.



Sample:	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
PSA ۸	Quartz (۳۲-۱۱۶۱)	Chlorite (۲۹-۰۷۰۱)	--
LAB: PSA-۰۸	SiO ₂	(Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	
Date :	Albite (۰۹-۰۴۶۶)	Orthoclase (۳۱-۰۹۶۶)	
۱۰,۳,۲۰,۲۰	NaAlSi ₃ O ₈	KAlSi ₃ O ₈	
kV = ۴۰	Muscovite - illite (۲۶-۰۹۱۱)	Hematite (۳۲-۰۶۶۴)	
mA = ۲۰	KAl ₂ Si ₂ AlO ₁₀ (OH) ₂	Fe ₂ O ₃	
Ka. = Cu	Calcite (۰۵-۰۵۸۶)		
Fil. = Ni	CaCO ₃		

شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی سریسیتی و میزان بالایی از کانی‌های کوارتز، آلبیت، موسکویت، کلسیت، کلریت، پتاسیم‌فلدسپار (سانیدین)، هماتیت است.

۴-۴-۴- دگرسانی آرژیلیکی

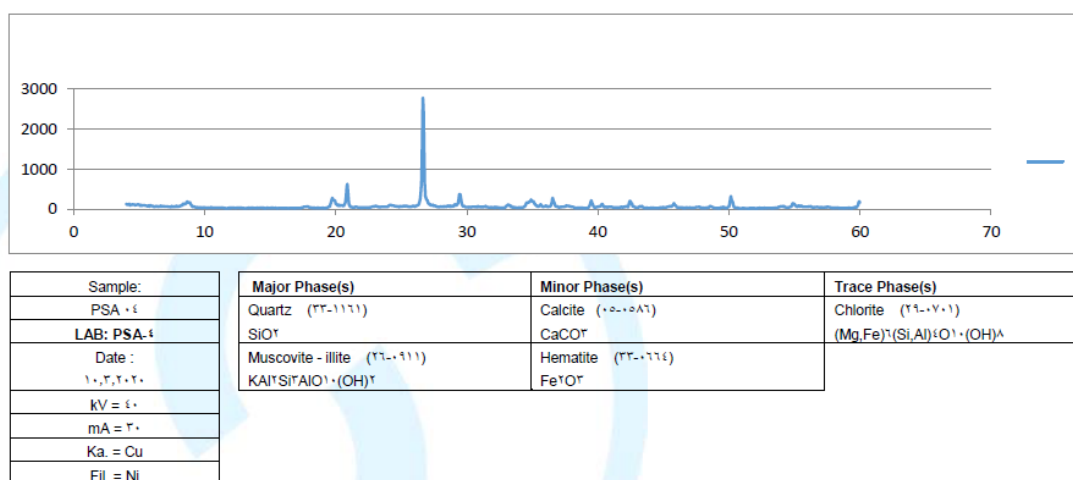
دگرسانی آرژیلیک زمانی رخ می‌دهد که شرایط اسیدی حاکم بوده و تمام کاتیون‌های قلیایی به طور ناقص از سنگ خارج شود که به ترتیب حدواسط و پیشرفته نامیده می‌شوند. کانی‌های موجود در دگرسانی آرژیلیک حدواسط شامل دیکیت، کائولینیت، هالوئیزیت، آلفان، مونت‌موریلونیت و مقادیر جزئی سریسیت و کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته شامل کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پیروفیلیت و در موارد سریسیت، کوارتز، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز است. دگرسانی آرژیلیک یک اتفاق هیدروترمال رایج نیست بلکه اغلب در نتیجه فرایندهای سوپرژن بوجود می‌آید (Bean & Bodnar, ۱۹۹۵).

در محدوده مورد مطالعه این دگرسانی گسترش متوسطی دارد، و از دور با داشتن رنگ سفید تا کرم قابل تشخیص است (شکل ۴-۱۳). این نوع دگرسانی در پلاژیوکلازها دیده شده که در حال تبدیل شدن به کانی‌های رسی هستند. نوع دگرسانی با وجود کانی‌های ایلیت، سریسیت و کوارتز به صورت هم‌یافت با کانی‌های رسی واقع در آنالیز نمونه‌ها

از نوع آرژیلیتی متوسط می باشد. از آنجایی که تشخیص و تفکیک نوع کانی‌های رسی در مقاطع نازک ممکن نیست یک نمونه منطقه دگرسانی آرژیلیک برای آنالیز به روش پراش اشعه ایکس (XRD) انتخاب شد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۳: نمایی از دگرسانی آرژیلیکی در منطقه پیرمردان.



شکل ۴-۱۴: نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک و میزان بالایی از کانی‌های کوارتز، موسکویت، ایلیت، کلسیت، هماتیت است.

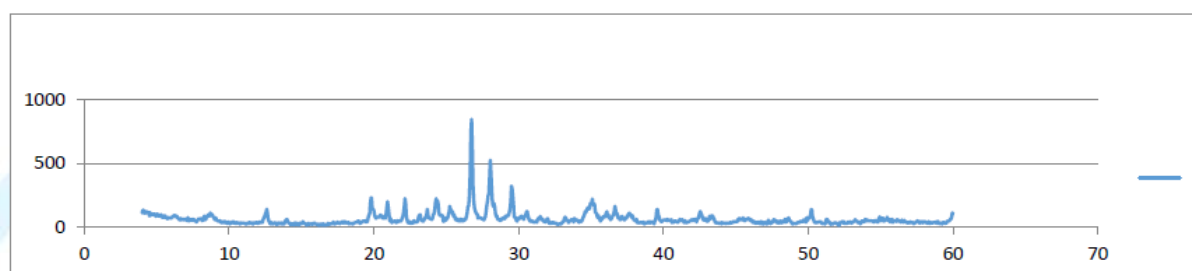
۴-۴-۵ - دگرسانی کلریتی - هماتیتی

دگرسانی کلریتی - هماتیتی یکدیگر از دگرسانی‌های موجود در منطقه پیرمردان است که مقدار کمی قابل مشاهده است. دگرسانی کلریتی در رخنمون صحرایی دارای رنگ سبز است که ممکن است در نمونه‌های هوازده هماتیت، به

رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای نیز دیده می‌شود. در دگرسانی کلریت، معمولاً کانی کلریت در بسیاری از سیستم‌های دگرسانی معمولاً در اطراف و حاشیه محل کانه‌زایی رخ می‌دهد. کانی‌های اصلی این نوع دگرسانی کربنات کلسیم، منیزیم، آهن، اپیدوت، پیریت، کوارتز، سرسیت، تالک و کانی‌های فرعی هماتیت، پتاسیم فلدسپات، اکتینولیت می‌باشد. دگرسانی کلریتی - هماتیتی در نتایج آنالیز XRD با وجود کانی کلریت و هماتیت در منطقه پیرمردان مشخص شده است (شکل ۴-۱۲، شکل ۴-۱۴ و شکل ۴-۱۸).

۶-۴-۴- دگرسانی آلبیتی

نمونه دستی که دارای دگرسانی آلبیتی است به رنگ سفید تا صورتی و یا متمایل به قرمز با افزایش هماتیت دانه‌ریز در صحرا قابل مشاهده است. نحوه پدیدار شدن دگرسانی آلبیت معمولاً در امتداد شکستگی و اطراف رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شود که به سمت مرکز دگرسانی رخ می‌دهد. کانی‌های همراه در دگرسانی آلبیتی اکتینولیت، کلریت، دیوپسید، اپیدوت، کوارتز، سرسیت و کانی‌های فرعی رس و هماتیت هستند. دگرسانی آلبیتی همچنین در برخی موارد به نوع سدیم متاسوماتیزم نیز معرفی می‌شود، که به دلیل اضافه شدن سدیم از طریق محلول‌های ماگمایی یا گرمابی حاصل می‌شود. در منطقه معدنی پیرمردان این نوع دگرسانی به مقدار کمتری نسبت به مابقی دگرسانی‌ها مشاهده می‌شود که یک نمونه مورد بررسی آنالیز XRD قرار گرفت و وجود کانی‌های آلبیت به همراه کوارتز، موسکویت، کلسیت، کلریت، اورتوکلز و هماتیت در آن مشاهده شده است (شکل ۴-۱۸).



Sample:	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
PSA ۲۲	Quartz (۳۲-۱۱۱)	Chlorite (۲۹-۰۷۰۱)	--
LAB: PSA-۲۲	SiO ₂	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	
Date :	Albite (۰۹-۰۴۶۶)	Orthoclase (۳۱-۰۹۶۶)	
۱۰,۳,۲۰۲۰	NaAlSi ₃ O ₈	KAlSi ₃ O ₈	
kV = ۴۰	Muscovite - illite (۲۶-۰۹۱۱)	Hematite (۳۴-۰۶۶۴)	
mA = ۳۰	KAl ₂ Si ₂ AlO ₁₀ (OH) ₂	Fe ₂ O ₃	
Ka = Cu	Calcite (۰۵-۰۵۸۶)		
Fil. = Ni	CaCO ₃		

شکل ۴-۱۸: تصویری از نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی آلبیتی در منطقه می‌باشد.

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیکی

۱-۵- مقدمه

مطالعه بر روی کانی‌شناسی، ساخت و بافت ساده‌ترین، ابتدایی‌ترین، کم‌هزینه‌ترین و در دسترس‌ترین نوع مطالعه بر روی یک کانسار بوده و تشکیل یا ناپایدار شدن کانی‌ها و تغییرات در ساخت و بافت گویای شرایط تشکیل سنگ‌ها و کانی‌ها است. رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده آن کانسار است. (Craing and Vaughan, ۱۹۸۱) نکته مهم در اکتشاف، استخراج و فرآوری ماده معدنی مطالعه کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار و رابطه بافتی آن‌ها با یکدیگر است. برای کسب نتیجه بهتر در مطالعات کانی‌ها، بررسی‌های میکروسکوپی اهمیت دارند.

مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع میکروسکوپی نازک و صیقلی نمونه‌های کانسار پیرمردان و همچنین نتایج آنالیز تعدادی نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) منجر به شناسایی چهار گروه کانی‌های سولفیدی، کربناتی، سیلیکاته و اکسیدی گردید که در ادامه به معرفی هر یک از آنها می‌پردازیم. در این پژوهش، تعداد ۱۹ عدد مقطع نازک، ۴ عدد مقطع صیقلی از نمونه‌های مربوط به بخش‌های مختلف کانسار تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. در این فصل ابتدا به کانی‌شناسی و سپس مطالعات ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۵- کانی‌های سولفیدی

۱-۲-۵- کالکوپیریت (CuFeS_2)

کالکوپیریت معمولاً در نمونه دستی بصورت رنگ زرد برنجی دیده می‌شود. کالکوپیریت دارای ویژگی سخت‌تر و چگالی کم است. در مقطع صیقلی رنگ زرد برنجی، با انعکاس بالا و آنیزوتروپی ضعیف شده است. در سطح زمین خیلی کم مشاهده می‌شود و اندازه بلورها ریز و به فرم دانه پراکنده وجود دارند و بیشتر به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت)، مالاکیت و یا به دیگر کانی‌های مس‌دار تبدیل شده است (شکل ۵-۱، الف). کالکوپیریت به همراه کانی پیریت بصورت هیپوژن در بخش‌های غیر اکسیدی یافت می‌شود.

۵-۲-۲- پیریت (FeS_2)

پیریت سیستم تبلور مکعبی از خود نشان می‌دهد. براساس (Craig and vokes, ۱۹۹۸)، پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین می‌باشد. پیریت معمولاً یک کانی منطقه‌هیپوژن است که در مقاطع میکروسکوپی، بصورت دانه‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، پراکنده و دانه ریز دیده می‌شود. در زمان فرآیند رشد و تبلور این کانی عناصر متفاوتی می‌توانند در ساختمان آن وارد شوند. معمولاً به دلیل حضور پیریت همراه با بسیاری از انواع کانه‌زایی، ترکیب عناصر فرعی آن، برای نشان دادن منشاء و شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز به کار برده شده است (Beralia et al., ۱۹۹۹). این کانی در منطقه مورد مطالعه در بخش‌های هیپوژن بصورت سالم و در قسمت‌های سوپرژن بیشتر هوازده شده و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۵-۱ ب).

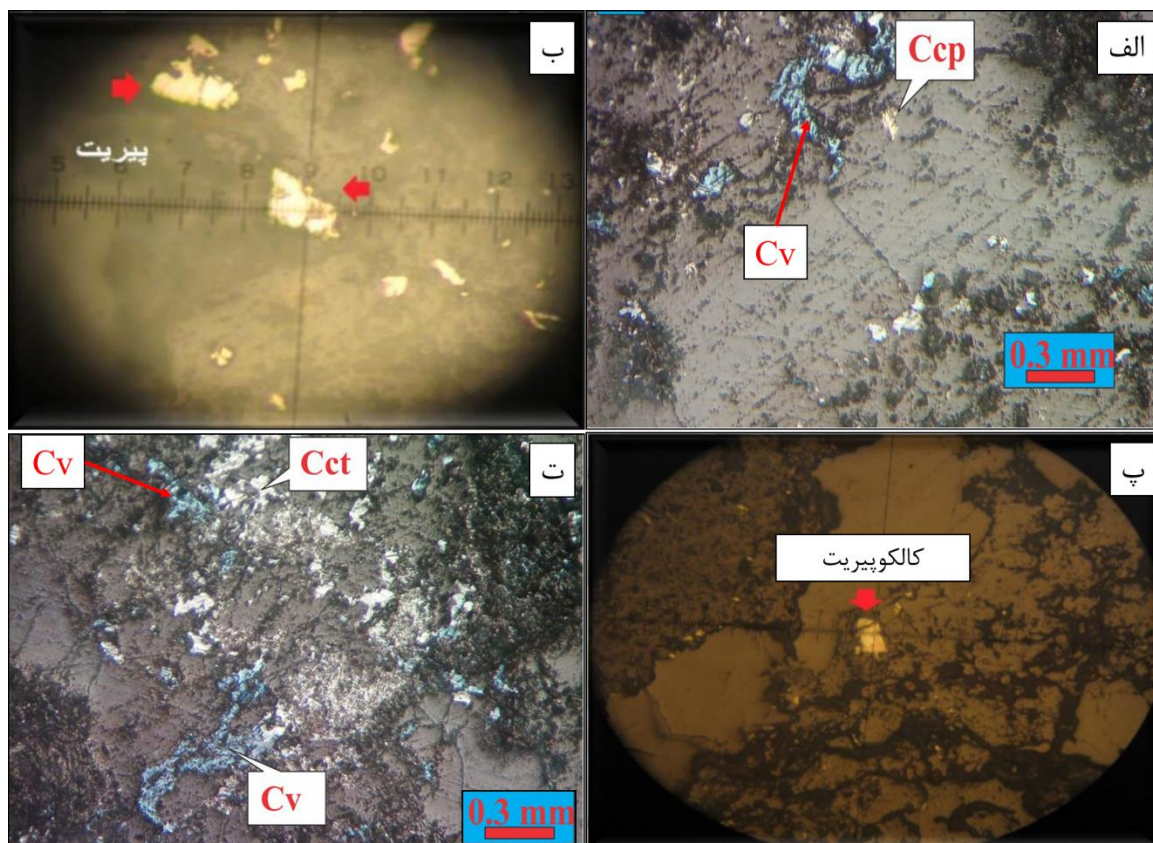
۵-۲-۳- بورنیت (Cu_5FeS_4)

کانی بورنیت معمولاً در سطح تازه به رنگ مسی برنزی است، اما به سرعت هوازده شده و به رنگ ارغوانی و آبی تا بنفش تبدیل می‌شود. در مقطع صیقلی رنگ ارغوانی و دارای آنیزوتروپی ضعیف از مشخصات خاص بورنیت می‌باشد. بورنیت کانه‌ی معمول بسیاری از کانسارهای واجد مس به خصوص کانسارهای مس پورفیری همراه سنگ‌های کالک آلکال-آلکال است که بیشتر به عنوان کانی هیپوژن تشکیل می‌شود و کمتر در محیط سوپرژن دیده می‌شود (Marshall et al, ۲۰۰۴). بورنیت در اثر جانشینی به کالکوسیت و کوولیت تبدیل می‌شود (Ramdohr, ۱۹۸۰). این کانی یکی از فراوان‌ترین کانی سولفور هیپوژن در منطقه پیرمردان است.

۵-۲-۴- کالکوسیت (Cu_2S)

کالکوسیت یکی دیگر از مهمترین کانه‌های مس در منطقه می‌باشد که ممکن است به صورت یک کانه‌ی اولیه در رگه‌ها به همراه بورنیت، کالکوپیریت و پیریت رخ دهد. اما وجود آن به عنوان یک کانی سوپرژن در زون‌های غنی‌شده‌ی کانسارهای سولفیدی می‌باشد. تحت شرایط سطحی سولفیدهای اولیه مس اکسید می‌شوند و سولفات‌های قابل حل تشکیل شده، و به طرف پایین حرکت می‌کنند که با کانی‌های اولیه سولفیدی برای تشکیل کالکوسیت واکنش انجام داده و کانی از مس غنی شود. از منظر محیط تشکیل، این کانی بیشتر در کانسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و رگه‌ای

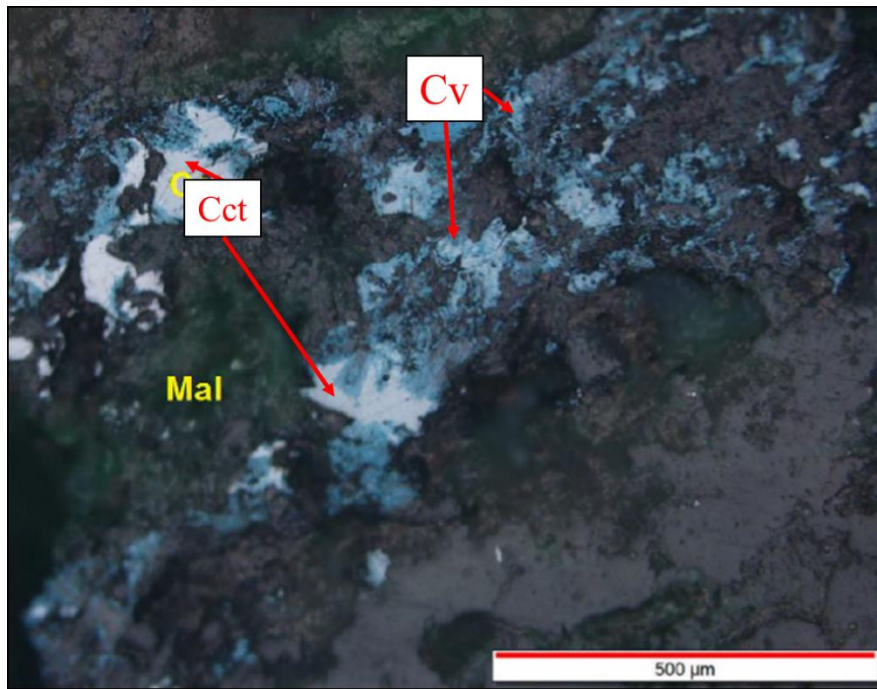
سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshall et al, ۲۰۰۴). این کانه در نمونه دستی و سطح تازه به صورت سیاه تا نقره‌ای رنگ قابل رویت است. کالکوسیت در نمونه‌های مورد مطالعه منطقه پیرمردان بصورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده همراه با بورنیت و جانشینی با کوولیت و مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۱-۵ ت).



شکل ۱-۵: الف) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت (Ccp) به صورت دانه ریز، ب) نمونه‌ای از کانی پیریت (Py) در منطقه، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت (Cct) که از اطراف به کوولیت (Cv) تبدیل شده است.

۵-۲-۵- کوولیت (CuS)

کوولیت کانی ثانویه در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی سولفیدهای مس قبلی ایجاد می‌شود و به عنوان محصول اکسایش کالکوپیریت، کالکوسیت و گالن می‌باشد. حضور کوولیت می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر آبگون‌های اکسیدی و آبشویی مس در منطقه باشد. بیشترین گسترش این کانی در بخش‌های هوازده کانسار است. کوولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالا و بافت جانشینی در حاشیه و امتداد شکستگی کانی‌های کالکوسیت و بورنیت مشاهده می‌شود (شکل ۲-۵).

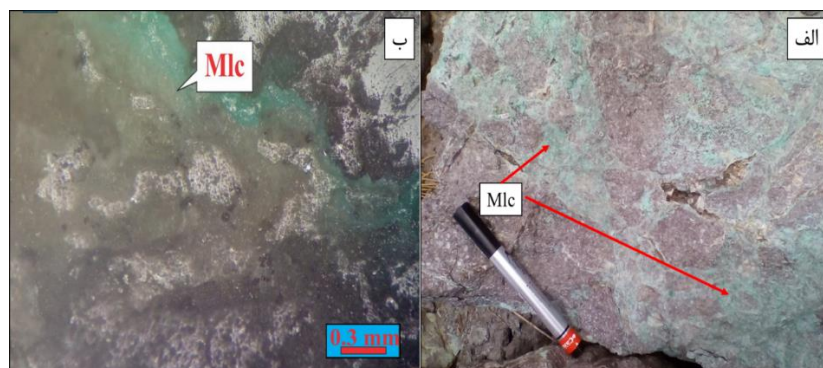


شکل ۵-۲: کانی کوولیت (Cv) که به صورت جانشینی در اطراف کالکوسیت (Cct) قرار گرفته است.

۵-۳-۳- کانی‌های کربناته مس

۵-۳-۱- مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

دیگر کانی فراوان کربنات مس در منطقه مالاکیت می‌باشد که در نمونه دستی به رنگ سبز دیده می‌شود و در مقاطع نازک رنگ سبز مایل به زرد تند می‌باشد. این کانی همچنین در مقاطع صیقلی به رنگ سبز و انعکاس کم که معمولاً بصورت رگه- رگچه‌ای و شکافه‌پرکن همراه با سایر کانه‌های مس‌دار در منطقه پیرمردان مشاهده می‌شود (شکل ۵-۳). کانی مالاکیت، معمولاً در بخش‌های اکسیدان کنسارهای مس رگه‌ای یافت می‌شود و حاوی هیدرواکسید و در رده کربنات‌های مس قرار می‌گیرد (Pirajno, ۲۰۰۹).



شکل ۵-۳: الف) نمونه دستی از رگچه‌های مالاکیت در منطقه، ب) تصویر میکروسکوپی از رگچه مالاکیت.

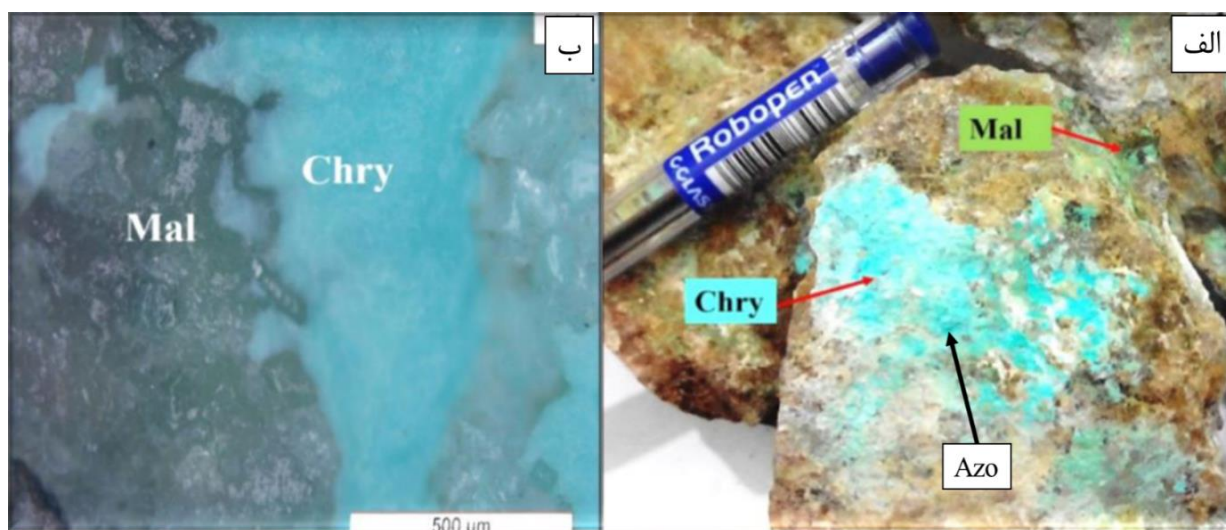
۵-۳-۲- آزوریت $(\text{Cu}^{2+}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2)$

آزوریت یکی دیگر از کانی‌های کربناتی مس است که همراه مالاکیت در منطقه پیرمردان مشاهده می‌شود و فراوانی کمی دارد. دارای رنگ آبی لاجوردی و خط اثر آبی و روشن از مشخصات آزوریت است، در مقطع صیقلی دارای رنگ خاکستری است و آنیزوتروپی قوی دارد. از دیگر مشخصات آزوریت انعکاس داخلی آبی پررنگ است. در نور عبوری چند رنگی قوی از بنفش تا آبی دارد. در منطقه پیرمردان حضور آزوریت بسیار ناچیز است (شکل ۴-۵ الف).

۵-۴- کانی سیلیکاته مس

۵-۴-۱- کریزوکلا $(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

کریزوکلا رنگ آبی کم تا سبز-آبی مشخص، خط خاکه بی‌رنگ، شکستگی صدفی و جلای شیشه‌ای تا خاکی دارد که در محدوده پیرمردان بصورت سطحی و با فراوانی نسبتاً خوب همراه با مالاکیت مشاهده می‌شود (شکل ۴-۵ ب).



شکل ۴-۵: الف) نمونه دستی از کانی‌های کریزوکلا (Chry)، مالاکیت (Mal) و آزوریت (Azo)، ب) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی کانی کریزوکلا در کنار مالاکیت (Mal).

۵-۵- کانی‌های اکسیدی و هیدرو اکسیدی

۵-۵-۱- پیرولولوزیت

پیرولولوزیت با رنگ سفید-کرمی، چند رنگی ضعیف و ناهمسانگردی قوی (زرد) در زیر میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی قابل تشخیص است (Ramdohr, ۱۹۸۰). کانی پیرولولوسیت با فرمول شیمیایی MnO_2 مهمترین اکسید منگنز در

این واحد است این کانی به صورت دندریتی و نقطه ای، فراوانی در حدود ۲ درصد دارد و اندازه بلورهای آن از کوچکتر از ۰/۱ میلیمتر تا ۲ میلیمتر تغییر می کند. در مقاطع میکروسکوپی این کانی به مقدار خیلی کم در منطقه ی پیرمردان دیده می شود که تحت شرایط سطحی در منطقه اکسیدان به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده است.

۲-۵-۵- مگنتیت Fe_3O_4

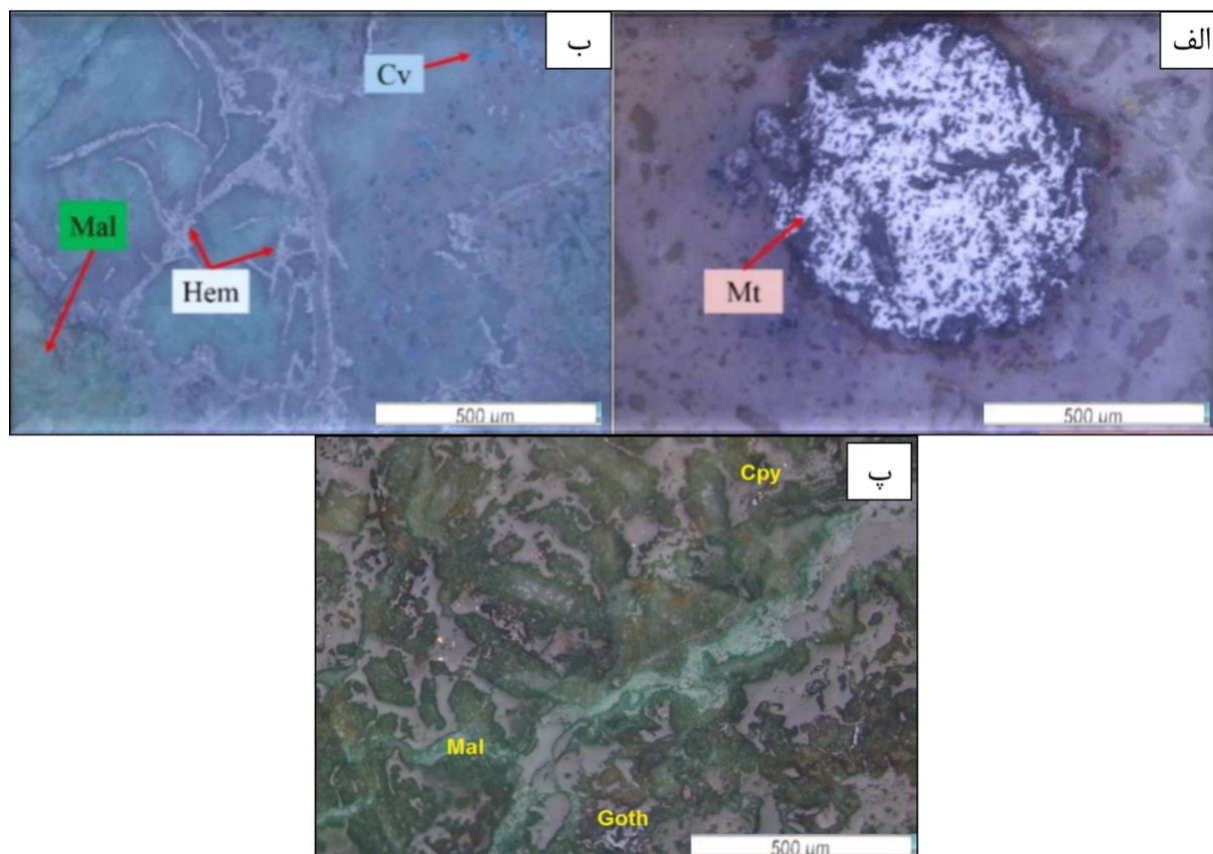
مگنتیت در مقاطع صیقلی به رنگ خاکستری با ته رنگ متمایل به قهوه ای دیده می شود. این کانی در محدوده مس پیرمردان فراوانی کمی دارد که به علت بالا بودن فوگاسیته اکسیژن به هماتیت تبدیل شده است. این کانی مربوط به سنگ میزبان نمی باشد (شکل ۵-۶).

۳-۵-۵- هماتیت Fe_2O_3

براساس (Haynes et al, ۱۹۹۵) برای تشکیل هماتیت در قسمت های بالایی کانسار وجود اکسیژن ضروری است. برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا اکسیژن مورد نیاز را فراهم کند و محتمل ترین منبع اکسیژن آب های جوی است که در اثر چرخش در قسمت بالای کانسار باعث اکسیده شدن قسمت فوقانی کانسار می شود. هماتیت در محیط هوازدده پایدار بوده و معمولاً توسط هوازدگی به وجود می آید. هماتیت در منطقه مورد مطالعه فراوانی بسیار بالای دارد و در نمونه دستی، مقاطع صیقلی و آنالیزهای XRD مشخص گردیده است. این کانی در بخش سوپرژن بر اثر هوازدگی کانی های پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت تشکیل شده است (شکل ۵-۶ ب و ۴-۱۳).

۴-۵-۵- گوتیت FeO.OH

گوتیت یکی از کانی های هیدروکسید آهن می باشد. این کانی توسط هوازدگی یا دگرسانی کانی های حاوی آهن از جمله مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و غیره ایجاد می شود. بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی های سولفیدی در قسمت سطحی کانسار دچار انحلال شده و یون گوگرد آن ها از محیط خارج و هیدرو اکسیدهای آهن بر جای مانده است. گوتیت در مقاطع میکروسکوپی به وفور یافت می شود که از هوازدگی پیریت ها و کالکوپیریت ها تشکیل شده است (شکل ۵-۶ پ). حضور گوتیت نشانگر نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، اسیدیته کم و میزان سولفید کل پایین است (Sillitoe and Perello, ۲۰۰۵).



شکل ۵-۶: الف- تصویر مقطع صیقلی کانی مگنتیت (Mt) در حال تبدیل به هماتیت ب- عکس میکروسکوپی رگه- رگچه‌ای و تیغه‌ای کانی هماتیت (Hem) و کانی‌های ثانویه سولفیدی (کولیت) و اکسیدی (مالاکیت) مس، پ) تصویری از کانی گوتیت (Goth) به همراه مالاکیت و کالکوپیریت.

۵-۶- کانی‌های باطله

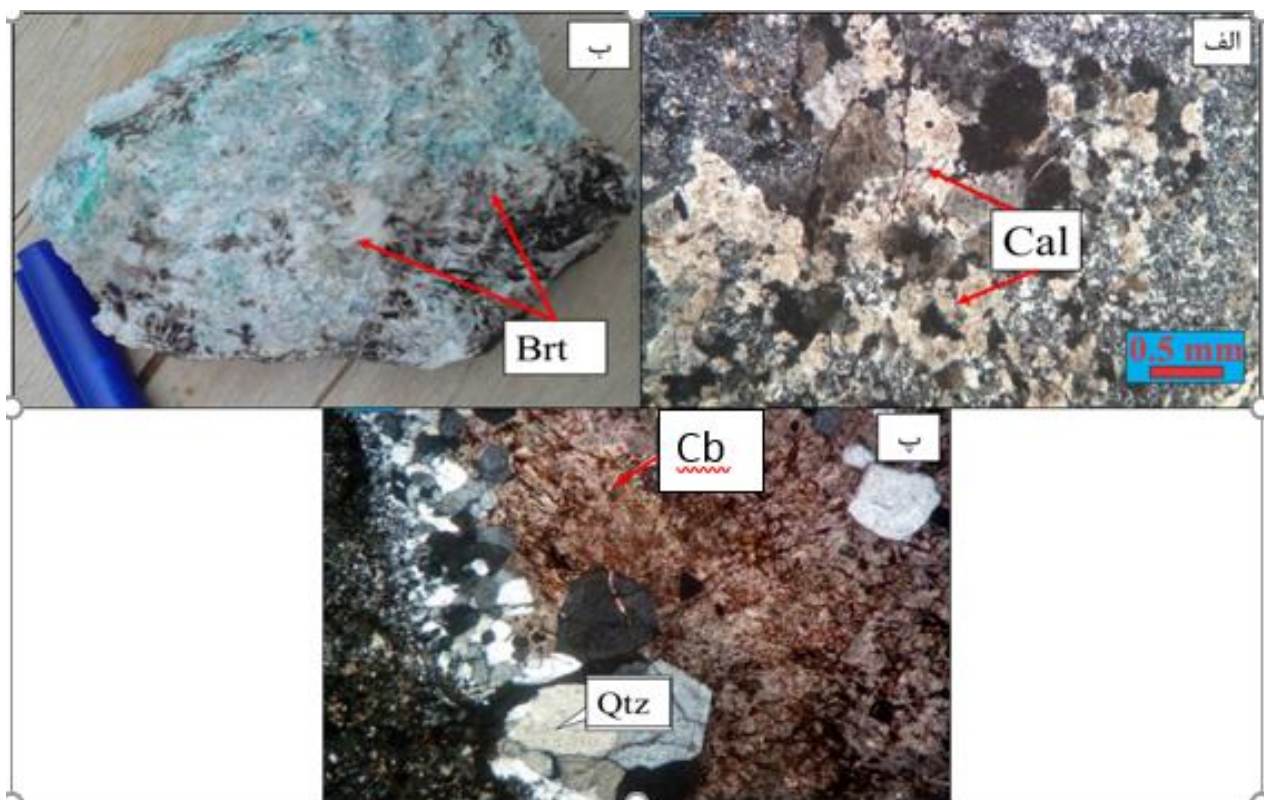
کانی‌های باطله در منطقه اکتشافی شامل کلسیت، دولومیت، کوارتز و کانی‌های رسی می‌باشد که براساس نمونه‌های دستی، مقاطع میکروسکوپی و همچنین آنالیزهای XRD شناسایی شده‌اند.

کلسیت (CaCO_3): کلسیت یکی از فراوان‌ترین کانی‌های باطله است که بصورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی شکل گرفته است. این کانی بصورت اولیه و هم بصورت ثانویه در کانسار مذکور یافت می‌شود (شکل ۵-۷ الف).

باریت: به صورت پرکننده حفرات و درزه‌ها و شکستگی‌ها به رنگ سفید مشاهده می‌شود و اغلب با کانی‌های دیگری مانند کلسیت، کوارتز و کلریت همراه است (شکل ۵-۷ ب).

کوارتز (SiO_2): کوارتز یکی دیگر از کانی‌های باطله است که از فراوانی قابل توجهی برخوردار است. این کانی در محدوده اکتشافی پیرمردان نیز بصورت نهان بلور در برش‌های هیدروترمالی و رگچه‌های ثانویه دیده می‌شود (شکل

۵-۷ پ)



شکل ۵-۷: الف) تصویری از کانی کلسیت (Cal) در منطقه، ب) نمونه دستی از کانی باریت (پ) نمایی از رگچه‌های کوارتز (Qz) و کربنات (Cb).

سایر کانی‌ها: علاوه بر کانی‌هایی که در بالا ذکر شد کانی‌های دیگری شامل آلبيت، ارتوکلاز، سانیدین،

مسکویت، کلینوکلر و کلریت توسط نتایج آنالیزهای XRD مشخص شده است (شکل‌های ۴-۹، ۴-۱۱ و ۴-۱۳).

۵-۷- بافت کانی‌ها

کلمات ساخت و بافت اغلب در کتاب‌هایی که به زبان‌های متفاوت نوشته شده است، معنای متفاوتی دارد. در کتاب‌های به زبان انگلیسی ساخت به خصوصیتی گفته می‌شود که در بیرون زدگی‌ها قابل مشاهده است و یا خصوصیتی که بطور ماکروسکوپی قابل مشاهده است. بافت به خصوصیتی گفته می‌شود که در زیر میکروسکوپ یا در نمونه‌های

دستی دیده می شود (شهاب پور، ۱۳۹۰). در محدوده اکتشافی پیرمردان ماده معدنی دارای ساخت و بافت های متفاوتی است که هر یک از آنها نشان دهنده ی شرایط و رخداد حاکم در حین کانی زائی و پس آن می باشد. لذا در این قسمت به توصیف ساخت و بافت های موجود می پردازیم.

۱-۷-۵- بافت رگه - رگچه ای

زمانی که محلول های ماگمایی یا گرمابی به هنگام عبور از گسل ها، درزه و شکاف ها بار خود را برجای گذارند، ساخت و بافت حاصله از نوع رگه - رگچه ای خواهد بود.

بافت رگه - رگچه ای از جمله اصلی ترین ساخت مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می باشد. این نوع ساخت علاوه بر قسمت های سطحی کانسار در بخش های عمقی نیز مشاهده می شود. کانی هایی که بصورت رگه - رگچه ای مشاهده می شود شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت و کانی های باطله مثل کوارتز، کلسیت و اکسیدهای آهن است که در امتداد درزه و شکاف ها تشکیل شده اند (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸: ساخت و بافت رگه - رگچه ای در محدوده اکتشافی پیرمردان بورنیت (brn) (مالاکیت (mal)).

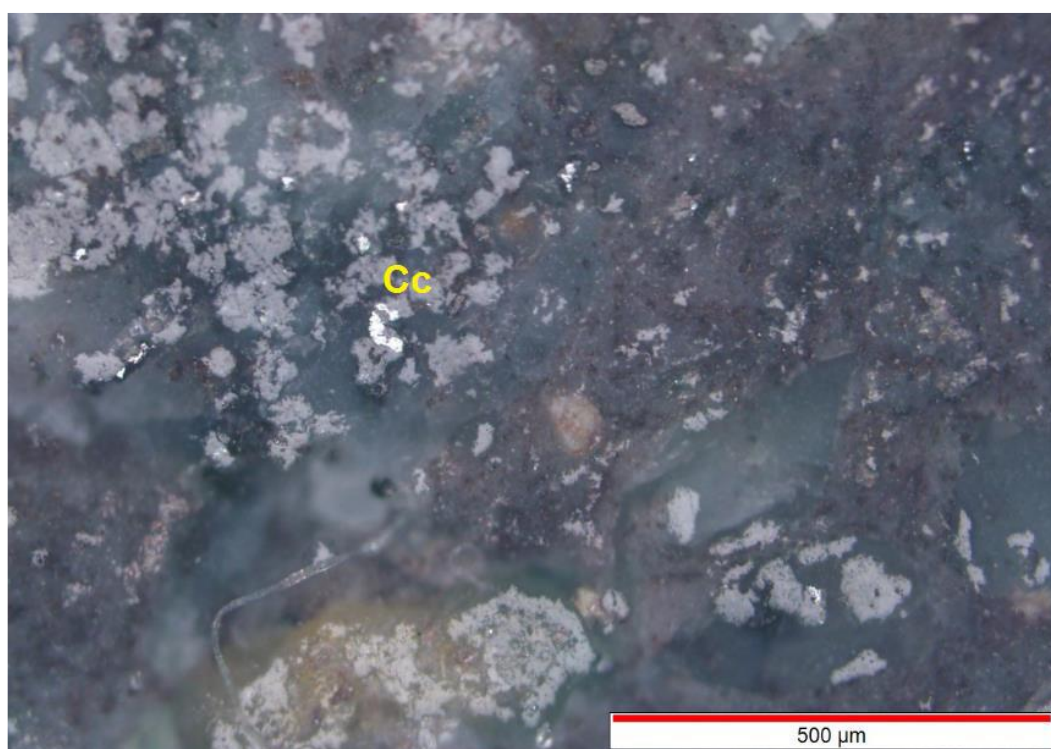
۲-۷-۵- بافت برشی و پرکننده فضای خالی

محلول های گرمابی یا ماگمایی هنگام عبور از فضای درز و شکاف ها، گسل ها و یا فضای بین دانه های سنگ های آذرآواری، مواد خود را برجای می گذارند، و ساخت و بافت پرکننده فضای خالی را تشکیل می دهند.

(Craig & Vaughan, ۱۹۸۱). این نوع ساخت و بافت در کانسار مس پیرمردان به وفور یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضا‌های خالی بین ذرات سنگ‌های میزبان ناشی از انحلال را پر کرده است.

۳-۷-۵- بافت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده از قرارگیری ذرات پیریت، بورنیت، کالکوسیت و هماتیت در زمینه سنگ میزبان تشکیل شده است. شکل (۵-۱۰) بافت دانه پراکنده حاصل از وجود ذرات کالکوسیت داخل سنگ میزبان را نشان می‌دهد.

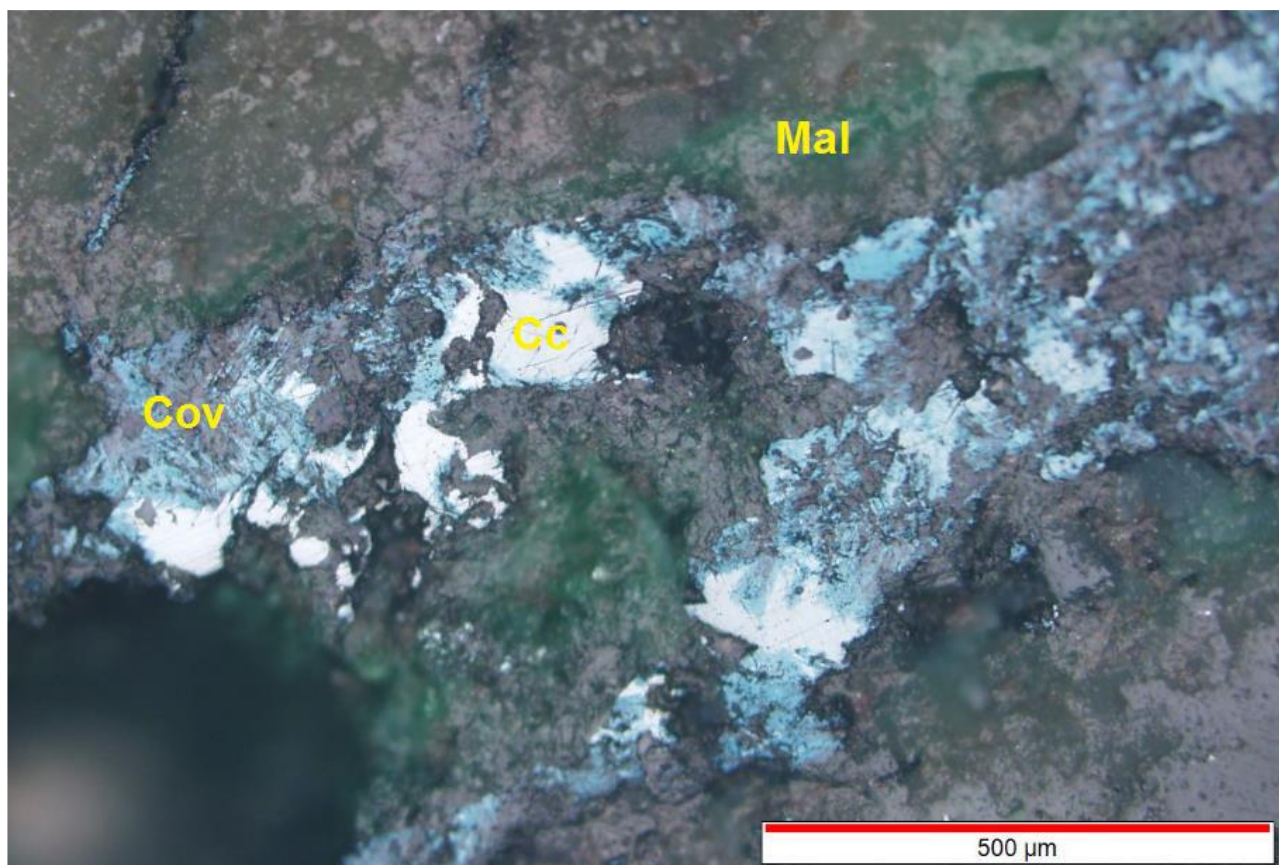


شکل ۵-۱۰: بافت دانه پراکنده معرف حضور دانه‌های پراکنده کالکوسیت (Cc) در زمینه سنگ میزبان.

۴-۷-۵- بافت جانشینی

جانشینی فرایندی است که در طی دگرسانی و هوازدگی یک کانی توسط کانی دیگر رخ می‌دهد. بافت جانشینی به زیر مجموعه‌های نظیر؛ بافت جانشینی حاشیه‌ای، جانشینی آتول و جانشینی مارتیتی شدن تقسیم می‌شود. این نوع بافت ممکن است در اثر فرایندهایی نظیر: انحلال و ته نشینی مجدد، اکسیداسیون و انتشار در حالت جامد رخ دهد. در محدوده اکتشافی پیرمردان سولفیدهای فلزی از جمله پیریت و کالکوپیریت به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن

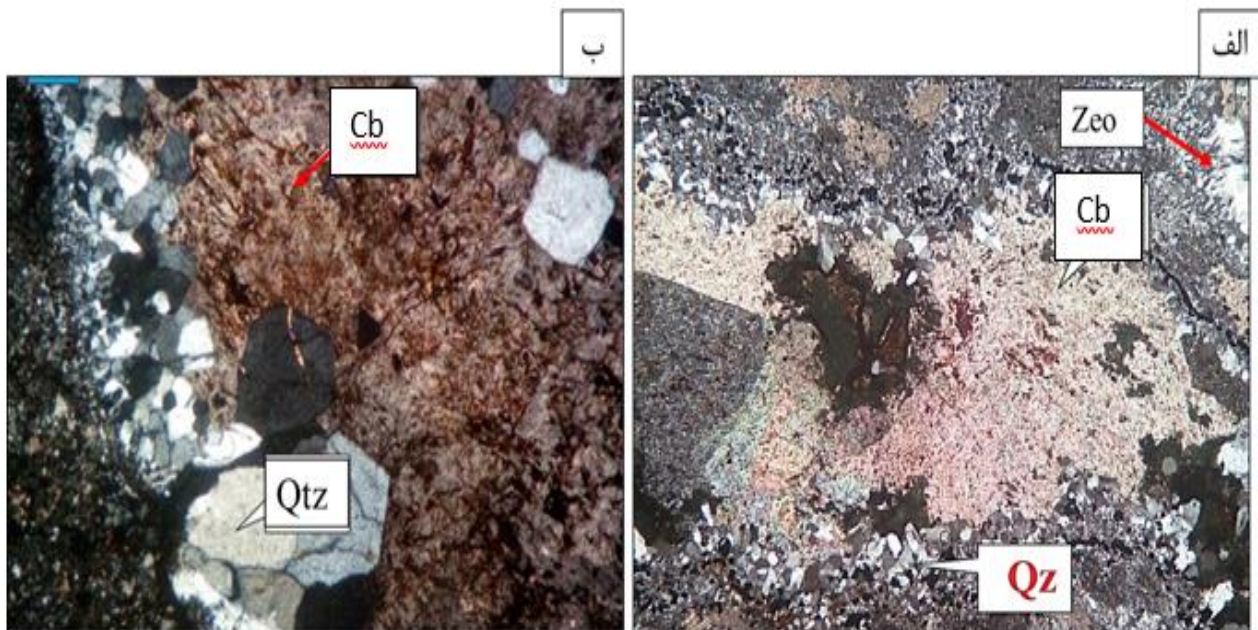
(هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده است. همچنین کانی بورنیت به کالکوسیت و در امتداد شکستگی‌ها و حواشی کانی‌های بورنیت و کالکوسیت با کوولیت جانشینی دارند و در نهایت به مالاکیت تبدیل می‌شوند (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱: بافت جانشینی حاصل تجزیه کالکوسیت و تشکیل کوولیت و مالاکیت در حاشیه (مالاکیت mal، کوولیت cov).

۵-۷-۵ - بافت شانه‌ای و شعاعی

رگچه‌هایی که در حاشیه آن زئولیت و در مرکز کربنات مشاهده می‌شود. البته زئولیت به صورت پراکنده در متن سنگ نیز مشاهده می‌گردد. بافت شعاعی در منطقه پیرمردان در مقاطع میکروسکوپی عمدتاً در کانی‌های زئولیت قابل مشاهده است که از ویژگی اصلی کانی زئولیت است (شکل ۵-۱۲ الف). همچنین رگچه‌های مختلفی در واحدهای سنگی میزبان وجود دارد که عبارتند از رگچه‌های مالاکیتی همراه با کوارتز، رگچه‌هایی با بافت شانه‌ای که در حاشیه کوارتز + کانی فلزی و در مرکز کربنات قرار دارد، بافت شانه‌ای یکی از بافت‌های دیگر موجود در مقاطع کانه‌زایی است که معمولاً کوارتز این نوع بافت را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱۲ ب).



شکل ۵-۱۲: الف: بافت شعاعی در کانی زئولیت (zeo) کربنات (cb)، ب: بافت شانه‌ای در کوارتز (Qtz).

۸-۵- توالی پاراژنتیک

به کانی‌هایی که به طور همزمان از یک منشاء واحد که تحت شرایط ترمودینامیکی معینی باهم در حال تعادل هستند، بوجود می‌آیند اصطلاحاً پاراژنز گفته می‌شود. این اصطلاح توسط زمین‌شناسان آمریکایی به صورت تقدم و تأخر تبلور کانی‌ها نسبت به یکدیگر تعریف شده که در این حالت توالی پاراژنزی گفته می‌شود. یک توالی پاراژنزی، باید شرایطی را شرح دهد که هر فاز بر اثر آن پدیده آمده یا به تعادل دوباره رسیده است. افزون بر کانه‌ها، توالی پاراژنزی باید زمان آغاز نهشته شدن کانی‌های باطله و مدت نهشته شدن آن‌ها را نیز مشخص نماید. در توالی پاراژنزی، پیشامدها بیشتر به صورت یک نمودار خطی یا نمودار جریان ارائه می‌شود. همچنین می‌توان گفت از مهم‌ترین مشخصات و ویژگی‌های محیط تشکیل در هر کانسار، کانی‌شناسی و تشخیص پاراژنز کانه‌ها و همچنین مطالعات ساخت و بافت کانی‌ها می‌باشد. در جدول (۵-۱) توالی پاراژنتیکی از کانی‌های منطقه آورده شده است.

	Mineral/stage	Pre mineralizaion	Hydrogene	Supergene	
				(- Eh)	(+ Eh)
Minerals	Pyrite				
	Magnetite				
	Bornit				
	Chalcopyrite				
	Malachite				
	Azomite				
	Chrysocolla				
	Calcocite				
	Covellite				
	Hematite				
	Pyrolusite				
	Goethite				
	Sericite				
	Chlorite				
Gangue	Quartz				
	Calcite				
	Zeolite				
	Clay mineral				
	Barite				
Textures and	Vein- veinlets				
	Open space Filling				
	Brecciated				
	Replacement				

جدول ۵-۱: توالی پاراژنزی کانی‌های تشکیل دهنده کانسار پیرمردان.

فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی

با استفاده از اطلاعات ژئوشیمیایی، بررسی تغییرات عناصر اصلی و فرعی موجود در سنگ، روندهای مهاجرت این عناصر به سمت تفریق و تبلور ماگما امکان‌پذیر است. با به کارگیری نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی، عوامل مؤثر در تغییر شیمی ماگما، منشأ و خاستگاه واحدهای سنگی، به دست می‌آید. نحوه توزیع و پراکندگی انواع عناصر در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی عناصر با یکدیگر در مطالعات ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرند و اهمیت به سزایی در جهت تعیین ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای مؤثر در تشکیل ذخایر معدنی دارند (Piercey, ۲۰۱۱).

پس از بررسی روابط صحرایی، کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری، مطالعه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در کل تاریخچه تکوین سنگ‌ها را می‌توان به دو مرحله اصلی تقسیم کرد. مرحله اولیه، که شامل تشکیل مذاب از سنگ یا سنگ‌های منشأ بوده و مرحله دوم که به فرآیندهایی مربوط می‌گردد که در طی صعود ماگما از محل تشکیل مذاب تا سطح زمین، ماگما را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hall, ۱۹۹۶). اصلی‌ترین متغیرهای مرحله اول ترکیب سنگ منشأ، حرارت و فشار حاکم، درجه ذوب‌بخشی سنگ منشأ و شرایط تکتونیکی حاکم، و متغیرهای مرحله دوم مشتمل بر فرآیندهای تفریق از طریق تبلوربخشی، اختلاط، هضم، آلیش، سرعت صعود ماگما و ویژگی‌های تکتونوماگمایی حاکم بر محیط نفوذ یا فوران این مواد در سطح زمین هستند. هر کدام از این عوامل و فرآیندها باعث تغییراتی در خواص فیزیکوشیمیایی ماگمای پدیدآورنده‌ی سنگ‌ها می‌گردند که اطلاعاتی را در مورد تاریخچه تشکیل سنگ در اختیار قرار می‌دهند. در این فصل جهت بررسی چگونگی تشکیل سنگ‌ها و کانسنگ‌ها و مطالعه روند توزیع و پراکندگی و همچنین تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در ماده معدنی و سنگ درونگیر، به مطالعات زمین‌شیمیایی و نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته می‌شود. برای این منظور، بحث زمین‌شیمی در دو بخش سنگ‌میزبان و کانسنگ به طور جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ابتدا خصوصیات سنگ‌های میزبان و سپس خصوصیات زمین-شیمیایی کانه‌زایی‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

۶-۲- ژئوشیمی محیط سنگ

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

به منظور بررسی ژئوشیمی و پتروولوژی واحدهای سنگی دربرگیرنده کانسار پیرمردان، از بخش های غیردگرسان و یا دگرسانی کم رخنمون های سنگی نمونه برداری گردید. تعداد ۵ نمونه سنگ به روش XRF برای اکسید عناصر اصلی و تعداد ۸ نمونه به روش ICP-MS توسط آزمایشگاه شرکت زرآزما مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۶-۱) و جدول (۶-۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر غلظت عناصری که از حد حساسیت دستگاه پایین تر بوده اند از جدول داده های ژئوشیمیایی و روند پردازش حذف شده اند. در این بخش سعی شده است که با استفاده از تجزیه های شیمیایی و نمودارهای مختلف، شرایط تشکیل سنگ های منطقه بررسی شود.

جدول ۶-۱: مقادیر اکسید عناصر اصلی (%) در ۵ نمونه ی سنگ به روش XRF.

Element	Psa-05	Psa- 19	Psa-09	Psa-04	Psa-06
SiO ₂	50.94	55.8	56.17	62.39	62.39
Al ₂ O ₃	15.84	16.78	16.98	15.8	11.94
Fe ₂ O ₃	8.9	5.93	6.27	5.24	5.79
MgO	3.47	0.75	0.83	0.92	1.38
MnO	0.15	0.13	0.14	0.11	0.14
TiO ₂	0.86	0.81	0.83	0.82	0.57
CaO	8.16	5.18	6.15	3.75	5.29
Na ₂ O	2.74	1.53	3.62	0.08	2.59
K ₂ O	2.65	6.22	4.12	4.75	3.08
P ₂ O ₅	0.28	0.26	0.26	0.25	0.21
SO ₃	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
BaO	0.08	0.27	0.12	0.05	0.06
مختصات	54°47'16.7" 35°26'46.4"	-	54°48'16.2" 35°26'45.3"	54°47'16.7" 35°26'46.4"	54°47'16.7" 35°26'46.4"
نام سنگ	-	آندزیت- بازالت	آندزیت	-	آندزیت- بازالت
عکس نمونه					

جدول ۶-۲: مقادیر عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۸ نمونه ی سنگ به روش ICP-OES/MS.

code		Ag	As	Ba	Be	Be	Gd	Hf	In	La	Li	Lu
Psa- 05		54	15.4	425	1.3	1.3	3.58	3.86	0.07	17	18	0.24
Psa-13	آندزیت	19.8	15	2897	1.4	1.4	3.48	4.1	0.07	23	12	0.22
Psa-18	کانه زایی	50.3	10.8	705	1.2	1.2	3.5	2.74	0.07	29	31	0.23
Psa-19	آندزیت بازالت	3.9	6	1589	1.5	1.5	4.45	6.28	0.07	23	11	0.33
Psa-20	کانه زایی	33.1	8	450	0.8	0.8	2.2	0.79	0.07	20	27	0.12
Psa-21	لیتیک توف	0.2	9.5	402	1.7	1.7	3.09	2.44	0.07	14	45	0.2
Psa-23	آندزیت بازالت	0.8	6.6	790	1.3	1.3	3.96	4.99	0.07	14	21	0.35
Psa-24	کانه زایی	7.4	4	750	1.2	1.2	3.18	4.64	0.07	17	33	0.27

code	Ce	Co	Cr	Cs	Cu %	Dy	Er	Eu
Psa- 05	37	7.9	44	15.6	1/17	3.41	1.9	1.11
Psa-13	51	9	47	20.1	0/68	3.23	1.77	1.39
Psa-18	56	7.7	40	18.3	3/87	3.48	2.28	1.09
Psa-19	53	14.3	48	13.4	0/0489	4.1	2.4	1.38
Psa-20	34	2.4	36	6.7	4/5585	1.53	1	0.57
Psa-21	28	21.4	38	23.9	0/0049	2.84	1.62	0.85
Psa-23	36	15.3	49	14.2	28	3.93	2.65	1.07
Psa-24	40	16.3	43	5.4	2/0127	3.62	1.93	0.85

code	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb
Psa- 05	305	8.8	11	3.07	4.67	2.2	72	0.68	0.56
Psa-13	511	6.5	11.3	0.87	5.2	1.8	80	0.69	0.53
Psa-18	329	13	10.6	1.04	5.23	1.8	86	0.61	0.62
Psa-19	189	7.3	16.3	2.92	5.94	2.3	233	0.76	0.66
Psa-20	445	12.3	8.2	1.76	3.44	1.3	92	0.37	0.33
Psa-21	446	1.6	7.5	1.07	3.8	1.6	156	0.52	0.52
Psa-23	164	0.9	15.6	3.18	5.09	1.7	144	0.74	0.68
Psa-24	222	1.2	14.1	3.42	4.31	1.8	228	0.67	0.61

code	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Te	Th
Psa- 05	2	9.2	18.7	9	8	4.57	122	0.7	6.03
Psa-13	1	10.8	20.5	10	14	5.41	134	0.1	6.97
Psa-18	4	8.2	21.7	10	19	5.78	112	0.26	5.08
Psa-19	1	12	22.2	13	17	6.46	154	0.1	8.96
Psa-20	5	3	14	4	14	3.93	48	0.1	1.95
Psa-21	0.1	6.8	15.2	15	6	3.91	92	0.24	4.14
Psa-23	0.1	12.5	18.1	10	1	4.38	131	0.1	1.07
Psa-24	0.1	10.8	17.3	12	3	4.69	104	0.19	6.68

code	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
Psa-05	0.58	0.25	2.1	138	0.75	11.3	1.5	33	115
Psa-13	0.93	0.18	1.7	172	0.75	13.5	1.5	39	147
Psa-18	0.63	0.22	1.8	151	0.75	17.2	1.9	59	121
Psa-19	0.86	0.33	3	169	0.75	14.3	1.9	51	185
Psa-20	0.17	0.1	1.3	139	0.75	6.4	1	20	60
Psa-21	0.35	0.21	1.3	70	0.75	11.8	1.3	54	78
Psa-23	0.67	0.32	1.9	173	0.75	14.4	1.8	39	116
Psa-24	0.58	0.25	2.4	150	0.75	13.8	1.7	49	168

۶-۲-۲- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس عناصر اصلی و کمیاب

سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی همواره با استفاده از روش‌های مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نامگذاری می‌گردند. در برخی موارد، تغییرات بافت و دانه بندی، 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. رده‌بندی‌های مختلفی توسط سنگ‌شناسان مختلف برای سنگ‌های آتشفشانی پیشنهاد شده است.

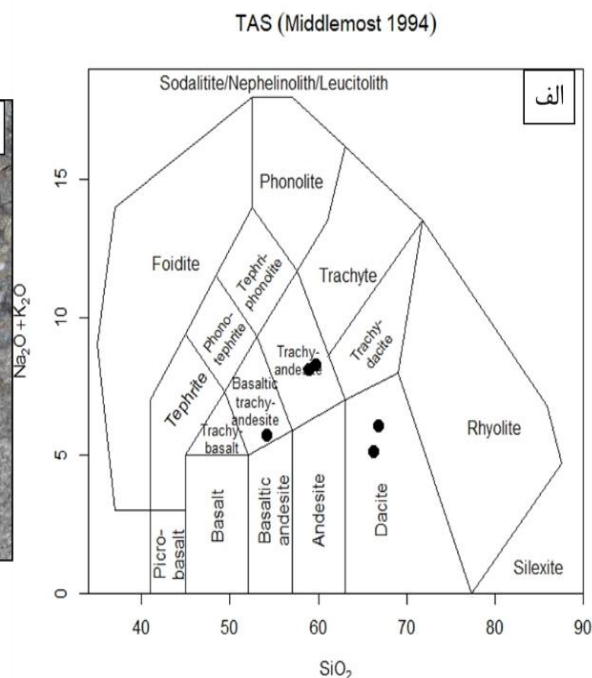
از مهم‌ترین رده‌بندی‌های ژئوشیمیایی، استفاده از نمودار رده‌بندی (Na_2O+K_2O) در مقابل SiO_2 که توسط پژوهشگران متعدد نظیر کاکس و همکاران (Cox et al., ۱۹۷۹)، میدلموست (Middlemost, ۱۹۹۴) و لوباس و همکاران (Le bas et al., ۱۹۸۶) ارائه شده است که تحت عنوان نمودارهای TAS معرفی می‌گردند. تمامی این نمودارها براساس مجموع آلکالی در مقابل سیلیس ارائه شده‌اند و تفاوت آن‌ها در نحوه‌ی مرزبندی محدوده‌های مختلف می‌باشد. استفاده از سیلیس در طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های به‌این‌علت است که اجزای اصلی سنگ‌های ماگمایی بوده و از تغییرات زیادی برخوردار است. در استفاده از نمودار TAS باید دقت کرد که سنگ‌های آتشفشانی

سالم بکار برده شوند زیرا در سنگ‌های دگرسان یا دگرگون شده، به علت متحرک بودن عناصر پتاسیم و سدیم، مقدار آلکالن دستخوش تغییرات می‌گردد. در این بخش، علاوه بر نمودارهای رده‌بندی عناصر اصلی، نمودارهای عناصر کمیاب که برای طبقه‌بندی نمونه‌های دگرسان شده کاربرد فراوانی دارند، برای طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه استفاده قرار گرفته است.

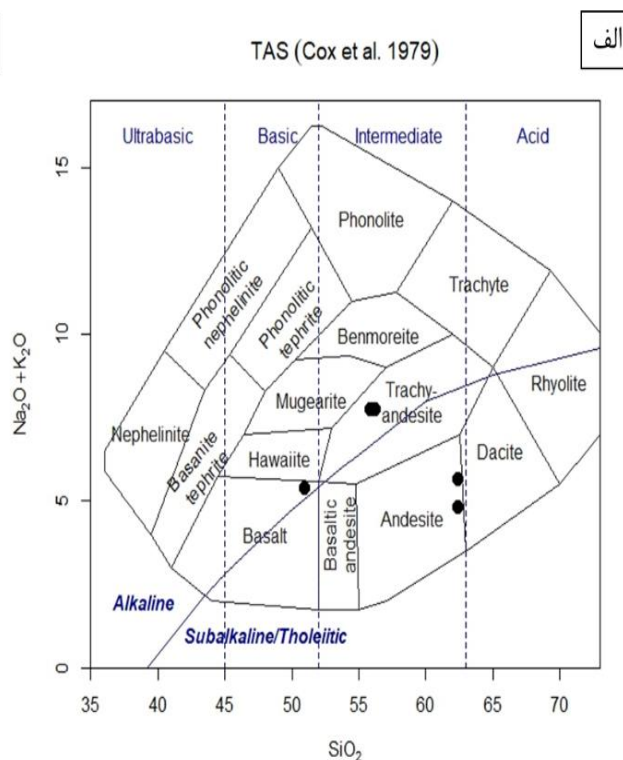
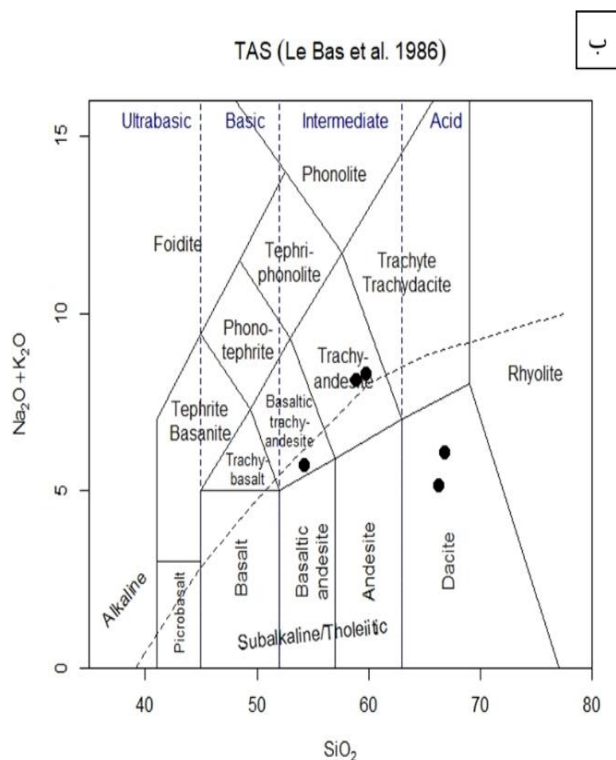
در این بخش برای نام‌گذاری سنگ از نمودار میدلموست (Middlemost, ۱۹۹۴) که یکی از مفیدترین روش‌های طبقه‌بندی سنگ‌ها می‌باشد، استفاده شده است. در این نمودار که براساس تغییرات میزان سیلیس (SiO_2) در مقابل مجموعه آلکالی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) است، سنگ‌های آتشفشانی محدوده پیرمردان در محدوده‌ی تراکی‌آندزیت و داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱ الف). همچنین از نمودار ارائه‌شده توسط کاکس و همکاران (Cox et al., ۱۹۷۹) و لوباس و همکاران (Le bas et al., ۱۹۸۶) استفاده شد که نمونه‌ها در محدوده تراکی‌آندزیت قرار گرفته است (شکل ۶-۲ الف و ب).

مهاجرت موقعیت ترکیبی نمونه‌های سنگی به سمت محدوده داسیت ناشی از وجود سیلیس اضافه است که در جریان دگرسانی در این سنگ‌ها تمرکز پیدا کرده است و در قالب رگه-رگچه‌ها و پرکننده حفرات خالی تداخل پیدا کرده است. شواهد مهاجرت سیلیس به صورت رگه-رگچه‌ای سیلیس آغشته به آهن در رخنمون صحرایی دیده می‌شود (۱-۶، ب).

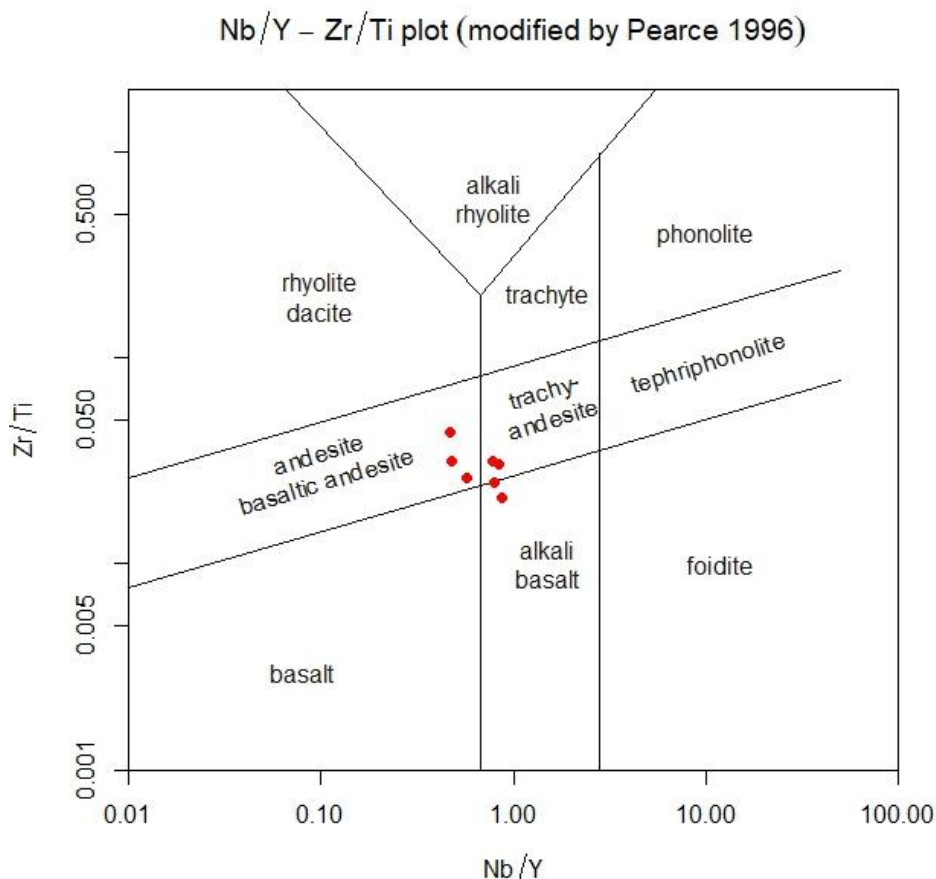
همچنین برای تعیین ترکیب و ماهیت سنگ‌های موردنظر، از نمودارهای مربوطه براساس عناصر کمیاب کم‌تحرک و دارای قدرت میدانی بالا شامل Y، Nb، Ti و Zr استفاده می‌شود. برای طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی براساس نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Modified by Pearce, ۱۹۹۶)، نمونه‌های سنگی در محدوده‌های ترکیبی آلکالی-بازالت، تراکی‌آندزیت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۳).



شکل ۶-۱: الف) طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost, ۱۹۹۴)، ب) تصویری از رگه- رگچه‌های سیلیسی آغشته به آهن.



شکل ۶-۲: الف) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Cox et al, ۱۹۷۹)، ب) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار (Le bas et al., ۱۹۸۶).



شکل ۶-۳: موقعیت قرار گیری نمونه های سنگی محدوده بر روی نمودار، (pearce ۱۹۹۶).

۳-۲-۶- تعیین سری ماگمایی سنگ های محدوده پیرمردان

طبق نظر کونو (۱۹۶۸)، هر سری ماگمایی مجموعه ای از سنگ های آذرین دارای ترکیب شیمیایی مختلف را در برمی گیرد که از تفریق یک ماگمای بازیک مادر و یا از ذوب سنگ منشأ (سنگ مادر) حاصل شده اند. در حال حاضر ۵ سری ماگمایی مشخص شده اند که عبارت اند از: سری تولئیتی، آکالن، کالک آکالن، شوشونیتی و تحولی (انتقالی). بررسی سری ماگمایی، کمک مؤثری در شناخت تحولات ماگمایی و تفسیر بهتر و دقیق تر سنگ های مورد مطالعه، از نمودارهای که توسط محققین مختلف پیشنهاد گردیده، جهت تعیین سری ماگمایی سنگ های منطقه استفاده شده است.

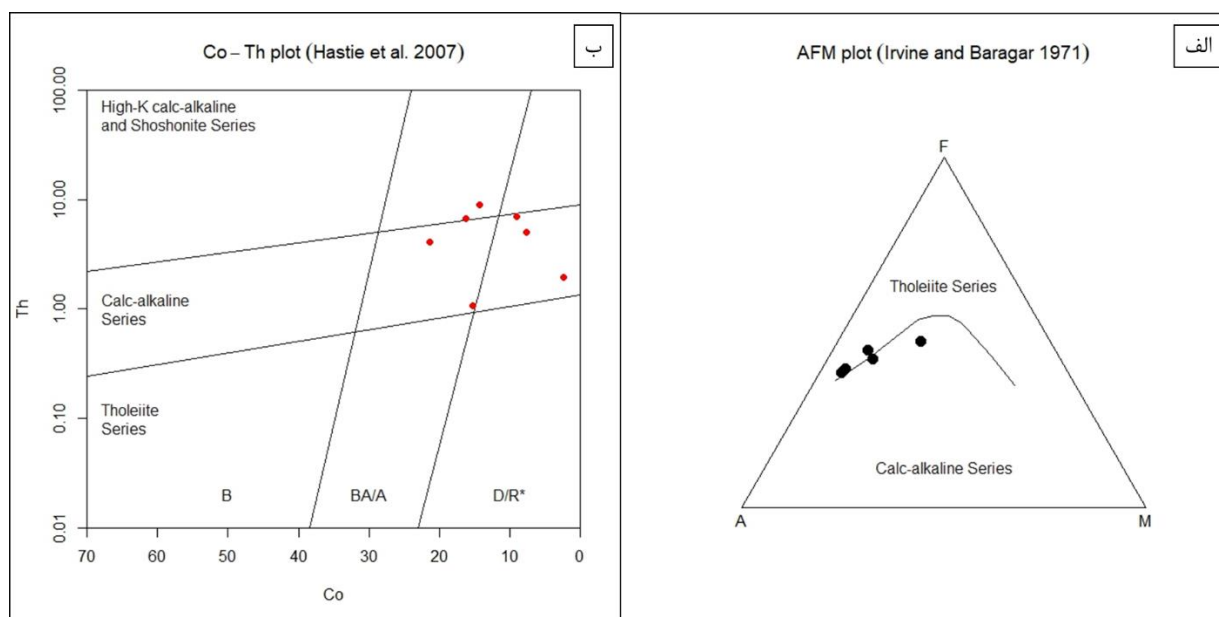
الف - نمودار مثلثی AFM (ایرون و باراگار، ۱۹۷۱)

نمودار مثلثی AFM (ایرون و باراگار، ۱۹۷۱)، یکی از مشهورترین نمودارهای مثلثی است که در آن تغییرات شیمیایی

موجود در سری ماگمایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نمودار دارای سه رأس $A=(Na_2O+K_2O)$ ، $M=MgO$ و $F=(FeO+Fe_2O_3)$ می‌باشد که محدوده‌های تولییتی و کالک آلکالن را از هم جدا می‌کند. در نمودار AFM نمونه‌های مورد مطالعه در مرز بین محدوده‌های کالک آلکالن و تولییتی واقع می‌شوند (شکل ۴-۶ الف). البته در مجموع این نوع سنگ‌ها گرایش بیشتری به سمت کالک آلکالن نشان می‌دهند.

ب- طبقه‌بندی ۲۰۰۷ Hastie et al. براساس نسبت Co- Th

این طبقه‌بندی‌ها برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین براساس نسبت توریم به کبالت بنا نهاده شده است. در نمودار نماد B نشان‌دهنده بازالت، BA/A بیانگر آندزیت بازالت و آندزیت و در نهایت D/R نمایانگر سنگ‌های داسیتی و ریولیتی می‌باشد. سری ماگمایی توده‌های نفوذی در محدوده سری کالک آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۶ ب).



شکل ۴-۶: تعیین سری ماگمایی سنگ‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای: الف) (Irvin and Baragar, ۱۹۷۱) AFM (ب و ب) نمودار ارائه شده (Hastie et al, ۲۰۰۷).

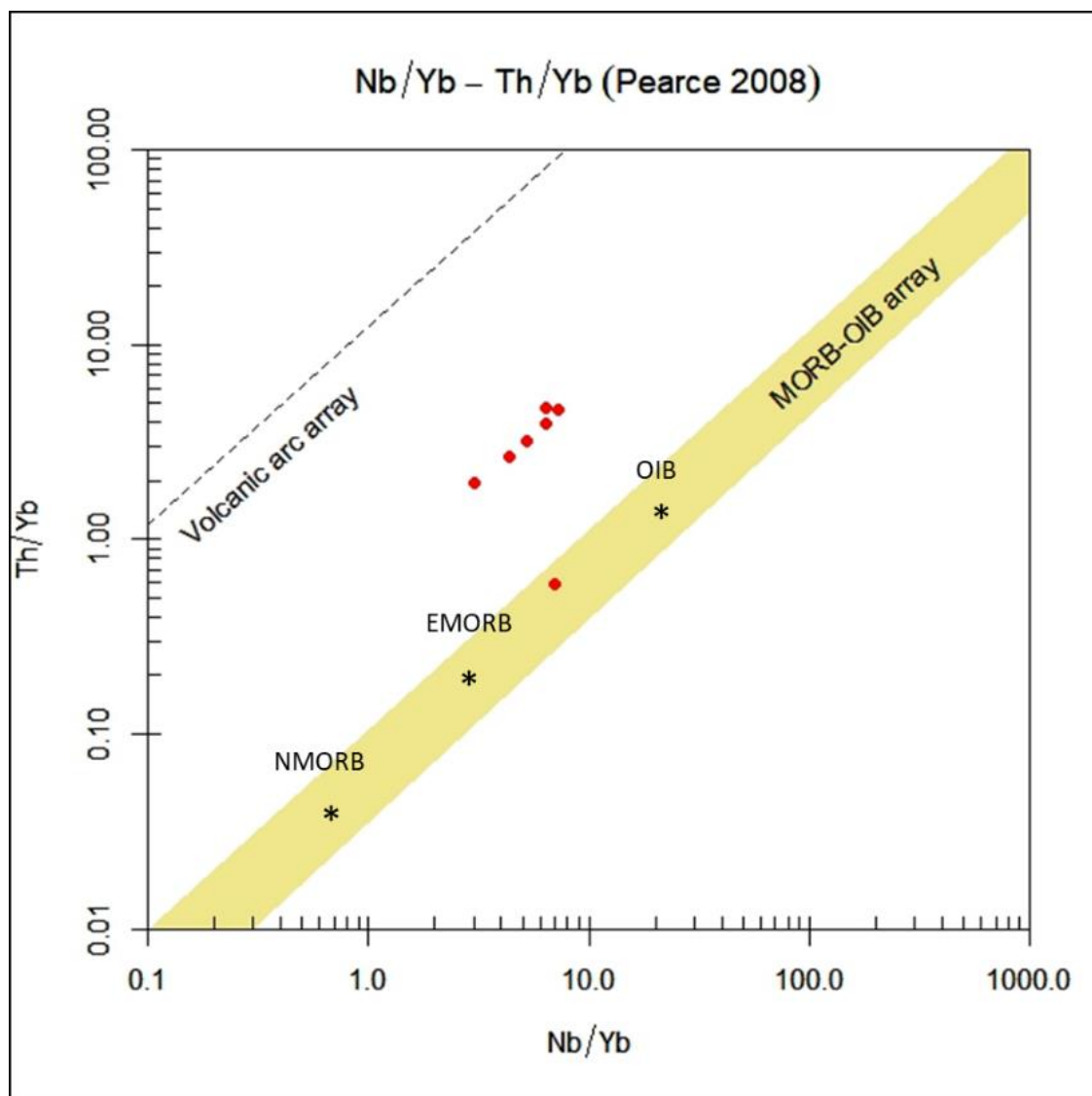
۴-۲-۶- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین

در هر جایگاه زمین‌ساختی، فعالیت‌های آذرین موجب تولید ماگماهایی می‌شوند که از نظر ویژگی‌های ژئوشیمیایی ویژه آن محیط زمین‌ساختی هستند. بنابراین، می‌توان با استفاده از داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ‌ها، به جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها پی برد. نمودارهای متمایزکننده به‌ندرت، محیط زمین‌ساختی قدیمی را بدون ابهام تعیین

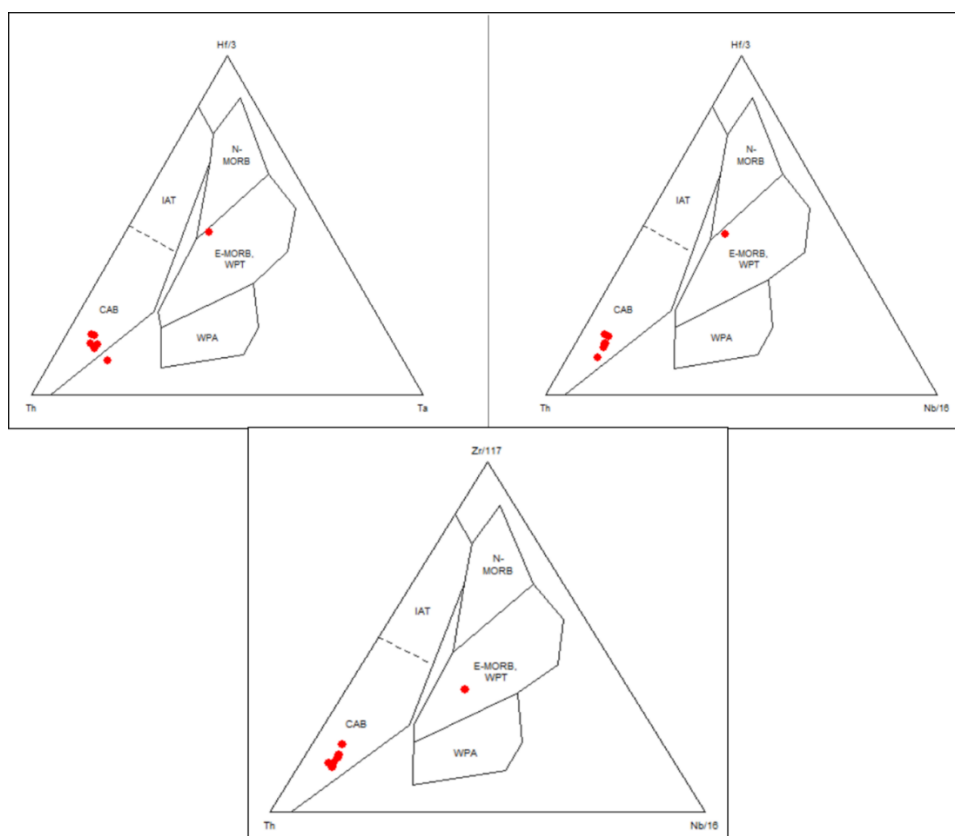
می‌کنند. این نمودارها در بهترین حالت، فقط احتمال وجود یک محیط زمین‌ساختی را نشان می‌دهند (کریم زاده، ۱۳۸۱). برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه از نمودار زیر استفاده شده است:

الف- نمودار Th/Yb نسبت به Nb/Yb که برای تعیین ویژگی‌های محل منشأ طراحی شده است. معمولاً نسبت‌های Th/Yb و Nb/Yb تحت تأثیر تبلور تفریقی یا ذوب بخشی قرار نمی‌گیرند. بنابراین فراوانی این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب سنگ منشأ ماگما و یا هضم سنگ‌های پوسته به‌وسیله‌ی ماگما باشد. نمونه‌های مورد مطالعه دارای نسبت بالایی از Th/Yb می‌باشند و در محدوده محیط‌های مرتبط با فروران‌ش قرار می‌گیرند (شکل ۶-۵).

ب- سنگ‌های آذرین مورد بررسی براساس نمودارهای سه‌تایی $Zr/^{117}Th-Nb/^{116}Th-Hf/^{177}Th$ ، $Zr/^{117}Th-Nb/^{116}Th$ ، $Hf/^{177}Th-Nb/^{116}Th$ از Ta (Wood, ۱۹۸۰)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های کمان قاره‌ای (CAB) قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۵: تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودار (Pearce, ۲۰۰۸).



شکل ۶-۶: موقعیت نمونه‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار سه‌تابی Hf/3 - Hf/3-Th-Nb/16 , Zr/117-Th-Nb/16 , Hf/3-Th-Ta (Wood, ۱۹۸۰).

۳-۶- ژئوشیمی محیط کانسنگ

هدف از اکتشافات ژئوشیمیایی به‌طور کلی، بررسی هاله‌های ژئوشیمی است. این امر در شناخت پتانسیل کانه‌زایی، تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای عملیات حفاری، شناسایی و مشخص کردن نحوه‌ی پراکندگی عناصر در سطح و عمق، بررسی میزان همبستگی عناصر با هم و ... بسیار سودمند است. در این بخش، چگونگی پراکندگی، ارتباط و همبستگی ژئوشیمیایی عناصر بررسی می‌شود. با اطلاعات حاصل از نتایج ژئوشیمی کانسنگ می‌توان دید بهتر و صحیح‌تری نسبت به کانسار پیدا کرد. در محدوده پیرمردان بررسی‌های ژئوشیمیایی کانسنگ بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی ۸ نمونه‌ی کانسنگ از آزمایشگاه زرآما (جدول ۶-۲)، برای عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب‌خاکی به روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفته است.

۱-۳-۶- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر

وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهمترین موارد در بررسی‌های ژئوشیمیایی جهت تشخیص فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار است (Barnes, ۱۹۹۷). شناخت ارتباط متقابل بین عناصر می‌تواند در درک شرایط محیطی، تفسیر دقیق از محیط‌های ژئوشیمیایی، شناخت بهتر کانه‌زایی منطقه و حتی در معرفی مناطق امید بخش معدنی کمک شایانی بنماید. به منظور بررسی همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز با یکدیگر در منطقه مورد مطالعه از ماتریس همبستگی رتبه‌ای- پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS-۲۱ استفاده شده است که نتایج آن به صورت ماتریس ضرایب همبستگی در جدول (۳-۶) آورده شده است. ضریب همبستگی بین دو عدد ۱- و ۱+ متغیر است. وجود همبستگی مثبت بیشتر از ۰/۵+ نشان‌دهنده خروج یا ورود دو عنصر از یک محیط و یا معرف منشاء یکسان دو عنصر است. همبستگی منفی کمتر از ۰/۵- نشان‌دهنده ارتباط معکوس دو عنصر با یکدیگر می‌باشد. به این معنی که ورود یک عنصر به یک محیط، همزمان با خروج دیگری صورت می‌پذیرد و یا دو عنصر از دو منبع جدا از یکدیگر مشتق شده‌اند. اعداد ۰/۵+ تا صفر و ۰/۵- تا صفر نشان از همبستگی ضعیف یا عدم همبستگی بین زوج عناصر دارد.

مس (Cu) با عناصر نقره (Ag)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، انیتموان (Sb) همبستگی مثبت دارد. این عناصر به دلیل رفتار ژئوشیمی مشابه با هم وجود دارند (جدول ۳-۶).

Correlations										
		Ag	Ba	Cu	Fe	Cr	Pb	Sr	Zn	Sb
Ag	Pearson Correlation	1								
Ba	Pearson Correlation	-0.201	1							
Cu	Pearson Correlation	0.632	-0.328	1						
Fe	Pearson Correlation	0.157	-0.276	.754*	1					
Cr	Pearson Correlation	-0.334	0.572	-0.679	-0.597	1				
Pb	Pearson Correlation	0.467	0.351	0.436	0.372	-0.180	1			
Sr	Pearson Correlation	-.744*	-0.025	-0.390	-0.209	0.274	-0.275	1		
Zn	Pearson Correlation	-0.254	0.047	-0.279	-0.323	0.112	0.104	0.444	1	
Sb	Pearson Correlation	.812*	-0.018	.724*	0.517	-0.385	.837**	-0.575	-0.252	1

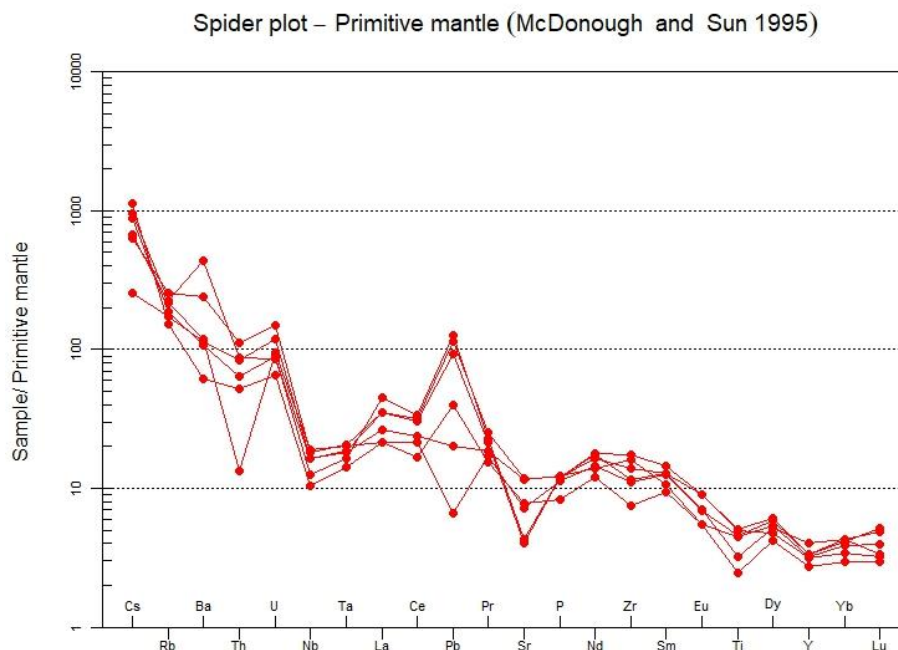
جدول ۳-۶: مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسون بر پایه‌ی لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی عناصر در ۸ نمونه محدوده پیرمردان.

۶-۳-۲- ژئوشیمی عناصر کمیاب

نمودارهای عنکبوتی جهت بررسی میزان تغییرات و تحولات ماگمای مولد نسبت به ماگمای اولیه و همچنین منشأ و روابط ژنتیکی آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

عناصر کمیاب عنصری معمولاً غلظت آن‌ها در سنگ کمتر از ۰/۱٪ یا کمتر از ۱۰۰۰ ppm باشد. عناصر کمیاب اغلب موارد جایگزین عناصر اصلی در ساختار کانی‌ها می‌شوند. از مهم‌ترین عناصر کمیاب می‌توان به Bi، Rb، Sb، Ni، V، Nb، Zr، Cs، Th، U، Ta، Hf و ... اشاره کرد. تغییرات اعضای گروه و یا تغییرات سیستماتیک در رفتار عناصر یک گروه به‌عنوان شاخص فرآیندهای پترولوژیکی به کار می‌رود. این گروه عناصر کاربردهای زیادی در بحث ژنز سنگ‌ها و کانسنگ‌ها دارند.

در پژوهش حاضر مقادیر غلظت عناصر کمیاب در سنگ میزبان محدوده معدنی پیرمردان به ترکیب گوشته اولیه (McDonough and Sun., ۱۹۹۵) به‌هنجار شده است شکل (۷-۶). تهی‌شدگی Ti و Nb از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای داخل ورقه‌های لیتوسفری می‌باشد. آنومالی منفی Nb در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای بوده و می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده به وجود آمده باشد (Aldanmaz et al., ۲۰۰۰). آنومالی مثبت Pb در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که می‌تواند به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورونده و یا آرایش ماگما با سنگ‌های پوسته قاره‌ای ارتباط داشته باشد (Kamber et al., ۲۰۰۲). همراه بودن آنومالی مثبت Pb و آنومالی منفی Nb، نشانه ماگماهای کمان‌های حاشیه قاره‌ای و ماگماهای متأثر از پوسته قاره‌ای است (Hofmann, ۱۹۸۶).



شکل ۶-۷: نمودار به‌هنگار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., ۱۹۹۵).

۳-۳-۶- به‌هنگارسازی عناصر کمیاب خاکی کانسنگ‌های منطقه پیرمردان به کندریت

عناصر کمیاب خاکی (REE)، از مفیدترین عناصر کمیاب بوده و مطالعه آن‌ها کاربردهای مهمی در پترولوژی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد. REE شامل یکسری از عناصر (لانتانیوم تا لوتسیوم) با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می‌باشند. عنصر Y نیز به دلیل شباهت‌های ژئوشیمیایی با REE ها طبقه‌بندی می‌شود. به‌طورمعمول، اعضای با عدد اتمی پایین در این سری LREE و عناصر با عدد اتمی بالاتر HREE نامیده می‌شوند. عناصر کمیاب خاکی دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خیلی نزدیک به هم هستند که به دلیل تشکیل یون‌های $+3$ پایدار با اندازه برابر است. تفاوت‌های مشاهده‌شده در رفتار شیمیایی این عناصر ناشی از کاهش کم ولی پیوسته اعضای یونی با افزایش عدد اتمی است. این تفاوت‌های کوچک باعث تفریق سری عناصر REE نسبت به یکدیگر می‌شود. از این پدیده در ژئوشیمی به‌منظور بررسی منشأ مجموعه‌های سنگی و تعیین فرایندهای پترولوژیکی استفاده می‌گردد (Rollinson, ۱۹۹۳). تمرکز عناصر کمیاب خاکی در سنگ‌ها معمولاً با استانداردهای مرجع به‌هنگارسازی می‌شوند. از معمول‌ترین این استانداردها متئوریت کندریتی است. REE ها با عدد اتمی زوج، پایدارتر و در نتیجه فراوان‌تر از REE ها با عدد اتمی فردتر هستند

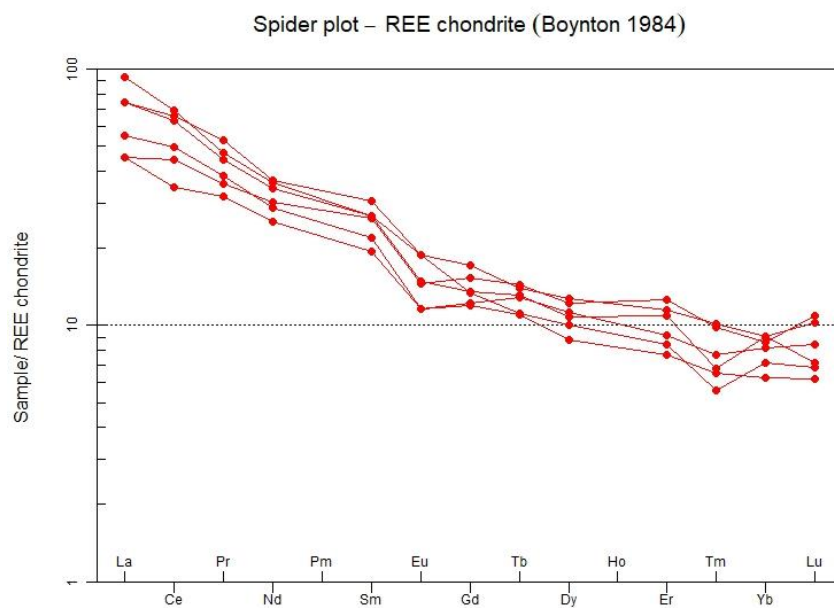
که منجر به تشکیل الگوی زیگزاگی در دیاگرام فراوانی ترکیب می‌شوند. به‌هنجارسازی نسبت به کندریت دو نقش ایفا می‌کند. اول اینکه تغییرات فراوانی بین عناصر با عدد اتمی زوج و فرد را کاهش می‌دهد و دوم اینکه هرگونه تفریق نسبت به شخانه کندریتی را آشکار می‌سازد (Rollinson, ۱۹۹۳).

در شکل (۸-۶) الگوی ژئوشیمیایی به‌هنجار شده‌ی عناصر کمیاب‌خاکی نمونه‌های محدوده اکتشافی پیرمردان به کندریت (Boynton, ۱۹۸۴) مقایسه شده‌است. همچنین نمودار عناصر کمیاب در نمونه‌های کانسنگ پیرمردان به کندریت (Thompson, ۱۹۸۲) نرمالیزه شده است (شکل ۶-۹). که دارای روند موازی و مشابه با نمونه‌های نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., ۱۹۹۵) (شکل ۶-۷)، می‌تواند نشان دهنده این باشد که منشأ این واحدهای سنگی یکی است.

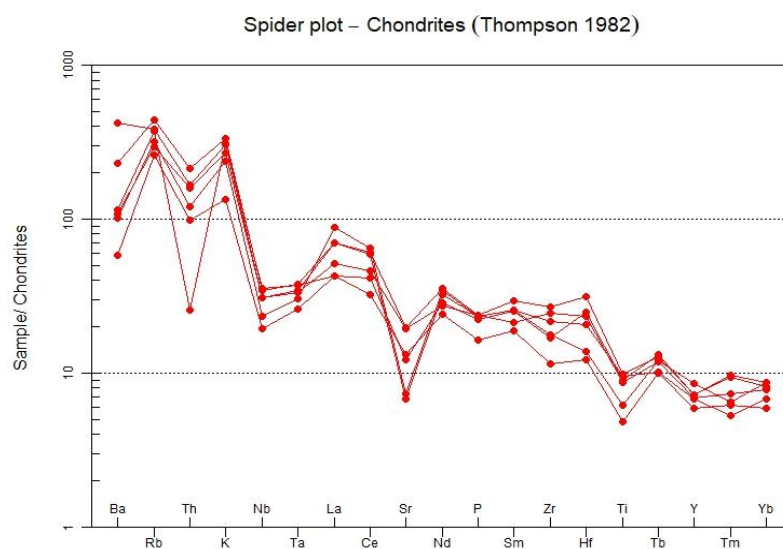
بررسی الگوی به‌هنجار شده‌ی عناصر کمیاب‌خاکی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها به‌طور نسبی از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) غنی و از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) تهی می‌باشند. یکی از ویژگی‌های مهم نمونه‌های منطقه، روند تدریجی تهی‌شدگی از سمت عناصر کمیاب‌خاکی سبک به انواع سنگین و عدم وجود تغییرات ناگهانی در شیب نمودارها است، که ویژگی شاخص ماگماهای مرزهای صفحات همگرا (Guo et al., ۲۰۰۶) و از ویژگی‌های سنگ‌های کالک آلكالن کمان حاشیه قاره‌ها است.

مهم‌ترین عنصری که تغییرات بسیار مهمی را در عناصر نادر خاکی نشان می‌دهد، عنصر Eu می‌باشد و این امر به خاطر ظرفیت و شعاع یونی آن است که بسیار نزدیک به کلسیم بوده و به‌خوبی در فلدسپارها جانشین کلسیم می‌شود (Rollinson, ۱۹۹۳).

همچنین آنومالی منفی Eu می‌تواند نشان دهنده منشأ گرفتن سنگ‌های مورد مطالعه از یک منبع محتوی پلاژیوکلاز یا باقی‌ماندن فلدسپار در منشأ در شرایطی که اکتیویته H_2O پایین است، باشد (Jinjie et al., ۲۰۰۷). کاهش یوروپیوم همچنین می‌تواند نشانگر تغییر ترکیب کانی‌شناسی از پلاژیوکلاز به سمت کانی‌های دگرسان شده‌ای همچون سریسیت باشد (Rollinson, ۱۹۹۳).



شکل ۶-۸: الگوی به‌هنجار شده عناصر کمیاب خاکی نسبت به کندریت (Boynton, ۱۹۸۴).



شکل ۶-۹: نمودار عناصر کمیاب خاکی سبک به کندریت (Thompson, ۱۹۸۲) نرمالیزه شده‌اند.

فصل هفتم: مطالعات سیال درگیر

۷-۱- مقدمه

از آنجا که حاشیه‌های یک بلور نسبت به مرکز آن بیشتر در مجاورت سیالات گرمایی قرار دارد در نتیجه سرعت رشد بلور در حاشیه‌ها بیشتر بوده و عدم توازن ایجاد شده باعث ایجاد نقایصی مانند حفره یا شکاف در بلور می‌شود. همزمان با رشد بلورها، به علت ناهمسانی‌هایی که در رشد آنها تحت تاثیر عوامل متعدد روی می‌دهد، فضاهایی در سطح بلور ایجاد شده و یا در ضمن رشد، درزه‌هایی در بلور ایجاد می‌شود که محلول‌های کانه‌دار می‌توانند در آنها محبوس شوند. به اینگونه فضاها و محتویات داخل آنها انکلوزیون‌های سیال یا سیالات درگیر گفته می‌شود (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱).

انکلوزیون‌های سیال بخش جدایی ناپذیر از هر سنگ یا کانی هستند. مطالعه آنها به اندازه‌ی مطالعه‌ی اجزای کانیایی و شیمیایی اصلی سنگ، اهمیت و ارزش دارد (سیمونز، ۱۳۸۶). مطالعات سیالات درگیر به ویژه در زمینه‌ی ژنز کانسنگ از اهمیت به خصوصی برخوردارند و نقش باارزشی در درک فعلی ما از حمل و ترسیب کانسنگ‌ها داشته‌اند (رویدر، ۱۹۷۹؛ اسپونر، ۱۹۸۱). سیالات درگیر در کانی‌ها معرف بخش‌هایی از مایعات، گازها و مذاب‌های به دام افتاده‌ای هستند که بلور از آنها رشد کرده‌است و بنابراین می‌توان از آنها برای بازسازی محیطی که در آن سنگ یا کانی تشکیل شده، استفاده کرد.

۷-۲- انتخاب و آماده‌سازی نمونه برای مطالعات میکروسکوپی

انتخاب ماده بر اساس محیط زمین‌شناسی که نمونه در آن ظاهر شده و محدوده کانی‌های موجود صورت می‌گیرد. کوارتز به علت رخداد زمین‌شناسی گسترده، شفافیت و به دام انداختن انکلوزیون‌های نسبتاً بزرگ، بهترین گزینه بوده و بیشترین شانس موفقیت را دارد. در نمونه‌های مات و شیری انکلوزیون‌ها در صورت وجود، کوچک خواهند بود (سیمونز، ۱۳۸۶).

در رگه‌های گرمابی بهترین نمونه‌ها از بلورهای درشت، خوب توسعه یافته و شکل‌دار تهیه می‌شوند که در داخل حفرات تشکیل شده‌اند (سیمونز، ۱۳۸۶). در محدوده‌های اکتشافی، نمونه‌های شفاف و درشت بلور کانی مورد نظر را، از محل‌های کانی‌سازی، جهت تهیه مقاطع دو بر صیقلی و مطالعات سیالات درگیر آن برداشت می‌شود. به منظور کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در وقت و گرفتن بهترین نتایج از مطالعات سیالات درگیر ابتدا می‌بایست

مطالعات جامعی از زمین‌شناسی، دگرسانی، رخدادهای کانی‌سازی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی، پتروگرافی و توالی پاراژنز منطقه مورد مطالعه انجام داد. پس از این مراحل می‌توان نمونه‌هایی را که پاراژنز با کانی‌سازی منطقه هستند و بهترین نتایج را تولید می‌کنند انتخاب نمود.

سپس مطالعات پتروگرافی و دماسنجی بر روی سیالات درگیر صورت می‌گیرد. با توجه به داده‌های بدست آمده ترسیم نمودارها مناسب و تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات درگیر کانه‌ساز در مرحله آخر انجام می‌پذیرد. معمولاً به دلیل ریز بودن برخی سیالات تعداد سیالات درگیر مطالعه شده برای شوری کمی کمتر از تعداد سیالات درگیر مطالعه شده برای دماسنجی هستند.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، نمونه‌های مورد نظر را که قبلاً در مطالعات مقطع نازک و یا مقطع نازک صیقلی انتخاب کرده و پس از برش‌های نازک کانی‌ها، هر دو سطحشان را صیقل می‌دهیم. ضخامت نهایی به اندازه و فراوانی انکلوژیون‌ها و شفافیت کانی بستگی دارد. ضخامت بین 0.2 تا 0.5 برای بیشتر نمونه‌ها توصیه می‌شود. ضخامت مقاطع تهیه شده حدود 0.3 میلیمتر می‌باشد.

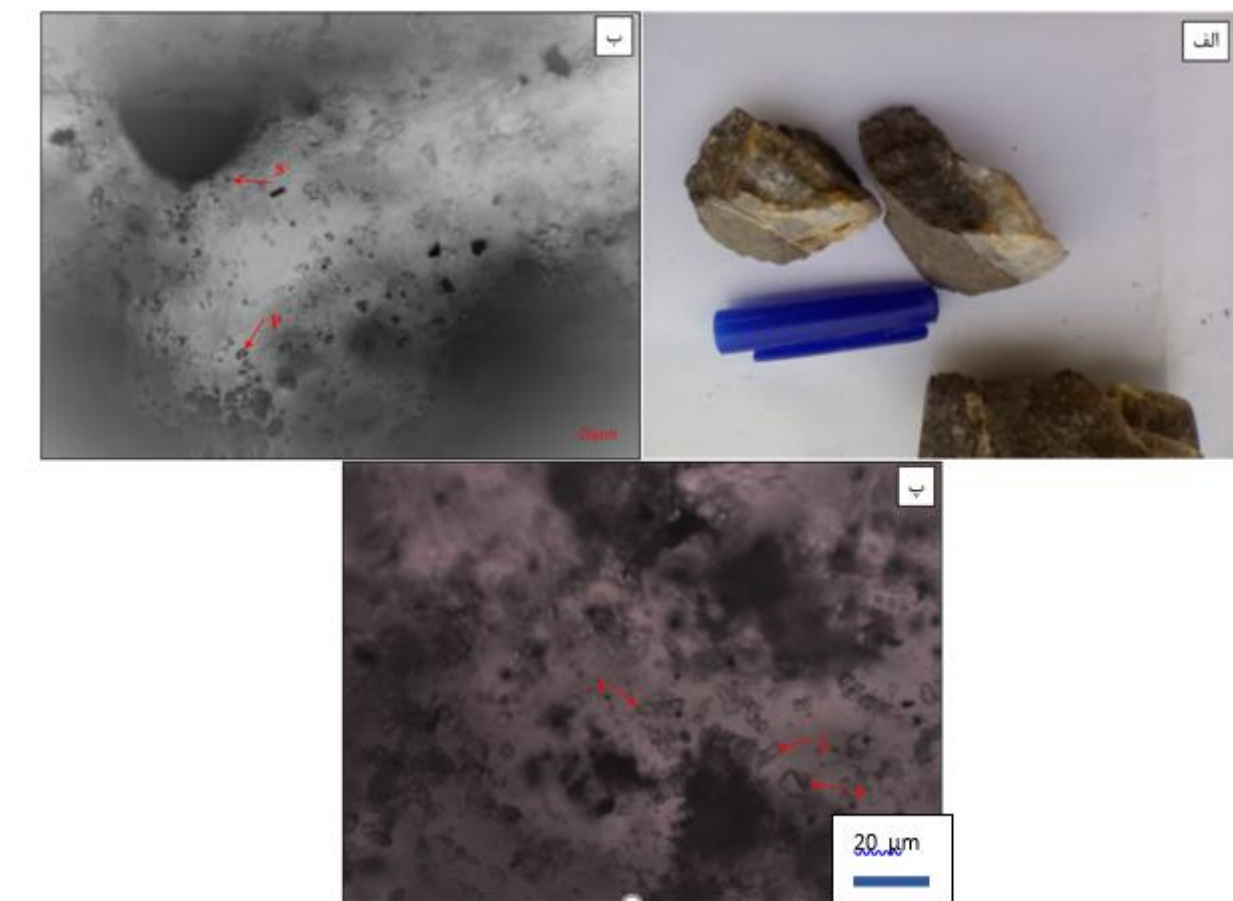
با توجه به وجود تعداد بی شماری سیال درگیر در یک نمونه، مطالعه همه سیالات ضروری و امکان پذیر نیست لذا لازم است فقط برخی از آنها انتخاب و مطالعه شوند. در مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر می‌توان انواع سیالات درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب را شناسایی کرد. همچنین اندازه‌ی آنها در مطالعات میکروسکوپی بین 2 تا 6 میکرون تغییر می‌کنند. ابعاد و گاهی ترکیب فازهای دختر موجود در سیالات درگیر نیز در مطالعات پتروگرافی تعیین می‌شوند. در اکثر سیالات درگیر ماده اصلی آب و پس از آن دی‌اکسیدکربن و نمک است. تعیین فاز غالب نیز دارای اهمیت زیادی در مطالعه سیالات درگیر است.

۳-۷- نتایج حاصل از پتروگرافی و مطالعات دماسنجی در مقاطع مورد مطالعه

مقطع شماره A :

نمونه تهیه شده از ترانشه شماره ۱ بوده که دارای رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی به همراه دگرسانی سیلیسی می‌باشد (شکل ۷-۴ الف). مطالعات انجام گرفته بر روی کلسیت نشان می‌دهد، سیالات اولیه آن بیشتر به صورت دو فاز $L+V$ و تک فاز L و مشاهده می‌شود. به طور میانگین بین 4 تا 5 میکرون می‌باشد. بزرگترین سیال

آن حدود ۶ میکرون میباشد. سیالات اولیه اکثرا شکل دار و زاویه دار و به اشکال کشیده، بیضوی شکل دیده می شود. تک فازهای L نیز مشاهده می شود. (شکل ۷-۴ ب و پ). سیالات ثانویه آن به صورت دو فازی L+V و با اندازه کمتر از ۵ میکرون مشاهده می شود.

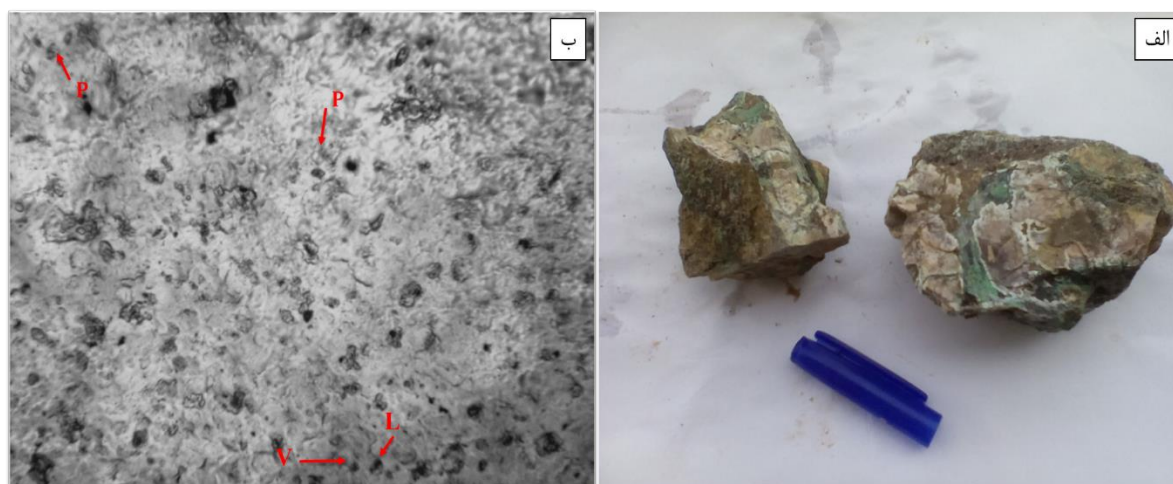


شکل ۷-۴: الف) تصویر نمونه دستی از رگه سیلیسی، ب) سیالات درگیر اولیه (P) و ثانویه (S)، پ) سیالات درگیر اولیه P و تک فازی های مایع L

مقطع شماره B:

نمونه تهیه شده از ترانشه شماره ۳ بوده که دارای رگه- رگچه های سیلیسی می باشد. رگچه های مختلفی در این واحد وجود دارد که عبارتند از رگچه های مالاکیتی همراه با کوارتز، رگچه هایی با بافت شانه ای که در حاشیه کوارتز+ کانی فلزی و در مرکز کربنات قرار دارد و رگچه هایی که در حاشیه آن ژئولیت و در مرکز دارای کلسیت می باشند. البته ژئولیت به صورت پراکنده در متن سنگ نیز مشاهده می گردد. طبق مطالعات انجام گرفته بر روی کانی کلسیت سیالات اولیه آن بیشتر به صورت دو فازی L+V و در مواردی تک فازهای گازی V مشاهده می شود. به طور میانگین بین ۵ تا ۶ میکرون می باشد. بزرگترین سیال آن حدود ۷ میکرون می باشد. سیالات اولیه اکثرا شکل دار و برخی نیز بی شکل و به اشکال کشیده،

بیضوی ، مخروطی شکل دیده می شود (شکل ۷-۵). در جدول ۲ نتایج حاصل از دماسنجی سیالات درگیر این مقطع، نشان داده می شود.



شکل ۷-۵: الف) نمونه‌ی دستی از رگه‌های سیلیسی ، ب) سیالات درگیر اولیه (P) و فازهای مایع (L) و گاز (V) سیالات درگیر اولیه .

جدول ۷-۱: نتایج آنالیزهای دماسنجی، تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های منطقه پیرمردان.

ردیف	نام مقطع	دمای همگن شدن Th	TFm	Tm	WT% NaCl	P(bar)	P (g/Cm ^۳)	dp/dt
۱	A	۲۱۶	-۵۱.۲	-۱۸.۲	۲۱.۱۱	۱۸	۱.۰۱۶	۱۸.۳
۲	A	۲۳۴	-۵۱.۶	-۱۷.۳	۲۰.۴۵	۲۵	۰.۹۹۳	۱۷.۱
۳	A	۲۲۰	-۵۱.۱	-۱۷.۲	۲۰.۳۷	۲۰	۱.۰۰۶	۱۷.۹
۴	A	۲۱۴	-۵۰.۹	-۱۷	۲۰.۲۲	۱۷	۱.۰۱	۱۸.۳
۵	A	۲۱۸	-۵۰.۳	-۱۷.۶	۲۰.۶۷	۱۹	۱.۰۱	۱۸.۱
۶	A	۲۲۵	-۵۰.۹	-۱۷.۴	۲۰.۵۲	۲۱	۱.۰۰۲	۱۷.۶
۷	A	۲۱۷	-۵۰.۸	-۱۷.۳	۲۰.۴۵	۱۸	۱.۰۰۹	۱۸.۱
۸	A	۲۱۵	-۵۰.۳	-۱۸	۲۰.۹۷	۱۸	۱.۰۱۶	۱۸.۳
۹	A	۲۲۳	-۵۱.۹	-۱۸.۱	۲۱.۰۴	۲۱	۱.۰۰۹	۱۷.۸
۱۰	A	۲۲۸	-۵۱.۲	-۱۷.۸	۲۰.۸۲	۲۳	۱.۰۰۲	۱۷.۵
۱۱	A	۲۲۹	-۵۱.۳	-۱۷.۴	۲۰.۵۲	۲۳	۰.۹۹۸	۱۷.۴
۱۲	A	۲۳۰	-۵۱.۱	-۱۷.۱	۲۰.۳۰	۲۴	۰.۹۹۵	۱۷.۳
۱۳	A	۲۱۵	-۵۱.۷	-۱۷.۵	۲۰.۶۰	۱۸	۱.۰۱۳	۱۸.۳
۱۴	A	۲۱۸	-۵۰.۳	-۱۷.۵	۲۰.۶۰	۱۹	۱.۰۱۰	۱۸.۱
۱۵	A	۲۱۴	-۵۰.۲	-۱۷.۷	۲۰.۷۵	۱۷	۱.۰۱۵	۱۸.۴
۱۶	B	۱۸۵	-۵۰.۶	-۱۳.۹	۱۷.۷۰	۱۰	۱.۰۱۸	۱۹.۸
۱۷	B	۲۰۰	-۵۰.۹	-۱۲.۲	۱۶.۱۵	۱۴	۰.۹۹۰	۱۸.۵
۱۸	B	۱۸۲	-۵۰.۴	-۱۲.۷	۱۷.۳۴	۱۶	۰.۹۹۳	۱۸.۲
۱۹	B	۲۰۷	-۵۰.۵	-۱۳.۵	۱۷.۴۳	۲۰	۰.۹۸۱	۱۷.۴

۱۹.۲	۱.۰۰۸	۱۲	۱۷.۵۲	-۱۳.۶	-۵۰.۲	۲۲۰	B	۲۰
۱۸.۸	۱.۰۰۱	۱۳	۱۷.۲۶	-۱۳.۷	-۵۱	۱۹۳	B	۲۱
۱۷.۳	۰.۹۷۶	۲۰	۱۶.۸۰	-۱۳.۴	-۵۰.۹	۱۹۸	B	۲۲
۱۷.۳	۰.۹۷۶	۲۰	۱۶.۸۰	-۱۲.۹	-۵۰.۸	۲۲۰	B	۲۳
۱۸	۰.۹۸۶	۱۶	۱۶.۷۱	-۱۲.۸	-۵۰.۴	۲۰۹	B	۲۴
۱۷.۸	۰.۹۸۱	۱۷	۱۶.۲۴	-۱۲.۳	-۵۰.۳	۲۱۰	B	۲۵
۱۷.۷	۰.۹۸۰	۱۷	۱۶.۳۴	-۱۲.۴	-۵۰.۲	۲۱۲	B	۲۶
۱۸.۹	۱	۱۲	۱۶.۷۱	-۱۲.۸	-۵۰.۱	۱۹۵	B	۲۷
۱۹	۱	۱۲	۱۶.۵۳	-۱۲.۶	-۵۰.۶	۱۹۳	B	۲۸
۱۸.۲	۰.۹۹۱	۱۵	۱۶.۸۹	-۱۳	-۵۰.۷	۲۰۶	B	۲۹
۱۸.۶	۰.۹۹۶	۱۴	۱۶.۸۰	-۱۲.۹	-۵۰.۹	۲۰۰	B	۳۰
۱۸.۶	۰.۹۹۴	۱۳	۱۶.۳۴	-۱۲.۴	-۵۰.۳	۱۹۸	B	۳۱
۱۸.۱	۰.۹۸۷	۱۶	۱۶.۵۳	-۱۲.۶	-۵۰.۲	۲۰۷	B	۳۲

به طور کلی در مقاطع :

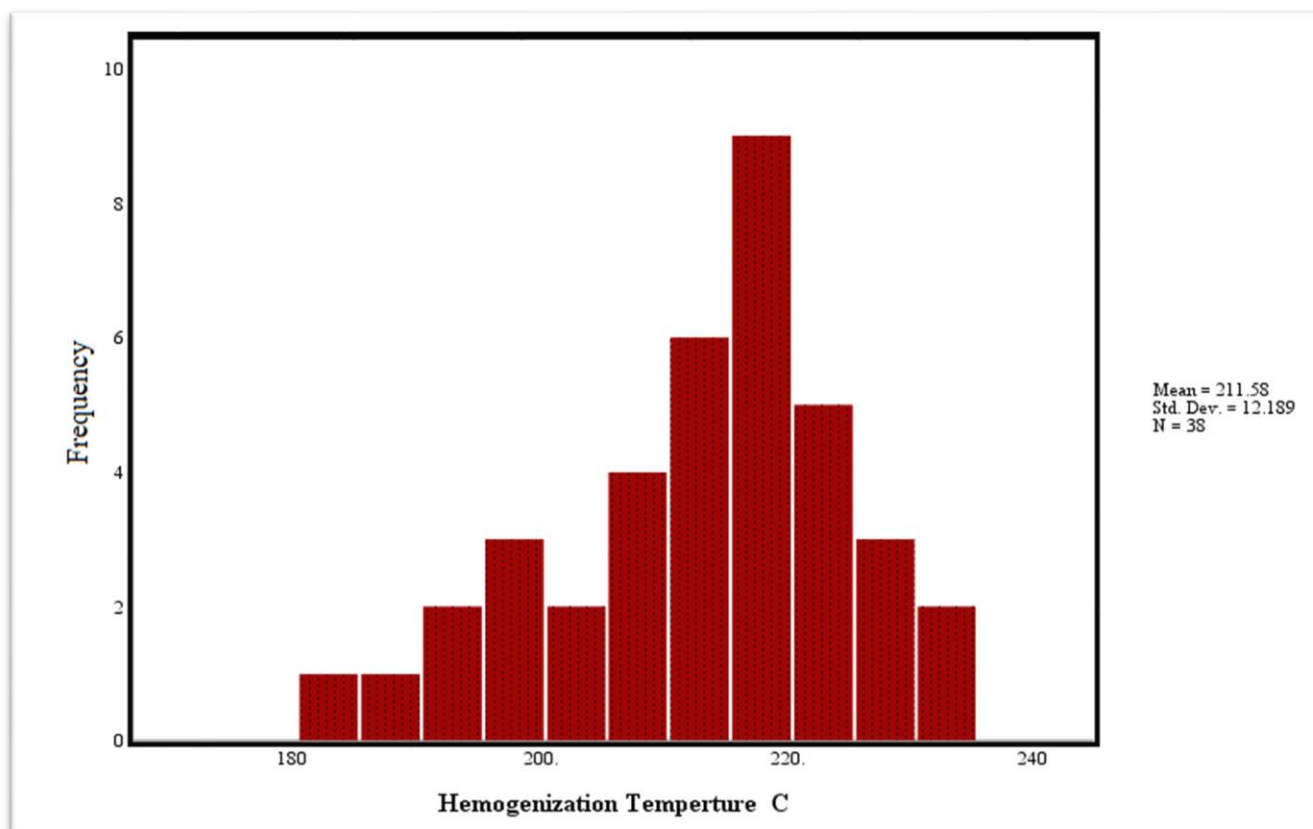
۱. سیالات درگیر اولیه در منطقه به صورت فازهای $L+V$ ، و تک فاز غنی از مایع و گاز دیده می‌شود.
 ۲. در منطقه سیالات درگیر نوع $L+V$ فراوانی بیشتری نسبت به سایر سیالات درگیر دارند.
 ۳. بزرگترین سیالات درگیر در منطقه، به صورت $L+V$ قرار گرفته‌اند و حداکثر طول آنها به $6\ \mu m$ می‌رسد.
 ۴. شکل سیالات درگیر در منطقه از کشیده و نامنظم تا دایره‌ای شکل در تغییر می‌باشند.
 ۵. سیالات ثانویه کاذب به صورت دو فاز $L+V$ نیز مشاهده می‌شود.
 ۶. به طور کلی سیالات درگیر ثانویه از سیالات درگیر اولیه در منطقه اندازه کوچکتری دارند.
 ۷. سیالات درگیر ثانویه در منطقه به صورت فازهای $L+V$ دیده می‌شود.
- به دلیل کوچک و ریز بودن سیالات درگیر در منطقه، شوری سیال درگیر به تعداد کمتر و محدودتری اندازه‌گیری شد.

۷-۴- بررسی و تفسیر داده‌های سیالات درگیر

حرارت همگن شدن یا Th در همه سیالات درگیر به روش گرمایش اندازه‌گیری شد. در مجموع ۱۴۷ سیال درگیر در دو منطقه به روش گرمایی و ۱۳۱ سیال برای به دست آوردن میزان شوری سیال به روش سرمایش اندازه‌گیری شد. که در نهایت تعداد ۳۲ نقطه فقط قابل استفاده بوده است. جدول ۷-۱، داده‌های ژئومتری سیالات درگیر در محدوده اکتشافی مس پیرمردان^{۱۰} ارائه شده است. مناسبترین روش نمایش داده‌ها نمودارهای دوتایی و هیستوگرام‌ها هستند. در شکل ۷-۶

نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر در منطقه اکتشافی مس پیرمردان ، با استفاده از نرم افزار Spss ترسیم شد.

در منطقه اکتشافی مس پیرمردان، کمینه دمای تشکیل همگن شدن سیال به طور کلی 182°C و بیشینه دمای تشکیل همگن شدن سیال 234°C می باشد. میانگین دمایی تشکیل همگن شدن سیال در منطقه 211°C می باشد.

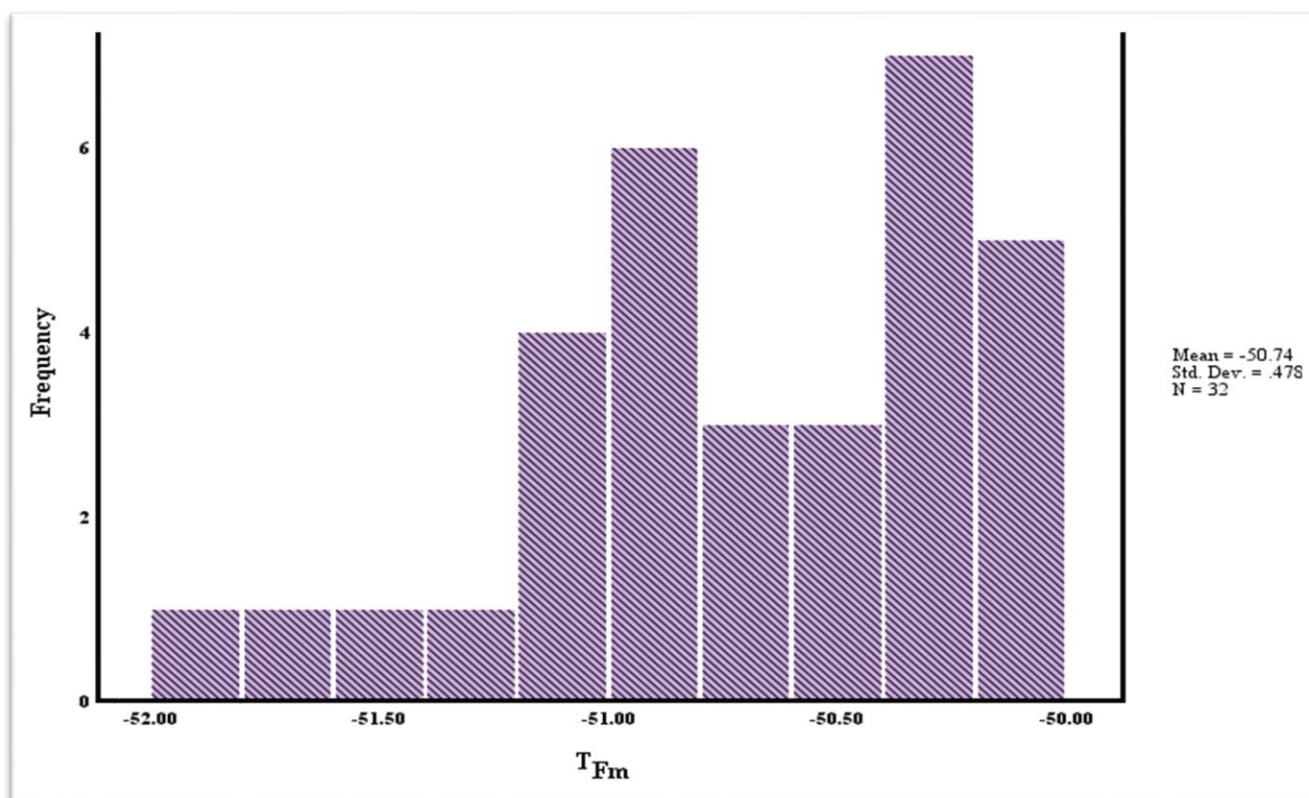


شکل ۶-۷: نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر در منطقه اکتشافی مس پیرمردان.

نتایج بدست آمده نشان می دهد محدوده اولین نقطه ذوب یخ یا اوتکتیک (Te) در نمونه های مورد مطالعه پیرمردان به طور کلی از حدود $51/9$ تا $50/1$ درجه سانتی گراد تغییر می کند که با سیستم $\text{H}_2\text{O} - \text{KCl} - \text{CaCl}_2$ مطابق است. نقطه اوتکتیک حدود 51 درجه سانتی گراد است که بیانگر حضور نمک های NaCl در این سیالات درگیر است (شکل ۷-۷). دمای اوتکتیک برای سیستم های نمک دار متفاوت توسط افراد مختلفی (مانند Borisenko (۱۹۷۷) و Crawford (۱۹۸۱)) ارائه شده است (جدول ۷-۲). بر این اساس در ترکیب این نمک ها علاوه بر NaCl ، مقداری CaCl_2 و KCl و MgCl_2 می تواند حضور داشته باشد.

جدول ۷-۲: دماهای اوتکتیک ارائه شده برای سیستمهای نمکدار متفاوت.

Salt system	$T_{\text{eutectic}} (^{\circ}\text{C})$	Reference
H ₂ O-NaCl	-20.8	Potter <i>et al.</i> (1978)
H ₂ O-KCl	-10.6	Borisenko (1977)
H ₂ O-MgCl ₂	-33.6	"
H ₂ O-CaCl ₂	-49.5	"
H ₂ O-FeCl ₂	-35.0	"
H ₂ O-FeCl ₃	-55.0	Linke (1965)
H ₂ O-NaCl-KCl	-23.5	Borisenko (1977)
H ₂ O-NaCl-CaCl ₂	-52.0	Yanatieva (1946)
H ₂ O-NaCl-FeCl ₂	-37.0	Borisenko (1977)
H ₂ O-NaCl-MgCl ₂	-35.0	"
H ₂ O-KCl-CaCl ₂	-50.5	"
H ₂ O-NaCl-KCl-CaCl ₂	-55.0	Yanatieva (1946)
H ₂ O-NaCl-CaCl ₂ -MgCl ₂	-58.0	Luzhnaya and Vereshtchina (1946)

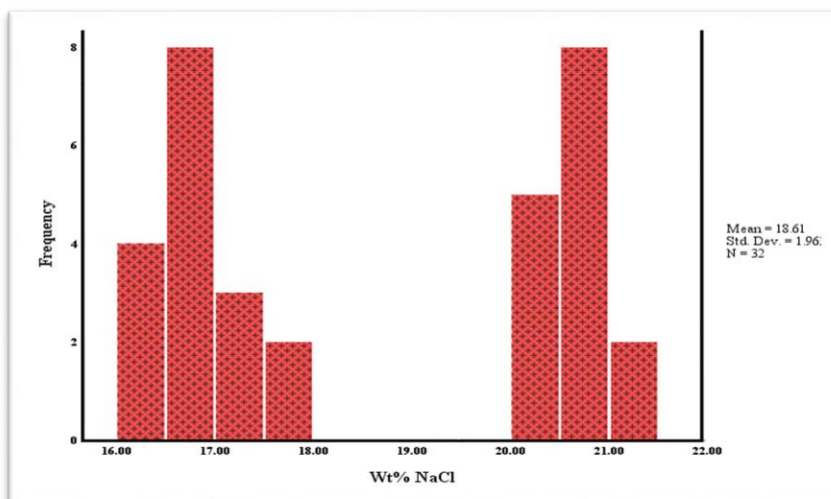


شکل ۷-۷: هیستوگرام فراوانی کلی دماهای اوتکتیک سیالات درگیر منطقه مورد مطالعه.

۷-۴-۱- محاسبه شوری، چگالی، فشار و عمق سیالات درگیر

میزان شوری (درصد وزنی معادل نمک طعام) سیالات درگیر مطالعه شده، توسط نرم افزار FLINCOR (Brown, ۱۹۸۹) محاسبه شده است (جدول ۷-۱). بر اساس این محاسبات، محدوده آخرین نقطه ذوب یخ ($T_{m \text{ ice}}$) در نمونه‌های مطالعه شده

محدوده اکتشافی مس پیرمردان (بازه ۱۲/۲- تا ۱۸/۲- درجه سانتی‌گراد) معادل شوری های در محدوده ۱۶/۵ تا ۲۱/۱۱ درصد وزنی است (شکل ۷-۸). داده‌های شوری برای سیالات درگیر اولیه دو فازي مایع - بخار (LV) برای نمونه های مطالعه شده ارائه شده است.



شکل ۷-۸: هیستوگرام فراوانی کلی شوری سیال های درگیر منطقه مورد مطالعه .

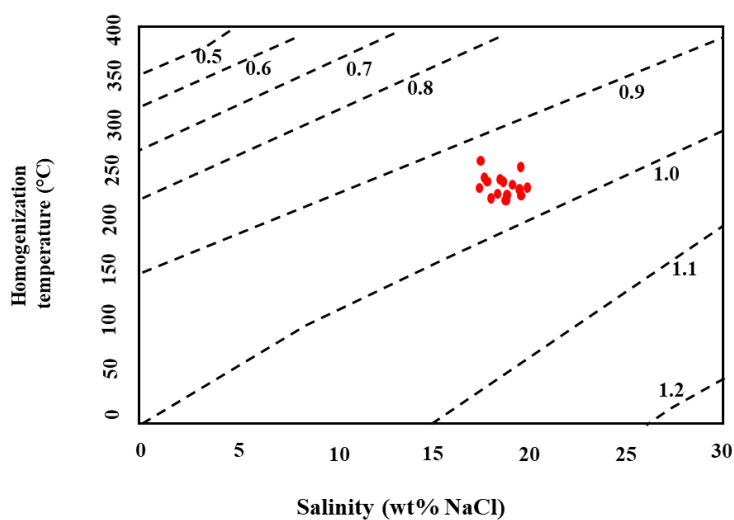
زمانی که اطلاعات به دست آمده در مورد دماهای همگن شدن میانبرهای سیال با اطلاعات داده‌های شوری ترکیب می‌شوند، می‌توانند چگالی سیال را بدون توجه به شرایط به تله افتادن آن معین کرد. تغییرات چگالی به‌ویژه با توجه به مکانیسم‌های جریان سیال و تکامل تغییرات ویژه در چگالی سیال، بخصوص در سیستم‌هایی که می‌توانند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

براساس نمودارهای ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن شدن، چگالی سیالات مؤثر در سیستم‌های کانه‌زایی را می‌توان تعیین نمود (Brown, ۱۹۸۹)، چگالی سیالات درگیر نمونه‌های بررسی شده در کانی‌های کلسیت اندازه‌گیری شده از لحاظ دما و شوری چگالی ۰/۹ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهند (شکل ۷-۹).

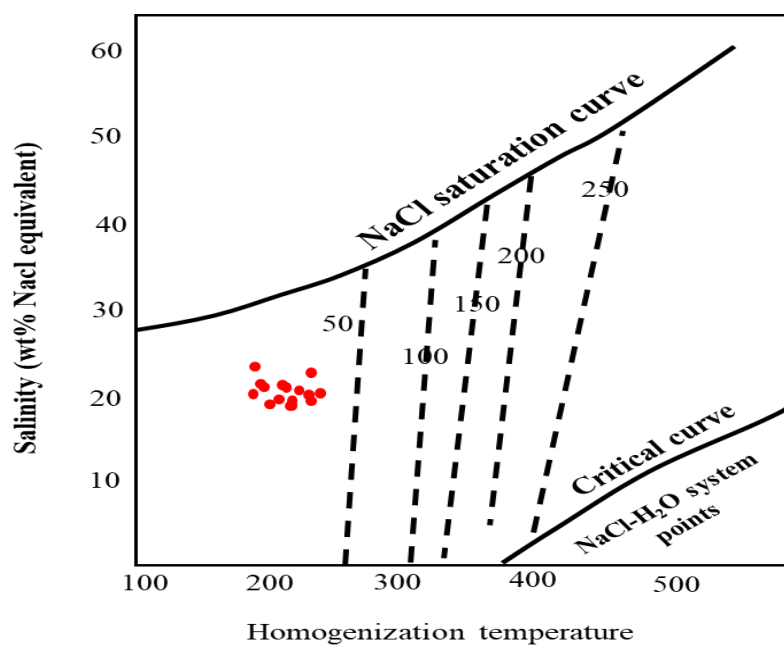
با استفاده از نمودار درجه حرارت همگن شدن سیالات درگیر و میزان شوری می‌توان فشار را محاسبه نمود و میزان فشار نیز برای سیالات درگیر منطقه معدنی پیرمردان کمتر از ۵۰ اتمسفر است (شکل ۷-۱۰).

با استفاده از نمودار درجه حرارت جوشش و منحنی‌های فشار در برابر دمای همگن شدن می‌توان عمق آب را محاسبه نمود، بنابراین با توجه به نمودار ارائه شده توسط Peter and Scott, (۱۹۹۳) که براساس درجه شوری آب دریا که ۳/۲ درصد وزنی نمک طعام و میزان دما حداکثر تا ۳۶۰ به همراه درجه شوری بین ۱۰ تا ۱۵ درصد وزنی نمک طعام

بیان شده است. عمق بدست آمده در منطقه پیرمردان براساس میزان دما حداکثر تا ۲۳۴ درجه و میزان شوری بین ۱۶/۵ تا ۲۱/۱۱ درصد وزنی نمک طعام را می توان تقریباً ۲۳۰ متر برآورد نمود (شکل ۷-۹).



شکل ۷-۹: نمودار تعیین چگالی سیالات درگیر برحسب دمای همگن شدن و شوری، براساس نمودار تعیین چگالی (Brown, ۱۹۸۹).



شکل ۷-۱۰: شکل ۷-۶: تعیین فشار بخار براساس دمای همگن شدن و میزان شوری (Ramdohr, ۱۹۸۰).

فصل هشتم: نتیجه‌گیری، تیپ و الگوی تشکیل کانسار و پیشنهادات

۸-۱- مقدمه

ارائه یک الگو زمین‌شناختی و پیشنهاد یک راه کار اکتشافی مبتنی بر مطالعه کانسارهای مشابه، یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعه هر کانسار می‌باشد که در گرو شناخت دقیق عوامل کنترل‌کننده تشکیل و نحوه تمرکز ماده معدنی است. 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 سنگ‌میزبان، ماهیت فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز، تأثیر متقابل سیالات کانه‌ساز و سنگ‌های دیواره، دگرسانی، ماگماتیسم، ساختارهای تکتونیکی و همچنین نحوه پراکندگی و توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، از جمله فاکتورهای اساسی هستند. در این فصل، ابتدا خلاصه‌ای از شواهد مهم زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال مرتبط با کانه‌زایی منطقه پیرمردان آورده شده است، سپس بر مبنای اطلاعات و شواهد موجود، ویژگی‌های کانه‌زایی منطقه پیرمردان با تیپ‌های کانه‌زایی مشابه در ایران و دنیا پرداخته شده و در پایان مدل احتمالی برای کانه‌زایی در محدوده پیرمردان ارائه می‌گردد.

۸-۲- خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی

۸-۲-۱- زمین‌شناسی

نوار آتشفشانی- رسوبی طرود- چاه‌شیرین، واقع در بخش شمالی پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی، حاصل ماگماتیسم ترسیر در این ناحیه می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب غالب آندزیت و آندزیت بازالت و توده‌های نفوذی با ترکیب غالب دیوریتی در این کمر بند، میزبان کانسارهای رگه‌ای از جمله فلزات پایه و طلا می‌باشد (فرد و همکاران، ۱۳۸۰). رشته کوه طرود- چاه‌شیرین از شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل طرود با روند $N70^{\circ} E$ محدود می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). با توجه به فعال بودن رشته کوه طرود- چاه شیرین از لحاظ تکتونیکی، گسل‌های مختلفی در این رشته کوه ایجاد شده‌است.

این گسل‌ها دو نقش اساسی در کانه‌زایی داشته‌اند: ابتدا ایجاد چرخه هیدروترمالی بوده که با هدایت آب‌های جوی به بخش‌های عمیق‌تر و بازگشت آن‌ها پس از گرم شدن، سبب دگرسانی سنگ‌های مسیر و شستشوی مس از

سنگ منشأ و انتقال به سطوح بالاتر شده‌اند. مرحله دوم ایجاد فضای مناسب برای ته‌نشینی و تجمع ماده معدنی بوده است.

از نظر سنگ‌شناسی واحدهای سازنده محدوده معدنی عمدتاً سن ائوسن دارند و براساس ترکیبات آن‌ها می‌توان به ۲ دسته تقسیم بندی کرد: ۱: مجموعه سنگ‌های آتشفشانی شامل، پورفیری بازالت، بازالت، آندزیت بازالت، ریوداسیت و آندزیت می‌باشد که گسترش قابل توجهی داشته و میزبان کانه‌زایی در منطقه نیز هستند، ۲: مجموعه آذرآواری شامل لیتیک توف می‌باشد. به منظور تفکیک این واحدها و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی و شناسایی رگه‌های معدنی نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه پیرمردان تهیه شده است

در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰، بطور کلی دو واحد سنگی رخنمون دارند که عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی، از جمله گدازه‌های زیردریایی با ترکیب بازالت و آندزیت بازالت تا آندزیت شدیداً دگرسان شده و بازالت، آندزیت بازالت و آندزیت‌های غیردگرسان تشکیل شده‌اند. در برخی نقاط سنگ‌های رسوبی تخریبی مثل شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا هم به صورت بین لایه‌ای آن‌ها را همراهی می‌کنند.

۲-۸- دگرسانی و کانه‌زایی

سنگ میزبان کانه‌زایی در منطقه پیرمردان تشکیل شده از بازالت پورفیری غیر دگرسان و گدازه‌های آندزیتی بازالتی، سنگ‌های آذرآواری مثل توف و آگلومرا به همراه سنگ‌های رسوبی از جمله شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک(با گسترش کم) که شدیداً دگرسان شده‌اند. بر اساس مطالعات صحرایی اولیه انجام شده در محدوده مختصات کانسار مس در واحدهای ولکانیکی آندزیتی-بازالتی مربوط به ائوسن تشکیل شده است. کانی مس دار موجود در این منطقه از نوع کربناته عمدتاً مالاکیتی است که درون شکستگی‌ها و گسله‌ها تشکیل شده است. تجمع مس به صورت کانی‌های مالاکیت و آزوریت درون شکستگی‌ها و صفحات گسلی برخی مناطق به صورت کاملاً یکپارچه و با پوششی سبز رنگ دیده می‌شود. عمدتاً کانی‌سازی در منطقه پیرمردان بیشتر از نوع رگه-رگچه‌ای که مختص پهنه‌های گسلی، درزه و شکستگی‌ها می‌باشد و کانه‌زایی برشی و پرکننده فضای خالی که در سنگ‌های بازالتی و آندزیت بازالت گسترش دارند، کانه‌زایی برشی در منطقه پیرمردان عمدتاً دارای گسترش فراوانی است.

دگرسانی‌های موجود در منطقه معدنی پیرمردان شامل: دگرسانی‌های کربناته حضورر نسبتاً فراوان کانی‌های کربناته در منطقه حاصل دگرسانی پیروکسن‌ها و پلاژیوکلازها و نشان دهنده غنی بودن محلول از بی‌کربنات است. همراهی این زون‌ها با شکستگیها، درزه‌ها و گسل نشان از نزدیک بودن این فرآیند با زون‌های گسلی است که در منطقه پیرمردان به فراوانی قابل مشاهده است. سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمابی است که در اثر افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال و کلسدونی) در سنگ همراه می‌باشد. سیلیس آزاد شده از تجزیه کانی‌های سیلیکاته از عوامل اصلی سازنده این دگرسانی است ولی محلول‌های گرمابی غنی از سیلیس نیز در تشکیل این دگرسانی می‌تواند نقش داشته باشد. دگرسانی سریسیتی مجموعه‌ی کانی‌های اصلی مربوط به این دگرسانی سریسیت، کوارتز و پیریت می‌باشد که کانی‌های دیکیت، پیروفیلیت، کائولینیت و آندالوزیت نیز گاهی آن‌ها را همراهی می‌کنند (کریم پور، ۱۳۸۱). براساس مطالعات میکروسکوپی سریسیت در مقاطعی دیده می‌شود که پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها مهمترین کانی‌هایی هستند که تحت‌تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. دگرسانی آرژیلیکی، این نوع دگرسانی در پلاژیوکلازها دیده شده که در حال تبدیل شدن به کانی‌های رسی هستند. کانی‌های سریسیت و کوارتز به صورت هم‌یافت با کانی‌های رسی در نمونه‌ها دیده شده‌اند. دگرسانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن این زون حاصل تأثیر عوامل سطحی بر روی سنگ‌های منطقه است، که فرآیند اکسیداسیون در آن بیشترین نقش را دارا است. اکسیداسیون، فرآیند تشکیل هر نوع از کانی‌های اکسیدی است. معمول‌ترین این کانی‌های اکسیدی، هماتیت و لیمونیت هستند.

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 موادمعدنی را سبب می‌گردد (Guilbert and Park, ۱۹۹۷). اصولاً تأثیر این عوامل در نهشت کانه‌زایی به صورت دسته‌جمعی می‌باشد.

۳-۲-۸- کانی‌شناسی و ساخت و بافت

مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع میکروسکوپی نازک و صیقلی نمونه‌های کانسار پیرمردان و همچنین نتایج آنالیز تعدادی نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) منجر به شناسایی پنج گروه کانی‌های سولفیدی شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت، کانی‌های کربناتی شامل مالاکیت و آزوریت، کانی‌های سیلیکاته شامل

کریزوکلا، کانی‌های اکسیدی شامل پیرولوزیت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت و باطله‌ها گردید. کالکوپیریت در قسمت سطحی خیلی کم یافت می‌شود و بیشتر به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت)، مالاکیت و یا به دیگر کانی‌های مس‌دار تبدیل شده است. پیریت در منطقه مورد مطالعه در بخش‌های هیپوژن بصورت سالم و در قسمت‌های سوپرژن بیشتر هوازده شده و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است. کالکوسیت یکی از مهمترین کانه‌های مس می‌باشد که ممکن است به صورت یک کانه‌ی اولیه در رگه‌ها به همراه بورنیت، کالکوپیریت و پیریت رخ دهد.

در محدوده اکتشافی پیرمردان ماده معدنی دارای ساخت و بافت‌های متفاوتی است که هر یک از آنها نشان دهنده‌ی شرایط و رخداد حاکم در حین کانی‌زائی و پس آن می‌باشد. ساخت رگه- رگچه‌ای از جمله اصلی‌ترین ساخت مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این نوع ساخت علاوه بر قسمت‌های سطحی کنسار در بخش‌های عمقی نیز مشاهده می‌شود. ساخت و بافت برشی در کنسار مس پیرمردان به وفور یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضاهای خالی بین ذرات سنگ‌های میزبان ناشی از انحلال را پر کرده است. دیگر بافت‌های موجود در منطقه مس پیرمردان بافت دانه‌پراکنده و جانشینی می‌باشد.

۸-۲-۴- ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده کنسار

مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد سنگ‌های آتشفشانی محدوده پیرمردان در محدوده‌ی تراکی‌آندزیت، آندزیت بازالت و آندزیت قرار می‌گیرند. همچنین ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه در قلمرو ماگماهای کالک‌آلکال و همچنین از نظر درجه اشباع از آلومینیم، در محدوده متاآلومین و پرآلومین قرار می‌گیرند. از نظر موقعیت زمین‌ساختی اغلب در محیط‌های مربوط به محدوده محیط‌های مرتبط با فروورانش می‌باشند. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکال مرتبط با کمان‌های آتشفشانی می‌باشد.

بر پایه‌ی تجزیه‌های شیمیایی ۸ نمونه سنگ از شرکت بازرگانی معدنی زرمش مقادیر همبستگی، کمینه، متوسط و بیشینه عناصر مختلف از جمله نقره، باریت، مس، آهن، منیزیم، سرب و روی محاسبه شده است. نقره (Ag)، با عناصر مس (Cu)، سرب (Pb) و آنتیموان (Sb) همبستگی مثبت بالایی نشان می‌دهد. کروم (Cr)، با عناصر مس (Cu) و

آهن (Fe) همبستگی متوسطی نشان می‌دهد. مس (Cu) دارای همبستگی مثبت بالایی با آهن (Fe) و آنتیموان (Sb) می‌باشد.

۸-۲-۵- میانبارهای سیال

برای مطالعه میانبارهای سیال در کانسار مس پیرمردان تعداد ۲ نمونه انتخاب گردید. فراوانی میانبارهای سیال در مقاطع مورد مطالعه نسبتاً خوب بوده است. سیالات درگیر اولیه در منطقه به صورت فازهای L+V، و تک فاز غنی از مایع و گاز دیده می‌شود. بزرگترین سیالات درگیر در منطقه، به صورت L+V قرار گرفته‌اند و حداکثر طول آنها به $6\text{ }\mu\text{m}$ و می‌رسد. کمینه دمای تشکیل همگن شدن سیال به طور کلی 182°C و بیشینه دمای تشکیل همگن شدن سیال 234°C می‌باشد. میانگین دمایی تشکیل همگن شدن سیال در منطقه 211°C می‌باشد. بر اساس این محاسبات، محدوده آخرین نقطه ذوب یخ (Tm ice) در نمونه‌های مطالعه شده محدوده اکتشافی مس پیرمردان (بازه 12.2 تا 18.2 - درجه سانتی‌گراد) معادل شوری‌های در محدوده $16/5$ تا $21/11$ درصد وزنی است. چگالی سیالات درگیر نمونه‌های بررسی شده در کانی‌های کوارتز اندازه‌گیری شده از لحاظ دما و شوری چگالی $0/9$ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهند. میزان فشار نیز برای سیالات درگیر منطقه معدنی پیرمردان کمتر از 50 اتمسفر است.

۸-۳- مقایسه کانسار مس پیرمردان با انواع کانسارهای مس

۸-۳-۱- مقایسه کانسار مس پیرمردان با تیپ گرمابی رگه‌ای (اپی ترمال)

ویژگی‌های شاخص کانسارهای اپی ترمال با سولفیداسیون بالا شامل؛ شوری نسبتاً زیاد، منشأ ماگمایی، دگرسانی گسترده (آرژیلیتی) و حضور فلزات طلا و مس و به مقدار کمتر نقره همچنین از ویژگی‌های کانسارهای اپی ترمال سولفیداسیون پایین می‌توان به شوری کم، منشأ سیالات جوی، گسترش دگرسانی محدود (پروپیلیتی تا آرژیلیتی) و حضور فلزات Zn، Au، Cu، Ag، Pb و به مقدار کمتر As، Sb، Hg و Se اشاره کرد (Zhong et al, ۲۰۱۷). به منظور تعیین تیپ احتمالی، مقایسه‌ای بین کانسار مس پیرمردان و تیپ گرمابی رگه‌ای صورت گرفته است (جدول ۸-۱) (Bartwaite et al, ۲۰۰۱). با در نظر گرفتن تمام مشخصات صحرایی و آزمایشگاهی از قبیل کانی شناسی، بافت، دگرسانی، عمق و دمای تشکیل و همچنین سنگ میزبان می‌توان نتیجه گرفت کانسار مس پیرمردان از نوع مانتو می‌باشد

جدول ۸-۱: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار گرمابی رگه‌ای.

مشخصات	کانسار گرمابی رگه ای	کانسار مس پیرمردان
محیط تکتونیکی	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش
سنگ میزبان	آندزیت، ریولیت، توف و داسیت	پورفیری بازالت، بازالت، آندزیت بازالت، ریوداسیت
سن تشکیل	عمدتاً سنوزوئیک	ائوسن
عمق و دمای تشکیل	عمق کمتر از ۴۰۰ متر	۱۰۰ تا ۲۰۰ متر
دگرسانی های رایج	سرسیتی، آدولاریا، آرژیلیکی متوسط	کربناته، سیلیسی، سرسیتی و آرژیلیکی
یافت	شکافه پرکن و رگه ای	رگه- رگچه ای و برشی پرکننده فضای خالی
کانی شناسی	اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت، پیرولولویت، مگنتیت، هماتیت

۲-۳-۸- مقایسه با کانسارهای مس تیپ میشیگان

گیلبرت و پارک (۱۹۸۶) از دو نوع کانسارهای مس آندزیتی- بازالتی و کانسارهای مس آندزیتی نام برده‌اند. کانسارهای نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان نیز معروف‌اند و در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) یافت می‌شوند، در گروه کانسارهای مس آندزیتی- بازالتی مس قرار می‌گیرند. در این کانسارها مس طبیعی کانه اصلی است. کانسارهای مورد بحث تقریباً فاقد گوگرد هستند، از این رو مس آزاد، کانه غالب است و همراه آن فقط مقدار اندکی کالکوسیت و دیژنیت وجود دارد. مس آزاد معمولاً با نقره آزاد همراه است. کانسارهای آندزیتی، رگه- رگچه‌ها و حباب گونه‌های حاصل از آکندگی حفره‌ها و افشاندگی‌هایی از مس و نقره آزاد، کالکوسیت، بورنیت و اندکی کالکوپیریت در سنگ های آتشفشانی کلسیمی- قلیایی مزوزوئیک میانه تا پلیوسن در کردیلرای آمریکا هستند. انباشته‌های اقتصادی این نوع کانسنگ تاکنون در شیلی و بولیوی تا ده‌ها متر ضخامت دارد. بیشترین فرض در مورد زایش کانه‌سازی نوع میشیگان، نظریه دیرزاد بودن این گونه ذخایر است. طبق این نظریه در اثر دگرگونی درجه پایین (در حد رخساره پره‌نیت- پومپله‌ایت)، عنصر مس موجود در درون شبکه سیلیکات‌ها، آزاد و سپس توسط محلول‌های گرمابی به بخش‌های بالایی حمل شده است. در همین زمان در محیط بدون گوگرد، مس به صورت طبیعی نهشته شده است. براساس مطالعات صورت گرفته بر روی محدوده مطالعاتی و مشاهده نشدن مس

طبیعی و بیشتر کانی‌های سولفیدی و کربناته و نیز ویژگی‌های بافتی، سنگ میزبان، کانی‌سازی در کانسار مس پیرمردان شباهتی به کانسارهای نوع تیپ میشیگان ندارد (جدول ۸-۲).

جدول ۸-۲: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار نوع میشیگان.

مشخصات	کانسار تیپ میشیگان	کانسار مس پیرمردان
محیط تکتونیکی		کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش
سنگ میزبان	بازالت آمیگدالوئیدال با میان لایه های کنگلومرایی	پورفیری بازالت، بازالت، آندزیت بازالت
سن تشکیل	پالئوزوئیک	ائوسن
سری ماگمایی	سری تولئیتی	کالک آلکالن
دگرسانی های رایج		کربناته، سیلیسی، سریسیتی و آرژیلیتی
بافت	افشان و پرکننده فضای خالی	رگه- رگچه ای و برشی پرکننده فضای خالی
کانی شناسی	مس طبیعی، کوپریت، ملاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، کالکوسیت و دیژنیت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، پیرولولزیت، هماتیت

۸-۳-۳ مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو

این نوع کانه‌زایی در کشور کانادا با نام ولکانیک رد بد (Volcanic redbed) و در آمریکای شمالی با عنوان نوع کویناوی (Keweenaw) شناخته می‌شود (Kirkham, ۱۹۹۶; Kojima, et al, ۲۰۰۷). کانسارهای مس نوع مانتو کانه‌زایی به طور کمی توسط شکستگی‌های نفوذپذیر کنترل می‌شود و زمین‌شناسی این نوع کانسارها در نواحی مختلف متفاوت است (Zentilli, ۱۹۹۷). کانسارهای مس مانتو از گونه کانسارهای چینه کران در میزبان گدازه‌های آتشفشانی می‌باشند (Laznicka, ۲۰۰۶). این کانسارها دارای سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی هستند و به‌طور عمده در آندزیت های آمیگدال تشکیل می‌شوند.

کانی‌شناسی آنها شامل بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت همراه با پیریت است. محیط تکتونیکی تشکیل آنها از محیط کمان آتشفشانی تا محیط های کششی متغیر است. عنصر همراه با مس در این کانسارها نقره است. ژئومتری چینه کران این کانسارها شاخص مهمی برای آنها محسوب می‌شود. ساخت و بافت کانسارهای مس مانتو شامل پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده، رگه- رگچه ای و جانشینی است. کانی‌های باطله همراه رگه‌ها کربناتی و به میزان کمتری کلریتی، سیلیسی و فلدسپات آلکالن است و دگرسانی غالب در این کانسارها کربناتی، آلبیتی، سریسیتی، کلریتی و سیلیسی

است (Kojima, et al; ۲۰۰۹; Kirkham, ۱۹۹۶; Wilson, et al, ۱۹۹۹; L. Fontbote, et al ۲۰۱۳; Carrillo-) است (Rosúa, Javier, et al ۲۰۱۴). همراهی تعداد زیادی کانسار در مجاورت یکدیگر از ویژگی‌های بارز کانسارهای مانتو است (Kirkham, ۱۹۹۶; Kojima, ۲۰۰۹).

میزان عیار مس در کانسارهای مانتو ۰/۸۵ تا ۳/۵ درصد متغیر است (Maksaev & Zentilli, ۲۰۰۲). ذخایر مانتو دارای عیار ۱/۵ تا ۲ درصد محتوای نقره پایین (۲۰-۵ ppm) و در بیشتر موارد بدون طلا هستند (Boric et al, ۲۰۰۲).

کانسار مس پیرمردان در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن واقع در جنوب شاهرود در موقعیت زمین ساختی کمان آتشفشانی کالک‌آلکالن مرتبط با زون فروورانش تشکیل شده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته بر روی سنگ-های آتشفشانی منطقه پیرمردان نشان دهنده تشکیل آنها در حوضه‌ای آتشفشانی است. سنگ میزبان کانه‌زایی به‌طور عمده پورفیری بازالت، بازالت و آندزیت تا آندزیت است که در این منطقه به عنوان سنگ میزبان کانه‌زایی مطرح بوده و نشانگر رخداد کانه‌زایی با هندسه چینه‌کران می‌باشد. ساخت و بافت این کانسارها شامل رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده و جانشینی است.

کانه‌های سازنده کانسار پیرمردان کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت، باطله‌ها شامل کلسیت، زئولیت، کوارتز و کانی رسی می‌باشد.

جدول ۸-۳: مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسار نوع مانتو.

مشخصات	کانسار تیپ مانتو	کانسار مس پیرمردان
محیط تکتونیکی	کمان آتشفشانی اقیانوسی و قاره ای و پشت قوس	کمان ماگمایی مرتبط با فروورانش
سنگ میزبان	گدازه های آتشفشانی دارای اشکال بادامکی و سایر سنگ های آتشفشانی- رسوبی	پورفیری بازالت، بازالت، آندزیت بازالت
سن تشکیل	تریاس، مزوزوئیک، ترشیری	ائوسن
سری ماگمایی	سری تولییتی	کالک آلکالن
دگرسانی های رایج	کربناته، آلبیتی، سریسیتی، کلریتی، هماتیتی	کربناته، سیلیسی، سریسیتی و آرژیلیتی
بافت	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه ای، جانشینی	رگه-رگچه ای و برشی پرکننده فضای خالی
کانی شناسی	بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت، کوولیت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، پیرولوزیت، هماتیت

۴-۸- الگوی تشکیل کانسار مس پیرمردان

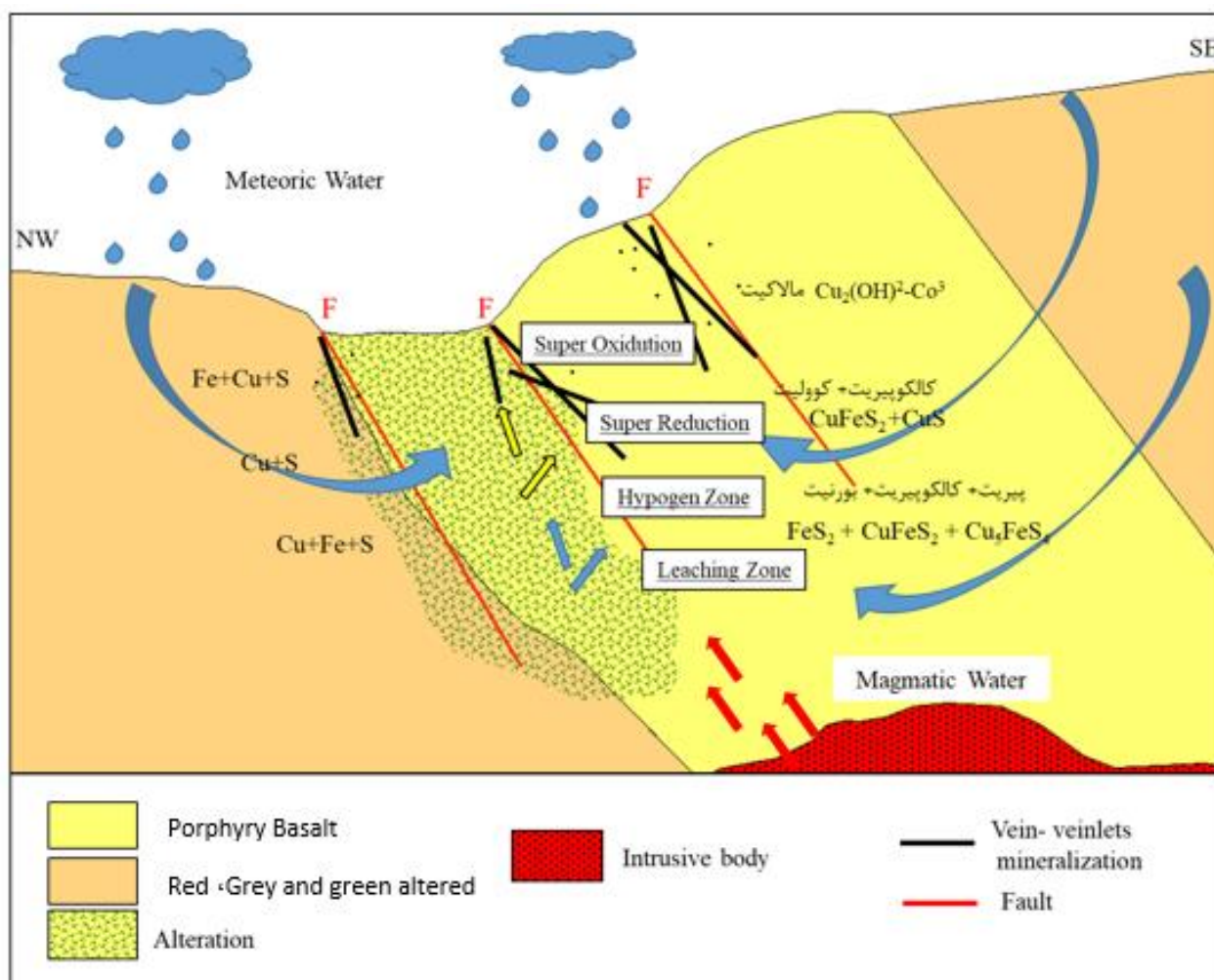
نحوه تشکیل و ژنز در کانسارهای تیپ مانتو در دنیا مورد بحث است، منشأ این سیالات را نیز به طور عمده از رخدادهای فرایندهای دیاژنز تدفینی تا دگرگونی می‌دانند (Kojima et al., ۲۰۰۹). برخی محققان چرخش سیالات در واحدهای سنگی را عامل اصلی رخداد کانه‌زایی در کانسارهای تیپ مانتو در نظر گرفته‌اند (Tosdal and Munizaga, ۲۰۰۳). براساس مطالعات (Kirkham, ۱۹۹۶)، برای تشکیل ذخایر مانتو دو مدل ژنتیکی ارائه شده است: ۱- دارای منشأ دگرگونی: در این مدل، مس در درجات بالای دگرگونی و در طی واکنشهای آب‌دایی آزاد شده و در سنگ‌های میزبان نهشته شده است. ۲- مدل اپی‌ژنتیک دیاژنتیک: در این مدل، کانه‌زایی مس در ارتباط با دیاژنز آغازین تا تدفینی می‌باشد.

توالی میزبان کانسارهای تیپ مانتو از نوع گدازه‌ای و آذرآواری است و اغلب واحدهای دربرگیرنده ماده معدنی از نوع آندزیتی و آندزیت بازالت است (Wilson et al., ۲۰۰۳). در کانسار پیرمردان نیز میزبان کانسار از نوع بازالت و آندزیت بازالت به همراه واحدهای آذرآواری می‌باشد. کانی‌شناسی کانسارهای تیپ مانتو ساده و منحصر به فرد است. به طوریکه اغلب از کالکوسیت، بورنیت و پیریت تشکیل شده است (Maksav et al., ۲۰۰۲). در کانسار پیرمردان نیز کانی‌شناسی شامل، کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، پیرولولوزیت، مگنتیت، هماتیت و گوتیت است. دگرسانی‌های موجود در کانسارهای تیپ مانتو گسترش کمی دارد، این دگرسانی‌ها شامل کربنات، کلریت، سیلیسی شدن و سریسیتیک است (Wilson et al., ۲۰۰۳). در کانسار پیرمردان نیز دگرسانی کربناته، سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیکی و اکسید هیدروکسید آهن است.

از ویژگی شاخص کانسارهای تیپ مانتو چینه‌کران بودن آن‌ها می‌باشد، بطوریکه کانه‌زایی در یک واحد چینه‌ای با سن خاص محدود می‌شود و ماده معدنی در این واحد چینه‌ای به صورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، لامینه‌ای و جانشینی دیده می‌شود (Kojima et al., ۲۰۰۹). کانسار پیرمردان کانه‌زایی در واحد بازالت به سن ائوسن تشکیل شده است و به صورت چینه‌کران است. بافت این کانسار به شکل پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشینی است.

محیط تکتونیکی کانسارهای تیپ مانتو را مرتبط با محیطهای کمان آتشفشانی تا کششی می‌دانند (Kirkham, ۱۹۹۶). با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته کانسار پیرمردان در کمان آتشفشانی کالک آلکالن مرتبط با زون فروران‌ش قرار گرفته است. همراهی تعداد زیاد کانسار در مجاورت یکدیگر از ویژگی‌های بارز کانسارهای تیپ مانتو است (Kojima et al., ۲۰۰۹, Kirkham, ۱۹۹۶). در اطراف کانسار پیرمردان نیز کانسارهای متعدد از نوع مانتو می‌باشد.

طبق مطالعات انجام شده در بخش شرقی کانساران مس پیرمردان احتمال می‌رود نوع این کانسار مس مانتو می‌باشد. همچنین بنا بر مطالعات انجام شده در بخش غربی کانسار پیرمردان از قبیل دگرسانی‌های کلریتی و کربناتی - سرسیتی شدن و ارتباط نزدیک کانی زائی مس و رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی و کانی سازی‌های صورت گرفته مرتبط به شکستگی‌ها و گسل‌های محلی (تشکیل رگه و رگچه‌های سولفیدی- کربناتی) دمای و شوری کم تا متوسط ماده معدنی (۱۱۷ تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد) ، شوری‌های ۱/۳ تا ۱۴ درصد وزنی معادل نمک طعام ، حضور برش‌های هیدروترمال، هم زمانی میان بارهای غنی از بخار و غنی از مایع و فراوانی میان بارهایی با شوری بالا، جوشش سیالات با PH نزدیک به خنثی (سوسن ابراهیمی ، ۱۳۹۸) ، نتیجه شده است که کانی سازی مس پیرمردان غربی در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده است و در گروه کانیب سازی‌های مس چینه کران (نوع مانتو) قرار می‌گیرد. الگوی تشکیل کانسار مورد نظر به صورت شماتیک در شکل (۱-۸) نشان داده شده است.



شکل ۸-۱: الگوی احتمالی و شماتیک کانه‌زایی در کانسار مس پیرمردان.

۸-۵- مقایسه کانسار مس پیرمردان با کانسارهای منطقه، ایران و جهان

در این بخش به طور مختصر برخی از ویژگی‌های اساسی کانسار مس پیرمردان را با کانسارهای مس دره تخت، مس عباس آباد، مس ابری و کشکوئیه در ایران (جدول ۴-۶)، و در انتها با کانسارهای مس در شیلی، کانادا، و ایالات متحده آمریکا در جهان (جدول ۵-۶) مقایسه و ارائه شده است.

جدول ۴-۶: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس پیرمردان شرقی، مس پیرمردان غربی، ابری، عباس آباد و کشکوئیه.

کانسارها ویژگی‌ها	کانسار مس پیرمردان شرقی	کانسار مس پیرمردان غربی	مس ابری	مس عباس آباد	مس کشکوئیه
موقعیت جغرافیایی	جنوب شاهرود	جنوب غرب شاهرود	شمال غرب بردسکن	شاهرود	غرب رفسنجان
موقعیت تکتونیکی	کمان ماگمائی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمائی تروید- چاه شیرین	کمان ماگمائی حاشیه قاره	-	محیط کششی پشت کمانی
سنگ میزبان	بازالت پورفیری، آندزیت بازالت، ریوداسیت	آندزیت، تراکی آندزیت، برش آشفشانی و توف	گدازه و واحد آذرآواری با ترکیب آندزیت، آندزیت - بازالت	آندزیت مگاپورفیری و توف برشی	آندزیت
سن	ائوسن	ائوسن	ائوسن میانی	ائوسن	کرتاسه تحتانی
کانی شناسی	کالکوپیری، پیری، بوریت، کالکوسیت و کوپلیت، پیروزی، مگنتیت، همتیت	کالکوپیری، پیری، کوپلیت، کالکوسیت، مالاکیت	کالکوسیت، کوپلیت، بوریت، مالاکیت، آزوریت	کالکوسیت، دیژنیت، بوریت، کوپلیت و مس طبیعی	بوریت، کالکوزیت، کالکوپیری، پیری، دیژنیت، همتیت
باطله	کلسیت، دولومیت، کوارتز، کانی های رسی	کلسیت، کوارتز	کربنات، کلریت، همتیت، زئولیت و کوارتز	کربنات، کلریت، زئولیت، کوارتز	کربنات، سیلیس، آلکالی همتیت کلریت، فلدسپار
دگرسانی	کربناتی، سیلیسی، سرسیتی و آرژیلیتی	پروپیلیتی، سرسیتی - کربناتی	کلریتی، کربناته، سیلیسی، اکسید آهن و سرسیتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی	کربناتی، همتیتی، سرسیتی
ساخت و بافت	رگه-رگچه ای و برشی پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه ای، پراکنده، داربستی، پرکننده فضای خالی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه ای و جانشینی
شکل هندسی	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران
منبع	تحقیق حاضر	(ابراهیمی، ۱۳۹۸)	(سلطانی، ۱۳۹۵)	(مغفوری، ۱۳۹۳)	(ابولی، ۱۳۹۴)

جدول ۶-۵: مقایسه کانسار مس پیرمردان با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در شیلی.

کانسارها	کانسار مس پیرمردان	کانسارهای تیپ مانتو شیلی		
		کانسار (بوئنااسپرانز)	کانسار السوادادو	کانسار مس - نقره بلانکو مانتو
موقعیت جغرافیایی	جنوب شاهرود	شیلی	مرکز شیلی	شمال شیلی (محدوده ساحلی)
موقعیت تکتونیکی	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	محیط کشتی مرتبط با فرورانش آند و حوضه های پشت کمائی	...	...
سنگ میزبان	پورفیری بازالت، آندزیت بازالت، ریوداسیت	گدازه آندزیتی، بازالتی	بازالت، ریوداسیت	آندزیت، داسیت و ریولیت
سن	اؤسن	کرتاسه	کرتاسه	ژوراسیک
کانی شناسی	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت، پیرولولزیت، مگنتیت، هماتیت	بورنیت، کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت و هماتیت	پیریت، بورنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و هماتیت	بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، کالکوسیت، دیژنیت
باطله	کلسیت، دولومیت، کواتز، کانیه های رسی	کربنات، کلریت، سیلیس، هماتیت، آکالی فلدسپار	کلسیت، آلبیت، فلدسپار پتاسیم (آدولاریا و میکروکلین) و کلریت	...
دگرسانی	کربناته، سیلیسی، سربستی و آرژیلیکی	کربناته، کلریتی، سیلیسی، آلبیتی سربستی، هماتیتی	کربناته، کلریتی، سیلیسی، آلبیتی، هماتیتی	آلبیتی، اپیدوتی، کلریتی، سربستی-آلبیتی، کوارتز
ساخت و بافت	رگه- رگچه ای و برشی پرکننده فضای خالی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه	برشی، پراکنده و استوک ورک
شکل هندسی	چینه کران	چینه کران	چینه کران مزوترمال	چینه کران
منبع	(تحقیق حاضر)	(کرخام، ۱۹۹۹)	(بوریک و همکاران، ۲۰۰۲)	(رمیز و همکاران، ۲۰۰۶)

۸-۶ نتیجه گیری کلی

با توجه به مطالعات انجام شده و بررسی ویژگی های مختلف در کانسار پیرمردان از جمله:

- دارا بودن سنگ های میزبان و همراه آتشفشانی- رسوبی شامل پورفیری بازالت، آندزیت و آندزیت- بازالتی، آگلومراها و توف های با سن اؤسن هستند.
- ساخت و بافت های غالب در منطقه به صورت رگه- رگچه ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده و جانشینی دیده می شود. و شکل هندسی کلی به صورت چینه کران می باشد.

- کانی‌شناسی منطقه مس پیرمردان به پنج گروه کانی‌های سولفیدی شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت، کانی‌های کربناتی شامل مالاکیت و آزوریت، کانی‌های سیلیکاته شامل کریزوکلا، کانی‌های اکسیدی شامل پیرولولوزیت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت و باطله‌ها، کلسیت، دولومیت و کوارتز گردید.
- براساس مطالعات ژئوشیمیایی همچنین ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه در قلمرو ماگماهای کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند. از نظر موقعیت زمین‌ساختی اغلب در محیط‌های مربوط به محدوده محیط‌های مرتبط با فروران‌ش می‌باشند.
- مطالعات سیال درگیر نشان دهنده کمینه دمای تشکیل همگن شدن سیال به طور کلی 182°C و بیشینه دمای تشکیل همگن شدن سیال 234°C می‌باشد. میانگین دمایی تشکیل همگن شدن سیال در منطقه $^{\circ}\text{C}$ ۲۱۱، شوری‌های در محدوده ۱۶/۵ تا ۲۱/۱۱ درصد وزنی است. چگالی سیالات در محدوده ۰/۹ قرار دارد، فشار کمتر از ۵۰ اتمسفر و عمق تشکیل حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد.
- در نهایت براساس شباهت‌هایی کانسار مس پیرمردان از لحاظ جنس سنگ میزبان، ساخت و بافت، کانه‌زایی، نوع کانه‌ها، دگرسانی‌ها، موقعیت تکتونیکی (کالک‌آلکالن مرتبط با زون فروران‌ش در جنوب شاهرود، نوار طرود-چاه-شیرین) و سن (اوسن)، شباهت زیادی به ذخایر تیپ مانتو در ایران را نشان می‌دهد. با این تفاوت که در این محدوده کانی‌سازی نقره و ناهنجاری‌های نقره وجود ندارد.

۷-۸- پیشنهادات

- ۱- استفاده از تکنیک دورسنجی و ژئوفیزیک هوابردی برای پی‌جویی مس در مقیاس ناحیه‌ای، با توجه به کانه‌زایی و ارتباط آن با سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری همچنین ارتباط کانه‌زایی با گسل‌ها و شکستگی-ها پیشنهاد می‌شود.
- ۲- مطالعه دقیق تمامی گمانه‌های حفاری شده در محدود مورد مطالعه و تعیین دقیق عمق بخش‌های کانه-سازی.
- ۳- آنالیز پروپ و SEM برای ترکیبات کانی مس‌دار.
- ۴- تعیین دقیق منشا سیالات کانه‌ساز از طریق مطالعات ایزوتوپی پایدار اکسیژن، گوگرد و هیدروژن.

منابع

ابراهیمی س، (۱۳۹۸) "ویژگی های کانی سازی و سیالات درگیر ذخیره مس چینه کران (نوع مانتو) پیرمردان، جنوب غرب شاهرود.

آقابات س ع، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ صفحه.
اشتوکلین و همکاران، ۱۹۸۶، بررسی مقدمات زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

خرم تاش، (۱۳۹۷)، کانی شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود. کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

جعفریان، ع، ولی زاده، م، (۱۳۶۸). بررسی پترولوژی قوس ولکانوپلوتونیک رشته کوه زر- ترود و مجموعه های کانه زایی وابسته، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

سالنامه آماری هواشناسی، دانشگاه تهران. کتابخانه دانشکده جغرافیا، تهران هواشناسی کل کشور، اداره آمار و اقلیم شناسی، ۱۳۸۱

شهاب پور ج، (۱۳۹۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ویرایش اول، ص ۵۴۷.
صالحی نسب، س، (۱۳۹۴)، پایان نامه ارشد، کانی شناسی، زمین شیمی و الگوی تشکیل پیدایش کانسار مس سلسیت بندقیچی منطقه ترود، جنوب شاهرود. دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

علوی. م، هوشمندزاده. ا، ۱۳۵۵، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه ترود، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کریم پور، م. ح.، سعادت، س.، ۱۳۸۱، زمین شناسی اقتصادی کاربردی، نشر مشهد، ۵۳۵ صفحه.
گزارش پایان عملیات اکتشاف محدوده ی اکتشافی مس پیرمردان شرقی و غربی ، ترود (۱۳۹۷) سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سمنان.

گیلبرت و پارک، (۱۳۷۸)، زمین شناسی کانسارها، ترجمه سعید علیرضایی، نشر دانش امروز موسسه انتشارات امیرکبیر تهران.

مهابادی، ر، ۱۳۹۷، پایان نامه کارشناسی ارشد کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس آبگاره، جنوب دامغان.

نجف زاده ع ل، خلیلی مبرهن ش، احمدیان ج، (۱۳۹۰)، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
هوشمندزاده م، علوی نائینی م و حقیپور م، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده‌های زمینشناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر"، سازمان تحقیقات زمینشناسی و معدنی کشور، ص ۱۳۸.

Reference

- Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirlwall M and Mitchell J. G. (۲۰۰۰). "Petrogenetic evolution late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey" *Journal of Volcanology and Geothermal Research.*, ۱۰۲, pp. ۶۷-۹۵.
- Barnes H.L. (۱۹۹۷). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits". John Wiley & Sons, New York, ۹۷۲ p.
- Beane R. E. Titly S. R. (۱۹۸۱) "Prophyry copper deposits; part II: Hydrothermal alteration and mineralization". *Econ. Geol.* ۷۵ Th Anniv. vol., pp. ۲۱۴-۲۶۹.
- Bierlein, F. P., Waldron, H. M. and Arne, D.C. (۱۹۹۹) "Behaviour of rare earth and high strength elements during hydrothermal alteration of metatubidities associated with mesothermal gold mineralization in central Victoria, Australia" *J.of.Geochemical Exploration.*, ۶۷pp ۱۰۹-۱۲۵.
- Boric R. Holmgren C. Wilson N. S. F. Zentilli M. (۲۰۰۲), "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. ۱۶۳-۱۸۴.
- Boric R., Holmgren C., Wilson N.S.F., Zentilli M. (۲۰۰۲), The geology of the El Soldado Manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, vol. ۲. PGC Publishing, Adelaide, Australia, pp. ۱۸۵-۲۰۵.
- Boynnton, W.V. (۱۹۸۴), "Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*", Elsevier, New York, ۶۳-۱۱۴.
- Brathwaite R. L., Simpson M., Faure K., Skinner D. (۲۰۰۱). "Telescoped porphyry Cu-Mo- Au mineralisation, advanced argillic alteration and quartz-sulphide-gold-anhydrite veins in the Thames District, New Zealand. *Mineralium Deposita*" , ۳۶(۷), pp. ۶۲۳-۶۴۰.

- Brown A.C.(1989): Sediment – hosted copper deposits: deposit-type name and related terminology
, in Boyle R.W, Brown A.C. Jefferson C.W.Jowett E.C. and Kirkham R.V.eds. Sediment-hosted
Stratiform Copper Deposit: Geological Association of Canada Special Paper 36 .p.39-52.
- Cox, D. P., (1986). Descriptive, Model of Olympic Dam Cu-U-Au; In Mineral Deposit Models, Cox,
D. P., and Singer, D. A., (ed) U.S. Geological Survey, Bulletin 1639, 379p.
- Craig J. R., Vaughan D. J., Hagni R. D. (1981). "Ore microscopy and ore petrography". (Vol. 4).
New York: Wiley.
- Craig J.R. Vokes, F.M. Solberg T.N. (1998). "Pyrite: physical and chemical textures". Mineral.
Depos. 34, 82-101.
- Evans A.M. (1987). "An Introduction to ore geology". Oxford, London, Edinburgh, Blackwell
scientific publication, 390p.
- Guilbert H. M. and Park. C. F. (1997) "The geology of ore deposits", W. H. Freeman., pp. 983.
- Guo F., Fan W., Li C. (2006). "Geochemistry of late Mesozoic adakites from the Sulu belt", eastern
China: Magma genesis and implications for crustal recycling beneath continental collisional orogens.
Geological Magazine 143, pp. 1-13.
- 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 ThCo discrimination diagram.
Journal of Petrology. 48 pp, 2241-2307.
- Haynes D. W. Cross K. C. Bills R. T. and Reed M. H (1990), "Olympic Dam Ore Genesis: A Fluid
Mixing Model" J.of. Economic Geology., 90 pp 281-307.
- Hofmann A.W., Jochum K.P., Seufert M., White W.M. (1986). "Nb and Pb in oceanic basalts": new
constraints on mantle evolution. Earth Planet. Sci. Lett. 79, pp. 33-40.
- Jinjie Y.U., Qi.Z., Jingwen M. and Shenghao Y. 2007- Geochemistry of Apatite from the Apatite-
rich Iron Deposits in the Ningwun Region, East Central China, Acta Geologica Sinica, English
Edition, V.81, P. 637-648.
- Kamber B.S. Ewart A. Collerson K.D. Bruce M.C. McDonald G.D. (2002) "Fluid-mobile trace
element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models"
Contributions to Mineralogy and Petrology, 144, pp 38- 56.
- Kojima S., Trista D., guilera A., Ken-ichiro, ayashi H. (2009), Genetic Aspects of the Manto-type
Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits, Resource Geology Vol.
59, No. 1: 87 – 98.

Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi, K. I. (۲۰۰۹). “Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits”. Resource geology, ۵۹(۱), pp. ۸۷-۹۸.

Laznicka, P., (۲۰۰۶). Giant metallic Deposits, Springer, p. ۱۱۵-۱۱۶.

Le Bas M J. Le Maitre R. W. Streckeisen A. and Zanettin B. (۱۹۸۶), “A chemical classification of Volcanic rocks based on the total alkali silica diagram” J. of. Petrology ., ۲۱, p ۷۴۵-۷۵۰.

Lentz D., (۱۹۹۸) "Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems": the role of extensional geodynamics, Ore Geology Reviews ۱۲, ۲۸۹-۳۲۷.

Maksaev V. Zentilli M. (۲۰۰۲), “Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: An overview. In :Porter, T.M. (ed.), hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits” A Global Perspective, v. ۲, PGC Publishing, Adelaide, ۱۶۳-۱۸۴.

Marshall D., (Lyn)Anglin C. D., and Mumin H. (۲۰۰۴), “Ore Mineral Atlas”. ۱۰۷ Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Meinert L.D. (۱۹۹۲). "Skarns and skarn deposits", Geosciences Canada, ۱۹(۴), pp. ۱۴۵-۱۶۲.

Middlemost E.A. K. (۱۹۹۴) "Naming materials in the magma and igneous rock system" Science Reviews., ۳۷, pp. ۲۱۵-۲۲۴.

Piercey S. (۲۰۱۱) “The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits” Miner Deposita, ۴۶:۴۴۹-۴۷۱.

Pirajno F. (۲۰۰۹) "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist», Springer pp.۷۰۶.

Pirajno F. (۲۰۰۹) "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist», Springer pp.۷۰۶.

Ramdohr P. (۱۹۸۰) “The ore minerals and their intergrowths, ۲nd edn” International Series in Earth Sciences ۳۵. Reich M., Deditius A., Chrysosoulis S., Li J.W., Ma C.Q., Parada M.A., Barra F., Mittermayr F. (۲۰۱۳). “Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study” Geochimica et Cosmochimica Acta, ۱۰۴, pp.۴۲-۶۲.

Rollinson H.R. (۱۹۹۳) "Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation" Longman Scientific and Technical, pp ۳۵۲.

Sillitoe R. H., Perelló J. (۲۰۰۵). “Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery” . Economic Geology ۱۰۰th Anniversary Volume, pp. ۸۴۵-۸۹۰.

Thompson R. N. (1982). "Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scottish Journal of Geology", 18(1), pp. 49-107.

Wilson N. S. Zentilli M. and Spiro B. (2003) "A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum" J.of. Economic Geology., 98(1), pp 163-174.

Wood D.A. (1980) "The application of a Th Hf Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province". Earth and planetary science letters, 50(1), pp.11-30.

Zentilli M., Munizaga F., Graves M.C., Boric R., Wilson N.S.F., Mukhopadhyay P.K., Snowdon L.R. (1997), Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits: an example in Cretaceous strata-bound (manto-type) copper deposits of central Chile. International Geology Review 39: 121.

Zhong J. Chen Y.J. Chen J. Qi J.P. Dai M.C. (2008) "Geology and fluid inclusion geochemistry of the Zijinshan high-sulfidation epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, SE China: Implication for deep exploration targeting" Journal of Geochemical Exploration, 98, pp 49-60.

پیوست ها

پیوست ۱- مقادیر فراوانی عناصر فرعی و کمیاب به روش ppm (icp-mas) پیرمردان شرقی.

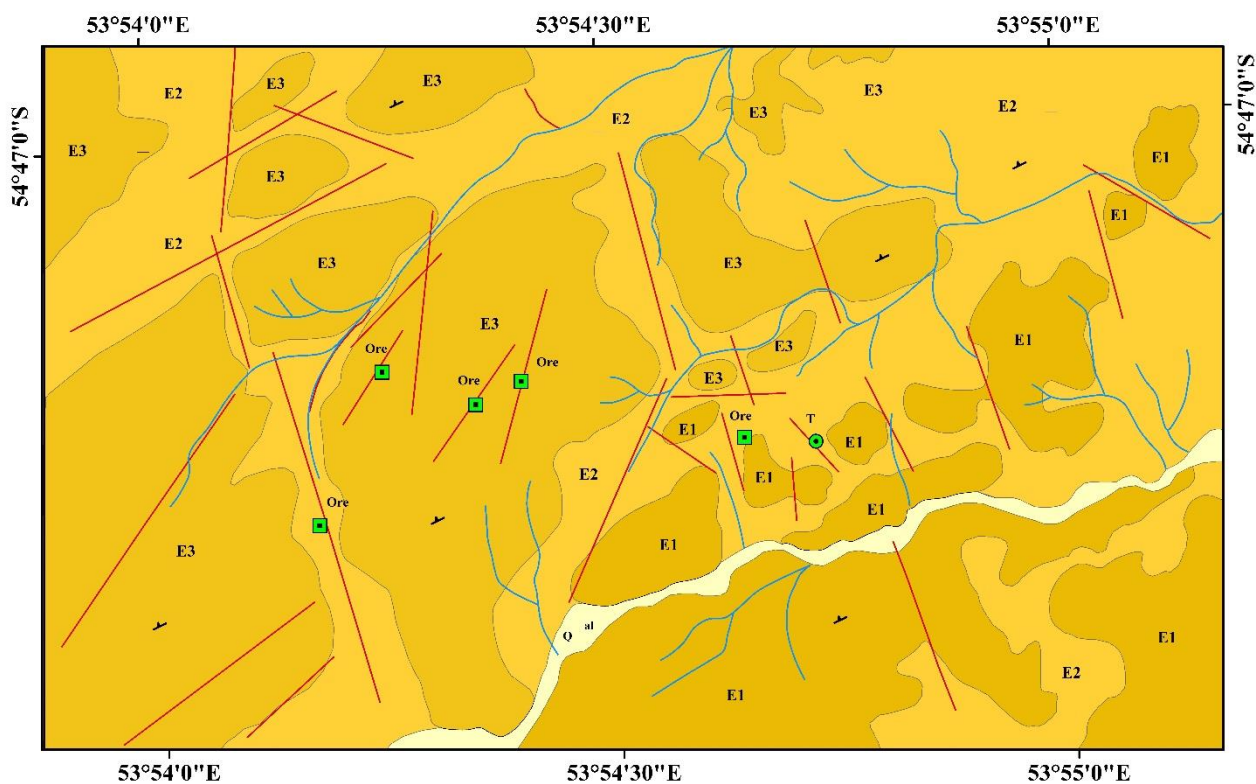
code		Ag	As	Ba	Be	Be	Gd	Hf	In	La	Li	Lu
Psa- 05		54	15.4	425	1.3	1.3	3.58	3.86	0.07	17	18	0.24
Psa-13	آندزیت	19.8	15	2897	1.4	1.4	3.48	4.1	0.07	23	12	0.22
Psa-18	کانه زایی	50.3	10.8	705	1.2	1.2	3.5	2.74	0.07	29	31	0.23
Psa-19	آندزیت بازالت	3.9	6	1589	1.5	1.5	4.45	6.28	0.07	23	11	0.33
Psa-20	کانه زایی	33.1	8	450	0.8	0.8	2.2	0.79	0.07	20	27	0.12
Psa-21	لیتیک توف	0.2	9.5	402	1.7	1.7	3.09	2.44	0.07	14	45	0.2
Psa-23	آندزیت بازالت	0.8	6.6	790	1.3	1.3	3.96	4.99	0.07	14	21	0.35
Psa-24	کانه زایی	7.4	4	750	1.2	1.2	3.18	4.64	0.07	17	33	0.27

code	Ce	Co	Cr	Cs	Cu %	Dy	Er	Eu
Psa- 05	37	7.9	44	15.6	1/1671	3.41	1.9	1.11
Psa-13	51	9	47	20.1	0/6758	3.23	1.77	1.39
Psa-18	56	7.7	40	18.3	3/8737	3.48	2.28	1.09
Psa-19	53	14.3	48	13.4	0/0489	4.1	2.4	1.38
Psa-20	34	2.4	36	6.7	4/5585	1.53	1	0.57
Psa-21	28	21.4	38	23.9	0/0049	2.84	1.62	0.85
Psa-23	36	15.3	49	14.2	28	3.93	2.65	1.07
Psa-24	40	16.3	43	5.4	2/0127	3.62	1.93	0.85

code	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Te	Th
Psa- 05	2	9.2	18.7	9	8	4.57	122	0.7	6.03
Psa-13	1	10.8	20.5	10	14	5.41	134	0.1	6.97
Psa-18	4	8.2	21.7	10	19	5.78	112	0.26	5.08
Psa-19	1	12	22.2	13	17	6.46	154	0.1	8.96
Psa-20	5	3	14	4	14	3.93	48	0.1	1.95
Psa-21	0.1	6.8	15.2	15	6	3.91	92	0.24	4.14
Psa-23	0.1	12.5	18.1	10	1	4.38	131	0.1	1.07
Psa-24	0.1	10.8	17.3	12	3	4.69	104	0.19	6.68

code	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
Psa-05	0.58	0.25	2.1	138	0.75	11.3	1.5	33	115
Psa-13	0.93	0.18	1.7	172	0.75	13.5	1.5	39	147
Psa-18	0.63	0.22	1.8	151	0.75	17.2	1.9	59	121
Psa-19	0.86	0.33	3	169	0.75	14.3	1.9	51	185
Psa-20	0.17	0.1	1.3	139	0.75	6.4	1	20	60
Psa-21	0.35	0.21	1.3	70	0.75	11.8	1.3	54	78
Psa-23	0.67	0.32	1.9	173	0.75	14.4	1.8	39	116
Psa-24	0.58	0.25	2.4	150	0.75	13.8	1.7	49	168

پیوست ۲: نقشه زمین شناسی- معدنی پیرمردان شرقی



پیوست ۳: علائم اختصاری استاندارد کانی‌ها (وینت نی و ایوانز، ۲۰۱۰).

No.	Mineral Name	Symbol	No.	Mineral Name	Symbol
1	Azurite	Az	11	Hematite	Hem
2	Bornite	Bn	12	Limonite	Lm
3	Chalcocite	Cct	13	Malachite	Mal
4	Covellite	Cv	14	Magnetite	Mag
5	Chalcopyrite	Ccp	15	Mica	Mca
6	Chlorite	Chl	16	Plagioclase	Pl
7	Calcite	Cal	17	Pyroxene	Px
8	Epidote	Ep	18	Pyrite	Py
9	Iron- Oxide	Fe- Oxide	19	Quartz	Qtz
10	Goethite	Gth	20	Schist	Sch

پیوست ۴: مقادیر غلظت اکسیدهای اصلی برحسب درصد وزنی به روش xrf، پرمردان شرقی

Element	Psa-05	Psa- 19	Psa-09	Psa-04	Psa-06
SiO ₂	50.94	55.8	56.17	62.39	62.39
Al ₂ O ₃	15.84	16.78	16.98	15.8	11.94
Fe ₂ O ₃	8.9	5.93	6.27	5.24	5.79
MgO	3.47	0.75	0.83	0.92	1.38
MnO	0.15	0.13	0.14	0.11	0.14
TiO ₂	0.86	0.81	0.83	0.82	0.57
CaO	8.16	5.18	6.15	3.75	5.29
Na ₂ O	2.74	1.53	3.62	0.08	2.59
K ₂ O	2.65	6.22	4.12	4.75	3.08
P ₂ O ₅	0.28	0.26	0.26	0.25	0.21
SO ₃	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
BaO	0.08	0.27	0.12	0.05	0.06
مختصات	54°47'16.7" 35°26'46.4"	-	54°48'16.2" 35°26'45.3"	54°47'16.7" 35°26'46.4"	54°47'16.7" 35°26'46.4"
نام سنگ	-	آندزیت- بازالت	آندزیت	-	آندزیت- بازالت
عکس نمونه					

Abstract

Pirmardan copper deposit is located in 110 Km south of Shahroud in Semnan province and in the northern structural zone of central Iran in the volcanic- sedimentary strip of Turd- Chah Shirin. Geometric and geometric shape of the mineral in these stratigraphic and stratigraphic mines are the major minerals of andesite basalt Porphyry basalt with Eocene age. Mineralization in the study area under the influence of fault processes can be observed in the form of streaks and voids. in these deposits, chalcocite, borneite and chalcopyrite are the main copper sulfides associated with malachite. Mineral structure and texture are in the form of empty space filler, filler grain, vein- sub vein and substitution. Major alteration in this deposit include carbonate, silica, sericite, argillic along with iron oxide and hydroxides. Based on features such as geometric shapes of mineral, mineralization, alteration, construction and texture, mineralogy of Pirmardan copper deposit show many similarities with Manto Type deposits in the world. The occurrence of this type of copper mineralization in pirmardan region indicates the importance of volcanic rock – related processes in copper mineralization, in addition to the processes related to mineralization producing plutonism.

key words: Host stone, Copper pirmardan, Copper mineralization, Manto type, pirmardan, Semnan, Central Iran



M.Sc Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and pattern of copper index
formation of pirmardan, Northwest of Trudeau**

By:

Hamideh salari

Supervisor:

Dr.

Farajollah Fardoost

March 2021