





دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

عنوان

بررسی ژنزکانه‌زایی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی
و آتشفشانی - رسوبی ائوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود

نگارنده

ناهید طائفی

اساتید راهنما

دکتر محمود صادقیان

دکتر فردین موسیوند

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / ناهید طائفی، رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان: بررسی ژنز کانه زایی مس همراه با سنگ های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شهر شاهرود که در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه : عالی - امتیاز ۱۹)
--------------------------------	------------------------------------	---

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	محمود صادقیان، فردین موسیوند	استادیار	
۲- استاد مشاور		استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مهدی رضایی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	فرج الله فردوست	استادیار	
۵- استاد ممتحن	مسعود علیپور	استادیار	

امضاء

رئیس دانشکده:

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین
گروه: ژئولوژی و زمین‌شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم ناهید طائفی

تحت عنوان: بررسی ژنز کانه زایی مس همراه با سنگ های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی انوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود

در تاریخ ۹۳/۶/۲۹... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد زمین‌شناسی - رسوبی
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: محمود
			صادقیان
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: فردین
			موسیوند

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: مهدی رضایی		نام و نام خانوادگی: فرح الله
			فردوست
			نام و نام خانوادگی: مسعود
			علیپور
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم به دوستاره پرفروغ زندگیم:

پدر و مادر عزیز و مهربانم؛
که وجودم برایشان همه رنج بود و
وجودشان برایم همه مهر

و تقدیم به تمامی دوستان دلسوز و بزرگوارم که وجودشان مایه دلگرمی در این مسیر بود؛
آقایان و خانم ها، وکیلی، تاشی، حسینی، کرمی، بیابانی
و باقی دوستان عزیزم که در سختی ها همراه و بهکام بودند.

تشکر و قدردانی

و بی تو کل زمان هایمان غم انگیز است

بهار بی کل نرگس شبیه پاییز است

بیا که سهم زمین از بهار ناچیز است

بیا که منجمدانه قیام ممکن نیست

پاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان، بخشید و به طریق علم و دانش را، نمودار شد و به بهشتی رهنروان علم و دانش مفتخران نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی مان ساخت. با پاس از سه وجود مقدس: آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم... مویشانش سپید شد تا ما رو سپید شویم... و عاشقانه سوختند تا که ما بخش وجود ما و روشنگر را بهمان باشند... پدرانمان - مادرانمان - استادانمان

- با تشکر و پاس از استاد بزرگوار و پرمایه ام جناب آقای دکتر صادقان که از محضر پر فیض تدریستان، بهره برده ام. همچنین از استاد کریم جناب آقای دکتر موسوند بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنماییهای ایشان تائین این پایان نامه بسیار مشکل می نمود.

- با تشکر و سپاس از مساعده های بی شائبه ی جناب آقای دکتر علیپور و دکتر فردوست که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر را دارم

- در نهایت تشکر می کنم از دکتر مهدی رضایی، دکتر سوسن ابراهیمی، دکتر حمید قاسمی، دکتر ابراهیم فاضل و سهیلا آقا جانی که مرا از الطاف بی دریغشان محروم نساختند.

- با تقدیر و دو دفر او ان خدمت خواهر و برادر و پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و بهواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

- با پاس بی دریغ خدمت دوستان گران بایه ام خانم ماحسینی، معرونی، آتش سودا، نجفی، کرمی، برزگری، ادریان، اسماعیل نیا، سنگ سندی، صاحبی نسب، خراسانی، مصدق، سلطانی، بلایی، توحیدی و آقاییان و کیلی، تاشی، حمیدی، خویان، غفاری، فتحی، محمودی، اکبری، دیرانلو، نصرالهی، بطامی، توکلی و عرفان که مرا صمیمانه و مشتاقانه یاری داده اند و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

تعهد نامه

اینجانب ناهید طائفی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی ژنزکانه‌زایی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود تحت راهنمایی دکتر محمود صادقیان و فردین موسیوند متعهد می‌شوم .

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

کانسارهای مس چغندر سر مرکزی، شمالی و جنوبی، گریک، گورخان، نرتلویی، استغانی، گچ کنوم، الهاک (۱) و الهاک (۲) حدوداً در فاصله ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلومتری شرق و جنوب شرق شاهرود در لبه‌ی شمال شرقی پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده‌اند. توالی سنگی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی می‌باشند. این منطقه از تناوب گدازه‌های بازیک - حدواسط و سنگ‌های آذرآواری به سن ائوسن میانی تشکیل شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه دارای طیف ترکیبی اولیوین بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزی بازالت و تراکی آندزیت هستند که بیانگر یک سری تفریقی از اولیوین بازالت تا تراکی آندزیت می‌باشند. این سنگ‌ها از عناصر نادر خاکی سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون، غنی‌شدگی و از عناصر نادر خاکی سنگین، تهی‌شدگی نشان می‌دهند. آنومالی منفی عناصر با شدت میدان بالا مانند Nb و Ti در سنگ‌های مورد مطالعه از ویژگی‌های شاخص محیط‌های کمانی است. محیط تکتونیکی کانسار مس شرق و جنوب شرق شاهرود با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته، محیط کششی است که در حوضه پشت کمان تشکیل گردیده است. کانی‌زایی در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود به صورت رگه - رگچه‌ای، دانه پراکنده و پر نمودن حفرات صورت گرفته است. کانی‌های اولیه شامل کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، پیریت و کالکوپیریت است. در اثر فرآیند هوازدگی، کانی‌های ثانویه اکسیدی و کربناتی نظیر کوپریت و مالاکیت در بخش‌های سطحی تشکیل شده‌اند. دگرسانی‌های غالب در سنگ میزبان شامل هماتیتی، کلریتی، سرسیتی، سیلیسی و کربناتی است. مطالعه میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی کلسیت رگه‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که غالب سیالات، دو فاز و از نوع مایع - بخار (L+V) با شوری متوسط ۱۰/۰۱ درصد وزنی نمک طعام و میانگین دمای همگن شدن ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. با توجه به ویژگی‌های اساسی کانه‌زایی مس در منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود، از نظر محیط زمین‌ساختی، سنگ دربرگیرنده، کانی‌شناسی، محتوای فلزی، دگرسانی و شکل کانی‌سازی مشابهت زیادی با کانسارهای

مس نوع آتشفشانی - لایه سرخ دارد.

کلمات کلیدی: محیط کششی، پشت کمان، مس، آتشفشانی - لایه سرخ، شاهرود

مقالات مستخرج از پایان نامه

- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در مناطق گریگ و گورخان، جنوب شرق شاهرود، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران شهریور ۱۳۹۳.
- کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی رخداد کانه‌زایی‌های مس نرتلویی و استغانی در جنوب شرق و جنوب شرق شاهرود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بهمن ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیائی و راه‌های دسترسی.....	۲
۱-۳- آب و هوا و جغرافیای انسانی.....	۳
۱-۴- زمین ریخت‌شناسی منطقه.....	۴
۱-۵- مطالعات انجام شده قبلی.....	۵
۱-۶- طرح مسئله و اهمیت موضوع.....	۵
۱-۷- هدف مطالعه.....	۶
۱-۸- روش مطالعه انجام این تحقیق طی مراحل زیر صورت گرفته است.....	۷
۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات.....	۷
۱-۸-۲- مطالعات آزمایشگاهی.....	۸
۱-۹- رده‌بندی کانسارهای مس.....	۸
۱-۹-۱- کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال.....	۹
۱-۹-۲- کانسارهای مس سولفید توده‌ای.....	۹
۱-۹-۳- کانسارهای مس ماگمایی.....	۹
۱-۹-۴- کانسارهای مس با میزبان رسوبی.....	۹
۱-۹-۵- کانسارهای مس تیپ کویناوی (تیپ مانتو و آتشفشانی لایه‌های سرخ).....	۱۰
۱-۱۰- فازهای کانی‌سازی مس در ایران.....	۱۰

- ۱۱-۱- تیپ‌های کانی‌زایی مس در ایران ۱۱
- ۱-۱۱-۱- کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمال ۱۲
- ۲-۱۱-۱- کانسارهای مس سولفید توده‌ای ۱۳
- ۳-۱۱-۱- کانسارهای گروه مانتو (آتشفشانی - لایه سرخ یا کویناوی) ۱۴
- ۴-۱۱-۱- کانسارهای گروه مس با میزبان رسوبی ۱۴
- ۱۲-۱- تاریخچه معدنکاری در مناطق مورد مطالعه ۱۵

فصل دوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه

- ۱-۲- مقدمه ۱۸
- ۲-۲- زمین‌شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه ۱۹
- ۳-۲- زمین‌شناسی ساختمانی ۲۵
- ۱-۳-۲- گسل راندگی میامی ۲۶
- ۲-۳-۲- خطواره‌های زمین‌ساختی ۲۷
- ۴-۲- زمین‌شناسی اقتصادی ۲۸
- ۵-۲- زمین‌شناسی و موقعیت کانسارهای مورد مطالعه ۳۰
- ۵-۲- ۱- کانسار چغندرسر شمالی ۳۰
- ۵-۲- ۲- کانسار چغندرسر مرکزی ۳۳
- ۵-۲- ۳- کانسار چغندرسر جنوبی ۳۴
- ۵-۲- ۴- کانسار گریک و گورخان ۳۵
- ۵-۲- ۵- کانسار نرتلویی ۳۷
- ۵-۲- ۶- کانسار استغانی ۳۸
- ۵-۲- ۷- کانسار عباس‌آباد ۴۰

۴۲ ۵-۸- کانسار الهاک (۱)

۴۳ ۵-۹- کانسار الهاک (۲)

۴۴ ۵-۱۰- کانسار روگرو

فصل سوم: کانه‌زایی و دگرسانی

۴۸ ۱-۳- کانه‌زایی

۵۰ ۳-۱-۱- کانه‌زایی در چغندر سرشمالی

۵۲ ۳-۱-۲- کانه‌زایی در چغندر سر مرکزی

۵۴ ۳-۱-۳- کانه‌زایی در روگرو

۵۵ ۳-۱-۴- کانه‌زایی در منطقه استغانی

۵۶ ۳-۱-۵- کانه‌زایی در منطقه نرتلویی

۵۸ ۳-۱-۶- کانه‌زایی در چغندر سر جنوبی

۶۰ ۳-۱-۷- کانه‌زایی در عباس‌آباد

۶۱ ۳-۱-۸- کانه‌زایی در گریک و گورخان

۶۲ ۳-۱-۹- کانه‌زایی در الهاک (۲)

۶۴ ۲-۳- دگرسانی

۶۶ ۳-۲-۱- دگرسانی در چغندر سرشمالی

۶۷ ۳-۲-۲- دگرسانی در چغندر سر مرکزی

۶۹ ۳-۲-۳- دگرسانی در چغندر سر جنوبی

۷۰ ۳-۲-۴- دگرسانی در گریک و گورخان

۷۱ ۳-۲-۵- دگرسانی در نرتلویی

۷۳ ۳-۲-۶- دگرسانی در الهاک (۱) و (۲)

۷۵ ۷-۲-۳- دگرسانی در روگرو

فصل چهارم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی

۷۸ ۱-۴- مقدمه

۷۸ ۲-۴- ساخت و بافت ماده معدنی در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود

۸۰ ۳-۴- کانه‌های اصلی در منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود

۸۰ ۱-۳-۴- چغندر سرشمالی، جنوبی و مرکزی

۸۳ ۲-۳-۴- گریک و گورخان

۸۴ ۳-۳-۴- روگرو

۸۵ ۴-۳-۴- استغانی و نرتلویی

۸۸ ۴-۴- پاراژنز

فصل پنجم: ژئوشیمی

۹۲ ۱-۵- مقدمه

۹۲ ۲-۵- ژئوشیمی مس

۹۳ ۳-۵- ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب

۹۴ ۱-۳-۵- تصحیح مربوط به حذف مواد فرار (L.O.I)

۹۴ ۲-۳-۵- عناصر کمیاب

۱۰۹ ۴-۵- عناصر نادر خاکی

۱۱۰ ۵-۵- نمودارهای عنکبوتی

۱۲۲ ۶-۵- شیمی کانی‌ها

فصل ششم: سیالات درگیر

- ۱-۶- مقدمه ۱۲۶
- ۲-۶- نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها ۱۲۷
- ۳-۶- پتروگرافی سیالات درگیر ۱۲۸
- ۴-۶- مطالعات دماسنجی سیالات درگیر ۱۳۱
- ۵-۶- چگالی سیال ۱۳۳

فصل هفتم: نتیجه گیری، الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی

- ۱-۷- مقدمه ۱۳۶
- ۲-۷- شواهد ژنتیکی حاصل از مطالعات انجام شده ۱۳۶
- ۱-۲-۷- مطالعات سنگ شناسی ۱۳۶
- ۲-۲-۷- شواهد ساختاری ۱۳۷
- ۳-۲-۷- مشاهدات کانی شناسی، ساخت و بافت ۱۳۸
- ۴-۲-۷- دگرسانی و کانه زایی ۱۳۹
- ۵-۲-۷- سیالات درگیر ۱۴۲
- ۶-۲-۷- ژئوشیمی ۱۴۳
- ۳-۷- الگوی تشکیل و نحوه کانه زایی صورت گرفته ۱۴۴
- ۱-۳-۷- فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی- رسوبی پشت کمانی ۱۴۴
- ۲-۳-۷- دیاژنز و دگرگونی دفنی ۱۴۵
- ۳-۳-۷- بالا آمدگی و چین خوردگی ۱۴۶
- ۴-۳-۷- مرحله هوازدگی ۱۴۷
- ۴-۷- مدل پیشنهادی تیپ کانه زایی کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود ۱۴۷

- ۱-۴-۷- کانسارهای مس تیپ میشیگان ۱۴۸
- ۲-۴-۷- کانسارهای مس نوع آتشفشانی - لایه سرخ ۱۵۰
- ۳-۴-۷- کانسارهای مس نوع مانتو ۱۵۴
- ۴-۴-۷- مقایسه کانسارهای تیپ مس آتشفشانی شرق و جنوب شرق شاهرود ۱۵۸
- ۵-۷- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل ۱۶۲
- ۱-۵-۷- منشاء عناصر ۱۶۲
- ۲-۵-۷- شرایط ته‌نشست ۱۶۲
- ۶-۷- پیشنهادات تحقیقاتی و اکتشافی ۱۶۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱) راه‌های ارتباطی منطقه مطالعاتی عباس‌آباد ۳
- شکل ۲-۱) موقعیت مناطق مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۴
- شکل ۳-۱) نقشه پهنه‌های ساختاری ایران ۱۳
- شکل ۴-۱) سرباره‌های مس موجود در پیرامون معدن متروکه روگرو ۱۵
- شکل ۵-۱) تصاویری از تونل‌های دنباله‌رو ۱۶
- شکل ۱-۲) موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ساختاری ایران ۱۸
- شکل ۲-۲) محیط زمین ساخت کمانی منطقه مورد مطالعه ۲۱
- شکل ۳-۲) نقشه بازسازی شده براساس مشاهدات صحرایی ۲۱
- شکل ۴-۲) تصویر صحرایی از توالی سنگی در دامنه جنوب شرقی کوه قبله ۲۲
- شکل ۵-۲) نمایی از دایک‌ها به سن ژوراسیک میانی ۲۳
- شکل ۶-۲) شمایی از ساختارهای اصلی منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۲۷
- شکل ۷-۲) بخشی از نقشه خطواره‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه ۲۷
- شکل ۸-۲) تصویر ماهواره‌ای تعدادی از اندیس‌های معدنی ایران مرکزی ۲۸
- شکل ۹-۲) تعدادی از اندیس‌ها در ارتباط با نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی ۲۸
- شکل ۱۰-۲) بخشی از گسل‌های منطقه چغندرسر شمالی ۳۰
- شکل ۱۱-۲) رخنمونی از واحد بازالتی در منطقه چغندرسر شمالی ۳۰
- شکل ۱۲-۲) بخشی از نقشه گسل‌های منطقه چغندرسر شمالی ۳۱
- شکل ۱۳-۲) نمایش پهنه‌ی برشی ۳۱
- شکل ۱۴-۲) تصویری از گسل خوردگی و ایجاد پهنه‌های برشی در منطقه چغندرسر شمالی ۳۲
- شکل ۱۵-۲) تصویری از زئولیت با ساختار شعاعی درون حفرات بازالت‌ها ۳۲
- شکل ۱۶-۲) تصویری از بازالت حاوی فنوکریست‌های فراوان پلاژیوکلاز ۳۳

- شکل ۲-۱۷) حضور ژئولیت‌هایی با ساخت شعاعی درون سنگ‌های آتشفشانی ۳۳
- شکل ۲-۱۸) واحدهای آگلومرای با سخت‌شدگی نسبتاً ضعیف موجود در منطقه چغندر سر ۳۴
- شکل ۲-۱۹) واحدهای تراکی بازالتی با ضخامت زیاد و ریخت‌شناسی مرتفع ۳۵
- شکل ۲-۲۰) توالی آگلومرا و بازالتی ۳۵
- شکل ۲-۲۱) مورفولوژی مناطق گورخان و گریک ۳۶
- شکل ۲-۲۲) نقشه و نیمرخ ناودیس گورخان ۳۶
- شکل ۲-۲۳) تصویری از بازالت‌های حاوی پیروکسن و الیوین ۳۷
- شکل ۲-۲۴) نمونه دستی از پیروکسن بازالت‌ها ۳۸
- شکل ۲-۲۵) درزه‌ها و شکستگی‌ها ۳۸
- شکل ۲-۲۶) تصویری از منطقه معدنی کانسار استغانی ۳۹
- شکل ۲-۲۷) رخنمونی از بازالت‌ها و واحدهای توفی ۳۹
- شکل ۲-۲۸) بازالت‌های ضخیم همراه با واحد بین لایه‌ای ۴۰
- شکل ۲-۲۹) چین‌خوردگی و لایه‌بندی در منطقه عباس آباد ۴۰
- شکل ۲-۳۰) وجود فنوکریست‌های اولیوین و پیروکسن ۴۱
- شکل ۲-۳۱) تجزیه‌شدگی در حاشیه بلور و ایدنگزیتی شدن بلورهای اولیوین ۴۱
- شکل ۲-۳۲) تصویری از آگلومرا و کریستال لیتیک توفیت‌های قرمز رنگ ۴۲
- شکل ۲-۳۳) تصویر بازسازی شده از لایه‌های قرمز همراه با آگلومرا و بازالت‌ها ۴۲
- شکل ۲-۳۴) برخورد میان گدازه و آهک ۴۳
- شکل ۲-۳۵) تصویری از انباشتگی نومولیت‌های ریز و درشت در کنار یکدیگر ۴۳
- شکل ۲-۳۶) موقعیت منطقه روگرو در تصاویر ماهواره‌ای، صحرایی و نقشه زمین‌شناسی ۴۴
- شکل ۲-۳۷) واحد آگلومرائی در جنوب غرب منطقه روگرو ۴۵
- شکل ۳-۱) تصویری کلی از کانه‌زایی‌های مناطق مورد مطالعه ۴۹

- شکل ۲-۳) نقشه زمین‌شناسی و موقعیت کانسارها ۴۹
- شکل ۳-۳) موقعیت کانسار مس چغندر سر شمالی در تصاویر لندست و زمین‌شناسی ۵۰
- شکل ۴-۳) موقعیت پهنه برشی و رگه و رگچه‌های سولفیدی ۵۰
- شکل ۵-۳) نمایی از کانه‌زایی‌های صورت گرفته در پهنه برشی ۵۱
- شکل ۶-۳) رگه کالکوسیت داخل سنگ میزبان بازالتی ۵۱
- شکل ۷-۳) شکل‌گیری زئولیت در بازالت‌ها ۵۲
- شکل ۸-۳) نمایی از ترانشه ایجاد شده در منطقه چغندر سر مرکزی ۵۳
- شکل ۹-۳) کانه‌زائی کالکوسیت به صورت رگه‌ای در بازالت‌ها ۵۳
- شکل ۱۰-۳) کانی‌زایی سولفیدی همراه با دگرسانی هماتیتی در سنگ میزبان بازالتی ۵۴
- شکل ۱۱-۳) کانه‌زایی کالکوسیت و مالاکیت همراه با ایجاد دگرسانی هماتیتی ۵۴
- شکل ۱۲-۳) کانه‌زایی مس در حفرات و شکستگی‌های سنگ‌های بازالتی در منطقه روگرو ۵۵
- شکل ۱۳-۳) تصویری از حفاری‌های صورت گرفته در امتداد پهنه یک گسل ۵۶
- شکل ۱۴-۳) کانه‌زایی کالکوسیت و مالاکیت صورت گرفته در بازالت‌های منطقه ۵۶
- شکل ۱۵-۳) موقعیت کانسار نرتلویی و تعدادی از معدن‌کاری‌های قدیمی ۵۷
- شکل ۱۶-۳) مالاکیت و کالکوسیت در داخل رگه و رگچه‌ها و حفرات بادامکی ۵۷
- شکل ۱۷-۳) نمایی از کارگاه‌های موجود در کانسار نرتلویی ۵۸
- شکل ۱۸-۳) تصاویر ماهواره‌ای از منطقه چغندر سر جنوبی ۵۸
- شکل ۱۹-۳) شکستگی‌های حاوی کانی‌های مس‌دار ۵۹
- شکل ۲۰-۳) رگه‌های پر شده توسط کلسیت ۵۹
- شکل ۲۱-۳) شکستگی‌های بدون کانه‌زایی ۶۰
- شکل ۲۲-۳) تصاویری از تونل و ترانشه حفر شده در امتداد لایه‌بندی ۶۰
- شکل ۲۳-۳) کانه‌زایی کالکوسیت، به صورت رگه و رگچه در بازالت‌ها ۶۱

- شکل ۳-۲۴) مس طبیعی به صورت رگه‌ای درون بازالت‌ها ۶۲
- شکل ۳-۲۵) محل عبور گسل امتدادلغز و جابه‌جایی آهک نومولیت‌دار ۶۳
- شکل ۳-۲۶) برش گسلی با دگرسانی سوسوریتی همراه با تصویر میکروسکوپی ۶۶
- شکل ۳-۲۷) دگرسانی هماتیتی در بازالت‌ها و همراه با تصویر میکروسکوپی ۶۶
- شکل ۳-۲۸) دگرسانی هماتیتی بر اثر گسل خوردگی و شکستگی ۶۷
- شکل ۳-۲۹) دگرسانی کربناتی در حاشیه رگه‌ها همراه با تصویر میکروسکوپی ۶۸
- شکل ۳-۳۰) دگرسانی کلریتی در رگه و رگچه‌های معدنی در اثر فرایندهای گرمایی ۶۹
- شکل ۳-۳۱) نمایی از هماتیتی و کلریتی شدن بازالت‌ها به موازات رگه‌ها و رگچه‌ها ۶۹
- شکل ۳-۳۲) نمایی از دگرسانی کلریتی و هماتیتی همراه با تصاویر میکروسکوپی ۷۰
- شکل ۳-۳۳) دگرسانی کربناتی به صورت رگه و رگچه‌ای در بازالت‌ها ۷۱
- شکل ۳-۳۴) نمایی از دگرسانی کربناتی به همراه پرشدگی حفرات بادامکی ۷۱
- شکل ۳-۳۵) نمایی از دگرسانی کلریتی در سنگ‌های بازالتی ۷۲
- شکل ۳-۳۶) دگرسانی هماتیتی در سنگ‌های بازالتی ۷۲
- شکل ۳-۳۷) نمایی از دگرسانی هماتیتی در کریستال لیتیک توفیت‌های قرمز ۷۳
- شکل ۳-۳۸) نمایی از دگرسانی هماتیتی به همراه تصویر میکروسکوپی ۷۳
- شکل ۳-۳۹) دگرسانی کربناتی و دگرسانی سیلیسی در شمال الهاک (۱) ۷۴
- شکل ۳-۴۰) دگرسانی سیلیسی همراه با کانه‌زایی کالکوسیت در منطقه الهاک (۲) ۷۴
- شکل ۳-۴۱) نمایی از دگرسانی کربناتی در سطح آگلومراها و هیدروکلاست‌ها ۷۵
- شکل ۴-۱) نمونه‌دستی از رگه سولفیدی در منطقه چغندرسر جنوبی ۷۹
- شکل ۴-۲) نمونه‌دستی از رخساره رگه- رگچه‌ای و هاله دگرسانی ۷۹
- شکل ۴-۳) تصویر میکروسکوپی از نمونه‌ی کالکوپیریت به صورت دانه پراکنده ۷۹
- شکل ۴-۴) نمونه‌دستی از کالکوسیت به صورت رگه‌ای در بازالت‌ها در چغندرسر جنوبی ۸۰

- شکل ۴-۵) بورنیت به رنگ قهوه‌ای به دو صورت دانه پراکنده ۸۱
- شکل ۴-۶) کالکوپیریت و بورنیت در سنگ‌های میزبان بازالتی در چغندر سر شمالی ۸۲
- شکل ۴-۷) تصویری از کالکوپیریت (Cpy) بورنیت (Bn) و کالکوسیت (Cc) ۸۲
- شکل ۴-۸) تصویر میکروسکوپی مس طبیعی (Cu) در بازالت‌ها ۸۴
- شکل ۴-۹) نمونه دستی از مالاکیت‌های منطقه روگرو ۸۵
- شکل ۴-۱۰) کانه‌زایی کالکوسیت و مالاکیت با ساخت رگه‌ای در منطقه استغانی ۸۵
- شکل ۴-۱۱) تصویر میکروسکوپی مس طبیعی (Cu)، هماتیت (Hem) و مالاکیت (Mal) ۸۶
- شکل ۴-۱۲) تصویری میکروسکوپی از کوپریت (Cup) و مالاکیت (Mal) ۸۷
- شکل ۴-۱۳) نمونه دستی از سرباره کوره ذوب مس در منطقه استغانی ۸۸
- شکل ۵-۱) نمودار TAS ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ۹۹
- شکل ۵-۲) موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار Zr / TiO_2 در مقابل Nb / Y ۹۹
- شکل ۵-۳) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود ۱۰۰
- شکل ۵-۴) رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار TAS ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ۱۰۰
- شکل ۵-۵) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی در نمودار سه‌تایی Al- Mg- $\text{Fe}^{\text{T}}+\text{Ti}$ ۱۰۱
- شکل ۵-۶) نمودارهای $\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ۱۰۲
- شکل ۵-۷) موقعیت نمونه‌های بازالتی در نمودارهای SiO_2 در برابر FeOt/MgO ۱۰۲
- شکل ۵-۸) موقعیت نمونه‌های آتشفشانی در نمودار سه‌تایی Y - $\text{Zr}/4 - 2\text{Nb}$ ۱۰۳
- شکل ۵-۹) نمودارهای سه‌تایی $\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Ta}$ ، $\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Nb}/16$ ، $\text{Zr}/117-\text{Th}-\text{Nb}/16$ ۱۰۳
- شکل ۵-۱۰) نمودارهای Ti-Zr $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - {}^3\text{Y}$ ، $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - \text{Sr}/2$ ۱۰۴
- شکل ۵-۱۱) نمودارهای Ti-Zr $\text{Ti}-\text{Zr}-\text{Sr}/2$ ۱۰۵
- شکل ۵-۱۲) موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار AFM ۱۰۵
- شکل ۵-۱۳) تقسیم‌بندی سنگ‌های آکالن با استفاده از نمودار k_2O در مقابل سیلیس ۱۰۶

- شکل ۵-۱۴) نمودار عناصر اصلی در برابر سیلیس در نمونه‌های مورد مطالعه ۱۰۹
- شکل ۵-۱۵) فراوانی عناصر نادر خاکی در ترکیب میانگین پوسته زمین ۱۱۰
- شکل ۵-۱۶) نمودار عناصر کمیاب در گوشته اولیه ۱۱۱
- شکل ۵-۱۷) نمودار عناصر کمیاب در سنگ به گوشته اولیه ۱۱۳
- شکل ۵-۱۸) نمودار عناصر کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی شرق و جنوب شرق شاهرود ۱۱۴
- شکل ۵-۱۹) نمودار عناصر نادر خاکی در منطقه گورخان ۱۱۵
- شکل ۵-۲۰) عناصر نادر خاکی در منطقه گورخان ۱۱۶
- شکل ۵-۲۱) نمودار عناصر نادر خاکی در منطقه گریک ۱۱۶
- شکل ۵-۲۲) نمودار عناصر نادر خاکی در منطقه نرتلویی ۱۱۷
- شکل ۵-۲۳) تغییرات فراوانی مس و عناصر فلزی بارز نظیر سرب و روی ۱۱۸
- شکل ۵-۲۴) فراوانی مقادیر مس و نقره ۱۱۹
- شکل ۵-۲۵) همبستگی بین کانسنگ‌های مس و بازالت‌های دگرسان شده ۱۲۰
- شکل ۵-۲۶) نمودار تغییرات میزان عناصر اصلی در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود ۱۲۱
- شکل ۶-۱) حفره پر شده با کوارتز در منطقه نرتلویی ۱۲۷
- شکل ۶-۲) کوارتز با ساخت فضاپرکن همراه با ماده معدنی از منطقه الهاک ۲ ۱۲۸
- شکل ۶-۳) سیال درگیر اولیه دو فاز (L+V) ۱۲۹
- شکل ۶-۴) سیالات ثانویه کاذب در متن بلور ۱۳۰
- شکل ۶-۵) سیال درگیر تک فاز پر شده از گاز ۱۳۰
- شکل ۶-۶) فراوانی درجه شوری سیالات درگیر در کانسار استغانی ۱۳۲
- شکل ۶-۷) فراوانی درجه همگن شدن سیالات درگیر در کانسار استغانی ۱۳۳
- شکل ۶-۸) آخرین نقطه ذوب یخ سیالات درگیر در کانسار استغانی ۱۳۳
- شکل ۶-۹) نمودار تعیین چگالی سیال با استفاده از دمای همگن شدن و شوری ۱۳۴

- شکل ۷-۱) تصاویر ماهواره‌ای منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود..... ۱۳۷
- شکل ۷-۲) نمایش راستای شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود..... ۱۳۸
- شکل ۷-۳) تصویری از نهشته‌های مس در داخل بازال‌ها..... ۱۴۰
- شکل ۷-۴) تصویری از رخنمون منطقه چغندر سر شمالی همراه با کانه‌زایی ایجاد شده..... ۱۴۱
- شکل ۷-۵) تصویر بازسازی شده از نهشته‌های مس در محدوده معدن چغندر سر شمالی..... ۱۴۱
- شکل ۷-۶) تغییرات مقادیر عناصر فلزی و غیرفلزی کانی‌های مس‌دار..... ۱۴۲
- شکل ۷-۷) موقعیت داده‌های سرمایش و گرمایش کانی کلسیت..... ۱۴۳
- شکل ۷-۸) فعالیت‌های ریف‌زایی و گسترش سیستم‌های گرابنی در منطقه پشت کمانی..... ۱۴۵
- شکل ۷-۹) مرحله تشکیل حوضه آتشفشانی - رسوبی و گسترش بیشتر حوضه..... ۱۴۵
- شکل ۷-۱۰) فرآیند دیاژنز و دگرگونی تدفینی..... ۱۴۶
- شکل ۷-۱۱) بال‌آمدگی و چین‌خوردگی‌ها..... ۱۴۶
- شکل ۷-۱۲) موقعیت و پراکندگی برخی از کانسارهای مس..... ۱۴۸
- شکل ۷-۱۳) طرح شماتیک از کانه‌زایی..... ۱۵۱
- شکل ۷-۱۴) طرح شماتیکی از توالی آتشفشانی و نمایش مهاجرت سیالات مس‌دار..... ۱۵۲
- شکل ۷-۱۵) طرح شماتیکی از نمایش پهنه‌بندی کانی‌ها..... ۱۵۳
- شکل ۷-۱۶) پراکندگی کانسارهای مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی..... ۱۵۸
- شکل ۷-۱۷) ترکیبات مس در دیاگرام PH, Eh در محیط‌های اسیدی..... ۱۶۳
- شکل ۷-۱۸) ترکیبات مس در دیاگرام PH, Eh..... ۱۶۳

فهرست جداول

- جدول ۳-۱) مشخصات سنگ‌شناسی و دگرسانی ۶۵
- جدول ۵-۱) نتایج آنالیز XRF، برای نمونه‌های کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود..... ۹۵
- جدول ۵-۲) داده‌های آنالیز ICP-MS برای کانسارهای شرق شاهرود ۹۶
- جدول ۵-۳) نتایج آنالیز EPMA برای کالکوپیریت در یک نمونه کانسنگ از چغندرسرشمالی..... ۱۲۲
- جدول ۶-۱) نتایج آنالیزهای دماسنجی، در نمونه‌های منطقه استغانی و نرتلویی ۱۳۱
- جدول ۷-۱) مقایسه کانسار مس شرق و جنوب شرق شاهرود با تیپ میشیگان ۱۵۶
- جدول ۷-۲) مقایسه کانسار مناطق شرق و جنوب شرق شاهرود و سایر نقاط جهان ۱۵۷
- جدول ۷-۳) مقایسه کانسارهای مناطق شرق و جنوب شرق شاهرود..... ۱۵۵
- جدول ۷-۴) مقایسه کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود و سایر نقاط ایران ۱۵۶

فصل اول

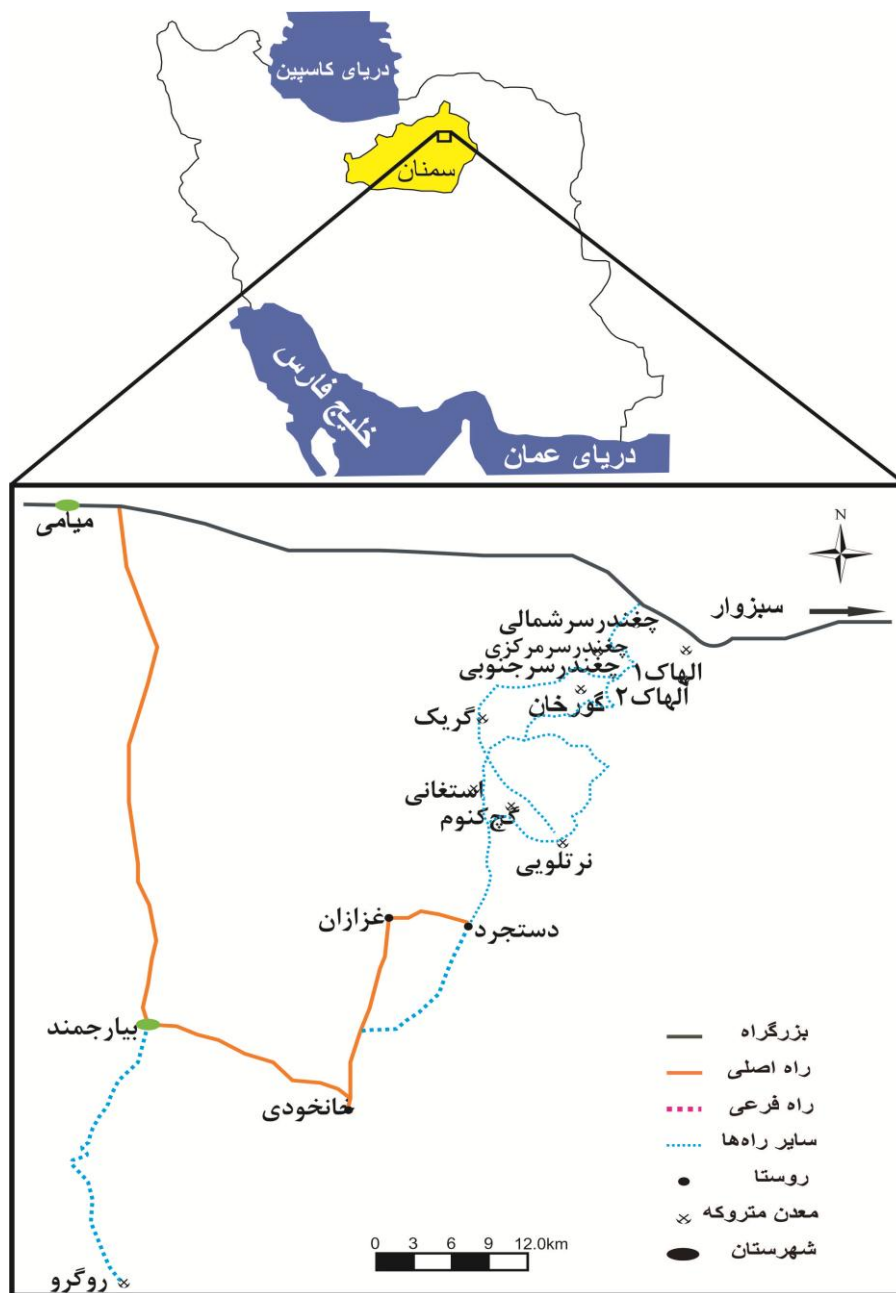
کلیات

۱-۱- مقدمه

سرزمین پهناور ایران به دلیل قرارگیری در کمربند جهانی مس بدون شک یکی از ذخایر مهم این فلز در دنیا محسوب می‌شود. ذخایر موجود در کشور از دیرباز مورد توجه قرار گرفته است. مس و آلیاژهای آن به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای فراوان در صنعت به‌ویژه در صنایع مخابراتی، الکتریکی، نظامی، راه‌آهن و کشتی‌سازی و ... همواره مورد توجه بوده است. به همین دلیل میزان مصرف آن در رده‌بندی جهانی فلزات پس از آهن و آلومینیوم قرار دارد. با توجه به آنچه که عنوان شد و نظر به جایگاه و ارزش اقتصادی این فلز در رشد و توسعه و جایگاهی که در تولید و صادرات غیر نفتی کشور دارد، نیازمند آن هستیم که منابع موجود را به‌خوبی شناخته و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم، بدون شک شناخت واقعی یک ذخیره یا نشانه معدنی زمانی امکان‌پذیر است که کلیه عوامل مؤثر در ایجاد و تشکیل آن مورد شناسایی و بررسی علمی قرار گیرد.

۱-۲- موقعیت جغرافیائی و راه‌های دسترسی

محدوده مورد مطالعه در استان سمنان در ۱۲۰ کیلومتری شرق و جنوب‌شرق شاهرود بین طول‌های "۵۴' ۵۴" تا "۵۶' ۱۷" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۶' ۱۴" تا "۳۳' ۰۱" ۳۶° تا شمالی قرار می‌گیرند. این مناطق از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در منتهی‌الیه شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارند. مهم‌ترین راه ارتباطی مناطق مورد مطالعه جاده اصلی شاهرود - سبزوار می‌باشد. دسترسی به مناطق مورد نظر از طریق راه‌های فرعی بیارجمند - روگرو، خانخودی - دستجرد، دستجرد - گریک، الهاک - چغندرسر، امکان‌پذیر است. مناطق مورد مطالعه به همراه راه‌های ارتباطی در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱ راه‌های ارتباطی منطقه مطالعاتی عباس‌آباد

۱-۳- آب و هوا و جغرافیای انسانی

این مناطق از لحاظ آب‌وهوایی، دارای آب‌وهوای خشک می‌باشند. به دلیل عدم وجود آب کافی در این مناطق، کشاورزی محدود و دامداری و دامپروری نیز به ندرت در این مناطق دیده می‌شود. پوشش گیاهی این مناطق به بوته‌ها و درختچه‌های کوتاه محدود می‌شود که در مقابل خشکی مقاوم می‌باشند. به دلیل آب‌وهوای خشک و عدم بارندگی در این مناطق، بعضی از روستاهای آن فاقد سکنه

بوده‌اند و به صورت ساختمان مخروطی وجود دارند. در ضمن تعدادی زیادی آغل گوسفند در منطقه قرار دارد که راه‌های منتهی به آن‌ها، دسترسی به مناطق مورد مطالعه را آسان‌تر می‌سازد. چندین حلقه چاه در بعضی از این مناطق دیده می‌شود که آب آن‌ها برای شرب دام‌ها استفاده می‌شود.

۴-۱- زمین‌ریخت‌شناسی منطقه

به طور کلی، منطقه مورد مطالعه دارای ریخت‌شناسی ملایم و کم ارتفاع بوده ولی در بعضی از مناطق توالی ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی و نهشته‌های هیدروکلاستی رخنمون دارند. شیب کلی این مناطق ۳۰ تا ۴۰ درجه می‌باشد. ضخامت افق‌های گدازه از چند سانتی‌متر تا چندین متر متغیر است. سنگ‌های کنگلومرایی واقع در قسمت قاعده‌ای این مجموعه آتشفشانی از ریخت‌شناسی ملایم‌تر و پست‌تری برخوردار هستند. بنابراین با توجه به بازدیدهای صورت گرفته و تصاویر تهیه شده از این مناطق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که واحدهای کم ارتفاع‌تر و هموارتر را آگلومراها تشکیل می‌دهند و اغلب واحدهای مرتفع، افق‌های گدازه‌ای با ترکیب کلی بازالتی می‌باشند (شکل ۲-۱).



شکل (۲-۱) موقعیت مناطق مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست.

۱-۵- مطالعات انجام شده قبلی

وجود ماده معدنی در حوزه استان سمنان، خصوصاً شرق شاهرود از زمان‌های بسیار قدیم شناخته شده می‌باشد، به طور خاص کانه‌سازی مس شرق و جنوب‌شرق شاهرود توجه محققین بسیاری را به خود معطوف داشته است. که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خلعتبری (۱۳۸۰)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس آباد و مهرپرتو (۱۳۸۰)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی را تهیه کرده‌اند. در این نقشه‌ها واحد سنگی، چینه‌شناسی و ساختمانی منطقه به خوبی تفکیک شده‌اند.
- بادامه (۱۳۸۲)، پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی منطقه میاندشت، شرق شاهرود را در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود مطالعه کرده است.
- موسوی شاهرودی (۱۳۸۸)، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های منطقه آتشفشانی منطقه چغندر (جنوب - غرب عباس‌آباد) و کانه‌زایی وابسته به آن را مورد بحث و بررسی قرار داد.
- الهیاری (۱۳۸۹)، پتروژنز سنگ‌های آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک - عباس‌آباد را مورد مطالعه قرار داده است.
- رضوی (۱۳۹۰)، بررسی پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ناحیه داورزن - سبزوار در قالب پایان‌نامه ارشد خود مورد مطالعه قرار داده است.
- مردانی (۱۳۹۰) پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل رخساره‌ای سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی - منطقه پهنواز (جنوب بیجارجمند - شاهرود) را مورد مطالعه قرار داد.

۱-۶- طرح مسئله و اهمیت موضوع

کانه‌زایی‌های متعدد مس در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی عباس‌آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰)، در ایران مرکزی در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن رخمون دارند. با توجه به برداشت‌هایی که از معادن مس طی سال‌های گذشته صورت پذیرفته است و اهمیتی که فلز مس در

تمام تمدن‌ها و دولت‌های گذشته داشته است، اهمیت آن در برنامه‌ریزی بلند مدت، مطالعه و اکتشاف منابع و ذخایر جدید در حال حاضر امری ضروری می‌باشد. نظر به عدم انجام مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و مشخص نبودن الگوی تشکیل کانسارهای مورد مطالعه انجام تحقیق حاضر بر روی کانه‌زایی مس در منطقه از جهت علمی حائز اهمیت فراوان می‌باشد. ضمن آن که مطالعه حاضر می‌تواند کلیدهای اکتشافی جهت پی‌جویی و اکتشاف ذخایر مشابه را مشخص‌تر نماید. در این تحقیق تلاش می‌شود تا با استفاده از روش‌های علمی، شناخت کامل‌تری از فرایندهای کانه‌زا در معادن مس منطقه کسب نموده و کلیدهای اکتشافی جهت اکتشاف منابع و ذخایر جدید و انجام فعالیت‌های معدنی گسترده‌تر ارائه گردد.

۷-۱- هدف مطالعه

در داخل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن شمال ایران مرکزی اندیس‌ها و کانسارهای متعددی از کانه‌زایی مس تشکیل شده است. برخی از این کانسارها از گسترش قابل توجهی برخوردار بوده، به‌طوری که در گذشته مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان به کانسار چغندرسر (شمالی، جنوبی، مرکزی)، کانسار مس روگرو (جنوب بیارجمند)، کانسار گورخان (شمال شرق بیارجمند)، کانسار گریک، کانسار نرتلویی، کانسار استغانی، کانسار گچ‌کنوم و کانسار الهاک (۱) و (۲) اشاره کرد. کانی‌شناسی این مناطق غالباً از نوع مالاکیت، کالکوسیت، همتایت، مس طبیعی و به مقدار کمتر کوولین، پیریت و کالکوپیریت می‌باشد. بندرت بورنیت نیز همراه این اندیس‌ها مشاهده شده است. هرچند در مورد ژنز کانه‌زایی، پترولوژی و ژئوشیمی کانسار عباس‌آباد مطالعات تخصصی صورت گرفته است، لیکن بر روی سایر کانه‌زایی‌های صورت گرفته مطالعه جامع انجام نشده است. بنابراین به منظور پی بردن به ماهیت کانه‌زایی صورت گرفته در این منطقه و شناخت نحوه تشکیل آن، سعی شده است براساس مطالعه زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی، به چگونگی رخداد کانه‌زایی در این مناطق پی

ببریم.

از مهم‌ترین اهداف این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- بررسی دقیق روابط صحرایی بین واحدهای سنگی موجود و مناطق کانه‌سازی شده از لحاظ سن و ساختار
- بررسی کانی‌شناسی کانسارهای مس منطقه
- تعیین روابط ژئوشیمیایی و ماهیت ژئوشیمیایی آن‌ها
- بررسی ماهیت ژئوشیمیایی کانه‌های موجود در منطقه و بررسی از لحاظ عناصر کمیاب و نادر خاکی
- اصلاح نقشه‌های تهیه شده قبلی براساس مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی صورت گرفته

۸-۱- روش مطالعه انجام این تحقیق طی مراحل زیر صورت گرفته است.

۸-۱-۱- گردآوری اطلاعات

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات مرتبط با موضوع پایان‌نامه
- گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد و میامی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه گزارش‌ها و مقالات مرتبط با مناطق مورد مطالعه
- بررسی مطالعات صورت گرفته در منطقه و مقایسه آن با مناطق هم‌جوار
- انجام چندین نوبت عملیات صحرایی به مدت ۹ روز و بازدید از معادن متروکه روگرو، چغندر سر (شمالی، جنوبی، مرکزی) الهاک (۱) و (۲)، نرتلویی، استغانی، گچ کنوم، قلعه گریک، عباس‌آباد و چندین مورد معادن متروکه فاقد اسم خاص
- مطالعه کانه‌های موجود و رابطه آن با سنگ میزبان آن‌ها و نمونه‌برداری انتخابی از واحدهای آذرین و رسوبی مختلف بر اساس تنوع بافتی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی

- بررسی کانه‌زایی در ارتباط با پدیده‌های ساختاری مثل گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها

۱-۸-۲- مطالعات آزمایشگاهی

- تهیه ۶۰ مقطع صیقلی و نازک صیقلی از نمونه‌های جمع‌آوری شده و مطالعات آن‌ها
- آنالیز ۱۱ نمونه به روش فلوتورسانس اشعه ایکس (XRF)، به منظور تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های موجود در منطقه، توسط آزمایشگاه شرکت فرآوری مواد معدنی ایران
- آنالیز ۱۵ نمونه به منظور تعیین میزان عناصر کمیاب (Trace) و عناصر نادرخاکی به روش ICP-MS در آزمایشگاه Acme کانادا
- تهیه مقطع نازک صیقلی از نمونه‌ها جهت مطالعات الکترون پروب (EPMA)، بافت و پاراژنز کانه‌ها
- تهیه مقطع نازک دوبر صیقلی از کانی‌های شفاف همراه با کانه‌زایی، جهت مطالعات ادخال‌های سیال
- تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی توسط نرم‌افزارهای Arc Gis، Excel، IGPET، GCDket، CorelDraw، Global Mapper.....
- بررسی مراجع و اطلاعات زمین‌شناسی منتشر شده قبلی و استفاده از سایت‌های اطلاعاتی اینترنتی، مطالعات کتابخانه‌ای، گفتگوی شفاهی با اساتید مربوطه، تهیه تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌شناسی
- مطالعه پایان‌نامه‌ها، مقالات و کتب مرتبط با موضوع این تحقیق
- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و راه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS
- جمع‌بندی نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمیایی و فرایندهای مؤثر زمین‌ساخت در تشکیل کانسارهای موجود و همچنین مطالعه مقالات به منظور تعیین منشأ و تیپ این کانه‌زایی‌ها و مقایسه آن با نهشته‌های مشابه در جهان

۱-۹- رده‌بندی کانسارهای مس

Kesler (۱۹۹۴)، کانسارهای مس را بر اساس خصوصیات ژنتیکی آن‌ها به ۵ گروه اصلی تقسیم

نموده است که عبارت‌اند از:

۱-۹-۱- کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمال

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

۱-۹-۲- کانسارهای مس سولفید توده‌ای

این تیپ کانسارها خود به روش‌های مختلفی به دسته‌های متعددی از کانسارها تقسیم می‌شوند که یکی از کاربردی‌ترین این روش‌ها دسته‌بندی آن‌ها بر اساس 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 (Mosier et al., 1996; Gally et al., 2007; Franklin, 2009). 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., 2005).

۱-۹-۳- کانسارهای مس ماگمایی

این تیپ کانسارها حاصل تحول و تکامل ماگما نظیر تبلور تفریقی می‌باشند. تعداد این نوع کانسارها در دنیا محدود است اما به‌طور معمول تناژ بالایی دارند.

۱-۹-۴- کانسارهای مس با میزبان رسوبی

در این تیپ کانسارها سنگ میزبان کانه‌زایی به طور عمده رسوبات تخریبی هستند که نفوذپذیری بالایی دارند. این کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی- دیاژنزی و در مواردی اپی‌ژنتیک ایجاد می‌شوند و معمولاً به دلیل چینه‌کران بودن دارای ضخامت کم اما گسترش فراوان هستند.

۱-۹-۵- کانسارهای مس تیپ کویناوی (تیپ مانتو^۱ و آتشفشانی لایه‌های سرخ^۲)

این کانسارها دارای سنگ میزبان آتشفشانی هستند و از نظر بسیاری خصوصیات مشابه کانه‌زایی سیستم‌های مانتو و مس‌های تیپ آتشفشانی - لایه سرخ می‌باشند (Kirkham, 1996); (Lefebure, 1996). کانسارهای تیپ مانتو در شیلی گسترش دارند و کانسارهای تیپ آتشفشانی - لایه سرخ به‌طور عمده در آمریکای شمالی شناسایی و معرفی شده‌اند. یکی از بارزترین خصوصیات این گروه از کانسارها هندسه چینه‌کران و واقع شدن آن‌ها در سنگ میزبانی آتشفشانی یا آتشفشانی- رسوبی است و به همین دلیل این کانسارها به نام کانسارهای مس بازالتی نیز در جهان معروف‌اند (Kirkham, 1996). در شیلی این گروه از کانسارها در میان سیستم‌های پورفیری عظیم واقع شده، به‌عنوان سومین منبع مس پس از سیستم‌های پورفیری و IOCG مطرح هستند و با نام مانتو شناسایی می‌شوند (Maksaev et al., 2003). در آمریکا این تیپ کانساری را تحت عنوان کویناوی نام‌گذاری نموده‌اند و در کانادا نیز به نام آتشفشانی - لایه سرخ معروف هستند (کیرکام^۳, 1996).

۱-۱۰- فازهای کانی‌سازی مس در ایران

در ایران آثار و نشانه‌های معدنی مس از دامنه زمانی پروتروزوئیک پسین تا پلیوسن گزارش شده است. اما بیشتر ذخایر مس در ترشیری و به‌ویژه ائوسن و الیگوسن تشکیل شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۱). به طور کلی فازهای کانی‌سازی مس در ایران به شرح زیر است (شکل ۱-۳):

پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین: در ناحیه یاسوج و در شهرکرد (ده معدن) همراه سنگ‌های کامبرین پیشین چند مورد کانه‌زایی مس دیده شده که از نظر اقتصادی فعلاً حائز اهمیت نیستند (قربانی، ۱۳۸۱).

پالئوزوئیک پیشین: همراه برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک پیشین مانند سری تکنار با سن

1 Manto- type
2 Volcanic Red Bed
3 Kirkham

اردو پسین (کانسار سولفید توده‌ای تکنار)، آثار و شواهدی از کانه‌زایی مس شناخته شده است (Karimpour et al., 2005، ملک‌زاده شفارودی و همکاران، ۱۳۸۳).

ژوراسیک-کرتاسه: نشانه‌های متعدد مس در سنگ‌های رسوبی-تخریبی ژوراسیک-کرتاسه در ناحیه وسیعی از جنوب راور (کانسار مس رسوبی مارکشه) تا شمال طبس مشاهده می‌شود (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷). همچنین از این دوره زمانی کانسار مس جیان در بوانات قابل ذکر است (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۱، موسیوند و همکاران، ۱۳۸۲).

کرتاسه-پالئوسن: همراه با مجموعه افیولیتی کرتاسه پایانی-پالئوسن شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است، که از آن جمله می‌توان نشانه‌های معدنی مس در ناحیه حاجی-آباد بندرعباس و کانسار مس شیخ عالی در جنوب شرق بافت را نام برد (منظمی میر علیپور، ۱۳۷۷). همچنین در این دوره، کانسار نوده و نشانه‌های معدنی جنوب غرب سبزوار قابل ذکر است (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰).

ترشیری: بیشتر ذخایر مس ایران در بازه زمانی ترشیری تشکیل شده‌اند. اغلب این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیری دارند.

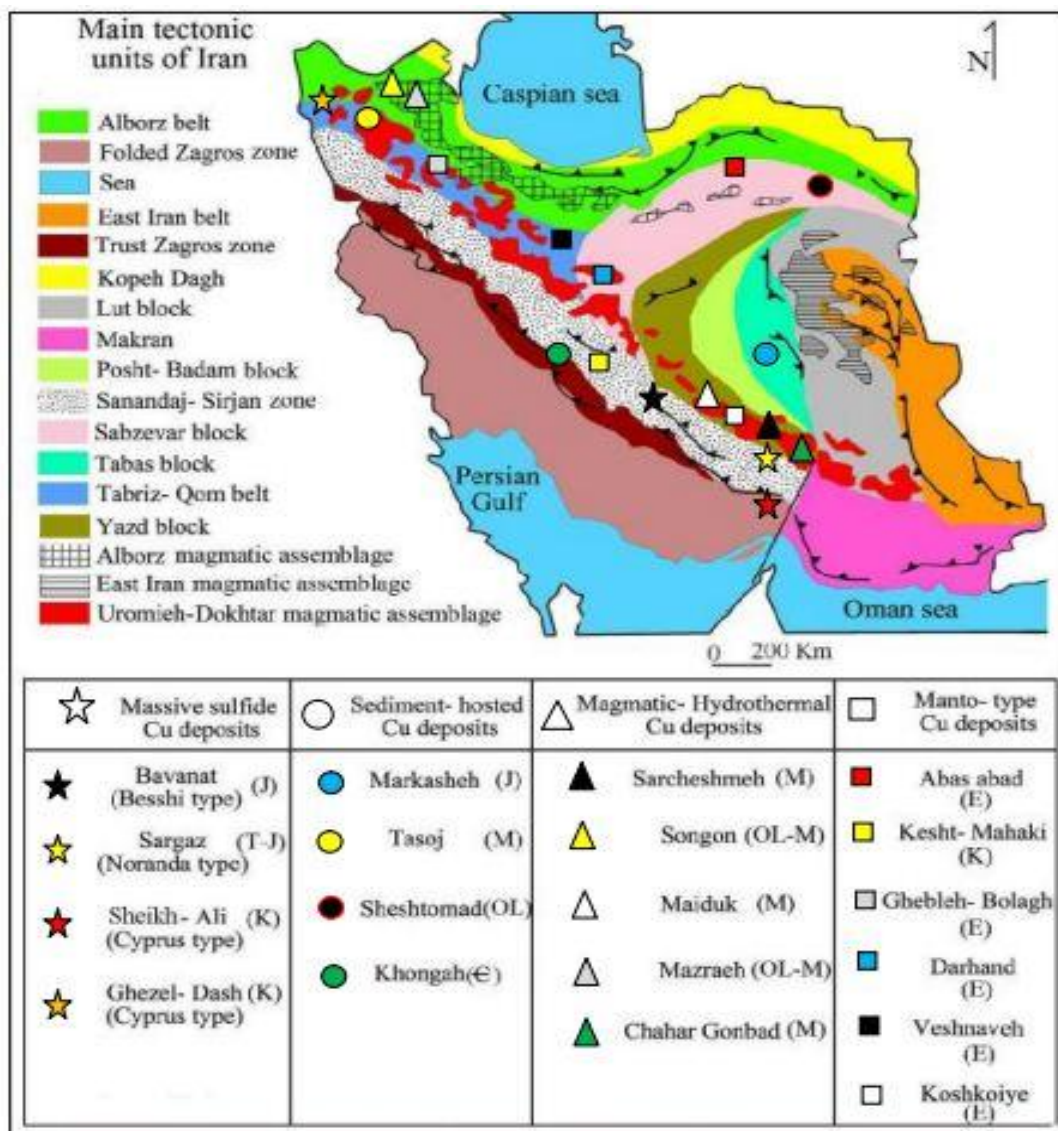
۱-۱- تیپ‌های کانی‌زایی مس در ایران

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 گروه‌های کانساری مس در ایران کانسارهای گروه سولفید توده‌ای، کانسارهای گروه مانتو (آتشفشانی - لایه سرخ یا کوپناوی) و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند (شکل ۱-۳). تنها گروه کانساری که در ایران تاکنون شناسایی نشده است کانسارهای مس ماگمایی است. در زیر شرح مختصری از انواع تیپ‌های مختلف کانساری مس در ایران ارائه می‌شود:

۱-۱۱-۱ - کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمال (سیستم‌های پورفیری،

اسکارن و رگه‌ای)

این گروه کانسارها در ایران و خصوصاً در پهنه ارومیه - دختر که مهم‌ترین پهنه ولکانوپلوتون ایران را تشکیل می‌دهد به تعداد فراوانی کشف شده‌اند. بزرگترین معادن مس ایران یعنی سرچشمه، سونگون و میدوک که در این پهنه واقع شده‌اند، در این گروه دسته بندی می‌شوند. همچنین از جمله این کانسارها در شرق ایران می‌توان به کانسار ماهرآباد اشاره نمود (ملک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات گسترده‌ای بر روی این تیپ کانه‌زایی در ایران مخصوصاً در ناحیه کرمان، از قدیم تاکنون صورت گرفته است (Waterman & Hamilton, 1975; Shafiei et al., 2009; Shahabpour et al., 1987).



شکل ۳-۱) نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (Aghanabati, 2003) که موقعیت ذخایر انواع تیپ‌های مس بر روی آن نشان داده شده است. در ضمن گستره زمانی آن‌ها با نمادهای E (کامبرین)، T (تریاس)، J (ژوراسیک)، K (کرتاسه)، E (ائوسن)، OL (الیگوسن)، M (میوسن) نمایش داده شده است (مغفوری، ۱۳۹۱).

۱-۱۱-۲- کانسارهای مس سولفید توده‌ای

این گروه کانساری در دنیا یکی از مهم‌ترین گروه‌های کانساری مس و سرب و روی را تشکیل می‌دهند و در ایران تقریباً تمامی تیپ‌های این گروه کانساری شناسایی شده‌اند که به طور عمده در پهنه سهند- سیرجان قرار گرفته‌اند. این کانسارها در حوضه‌های کششی موجود در محیط‌های مختلف زمین ساخت ایجاد می‌شوند و در کشش‌های ایجاد شده در محیط کمربند

ماگمایی مزوزوئیک سنندج- سیرجان نیز این کانسارها ایجاد شده‌اند (موسیوند، ۱۳۹۰) تیپ‌های مس‌دار شناسایی شده از این گروه در ایران شامل کانسار مس-روی (نقره) تیپ بشی بوانات در کمپلکس دگرگون سوریان (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۱)، کانسار مس-روی (سرب) تیپ نوراند سرگز (بدرزاده و همکاران، ۱۳۸۸) در زیر پهنه سرگز-متاع، کانسار مس-روی تیپ قبرسی شیخ عالی (منظمی و همکاران، ۱۳۷۷) و قزل‌داش (Aftabi et al., 2006) می‌باشند (شکل ۳-۱).

۱-۱۱-۳- کانسارهای گروه مانتو (آتشفشانی - لایه سرخ یا کویناوی)

کانسارهای گروه مانتو در ایران به طور عمده دارای سنگ میزبان با سن آئوسن پسین هستند (سامانی، ۱۳۸۱). کانسارهای موجود در منطقه عباس‌آباد شاهرود یکی از مهم‌ترین این کانسارها در ایران را شامل می‌شوند. (Kirkham, 1996, Khadem, 1964) کانسارهای کشت محکی (بویری و همکاران، ۱۳۸۹)، قبله بولاغ (بهزادی، ۱۳۷۳)، و وشنویه (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۰) نیز در این گروه قرار می‌گیرند. به جز کانسار کشت محکی که در پهنه سنندج- سیرجان واقع است و سن کانه‌زایی در آن مربوط به کرتاسه است، سایر کانسارهای گروه مانتو شناسایی شده در ایران دارای سن آئوسن هستند.

۱-۱۱-۴- کانسارهای گروه مس با میزبان رسوبی

این گروه کانسارها نیز در ایران شناسایی شده‌اند که عمدتاً دارای سنگ میزبان تخریبی هستند. تشکیل این کانسارها تحت تأثیر فرایندهای رسوبی -دیاژنزی صورت گرفته است (Hitzman et al., 2005). کانسارهای شناسایی شده از تیپ لایه‌های سرخ^۱ در ایران شامل کانسار مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷)، کانسارهای شمال تربت حیدریه (سپهری راد، ۱۳۸۸) و کانسار تسوج (تقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶) می‌باشند.

۱-۱۲- تاریخچه معدن کاری در مناطق مورد مطالعه

کانسار و اندیس‌های مس شرق و جنوب شرق شاهرود عمدتاً در سه دوره زمانی شاخص مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

دوره اول که به دوره شدادی معروف است عمدتاً به صورت حفاری‌های کوچک مقیاس و در امتداد رگه و به صورت راهروها یا تونل‌های باریک و عمیق می‌باشند. اصطلاح شدادی برای معدن کاری و معادن قدیمی رها شده در ایران به کار می‌رود. معادن شدادی دارای ویژگی‌های زیر هستند: در معدن کاری و معدن جویی، از دانش غربی بهره گرفته نشده و تمام دانش معدن کاری و معدن جویی، توسط ایرانیان انجام گرفته است. در معدن کاری، از هیچ‌گونه مواد انفجاری و ماشین‌آلات که دارای نیروی محرکه بوده است، استفاده نشده است. به طور عمده، این نوع معدن کاری به پیش از دوره عباس میرزا باز می‌گردد (شکل ۱-۴). جای شگفتی است که تاکنون، کمتر کانسار فلزی شناخته‌ایم که جای پای گذشتگانمان را در آنجا ندیده باشیم (قربانی، ۱۳۸۱).



شکل ۱-۴) سرباره‌های مس موجود در پیرامون معدن متروکه روگرو، جنوب بیارجمند (شرق و جنوب شرق شاهرود).

دوره دوم: بهره‌برداری از این اندیس‌های مس به ۳۰ تا ۷۰ سال قبل بر می‌گردد که عمدتاً به صورت چاهک، اتاق پایه، تونلی دنباله رگه و به ندرت روباز می‌باشد. تونل‌های دنباله‌رو (دنباله لایه) در مواردی که ماده معدنی تنها از یک لایه یا رگه تشکیل شده باشد و بوسیله تونل عمود بر لایه قطع می‌گردد، این نوع از بهره‌برداری در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵) تصاویری از تونل‌های دنباله‌رو که در گذشته به منظور استخراج مس حفر شده است.

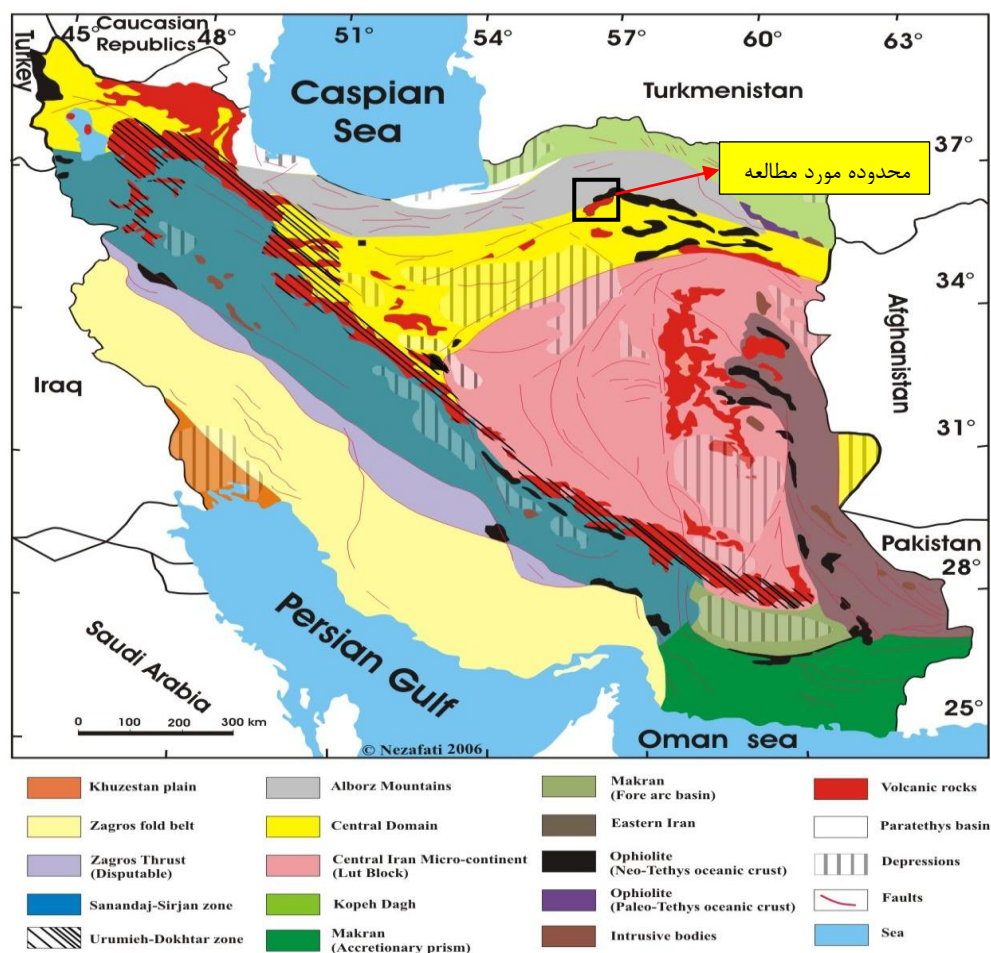
دوره سوم : مربوط به فعالیت‌های استخراجی هستند، این کانسارها غالباً تمایل دارند از سیستم‌های روباز پیروی کنند و مواد معدنی استخراج شده را به روش شستشوی شیمیایی و عمدتاً به کمک اسیدسولفوریک بازیافت می‌کنند.

فصل دوم

زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده مورد مطالعه

۱-۲- مقدمه

محدوده مورد مطالعه در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰) جای دارد. این محدوده در شرق و جنوب شرق شاهرود واقع شده و بخشی از شمال پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی محسوب می‌شود (شکل ۱-۲). این ناحیه به لحاظ چین‌شمارایی برون‌زدهایی از نئوپروتروزوئیک پایانی تا سنوزوئیک را در بر می‌گیرد. در این فصل به تشریح چین‌شمارایی، ماگماتیسم، زمین‌شناسی ساختاری، و زمین‌شناسی اقتصادی محدوده مورد مطالعه و در انتها به بیان ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی هر یک از کانسارهای مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.



شکل ۱-۲) موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ساختاری ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- زمین‌شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه

براساس امتدادهای ساختاری (گسل‌های اصلی)، اشتوکلین و نبوی (۱۹۷۳)، فلات ایران را به هشت پهنه؛ زاگرس چین‌خورده، زاگرس رانده، پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه - دختر، ایران مرکزی، البرز، کپه داغ و شرق ایران تقسیم کرده‌اند. محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد این پهنه از نظر زمین‌ساخت منطقه‌ای فعال می‌باشد و در کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا قرار گرفته است. ظاهراً فعالیت ماگمایی این پهنه در همه‌ی زمان‌ها وجود داشته، اما اوج این فعالیت‌ها در ائوسن بوده است. به طور کلی قبل از ائوسن فعالیت ماگمایی کم بوده است. ژئوشیمی سنگ‌های ماگمایی کرتاسه‌ی پسین و سنوزوئیک (ائوسن) نشان می‌دهد که آن‌ها غالباً در حاشیه‌ی قاره‌ای فعال تشکیل شده‌اند (تکین، ۱۹۷۲؛ بربریان، ۱۹۸۱؛ سنگور، ۱۹۸۴؛ معین وزیری، ۱۹۸۵؛ سنگور و همکاران، ۱۹۹۳؛ ریکو، ۱۹۹۴؛ سنگور و ناتالین، ۱۹۹۶؛ مهجیل و فرگوسن، ۲۰۰۰؛ عزیزی و جهانگیری، ۲۰۰۶؛ عزیزی و معین وزیری، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸). با دور شدن از محل فروانش (در سمت جنوبی ایران مرکزی) ماهیت ماگماها تغییر می‌کند، به‌طوری که از سمت زاگرس به سمت ایران مرکزی، عمق شروع ذوب افزایش یافته و ماهیت ماگماها بیشتر از نوع کالک‌آلکالن با درصد ذوب بالاتر به آلکالن با درصد ذوب کم‌تر تغییر می‌کند. کمربند ماگمایی سنوزوئیک ایران مرکزی، شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن تا کواترنری است. به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پایانی که با دگرگونی، چین‌خوردگی، بالآمدگی و جابجایی افیولیت‌ها همراه بوده است. سنگ‌های ماگمایی ائوسن، دارای تنوع رخساره‌ای بوده و با توجه به فعال بودن ایران مرکزی از نظر زمین‌ساختی در طول ائوسن، در ارتباط با رخساره‌های نهشته شده‌ی مربوط به محیط‌های قاره‌ای تا دریائی، وجود رسوبات کم‌عمق دریایی و رخساره‌های قاره‌ای، نشانه‌ی تناوب پیشروی‌ها و پسروی‌های دریای کم‌عمق می‌باشد که روی مواد آتشفشانی را پوشانده است (درویش زاده، ۱۳۸۲). همراه این مجموعه‌های آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی، اندیس‌ها و کانسارهای متعددی از کانه‌زایی مس مشاهده شده است.

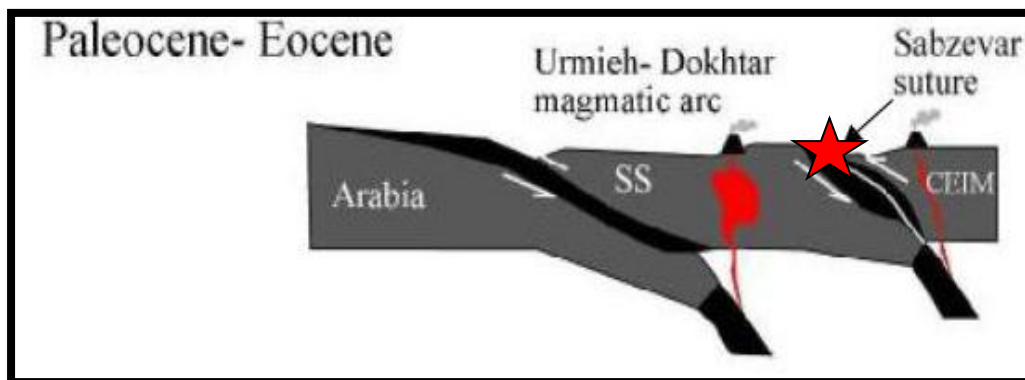
محدوده مورد مطالعه از نظر زیر پهنه‌های ساختاری، جزئی از پهنه ساختاری سبزوار محسوب می‌شود. سیر تکامل پهنه سبزوار بر اساس مدل ارائه شده بوسیله‌ی (Rosseti et al., 2010) از زمان کرتاسه‌ی زیرین تا ائوسن عبارت است از:

(۱) **کرتاسه زیرین:** شرایط زمین ساخت پهنه سبزوار را می‌توان با شروع فرورانش اقیانوس نئوتتیس در طول پهنه‌سندج- سیرجان در زمان کرتاسه‌ی زیرین بازسازی کرد (Ghasemi& Talbot, 2006; Agard et al., 2007; Rosseti et al., 2010). به‌طرف شمال‌شرق، این پهنه فرورانشی به اقیانوس سیستان وصل می‌شود و همین عامل باعث شکل‌گیری یک پهنه فرورانشی مرکب (اقیانوس نئوتتیس و اقیانوس سیستان) در طول حاشیه اوراسیا می‌شود (Ghasemi& Talbot, 2006; Agard et al., 2007; Rosseti et al., 2010).

(۲) **کرتاسه پسین:** در زمان کرتاسه پسین فرورانش درون اقیانوسی (Intra oceanic) در نئوتتیس توسعه یافته که با شکل‌گیری زمین‌درز جزایر کمائی (Island Arc- Continent Suturing) و راندگی افیولیت‌ها در طول حاشیه‌ی غربی (افیولیت‌های عمان) دنبال شده است. در ادامه فرورانش، حوضه کششی پشت‌کمائی (Extentional Back Arc basin) سبزوار- نائین، در بخش بالایی پلیت فرورانش نئوتتیس تشکیل شده که با فاز اصلی ماگماتیسم در پهنه‌سندج سیرجان همزمان بوده است (Agard et al, 2007; Omrani et al., 2008; Rosseti et al., 2010).

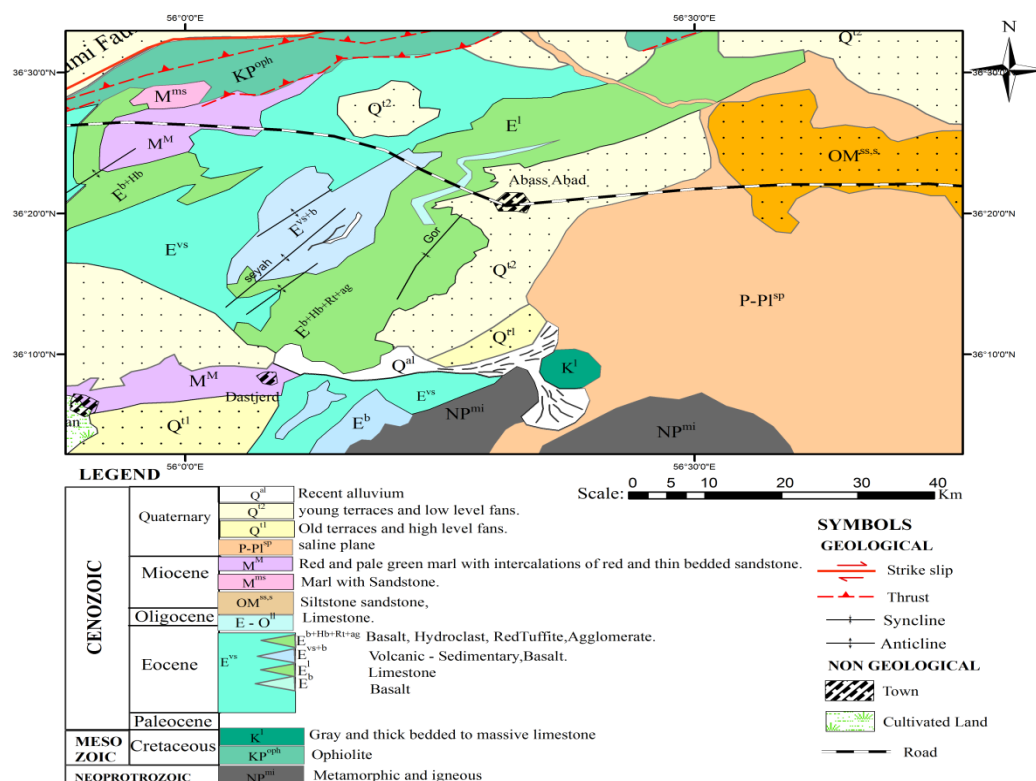
(۳) **در زمان پالئوسن - ائوسن:** زمین درزی بین ورقه ایران و عربی تشکیل شده است که حاصل بسته شدن اقیانوس Back-Arc سبزوار بین CEIM و حاشیه اوراسیا می‌باشد (Berbrian and Rosseti et al., 2010; Arvin et al., 2007; Omrani et al., 2008; Berbrian, 1981). در شکل ۲-۲

موقعیت منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

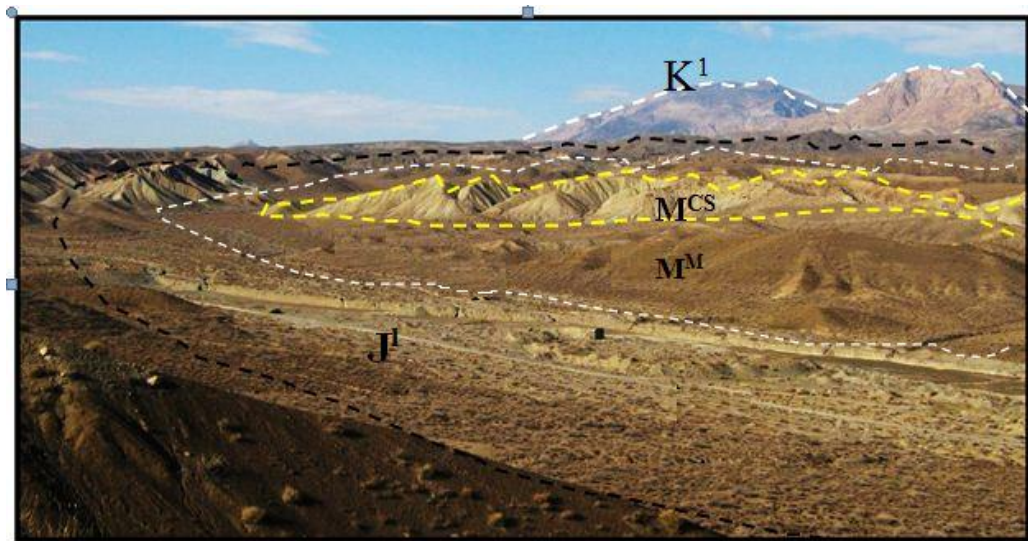


شکل ۲-۲) محیط زمین ساخت کمائی منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره) ناشی از زمین‌درز سبزوار در زمان پالئوسن - ائوسن (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰).

واحدهای سنگ چینه‌ای این محدوده، سنگ‌هایی از نئوپروتروزوئیک تا کواترنر را شامل می‌شود (شکل ۳-۲). در این منطقه سنگ‌های دگرگونه با سن نئوپروتروزوئیک، سری افیولیتی کرتاسه، سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی ائوسن زیرین تا بالائی، سنگ‌های رسوبی - آتشفشانی ائوسن بالایی - لیگوسن، سنگ‌های رسوبی میوسن و پلیوسن رخمون دارند (شکل ۴-۲).



شکل ۳-۲) نقشه بازسازی شده براساس مشاهدات صحرایی



شکل ۲-۴) تصویر صحرایی از توالی سنگی در دامنه جنوب شرقی کوه قبله، غرب جاده بیارجمند (دید به سوی شمال غرب).

واحدهای نتوپروتروزوئیک:

یکی از قدیمی‌ترین مناطق پی‌سنگ ایران مرکزی محسوب می‌شوند. این واحد سنگی در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود (منطقه بیارجمند)، در حاشیه شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد. این مجموعه از چهار گروه ترکیبی متاپلیتی، متاماسه‌سنگی، متاکربناتی تا بازیکی تشکیل شده است (شکل ۲-۳). شواهد صحرایی نشان می‌دهد پروتولیت این مجموعه متشکل از تناوب شیل و ماسه‌سنگ همراه با لایه‌های کربناته در بخش‌های بالایی بوده است. این مجموعه توسط تعدادی دایک دیابازی به سن اواخر نتوپروتروزوئیک-اوایل کامبرین قطع شده‌اند. که در طی دگرگونی به متابازیت‌های آمفیبول شیست، آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت تحول یافته‌اند. این توالی رسوبی و دایک‌های دیابازی تزریق شده در آن‌ها متحمل دگرگونی ناحیه‌ای دما-فشار متوسط (نوع باروین) شده‌اند (بلاغی و همکاران، ۱۳۹۳) (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵) نمایی از دایک‌های به سن ژوراسیک میانی که قطع کننده مجموعه دگرگونی - آذرین دلبر می باشد (جنوب شرق دستجرد - شمال شرق بیارجمند، دید به سمت جنوب شرق).

واحد کرتاسه در منطقه (K^1):

به‌طور کلی در جنوب ورقه در کوه دو شاخ، نازکوه و ارتفاعات یزدو رخنمون دارد. این واحد به‌طور عمده دربرگیرنده آهک ضخیم لایه تا توده‌ای با رنگ خاکستری است. در مواردی بخش زیرین آن‌ها از آهک نازک لایه پدید آمده است. بر پایه بررسی‌های دیرینه شناختی سن این واحد کرتاسه زیرین (آپسین - آلبین) معرفی شد و میکروفسیل‌های زیر در آن‌ها تشخیص داده شده است:

Orbitolina sp., *Dictyoconus* sp., *Cylindroporella* sp., *Miliolides*, *Textularids*,
Lithocodium aggregatum, *Dasycladacea* alge, shell fragments.

این واحد به‌طور عمده به‌صورت برون‌زدهای جدا از هم‌اند. ولی در جنوب یزدو به‌صورت ورقه راندگی بزرگی بر روی واحد ژوراسیک در شمال چاه شور به‌صورت ورقه راندگی کوچکی برون‌زد دارد. منطقه را واحدهای کرتاسه شامل واحدهای افیولیتی و آهک‌های توده‌ای و ضخیم لایه خاکستری تشکیل داده‌اند (شکل ۲-۳).

واحد افیولیتی (KP^{oph}):

در منطقه عباس‌آباد سنگ‌های پریدوتیتی و سنگ‌های همزاد (ورلیت، پیروکسیت و...) با عنوان

آمیزه‌های رنگی وجود دارد. بهترین رخنمون سنگ‌های مورد نظر را می‌توان در شمال فرومد دید. مجموعه افیولیتی شمال فرومد بخشی از یک نوار افیولیتی طویل است که از شمال سبزوار تا شمال عباس آباد شاهرود، در امتداد یکی از عمده‌ترین گسل‌های ایران (گسل میامی) برون‌زد دارد (شکل ۳-۲).

واحدهای سنوزوئیک:

بخش عمده واحدهای سنگ-چینه‌ای محدوده مورد مطالعه، دارای سن سنوزوئیک بوده و شامل واحدهایی از ائوسن، اولیگوسن، میوسن و کواترنری می‌باشند (شکل ۳-۲). سنگ‌هایی آتشفشانی و آهک‌ها، عمده سنگ‌های ائوسن در این محدوده را تشکیل می‌دهند. واحد E^{vs+b} دارای گسترش فراوانی است. تفکیک بخش آتشفشانی-رسوبی از بخش گدازه در توالی مذکور به دلیل تکرار توالی به معنی واقعی امکان‌پذیر نیست. این واحد به‌طور عمده در دو یال ناودیس‌های میان‌دشت و سفیدسنگ و تاقدیس‌های میان‌دشت و چاه گودال رخنمون دارد و دربرگیرنده برش و توف برش با ترکیب بازالتی تا تراکی آندزیتی است. واحد $E^{B+Hb+Rt+ag}$ شامل بازالت، هیدروکلاست، توف قرمز رنگ، و آگلومرا است. ستبرای واحد توف قرمز از چند متر تا حداکثر ۲۰ متر و به رنگ قرمز تیره دیده می‌شود. این واحد شمال مزرعه الهاک دیده می‌شود. واحدهای آگلومرای نیز به صورت متوالی در بین توالی آتشفشانی قرار دارند (شکل ۳-۲). در افق‌های آهکی بالایی مجموعه آتشفشانی رسوبی منطقه مورد مطالعه چند مورد آهک کرم مایل به زرد حاوی فسیل‌های نومولیت، پکتن و شکم‌پایان مشاهده می‌شود که بیانگر محیط‌های نسبتاً کم‌عمق می‌باشد در منطقه غرب عباس آباد (شمال شرق معدن چغندر سر و در ابتدای جاده بیارجمند تا سه راهی بیارجمند) رخنمون دارند (شکل ۳-۲). واحدهای کواترنر به‌طور معمول بر روی واحدهای میوسن قرار داشته و دربرگیرنده تراس‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، سفره‌های رسی همراه با سفره‌های نمکی است (شکل ۳-۲).

۳-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

محدوده مورد مطالعه در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد در محدوده شمال خاوری پهنه ساختاری ایران مرکزی اشتوکلین^۱ (۱۹۶۸) جای گرفته است. عملکرد جنبش‌های کششی و پیدایش حوضه‌های بازیک اقیانوسی سبب جایگیری مجموعه افیولیتی در کرتاسه شده است. در گامه‌های پایانی و آغازین سنوزوئیک فاز لارامید باعث بسته شدن حوضه‌های ژرف اقیانوسی و در هم ریختگی زمین‌ساخت ردیف‌های لیتوسفر اقیانوسی و تشکیل آمیزه افیولیتی را فراهم آورده است. به دنبال فاز فشارشی، انبساط پوسته در ائوسن سبب ایجاد شکستگی‌های کششی در دوره ائوسن و فوران‌های آتشفشانی به‌طور عمده بازیک شده است. فرآورده این تکاپو به‌طور عمده آکالان بوده است و در شرایطی به‌طور کلی قاره‌ای تا کم‌عمق بیرون ریخته شده‌اند. فرآورده این تکاپو پیدایش حجم‌هایی شایان توجه از گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری بوده است. آرامش نسبی این تکاپوها سبب نهشته شدن نهشته‌های آتشفشانی رسوبی و یا باز ایستادن نهشته‌گذاری شده است. جنبش‌های زمین‌ساختی آلپی پایانی در میوسن و پلیوسن سبب ایجاد تغییر در محیط رسوب‌گذاری و نهشته شدن نهشته‌های آواری مولاس و قاره‌ای و چین‌خوردگی و گسلش آن‌ها شده است. حاصل عملکرد این جنبش‌ها، گدازه‌های تراکیتی پس از ائوسن در نزدیکی‌های مزرعه سفید سنگ بوده است. گسل میامی در پایانی‌ترین گستره باختر ورقه مهم‌ترین عنصر ساختمانی است که در پایانی‌ترین گستره شمال ورقه به‌صورت پهنه‌ای گسل خورده، محدوده ورقه عباس‌آباد را نیز زیر تأثیر خود برده است.

شکستگی‌های منطقه را می‌توان به سه دسته گروه‌بندی کرد:

۱- شکستگی‌های با روند شمال باختری - جنوب خاوری که به‌طور عمده گسل‌هایی عادی یا راستا لغزند که عملکردهای راست‌گرد دارند و برخی چپ‌گرد بوده‌اند.

۲- شکستگی‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری و یا خاوری - باختری با مؤلفه‌های راست‌گرد و چپ‌گرد، و در مواردی (نظیر محدوده طاق‌دیس سیاه کوه) گسله‌های دسته نخست را قطع کرده‌اند.

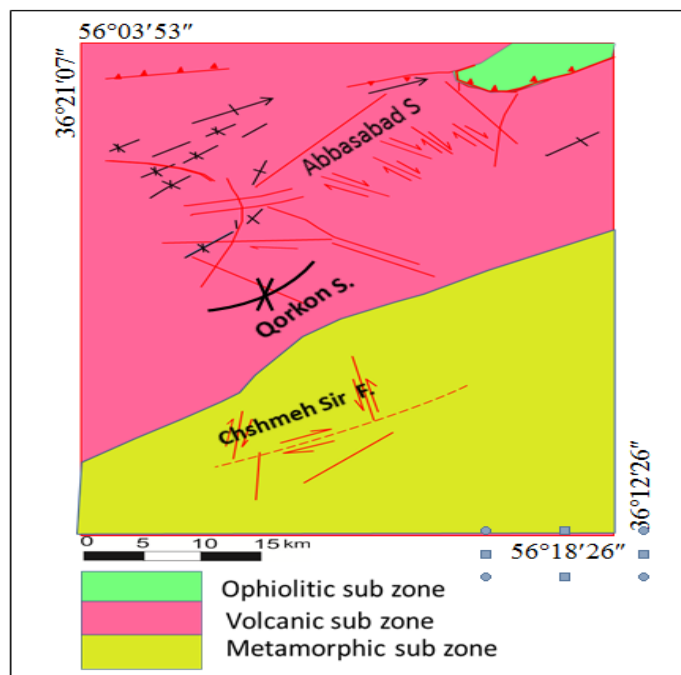
1 - Stocklin

این شکستگی‌ها از مهم‌ترین گسل‌های منطقه‌اند و در شمال منطقه به صورت راندگی عمل کرده و سبب راندگی مجموعه افیولیتی به زیر واحدهای ائوسن شده‌اند. در جنوب ورقه، همگام با جابجایی واحدهای دگرگونه، همبری زمین ساخت آن‌ها را با واحدهای هم‌ارز ژوراسیک فراهم کرده‌اند. از این گسل‌ها می‌توان به گسل چاه حاجی در شمال، گسل سیاه کوه و گسل چشمه سیر اشاره کرد.

۳- گسل‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری تا شمالی - جنوبی که عملکرد عادی یا معکوس دارند و مهم‌ترین آن‌ها گسل کال آبدار است که سبب حذف یال خاوری طاق‌دیس کال آبدار شده است. در منطقه چین‌خوردگی‌هایی فراوان به صورت طاق‌دیس و ناودیس (که در مواردی پلانچ نیز دارند) دیده می‌شود که اندازه زاویه محور آن‌ها با گسل میامی به‌سوی شمال کم می‌شود و به‌موازات نزدیک شدن به این گسل تمایل موازی واضح‌تر می‌شود. چین‌خوردگی‌های محلی فراوانی نیز در منطقه دیده می‌شوند که محور آن‌ها زاویه کمی با گسل‌های منطقه می‌سازد (خلعتبری، ۱۳۸۰).

۲-۳-۱- گسل راندگی میامی

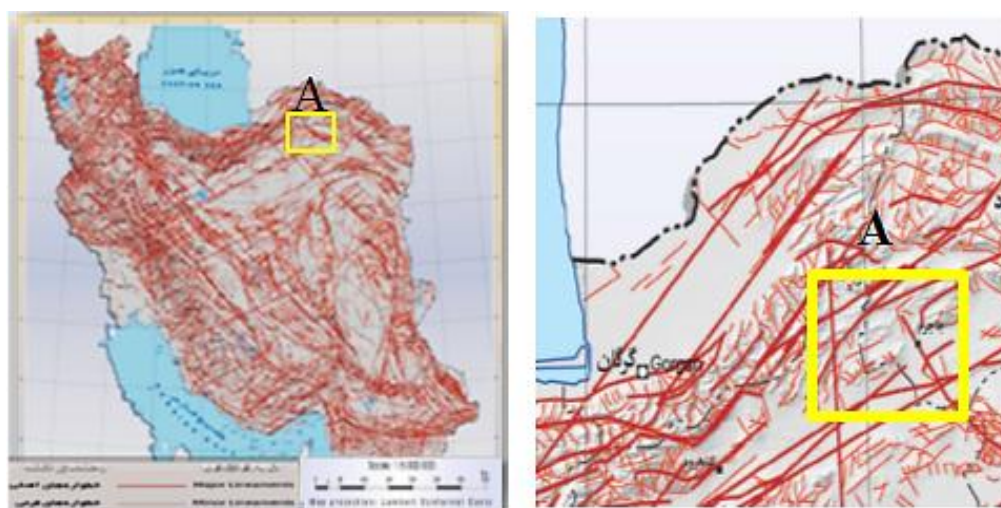
گسل میامی یا گسل شاهرود با روند تقریباً شرقی - غربی، حد جداکننده پهنه بینالود (البرز شرقی) از ایران مرکزی است. حدشمالی این گسل بیشتر زمین‌های آبرفتی و کوه‌پایه‌ای، ولی حد جنوبی آن کوهستانی و در برخی نقاط (جنوب میامی عباس‌آباد و فریمان) جداکننده ملانژهای افیولیتی از واحدهای دیگر است (۲-۶). بنا به عقیده اشتامپلی (۱۹۷۸)، گسل شاهرود تا آخرین مراحل چین‌خوردگی آلپی در پلیوسن حالت راست‌گرد داشته است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰).



شکل ۲-۶) شمایی از ساختارهای اصلی منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰).

۲-۳-۲- خطواره‌های زمین‌ساختی

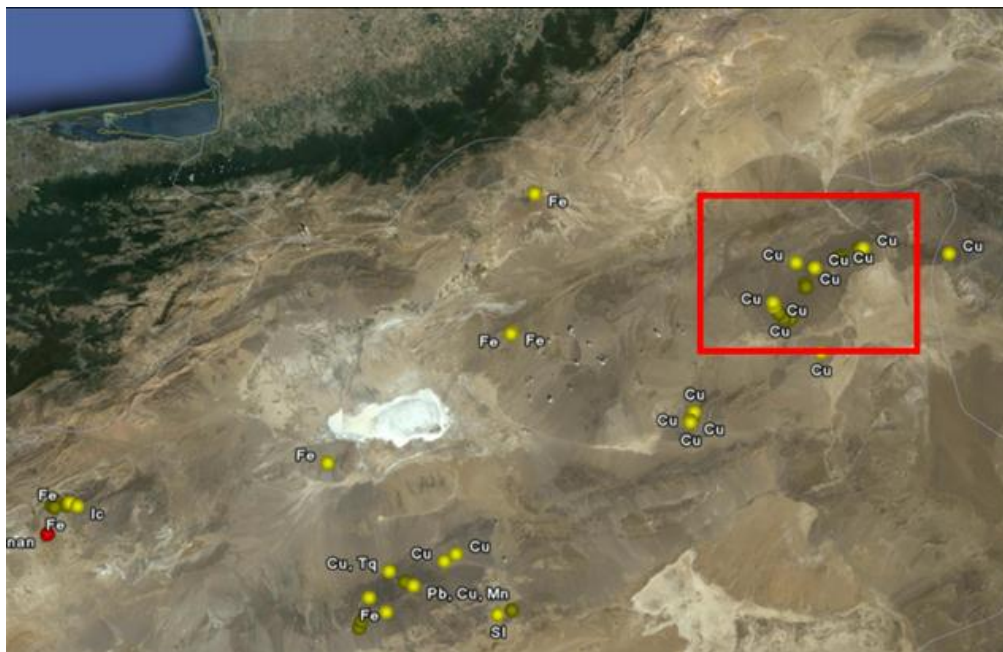
نظر به اینکه عارضه‌های خطی دارای فرکانس زیادی هستند، بنابراین از سایر عارضه‌ها قابل تشخیص می‌باشند و با ابزار و یا برنامه‌های نرم‌افزاری مانند فیلترینگ نیز می‌توان آن‌ها را بارزتر نمود (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷) بخشی از نقشه خطواره‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور).

۴-۲- زمین‌شناسی اقتصادی

با توجه به فعالیت‌های زمین‌ساختی و ماگماتیسم در گستره ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس آباد و موقعیت این ورقه در پهنه‌های ساختاری ایران، شاهد کانه‌زایی‌ها و تشکیل کنسارهای متنوعی در این ناحیه هستیم که می‌توان به کانه‌زایی‌های مس، آهن و تشکیل کنسارهای منیزیت، زئولیت و ژئپس اشاره نمود. در این بخش با معرفی کانه‌زایی‌ها و کنسارهای عباس آباد به جایگاه زمین‌شناسی اقتصادی آن پرداخته شده است در تصویر ماهواره‌ای زیر تعدادی از اندیس‌های معدنی مرتبط با نوار شمالی ایران مرکزی مشخص شده است (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲) تعدادی از اندیس‌های معدنی مشخص شده در ارتباط با نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی در تصویر ماهواره‌ای (گوگل ارث) (منطقه مورد مطالعه توسط کادر مشخص شده است).

پتانسیل‌های اقتصادی منطقه عباس‌آباد دربرگیرنده نشانه‌ها و کنسارهایی است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

آهن (Fe): به صورت رگچه‌های پر شده با اولیژیست در باختر نازکوه دیده می‌شود و گمان می‌رود منشأ هیدروترمالی داشته باشد.

منیزیت (Mg): در شمال عباس آباد، در درون، رگه‌ها و رگچه‌های از منیزیت به طول چند متر

دیده شده که در بیشتر کانی‌ها استخراج شده و تراشه‌های فراوانی در اطراف محل مورد نظر حفر شده است. منیزیت همراه با کلسیت اصلی بوده است که همراه با آن سرپانتین و مقدار ناچیزی تالک نیز دیده می‌شود.

زئولیت (Zeo): به گونه‌ای پراکنده در تمامی سنگ‌های آتشفشانی گدازه‌ای و آذرآواری ائوسن منطقه دیده می‌شود. این کانی به‌طور عمده از نوع ناترولیت است.

مس (Cu): وجود سرباره‌های مس در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس آباد، توجه کاوشگران این فلز را به خود جلب کرده است. در منطقه عباس آباد شاهد ده‌ها کانسار و نشانه‌های معدنی مس هستیم که این کانه‌زایی‌ها بیشتر در واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی رخ داده است کانه‌زایی‌ها عمدتاً در غالب کانه‌های مس طبیعی، کالکوسیت و مالاکیت است.

در جنوب طاق‌دیس می‌اندشت در شمال چاه گودال در داخل واحدهای بازالتی و توفی در محدوده‌ای شایان انباشتگی‌هایی از کانه‌های مس به چشم می‌خورد. برداشت از کانسارهای مس واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی در گذشته صورت می‌گرفته است. بهره‌برداری از آن‌ها به گذشته‌های دور برمی‌گردد زیرا گواه آن‌ها، تونل‌ها، کنده‌کاری‌ها و حفاری‌های بی‌شمار در مناطق یادشده است. در همه مناطق نامبرده شده کالکوسیت کانه اصلی است و در مواردی با مالاکیت و کوولیت همراه است. در مواردی نیز همراه با مجموعه یادشده، مگنیتیت و هماتیت نیز دیده می‌شود که به‌طور عمده رگچه‌های سنگ میزبان را پر کرده‌اند (خلعتبری، ۱۳۸۰).

۵-۲- زمین‌شناسی و موقعیت کانسارهای مورد مطالعه

۵-۲-۱- کانسار چغندر سر شمالی

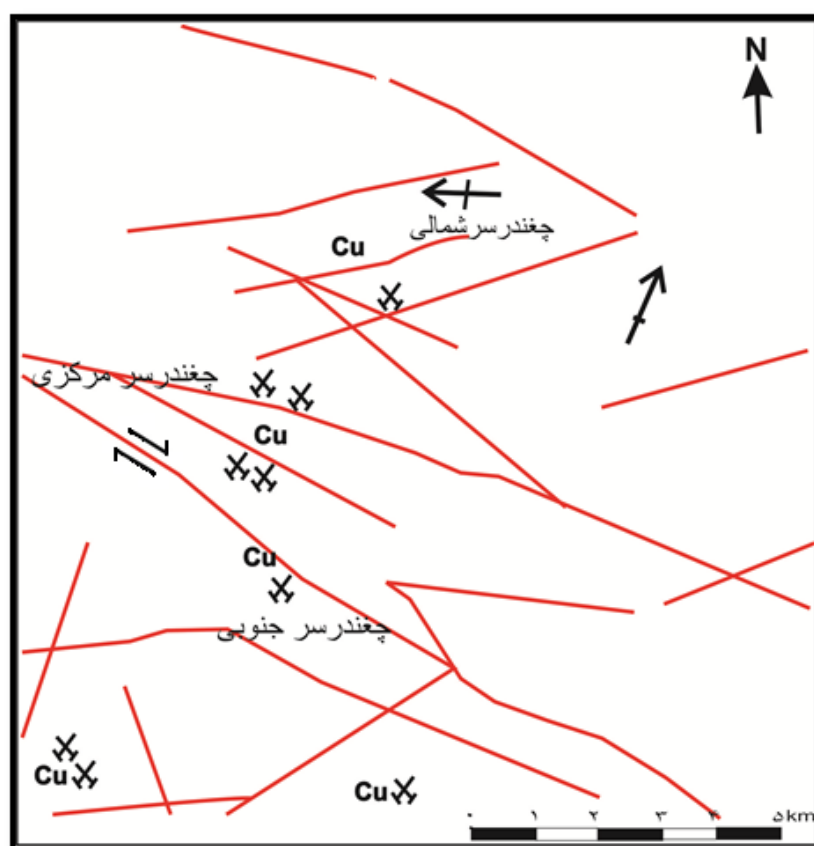
در این منطقه گدازه‌های پورفیری، تراکی آندزیتی، بازالتی، آندزیتی - بازالتی و تراکی آندزیتی به سن ائوسن رخنمون دارند. در بازدیدهای صورت گرفته نیز واحد تراکی بازالتی به طور گسترده و به رنگ سبز تیره تا خاکستری تیره در منطقه مشاهده گردید. فنوکریست‌های پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز در سطح این واحد با چشم غیر مسلح قابل تشخیص هستند. در این منطقه شاهد رخداد کانه‌زایی مس در واحد بازالتی تا تراکی آندزیت بازالتی هستیم در تصویری شکل ۹-۲ از این منطقه نشان داده شده است.



شکل ۹-۲) رخنمونی از واحد بازالتی در منطقه چغندر سر شمالی

گسل چغندر سر در جنوب کلاته فرهنگ در زیر پهنه ولکانیک‌های منطقه عباس‌آباد به همراه چند گسل فرعی دیگر باعث جابه‌جایی ولکانیک‌های ائوسن منطقه مانند تراکی بازالت‌ها، بازالت، گدازه‌های مگاپورفیریک و پوفیریک و دایک‌های تغذیه‌کننده آن‌ها شده است. گسل‌های کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس در این منطقه وجود دارد که هریک از این گسل‌ها روند خاصی را دنبال می‌کنند (شکل ۱۰-۲). به طور کلی، تشکیل منطقه مورد مطالعه متأثر از دو گسل بزرگ میامی در شمال منطقه و گسل جنوب بیارجمند در جنوب منطقه مذکور می‌باشد. گسل میامی با روند شمال

شرقی - جنوب غربی، فعالیت راست‌گرد داشته و تا پلیوسن عملکرد آن به اثبات رسیده است (اشتامپلی^۱، ۱۹۷۸). حد شرقی این گسل فرورفتگی تربت‌جام بوده و در قسمت‌های غربی (جنوب غرب شاهرود) زیر رسوبات عهد حاضر و کویر دامغان ناپدید می‌گردد (نبوی، ۱۳۵۵). کانه‌زایی اصولاً در این منطقه ارتباط تنگاتنگی با گسل‌خوردگی دارد که در فصل سوم به طور مفصل بحث خواهد شد.



شکل ۲-۱۰) بخشی از نقشه گسل‌های منطقه چغندر سر شمالی بر پایه نقشه عباس‌آباد ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست.

همان‌طور که در شکل ۲-۱۰ مشاهده می‌شود بر اثر گسل‌خوردگی متعدد در این منطقه پهنه‌های برشی ایجاد شده است. همین پهنه‌های برشی در مراحل بعدی بهترین مکان برای عبور و چرخش سیالات کانه‌دار در این منطقه بوده‌اند.



شکل ۲-۱۱) تصویری از گسل خوردگی و ایجاد پهنه‌های برشی در منطقه چغندر سرشمالی

زئولیت‌ها حفرات و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی را در مراحل آخر فعالیت‌های گرمابی پرکرده‌اند. در اثر فعل و انفعالات شیمیایی سیالات قلیایی با شیشه‌های آتشفشانی و پلاژیوکلازهای، محلول‌های غنی از مواد قلیایی به وجود آمده که در شرایط فیزیکوشیمیایی خاص امکان نهشته شدن زئولیت‌ها را از این محلول‌ها فراهم کرده است. به عبارت دیگر شیشه‌های آتشفشانی و پلاژیوکلازها به مرور زمان در محلول‌های قلیایی انحلال یافته‌اند. این عمل باعث افزایش غلظت یون‌های سدیم و آلومینیوم در داخل آب‌های درون منفذی شده و در مراحل بعدی از این محلول‌ها زئولیت به صورت رسوب جدا شده است (فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۰). در شکل ۲-۱۲ زئولیت با بافت و ساخت شعاعی در درون حفرات و مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۲) تصویری از زئولیت با ساختار شعاعی درون حفرات بازالت‌ها (ب) تصویری از حضور بلورهای داری بافت شعاعی در زئولیت‌های موجود در حفرات سنگ‌های بازالتی (XPL).

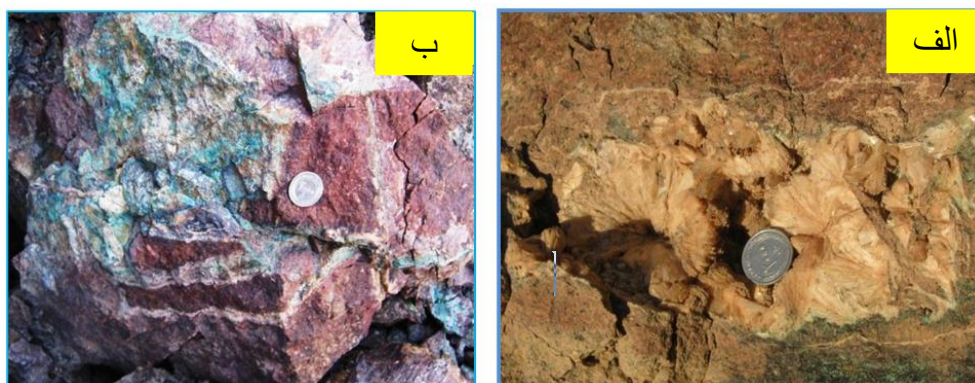
در این منطقه فنوکریست‌های اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز با چشم غیر مسلح قابل تشخیص هستند. از ویژگی‌های بارز منطقه چغندر سر شمالی وجود پلاژیوکلازهای درشت با ابعاد ۲ تا ۳ سانتی-متر می‌باشد. آنالسیم به صورت بلورهای سفید شفاف در برخی حفرات یافت می‌شوند (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳) الف- تصویری از بازالت حاوی فنوکریست‌های فراوان پلاژیوکلاز ب- نمونه دستی بازالت‌های داری حفرات پر شده از آنالسیم و کلسیت

۲-۵-۲- کانسار چغندر سر مرکزی

این منطقه نیز مانند چغندر سر شمالی در بخش گدازه‌ای نهشته‌های آتشفشانی رسوبی ائوسن واقع شده است. با این تفاوت که در این منطقه درصد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز کمتر از چغندر سر شمالی می‌باشد. از طرفی مقدار ژئولیت‌زایی و دگرسانی هماتیستی شدن در این منطقه بیشتر می‌باشد (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۴) حضور ژئولیت‌هایی با ساخت شعاعی به رنگ سفید و شیری رنگ درون سنگ‌های آتشفشانی، ب- تصویری از تأثیر و عملکرد عبور و چرخش سیالات گرمایی در میان شکستگی‌های بازالت‌های مورد مطالعه

۲-۵-۳- کانسار چغندر سر جنوبی

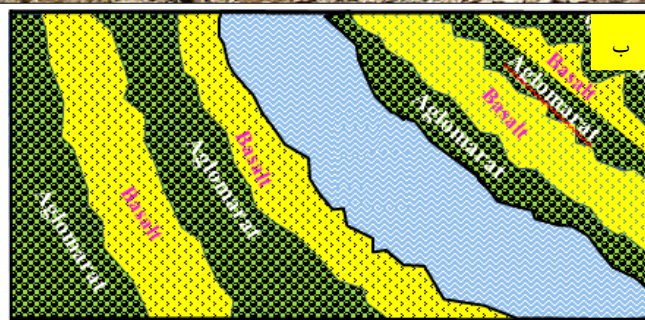
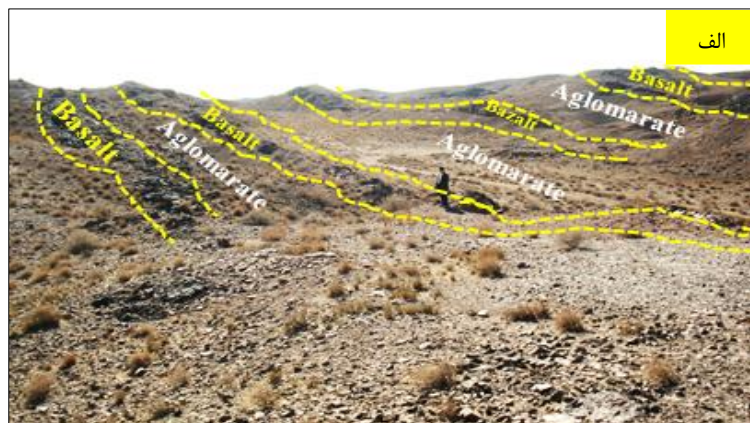
در بازدیدهای به عمل آمده در جنوب شرق عباس آباد در منطقه چغندر سر جنوبی، توالی ضخیمی از واحد آگلومرای و بازالت مشاهده گردید، این توالی در گسترده وسیعی از منطقه به صورت لایه‌های تقریباً منظمی از آگلومرا و بازالت تکرار می‌شود. واحد آگلومرائی، موجود در منطقه به رنگ سبز تا خاکستری برون زد دارد. این واحد فاقد هرگونه چینه‌بندی است و دارای قطعات تراکی بازالتی و تراکی آندزیتی با سخت شدگی نسبتاً ضعیف می‌باشد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در این قطعات، با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند. اندازه‌ی قطعات آگلومرای و هیدروکلاستی از چند سانتی‌متر تا چندین متر تغییر می‌کند. در برخی از قسمت‌ها توالی آگلومرای با دگرسانی همراه می‌باشد. که در این توالی به سختی می‌توان فنوکریست‌ها را تشخیص داد (شکل ۲-۱۵). واحد تراکی بازالتی به طور گسترده و به رنگ سبز تیره تا خاکستری تیره در منطقه رخنمون دارد (شکل ۲-۱۶). اولیوین بازالت با ریخت‌شناسی مرتفع‌تر نسبت به آگلومراها، در بین این واحد قرار دارند. واحد اولیوین بازالتی در نمونه دستی به رنگ سیاه تا خاکستری تیره بوده و فنوکریست‌های اولیوین ایدنگزیتی شده در سطح سنگ به رنگ قرمز دیده می‌شوند. این تناوب سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی و مقاومت متفاوت در برابر فرسایش موجب شده است که سنگ‌های آذرآواری معمولاً زمین‌های مسطح و سنگ‌های ولکانیکی مناطق مرتفع‌تر و صخره‌ای را تشکیل دهند (شکل ۲-۱۷).



شکل ۲-۱۵) واحدهای آگلومرای با سخت‌شدگی نسبتاً ضعیف موجود در منطقه چغندر سر.



شکل ۲-۱۶) واحدهای تراکی بازالتی با ضخامت زیاد و ریخت‌شناسی مرتفع.



شکل ۲-۱۷) الف- دورنمای از توالی آگلومرا و بازالت در منطقه (دید به سمت شمال غرب). ب- تصویر بازسازی شده از رخنمون‌های سنگی در محدوده معدن چغندر سر جنوبی.

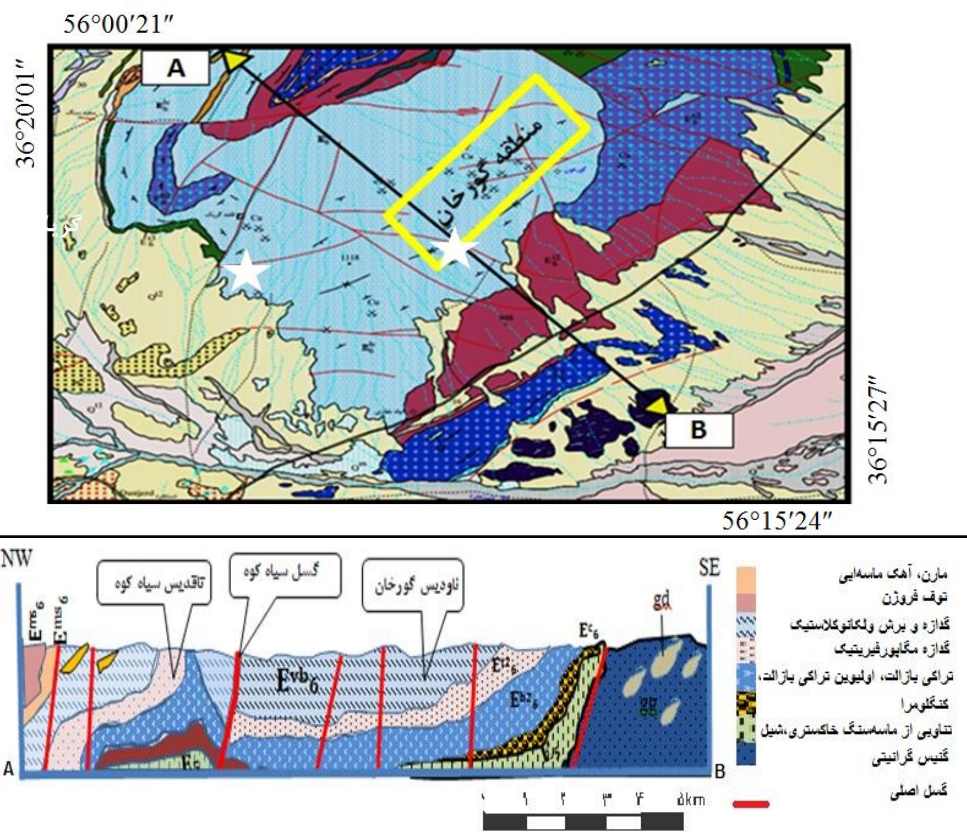
۲-۵-۴- کانسار گریک و گورخان

در منطقه گورخان پیکره‌های سنگی کانسار شامل سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آذرآواری به سن ائوسن میانی تا پایانی می‌باشند، سنگ‌های آذرآواری نسبت به سایر سنگ‌ها از حجم بیشتری

برخوردارند و شامل آگلومرا و لایه‌های بازالتی می‌باشند (شکل ۲-۱۸-الف). سنگ‌های آتشفشانی منطقه نیز شامل، اولیوین بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزی بازالت و تراکی آندزیت می‌باشند. در منطقه گریک بازالت‌های اتوسن با مورفولوژی ملایم‌تری نسبت به گورخان رخنمون دارند (شکل ۲-۱۸-ب). در شکل ۲-۱۹ نقشه زمین‌شناسی منطقه گورخان و نیمرخ (خلعتبری، ۱۳۸۰) این منطقه نشان داده شده است.

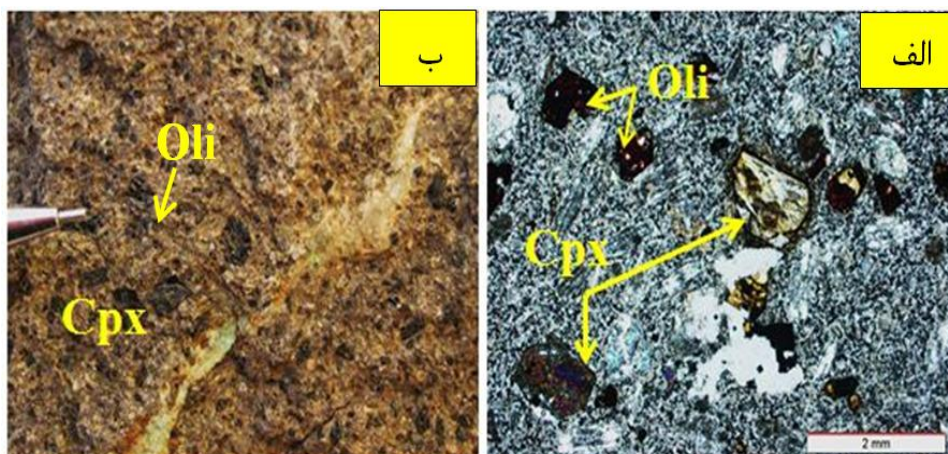


شکل ۲-۱۸) الف- مورفولوژی نسبتاً خشن در منطقه گورخان، ب- مورفولوژی ملایم در منطقه گریک



شکل ۲-۱۹) نقشه و نیمرخ ناودیس گورخان در جهت شمال غرب - جنوب شرق (بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد) (نقشه و نیمرخ از خلعتبری، ۱۳۸۰).

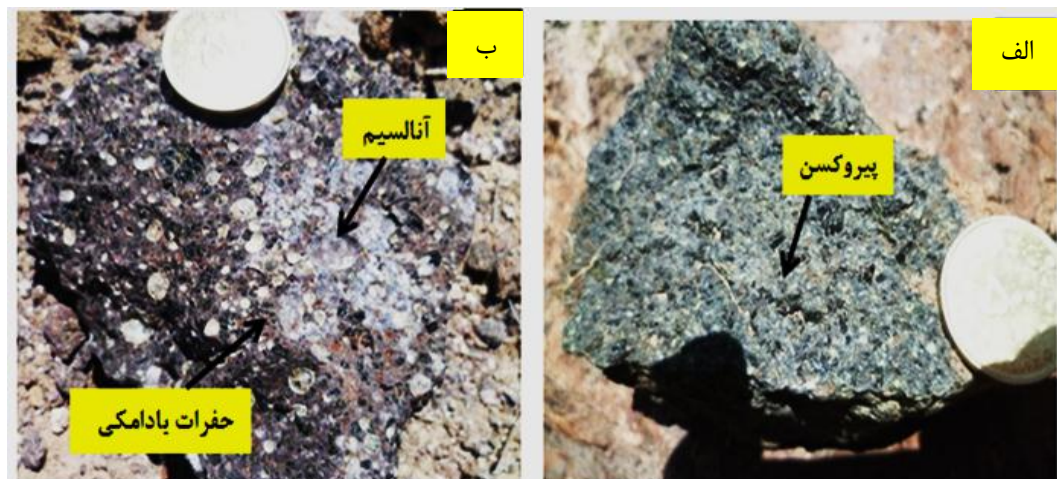
کانه‌زائی مس در این مناطق در درون واحد تراکی بازالتی و آگلومراها مشاهده می‌شود. در قسمت‌هایی که برش‌هایی آتشفشانی تشکیل شده‌اند، کلریت‌زایی گسترده‌تری مشاهده می‌شود. فنوکریست‌های پیروکسن و اولیوین در سطح نمونه‌های این واحد با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است. که بلورهای درشت پیروکسن عمدتاً از نوع اوژیت می‌باشند (شکل ۲-۲۰ الف و ب).



شکل ۲-۲۰ الف- تصویری از بازالت‌های حاوی پیروکسن و الیوین در نمونه میکروسکوپی ب- نمونه صحرایی از بلورهای اولیوین و پیروکسن در منطقه گورخان

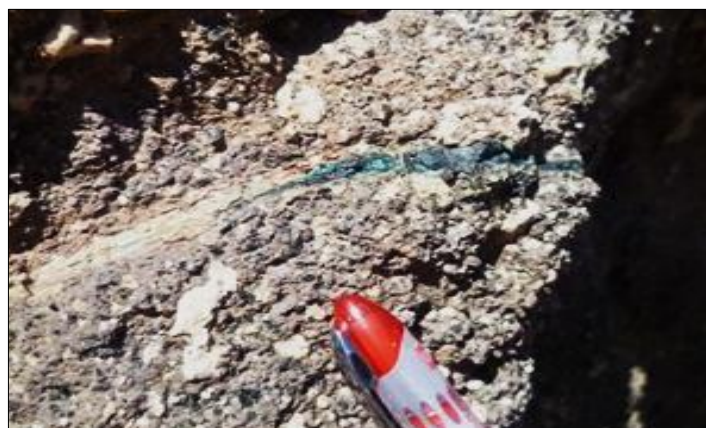
۲-۵-۵- کانسار نرتلویی

با توجه به بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری‌های صورت گرفته، سنگ‌های میزبان کانسار نرتلویی بازالت تا تراکی آندزیت بازالت می‌باشند. بیشترین کان‌زایی این منطقه به صورت مس خالص و مالاکیت هستند که در بیشتر نقاط کان‌زایی‌های صورت گرفته با کلسیت همراه است. بازالت‌های این منطقه حاوی مقدار فراوانی پیروکسن می‌باشند (شکل ۲-۲۱، الف)، در اغلب موارد حفرات موجود در این بازالت‌ها با آنالسیم و کلسیت پر شده است (شکل ۲-۲۱ ب).



شکل ۲-۲۱) الف- نمونه دستی از پروکسن بازالت‌های موجود در منطقه، ب- حفرات پر شده در بازالت‌ها توسط آنالسیم و کلسیت.

علاوه بر سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه که از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری تشکیل شده است. مطالعه درزه‌ها و شکستگی‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در محدوده نرتلویی درزه‌های فراوان و همچنین شکستگی‌های فرعی زیادی در اطراف رگه‌ها به وجود آمده است (شکل ۲-۲۲).

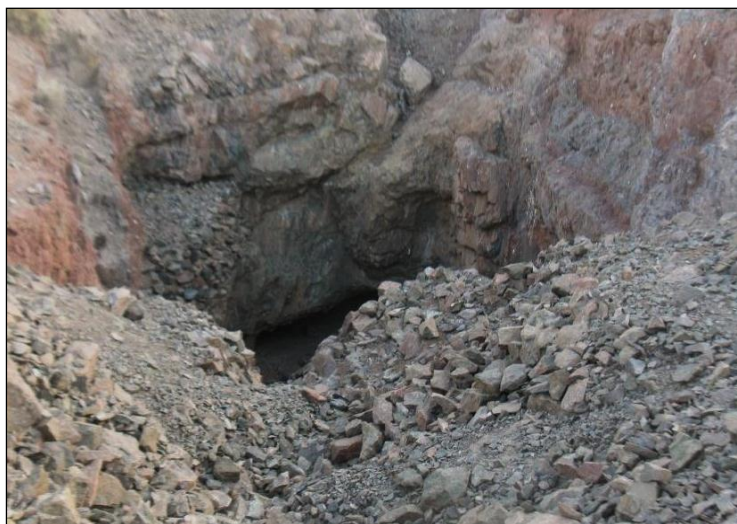


شکل ۲-۲۲) درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه که با سولفیدهای مس پر شده‌اند.

۲-۵-۶- کانسار استغانی

در منطقه استغانی سنگ‌های آتشفشانی نسبت به سایر سنگ‌ها از حجم بیشتری برخوردار هستند و شامل، اولیوین بازالت، تراکی بازالت و تراکی آندزی بازالت می‌باشند در ضمن سنگ‌های آذرآواری شامل آگلومرا و لاپیلی کریستال توف هستند (شکل ۲-۲۳). همان‌طور که در شکل ۲-۲۴ مشاهده

می‌شود در بین بازالت‌ها واحد کریستال لیتیک توفی قرار گرفته است. در منطقه استغانی واحدهای آتشفشانی از ضخامتی حدود ۳۰ تا ۷۰ متر تشکیل شده‌اند و ضخامت واحدهای توفی معمولاً کمتر و حداکثر ۲ متر می‌باشد. این لایه‌های توفی در تمام مناطق رخنمون ندارد، تنها در برخی مناطق با شیب ملایم بر روی بازالت‌ها قرار گرفته است.

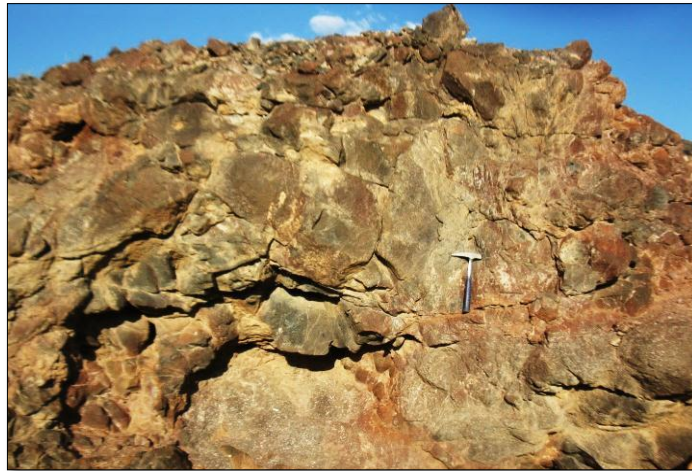


شکل ۲-۲۳ تصویری از منطقه معدنی کانسار استغانی



شکل ۲-۲۴ رخنمونی از بازالت‌ها و واحدهای توفی (کریستال لیتیک توف) موجود در منطقه استغانی

در برخی از قسمت‌ها منطقه استغانی توالی ضخیمی از بازالت‌ها همراه با آگلومرا فراوان دیده می‌شود. رنگ این واحد خاکستری تا خاکستری تیره است و ضخامت آن به بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد (شکل ۲-۲۵).



شکل ۲-۲۵) بازالت‌های ضخیم همراه با واحد بین لایه‌ای از آگلومرای در منطقه استغانی

۲-۵-۷- کانسار عباس‌آباد

در منطقه عباس‌آباد چین‌خوردگی‌های فراوان به صورت طاق‌دیس و ناودیس دیده می‌شوند. واحدهای شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرای، آهک‌توفی، آهک نومولیت‌دار و گدازه به صورت یک ناودیس میل‌دار چین‌خورده‌اند (شکل ۲-۲۶).

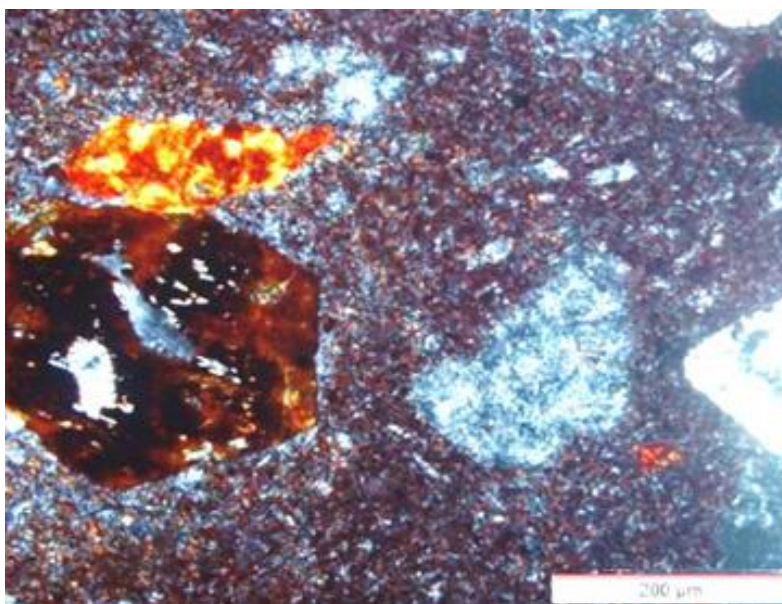


شکل ۲-۲۶) چین‌خوردگی و لایه‌بندی در منطقه عباس‌آباد در تصویر صحرایی

گدازه‌های بازالتی در منطقه مورد مطالعه به رنگ خاکستری تیره تا سیاه دیده می‌شوند که فنوکریست‌های پیروکسن و بلورهای اولیوین با چشم غیرمسلح به راحتی قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۸). بلورهای اولیوین موجود در تراکی بازالت‌ها عمدتاً دگرسان شده و انحلال و خوردگی در آن‌ها دیده می‌شود، تجزیه شدگی در حاشیه بلورها بیشتر است. در امتداد این شکستگی‌ها، ایدنگزیتی شدن به وقوع پیوسته و تا مرکز بلور ادامه دارد (شکل ۲-۲۸).



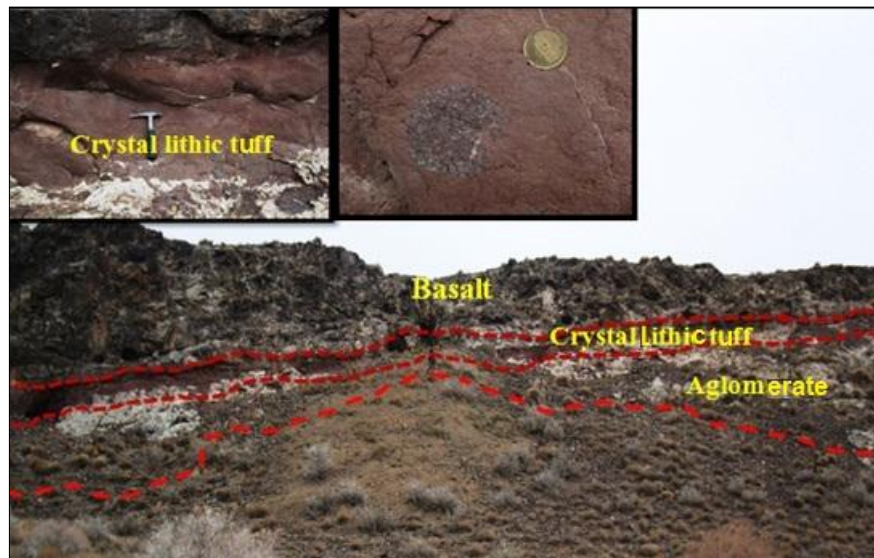
شکل ۲-۲۷) وجود فنوکریست‌های اولیوین و پیروکسن در بازالت‌ها.



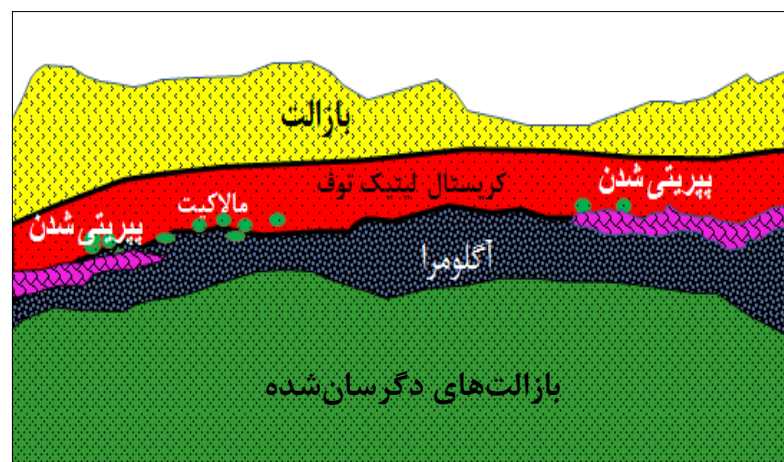
شکل ۲-۲۸) تجزیه شدگی در حاشیه بلور و ایدنگزیتی شدن بلورهای اولیوین.

۲-۵-۸- کانسار الهاک (۱)

در این منطقه توالی ضخیمی از واحد آگلومرای به همراه بازالت‌هایی با میان لایه‌ی قرمز رنگ، کریستال لیتیک توفی مشاهده شد (شکل ۲-۲۹ و شکل ۲-۳۰). در قسمت زیرین لایه قرمز آگلومرا و در قسمت بالایی لایه قرمز، حجم زیادی از بازالت‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲۹) تصویری از آگلومرا و کریستال لیتیک توفیت‌های قرمز رنگ و بازالت‌های موجود در شمال منطقه الهاک ۱



شکل ۲-۳۰) تصویر بازسازی شده از لایه‌های قرمز همراه با آگلومرا و بازالت‌های موجود در منطقه الهاک (۱)

۲-۵-۹- کانسار الهاک (۲)

در این منطقه بازالت‌های ائوسن همراه با آهک نومولیت‌دار به رنگ کرم تا خاکستری و با ضخامت تقریباً ۵ متر در منطقه رخنمون دارد. در محل تماس گدازه با آهک، نومولیت‌ها فراوان‌اند که نشان‌دهنده فوران گدازه در محیط آبی و بر روی آهک‌ها می‌باشند. این امر باعث ایجاد جوش سنگ‌هایی در این منطقه شده است (شکل ۲-۳۱). ظاهراً انباشتگی نومولیت‌های درشت و ریز در کنار یکدیگر حاکی از تغییر شرایط ناگهانی محیط زیست و مرگ دسته جمعی آنهاست (شکل ۲-۳۲). سنگ‌های رسوبی عمدتاً شامل آهک نومولیت‌دار و آهک توفی با سن ائوسن میانی تا پسین هستند، که نشان‌دهنده محیط دریایی کم‌عمق در این زمان می‌باشند.



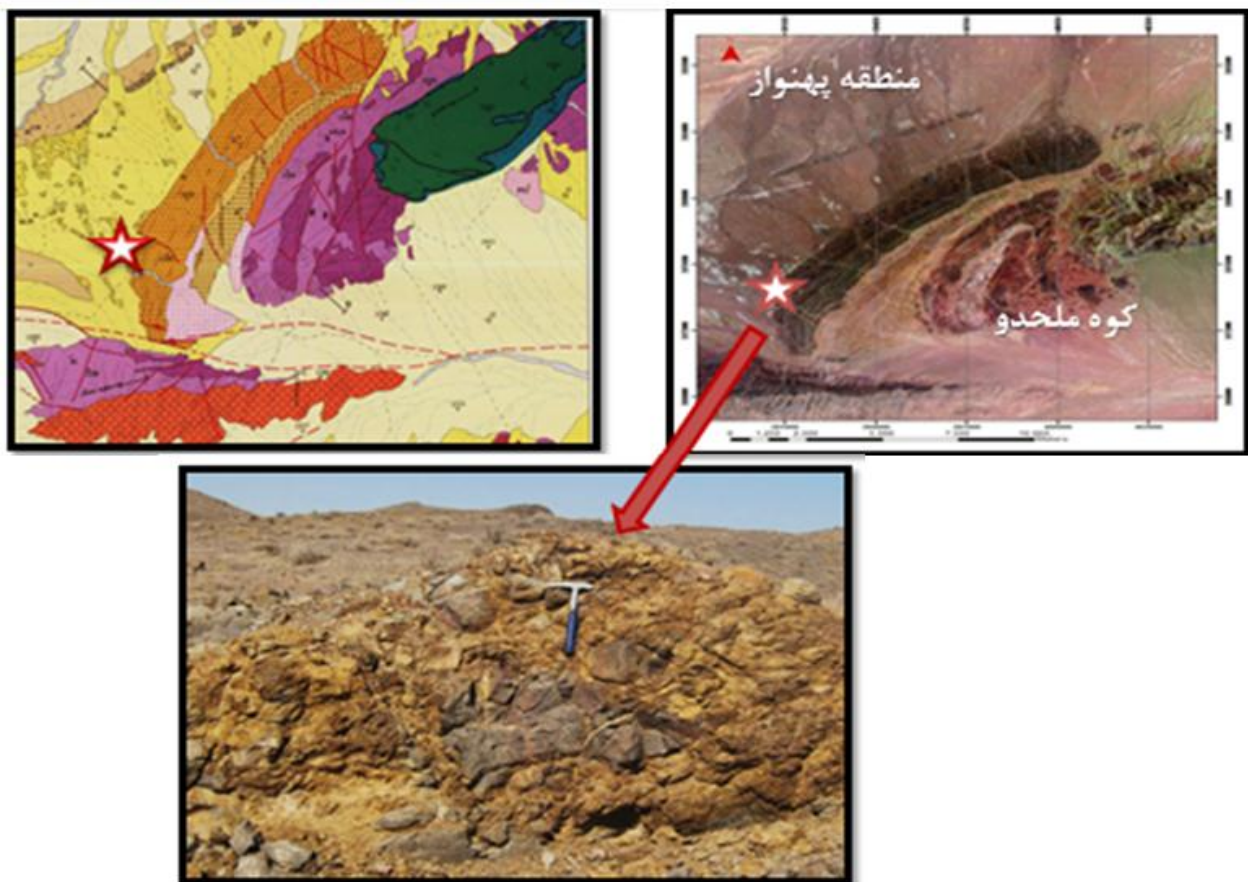
شکل ۲-۳۱) برخورد میان گدازه و آهک



شکل ۲-۳۲) تصویری از انباشتگی نومولیت‌های ریز و درشت در کنار یکدیگر

۲-۵-۱۰ - کانسار روگرو

کانسار روگرو در ۱۲ کیلومتری جنوب بیارجمند رخنمون دارد. سنگ‌های میزبان غالباً گدازه‌ها و هیدروکلاست‌های بازالتی می‌باشند. که با ترکیب غالب تراکی بازالتی رخنمون دارند. این مجموعه دارای بیش از هزار متر ضخامت می‌باشد (شکل ۲-۳۳). در بعضی نواحی مجموعه آتشفشانی - رسوبی توسط رسوبات آهکی مارنی فسیل‌دار متعلق به ائوسن بالایی پوشیده شده است.



شکل ۲-۳۳) موقعیت منطقه روگرو در تصاویر ماهواره‌ای، صحرایی و نقشه زمین‌شناسی

در این منطقه فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند. اندازه‌ی قطعات آگلومرا از چند سانتی‌متر تا ۱ متر تغییر می‌کند و تقریباً گرد شده هستند (شکل ۲-۳۴).



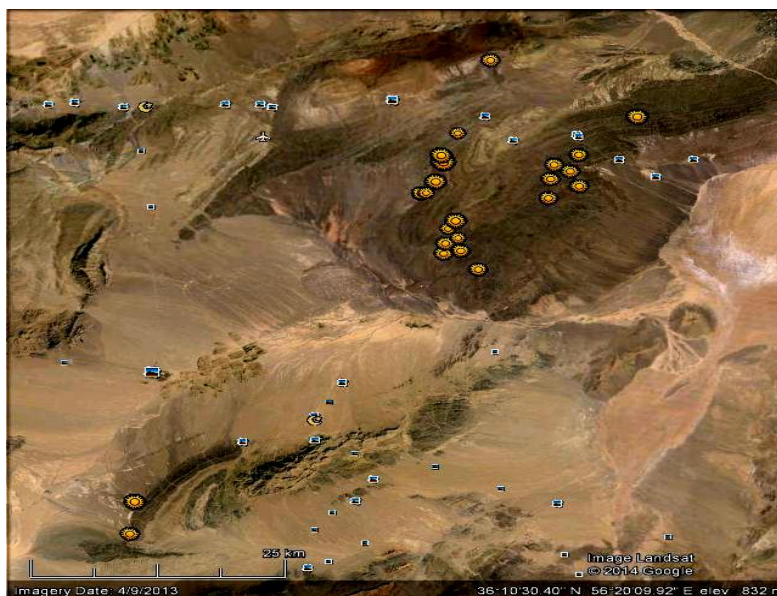
شکل ۲-۳۴) واحد آگلومرانی در جنوب غرب منطقه روگرو (دید به سمت شمال شرق منطقه)

فصل سوم

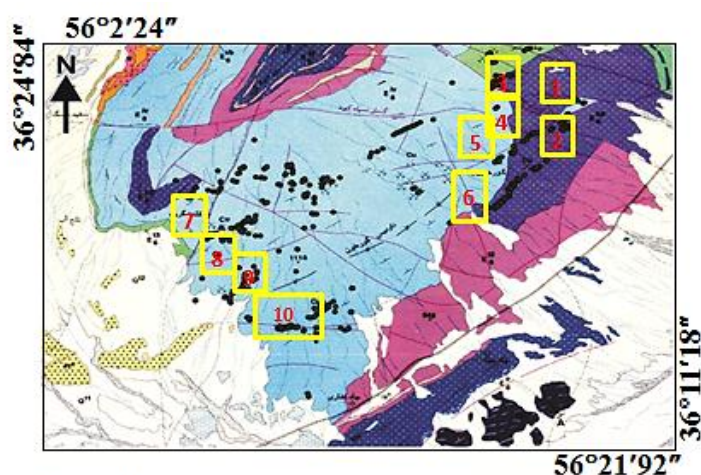
کانه زایی و دکرسانی

۳-۱- کانه‌زایی

شناسایی عوامل ساختاری به‌ویژه گسل‌ها و ارتباط آن‌ها با ماگما و کانه‌زایی، در مناطق متأثر از فعالیت‌های ماگمایی کمک شایانی جهت شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌کند. محل تلاقی گسل‌های اصلی، می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و کانی‌زایی باشد. نقش پدیده‌های زمین-شناسی ساختمانی از قبیل چین‌خوردگی‌ها، گسلش‌ها و سیستم‌های درز شکاف در جایگیری ماگما و گسترش مناطق دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی بسیار مهم است. کانی‌زایی در مناطق چغندرسر شمالی، چغندرسر مرکزی، چغندرسر جنوبی، روگرو، استغانی، نرتلویی، گورخان، گریک، عباس‌آباد، الهاک (۱)، الهاک (۲) و گچ‌کنوم عمدتاً به صورت رگه‌ای صورت گرفته است. سنگ میزبان این رگه‌ها عمدتاً از نوع بازالتی است. ضخامت رگه‌های کانه‌دار در این نوع سنگ‌ها خیلی کم و از ۰/۲ تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر است. محدوده‌ای که کانی‌زایی مس دیده می‌شود طی چند مرحله بازدید صحرایی بررسی و مطالعه شد و تعداد ۳۰ مقطع نازک - صیقلی تهیه گردید. در این فصل علاوه بر تحلیل کانی‌زایی، صورت گرفته به بررسی انواع دگرسانی در کانسارهای چغندرسر شمالی، چغندرسر جنوبی، چغندرسر مرکزی، استغانی، نرتلویی، گریک، گورخان، الهاک (۱)، الهاک (۲)، روگرو و گچ‌کنوم خواهیم پرداخت. تصویر ماهواره‌ای لندست و زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه در شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۱) تصویری کلی از کانه‌زایی‌های مناطق مورد مطالعه و مناطق اطراف، این مناطق اغلب بر روی گسل‌های اصلی و فرعی منطبق شده‌اند.



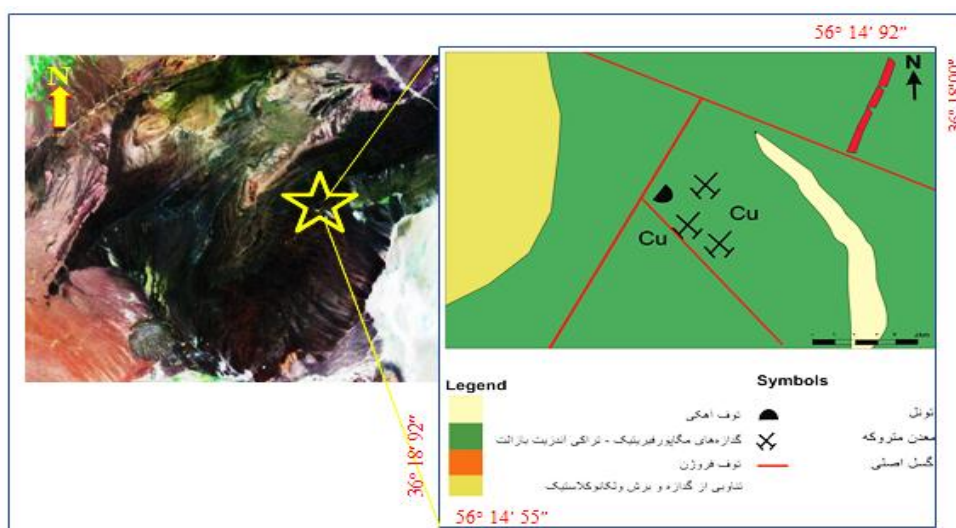
Legend



شکل ۳-۲) تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰) و موقعیت کانسارها و معدن‌کاری‌های قدیمی مس (مستخرج از گوگل ارث) ۱- اندیس الهاک (۱)، ۲- اندیس الهاک (۲)، ۳- چغندرسر شمالی، ۴- چغندرسر مرکزی، ۵- کانسار چغندرسر جنوبی، ۶- کانسار گورخان، ۷- کانسار گریک، ۸- کانسار استغانی ۹- اندیس گچ کنوم، ۱۰- کانسار نرتلویی

۳-۱-۱- کانه‌زایی در چغندرسر شمالی

با توجه به فعالیت‌های شدید زمین ساختی در منطقه چغندرسر شمالی نسبت به سایر مناطق، کانه‌زایی بیشتر و متنوع‌تری را در منطقه شاهد هستیم. بیشترین کانه‌زایی در منطقه چغندرسر شمالی در پهنه برشی رخ داده است (شکل ۳-۳). در محدوده معدنی چغندرسر شمالی علاوه بر کانه‌زایی در پهنه برشی خرد شده، رگه و رگچه‌هایی از کانی‌های سولفیدی داخل سنگ‌های بازالتی مشاهده می‌شود (شکل ۴-۳).



شکل ۳-۳ موقعیت کانسار مس چغندرسر شمالی در تصاویر لندست و زمین‌شناسی



شکل ۴-۳ موقعیت پهنه برشی و رگه و رگچه‌های سولفیدی در چغندرسر شمالی (دید به سمت جنوب شرق)

بیشترین کانه‌زایی در پهنه برشی از نوع سولفیدی است. رگه و رگچه‌ها در این منطقه حاوی کالکوسیت، بورنیت، کولین، کالکوپیریت، مالاکیت می‌باشند، ضخامت و طول این رگه‌ها از چند میلی‌متر تا نزدیک به ۵ سانتی‌متر متغیر است (شکل ۳-۵). اما به‌طور معمول رگه‌های با ضخامت بالاتر از ۱۰ سانتی‌متر خیلی کم مشاهده می‌شوند. رگه‌ها غالباً حاوی کالکوسیت می‌باشند. (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۵) نمایی از کانه‌زایی‌های صورت گرفته در پهنه برشی



شکل ۳-۶) رگه کالکوسیت داخل سنگ میزبان بازالتی

در اثر واکنش ژئوشیمیایی سیالات قلیایی با پلاژیوکلازها، محلول‌های غنی از مواد قلیایی به وجود آمده که در شرایط فیزیکوشیمیایی خاص امکان نهشته شدن ژئولیت‌ها را از این محلول‌ها فراهم

کرده است (شکل ۷-۳، الف). زئولیت زایی در این منطقه به صورت پراکنده صورت گرفته است، در اغلب مواقع زئولیت زایی با کانه زایی همراه است (شکل ۷-۳، ب).



شکل ۷-۳) الف- شکل گیری زئولیت در بازالت ها ب- زئولیت زایی همراه با کانه زایی در بازالت ها.

۳-۱-۲- کانه زایی در چغندر سر مرکزی

آثار عملیات اکتشافی در منطقه چغندر سر مرکزی، محدود به حفر ترانشه ها است که در ده سال اخیر انجام شده اند (شکل ۸-۳). این رخنمون ابعادی در حدود ۲۰ متر طول و ۵ متر عرض دارد. رگه و رگچه ها در این منطقه حاوی کالکوسیت، کولین، کالکوپیریت، مالاکیت می باشند، ضخامت و طول این رگه ها از چند میلی متر تا نزدیک به ۶ سانتی متر متغیر است رگه ها غالباً حاوی کالکوسیت و مالاکیت می باشند (شکل ۹-۳ تا شکل ۱۰-۳)، اطراف رگه های کانه دار هاله های از دگرسانی هماتیتی تشکیل شده است (شکل ۱۱-۳).



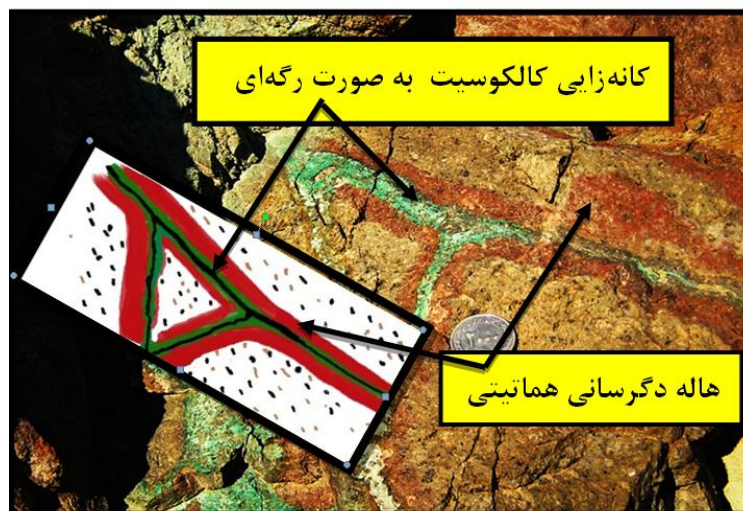
شکل ۳-۸) نمایی از ترانشه ایجاد شده در منطقه چغندر سر مرکزی.



شکل ۳-۹) کانه‌زائی کالکوسیت به صورت رگه‌ای در بازالت‌ها.



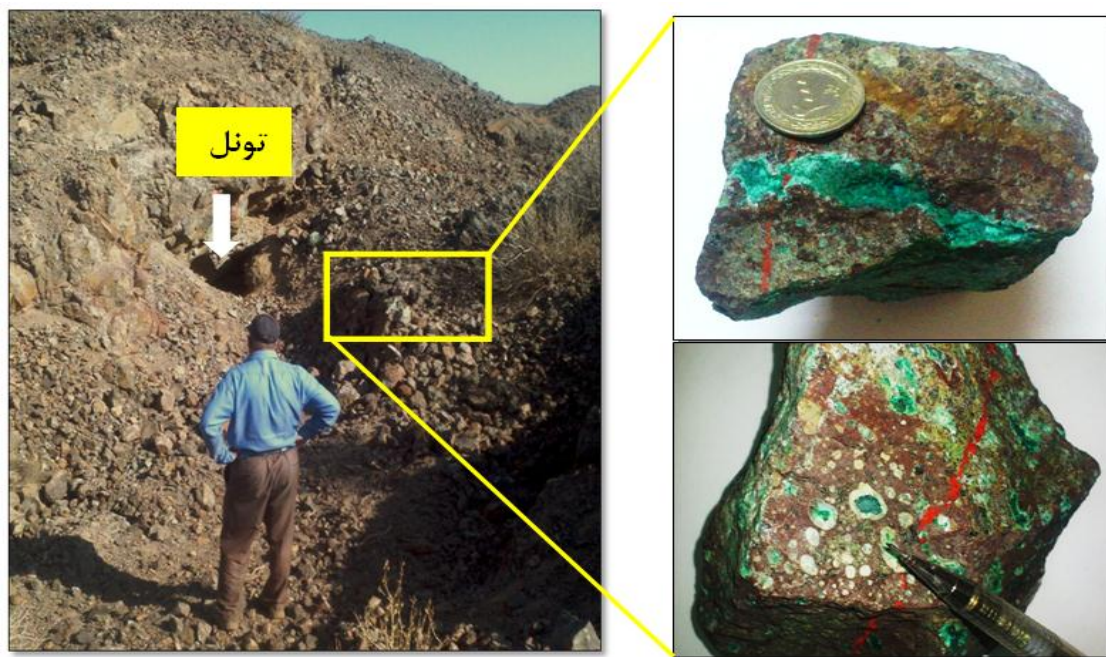
شکل ۳-۱۰) کانی زایی سولفیدی همراه با دگرسانی هماتیتی در سنگ میزبان بازالتی.



شکل ۳-۱۱) کانه زایی کالکوسیت و مالاکیت همراه با ایجاد دگرسانی هماتیتی در حاشیه رگه‌ها همراه با تصویر بازسازی شده رگه‌های کانه دار و هاله دگرسانی اطراف آن‌ها.

۳-۱-۳- کانه زایی در روگرو

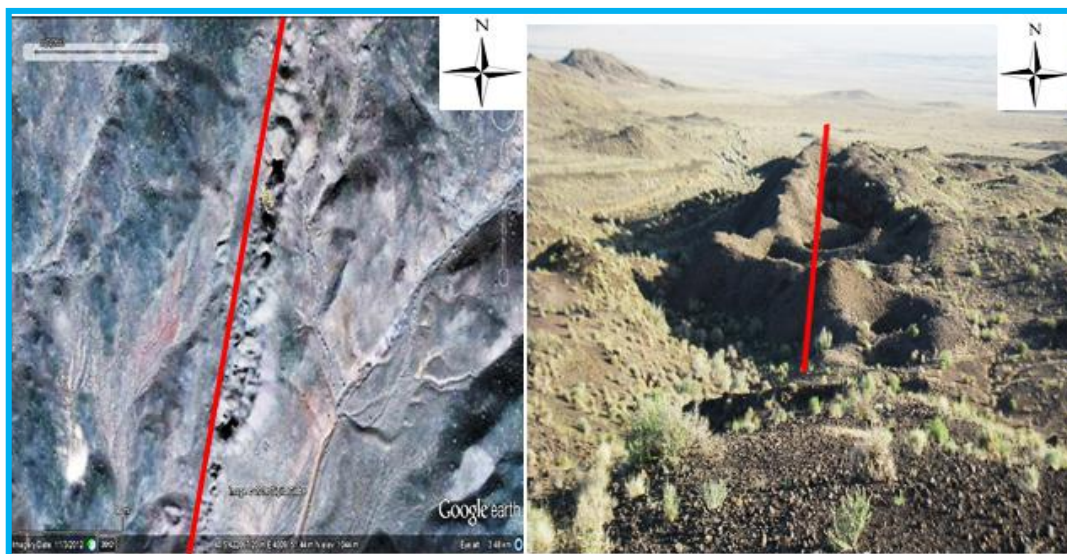
طبق مشاهدات و مطالعات انجام شده بر روی کانسار روگرو تنها مالاکیت به عنوان کانه مس تشخیص داده شد، مالاکیت‌ها در این کانسار فراوانی زیادی داشته و به صورت رگه و رگچه و فضاپرکن داخل شکستگی‌ها و حفرات را پر نموده است (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲) کانه‌زایی مس در حفرات و شکستگی‌های سنگ‌های بازالتی در منطقه روگرو.

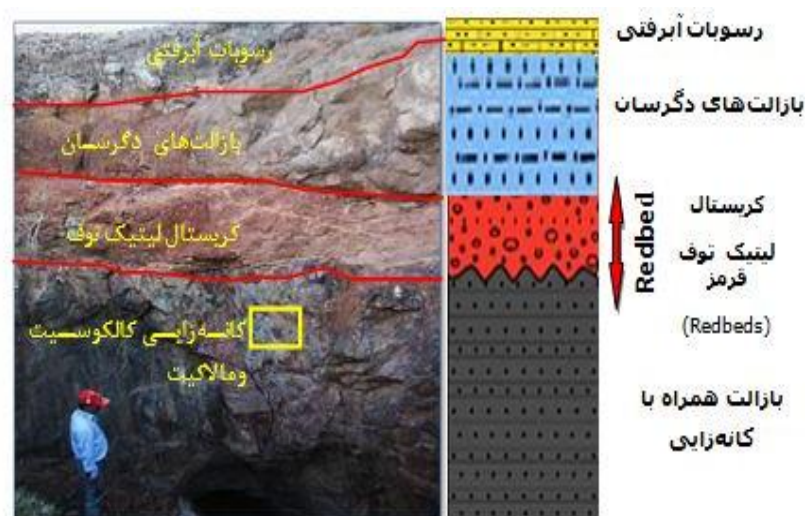
۳-۱-۴- کانه‌زایی در منطقه استغانی

کانه‌زایی در منطقه استغانی دارای ساخت و بافت رگه‌ای و شکاف پرکن بوده ر با گسل‌ها و شکستگی‌ها در ارتباط می‌باشد کانه سولفیدی در این کانسار کالکوسیت است که به همراه مالاکیت کانی‌های مس‌دار تشکیل می‌دهند. یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده ماده معدنی در کانسار استغانی ساختارهای موجود، از قبیل گسل‌ها و درزه‌ها می‌باشند. روند حفاری‌های انجام شده در شکل ۳-۱۳ این موضوع را تأیید می‌کند.



شکل ۳-۱۳ الف- تصویری از حفاری‌های صورت گرفته در امتداد پهنه یک گسل با راستای کلی N20E
ب- تصویر ماهواره‌ای همان منطقه

طی بازدیدهای صورت گرفته منطقه استغانی در زیر توفیت‌های قرمز رنگ رخنمون دارند. کان‌زایی در این منطقه به صورت کالکوسیت و مالاکیت مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۴).

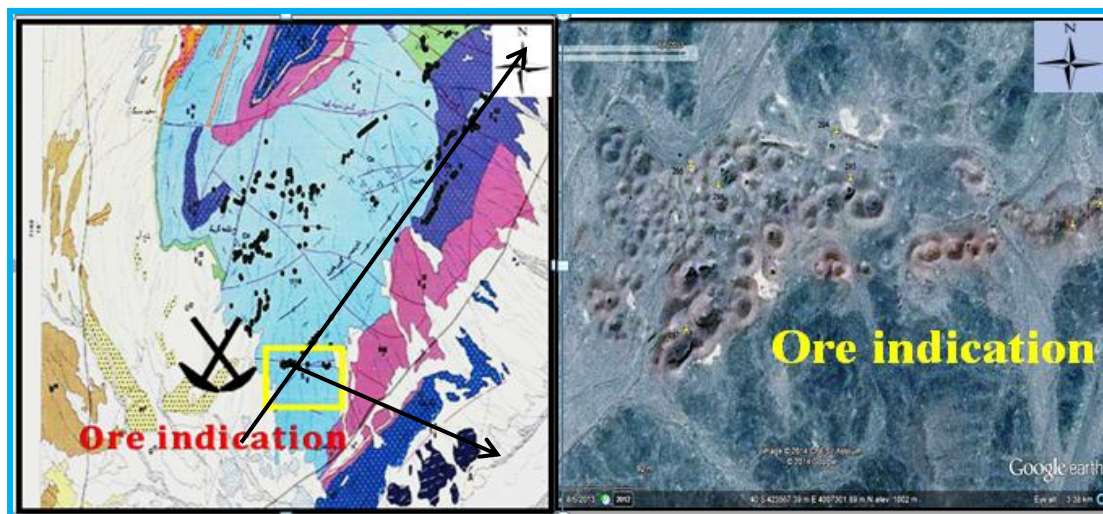


شکل ۳-۱۴ کان‌زایی کالکوسیت و مالاکیت صورت گرفته در بازالت‌های منطقه.

۳-۱-۵- کان‌زایی در منطقه نرتلویی

کان‌زایی در منطقه نرتلویی بیشتر با گسل‌ها در ارتباط می‌باشد. حفاری‌های ایجاد شده هم راستا با روند گسل‌های منطقه به صورت شرقی- غربی است. در تصاویر ماهواره‌ای تعدادی از آثار معدن‌کاری-

های قدیمی مشخص شده است (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۵) موقعیت کانسار نرتلویی و تعدادی از معدن کاری قدیمی بر روی نقشه زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای.

ماده معدنی در نرتلویی، به دو صورت دانه پراکنده و رگه‌ای در بازالت‌ها دیده می‌شود. بخشی از کانه‌زایی نیز در داخل حفرات صورت گرفته است. رخنمون‌های بزرگ بازالتی آمیگدال‌هایی همراه با کالکوسیت و مالاکیت جلب توجه می‌کند (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶) مالاکیت و کالکوسیت در داخل رگه و رگچه‌ها و حفرات بادامکی

در محدوده رخنمون پر عیار کانسار، که با حفاری‌های شدادی همراه است به صورت چندین محدوده با فاصله تقریبی ۳۰ تا ۴۰ متر از همدیگر مشاهده می‌شوند، در این منطقه کانه‌زایی در رگه‌هایی به ضخامت‌های متفاوت از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر در سنگ‌ها مشاهده گردید. علاوه بر رگه‌های

کالکوسیت، مس طبیعی نیز در میان سنگ‌های استخراج شده در اطراف چاهک‌های قدیمی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷) نمایی از کارگاه‌های موجود در کانسار نرتلویی و نمونه‌هایی از مس طبیعی و کالکوسیت در پهنه کانه‌دار.

۳-۱-۶- کانه‌زایی در چغندر سر جنوبی

در شرق شاهرود خصوصاً در منطقه چغندر سر جنوبی، سه سیستم شکستگی عمده با روندها مختلف دیده می‌شود. در این کانسار شکستگی‌های زیادی وجود دارد. که کانه‌زایی غالباً در امتداد آن‌ها صورت گرفته است (شکل ۳-۱۸).



شکل ۳-۱۸) تصاویر ماهواره‌ای از منطقه چغندر سر جنوبی

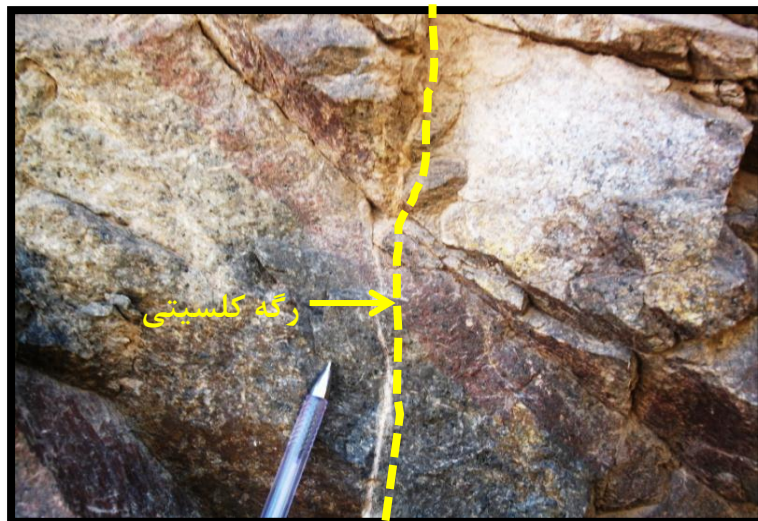
در این منطقه برخی از این شکستگی‌ها دارای کانه‌زایی هستند این دسته، به لحاظ وسعت و برون زد ماده معدنی، بخش وسیعی از کانه‌زایی را به خود اختصاص داده است. سه دسته شکستگی‌های

عبارت‌اند از : شکستگی‌هایی که کانه‌زایی در امتداد آن خودنمایی می‌نماید. محدوده رخنمون پر عیار کانسار، با فاصله ۲۰ تا ۳۰ متر به صورت دو ترانشه از یکدیگر مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹) شکستگی‌هایی حاوی کانی‌های مس‌دار.

دسته دوم: گسل‌ها و شکستگی‌هایی هستند که با کانه‌زایی در ارتباط نیستند و توسط کلسیت پر شده‌اند (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۲۰) رگه‌هایی که توسط کلسیت پر شده‌اند.

دسته سوم: گسل و درز شکستگی‌هایی هستند که عاری از هرگونه آثار نهشت سیالات هستند. این نسل از شکستگی‌ها، جدیدترین نسل از شکستگی‌های منطقه را شامل می‌شوند این دسته رگه‌های

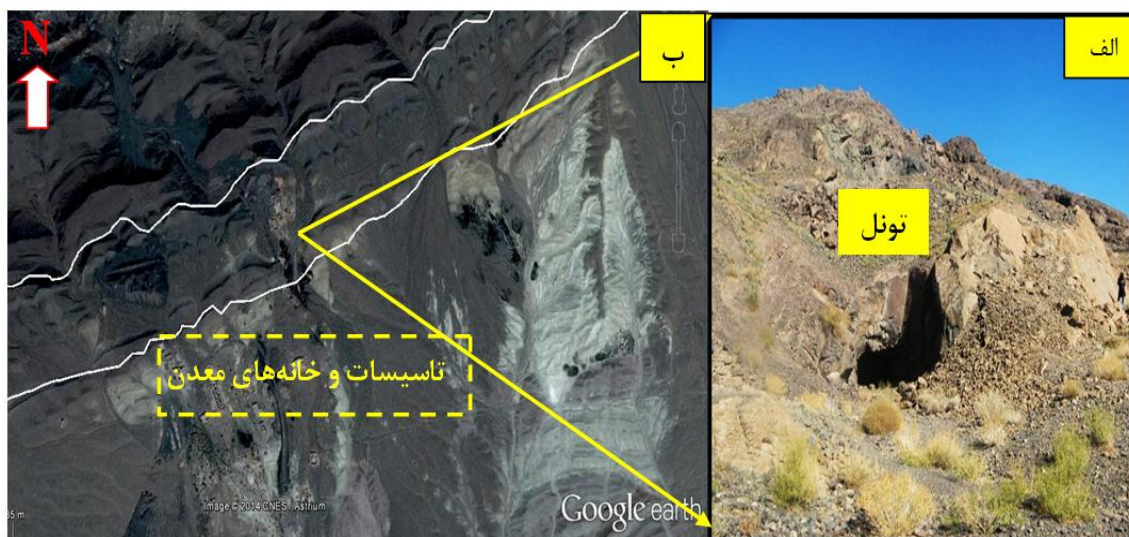
کانه دار را قطع نموده اند (شکل ۳-۲۱).



شکل ۳-۲۱) شکستگی های بدون کانهازایی که رگه های کانهدار را قطع نموده اند (جدیدترین نسل از شکستگی ها).

۳-۱-۷- کانهازایی در عباس آباد

با توجه به مشاهدات صحرایی انجام شده کانهازایی در منطقه عباس آباد در امتداد لایه بندی و در برخی شکستگی ها کانهازایی به صورت رگه و رگچه صورت گرفته است. در تصاویر ماهواره ای می توان به این نکته پی برد که در ورقه عباس آباد، علاوه بر گسل خوردگی و چین خوردگی، لایه بندی نیز در کنترل کانهازایی نقش داشته است (شکل ۳-۲۲ الف و ب). در این منطقه رگه و رگچه ها توسط کالکوسیت و مالاکیت و در موارد نادر از آزوریت پر شده است (شکل ۳-۲۳ الف و ب).



شکل ۳-۲۲) تصاویری از تونل و ترانشه حفر شده در امتداد لایه بندی الف- مقیاس رخنمون صحرایی، ب- در مقیاس تصاویر ماهواره ای



شکل ۳-۲۳- الف) کانه‌زایی کالکوسیت، به صورت رگه و رگچه در بازالت‌ها ب) کانه‌زایی به صورت رگه و رگچه به صورت کالکوسیت، ملاکیت و آزوریت در بازالت‌ها.

۳-۱-۸- کانه‌زایی در گریک و گورخان

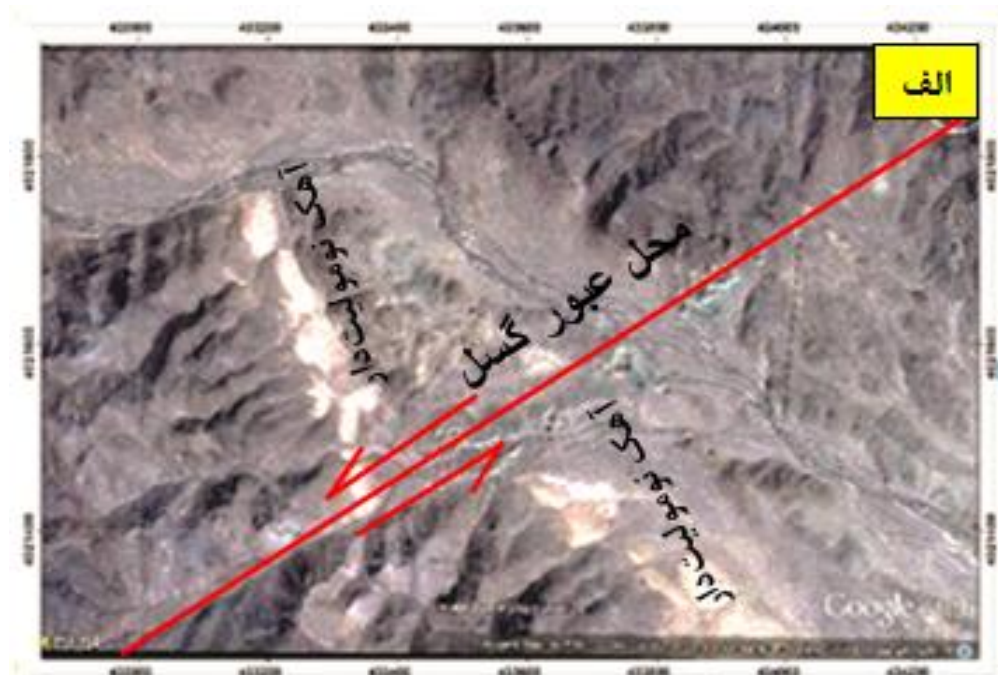
یکی از مهم‌ترین کانه‌زایی‌های صورت گرفته کانه‌زایی در منطقه گورخان می‌باشد که در آن مس طبیعی دارای فراوانی بیشتری است. در درون بازالت‌های دگرسان‌شده منطقه گورخان، مس طبیعی به صورت رگه‌ای و دانه‌پراکنده مشاهده می‌شود (شکل ۳-۲۴). ذخایر مس طبیعی خیلی کم و به ندرت تشکیل می‌شود زیرا محلول‌های فقیر از گوگرد غیر معمول است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). این ذخایر فقط در برخی نقاط دنیا مانند ایران، بولیوی، چین، شیلی و دریاچه سوپریور در ایالت متحده آمریکا مشاهده شده است (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷). در منطقه گریک فراوانی کانه‌زایی مس نسبت به گورخان بسیار کمتر بوده و کانه‌زایی مس بیشتر به صورت ملاکیت می‌باشد.



شکل ۳-۲۴) الف) بازالت آغشته به مالاکیست در منطقه گریک (ب) مس طبیعی به صورت رگه‌ای درون بازالت‌ها در سنگ‌های استخراج شده از گذشته در منطقه گورخان

۳-۱-۹- کانه‌زایی در الهاک (۲)

در تصاویر ماهواره‌ای این منطقه عبور گسله‌ای با روند شمال شرق - جنوب غرب در محدوده کانه‌زایی شده قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۵ الف). این گسل واحد سنگی نومولیت‌دار را به صورت چب‌بر جابه‌جا کرده است. همچنین گسل‌هایی با امتداد شرقی - غربی نیز به صورت فرعی در منطقه دیده می‌شود (شکل ۳-۲۵ ب). کالکوسیت و مالاکیست در این منطقه به صورت رگه و رگچه در داخل سنگ میزبان به راحتی قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲۵ (الف) محل عبور گسل امتدادلغز و جابه‌جایی آهک نومولیت‌دار در منطقه در تصویر ماهواره‌ای، (ب) تصویری از محل عبور گسل در منطقه الهاک و جابجایی واحد سنگی (دید به سمت شرق)

۳-۲- دگرسانی

دگرسانی می‌تواند شاخص یک فرایند شستشوی اساسی باشد که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود (هملی و جونز، ۱۹۶۴). مؤثرترین عوامل در کنترل واکنش‌های دگرسانی دما، فشار، فراوانی، ترکیب شیمیایی، رفتار دینامیکی سیال و میزان واکنش‌پذیری سنگ درون‌گیر می‌باشد (مک میلان و پانتلیف، ۱۹۹۰). مجموعه کانی‌های ایجاد شده در طی دگرسانی می‌توانند اطلاعاتی در مورد ترکیب شیمیایی سیال ارائه نمایند (هدنکوئیست^۱، ۲۰۰۰). عواملی نظیر دما، شوری، میزان فعالیت گوگرد و فوگاسیته اکسیژن سیال، Ph سیال، میزان فعالیت یون کلرید و مقدار کل گوگرد سیال از عوامل کنترل‌کننده ترکیب شیمیایی سیال گرمابی می‌باشد (هیلد^۲، ۱۹۸۷). دگرسانی سنگ‌های دیواره را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد: درون‌زاد و برون‌زاد. دگرسانی درون‌زاد توسط سیالات گرمابی بالارونده ایجاد می‌گردد، در حالی که دگرسانی برون‌زاد در نتیجه واکنش آب‌های فرورو با سنگ‌های کانی‌سازی شده قبلی ایجاد می‌شود (شهاب پور، ۱۳۸۲). در این بخش ما به بررسی انواع دگرسانی در مناطق مورد مطالعه خواهیم پرداخت. در جدول ۳-۱، نام هر منطقه همراه با نام سنگ و دگرسانی صورت گرفته در آن ذکر شده است.

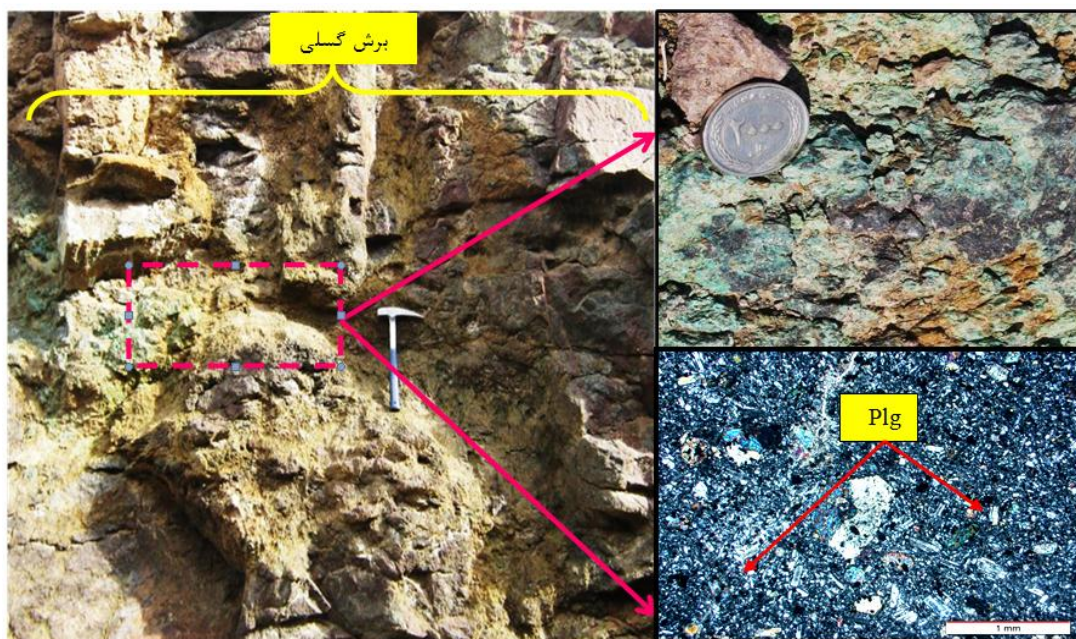
1 Hedenquist
2 Heald

جدول ۳-۱ مشخصات سنگ‌شناسی و دگرسانی صورت گرفته در هر یک از مناطق کانه‌زایی شده.

نام منطقه کانه‌زایی	نام سنگ	دگرسانی
روگرو	بازالت	هماتیتی، کربناتی
چغندر سر شمالی	الیوین بازالت، پیروکسن بازالت	سوسوریتی، هماتیتی، کلریتی، کربناتی
چغندر سر مرکزی	الیوین بازالت	هماتیتی، کربناتی
چغندر سر جنوبی	پیروکسن بازالت	هماتیتی، کلریتی
الهاک ۱	توف ماسه‌ایی و بازالت	هماتیتی
الهاک ۲	بازالت و پیروکسن بازالت	هماتیتی
گریک	الیوین بازالت	کلریتی، هماتیتی
گورخان	بازالت و الیوین بازالت	کلریتی، کربناتی
نرتلویی	پیروکسن بازالت	هماتیتی، کربناتی
استغانی	بازالت و توف ماسه‌ایی	هماتیتی
گچ کنوم	بازالت	کلریتی، هماتیتی
عباس آباد	بازالت و الیوین بازالت	هماتیتی

۳-۲-۱- دگرسانی در چغندر سر شمالی

در منطقه چغندر سر شمالی فعالیت‌های زمین ساخت منجر به دگرسانی شدیدی در این منطقه شده است. دگرسانی‌ها در این منطقه شامل سوسوریتی، کلریتی، کربناتی، و هماتیتی شدن است (شکل ۳-۲۶). دگرسانی هماتیتی در این ناحیه به طور گسترده قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۷).



شکل ۳-۲۶) برش گسلی با دگرسانی سوسوریتی همراه با تصویر در مقیاس میکروسکوپی



شکل ۳-۲۷) دگرسانی هماتیتی در بازالت‌ها و همراه با تصویر در مقیاس میکروسکوپی

۳-۲-۲- دگرسانی در چغندر سرمرکزی

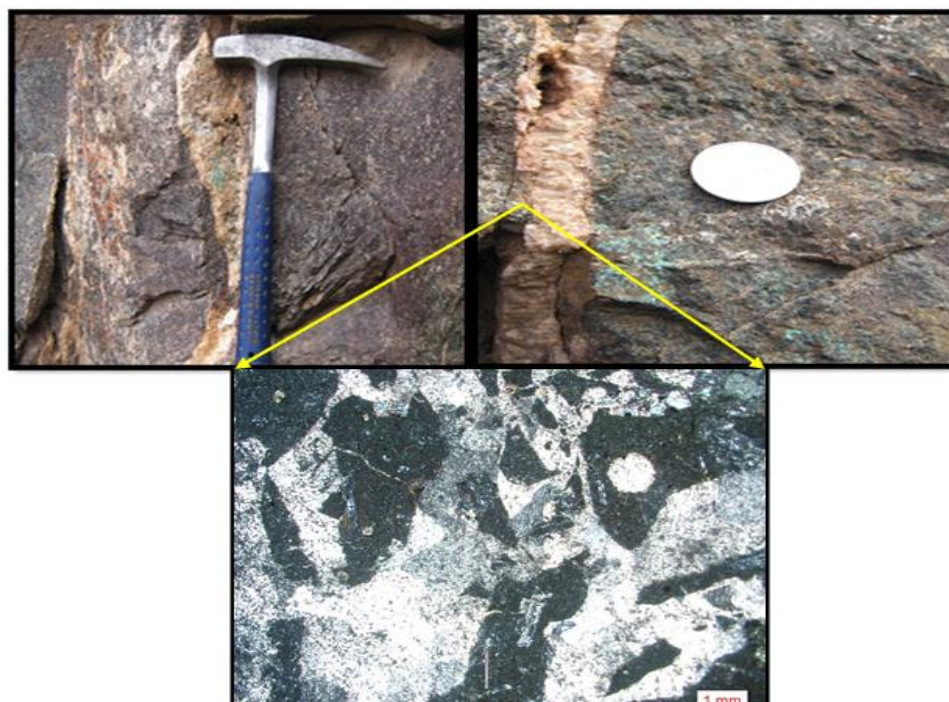
دگرسانی‌های هماتیته و کربناتی در این مناطق بیشتر از سایر دگرسانی‌ها به چشم می‌خورد. گسل‌های موجود در منطقه به عنوان کانال‌های ارتباطی عمل کرده و چرخش سیالات گرمابی منجر به کانی‌سازی رگه - رگچه‌ای و دگرسانی سنگ‌های ولکانیکی شده است (شکل ۳-۲۸).



شکل ۳-۲۸) دگرسانی هماتیته بر اثر گسل خوردگی و شکستگی فراوان در منطقه ایجاد شده است. در مقاطع میکروسکوپی نیز می‌توان به راحتی این نوع دگرسانی را مشاهده کرد.

دگرسانی کربناتی:

تشکیل کلسیت در محدوده‌ی 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 (مانند پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، زئولیت و اپیدوت) و شیشه‌های آتشفشانی می‌شود. کلسیت درون و حاشیه‌ی کانی‌زایی اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین به صورت مجموعه کانیایی پروپلتیک ایجاد می‌شود. در فضای باز، کلسیت در اثر جوشش و خروج CO_2 رسوب می‌کند (تامپسون، ۱۹۸۹). دگرسانی کربناتی از زیر مجموعه‌های دگرسانی پروپلیتی است و به دلیل تشکیل مقدار بالای کربنات به کربناتی شدن معروف است (شهاب پور، ۱۳۸۵). این دگرسانی در نتیجه افزوده شدن کانی‌های کربناته به رگه‌ها و سنگ میزبان تشکیل می‌گردد که در منطقه چغندرسر با تشکیل ثانویه کلسیت نمود پیدا کرده است (شکل ۳-۲۹).



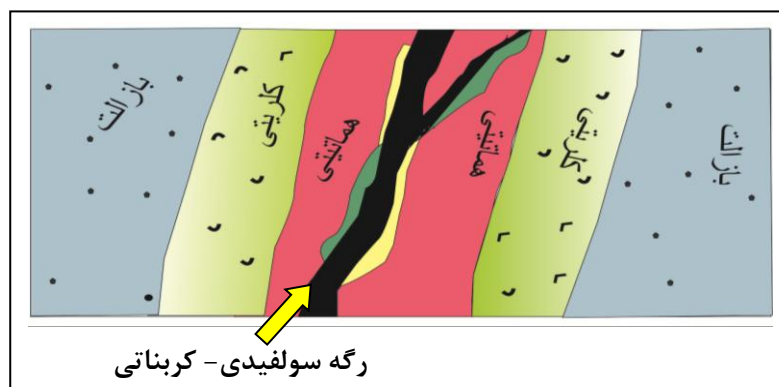
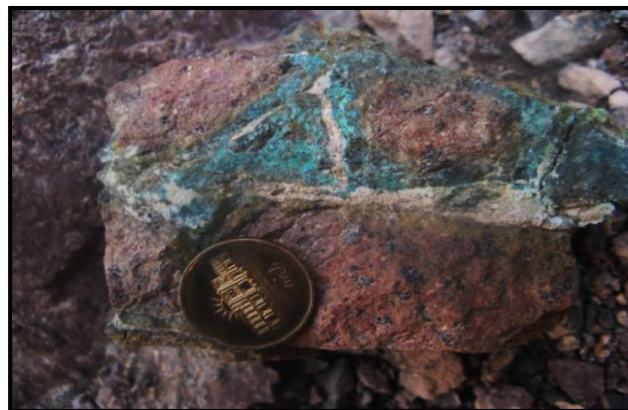
شکل ۳-۲۹) دگرسانی کربناتی در حاشیه رگه‌ها همراه با تصویر در مقیاس میکروسکوپی

۳-۲-۳- دگرسانی در چغندر سر جنوبی

در این منطقه دگرسانی‌هایی همچون، هماتیته و کلریتی شدن مشاهده می‌شود (شکل ۳-۳۰ و شکل ۳-۳۱). در این منطقه دگرسانی هماتیته در گستره وسیعی از منطقه مشاهده گردید.



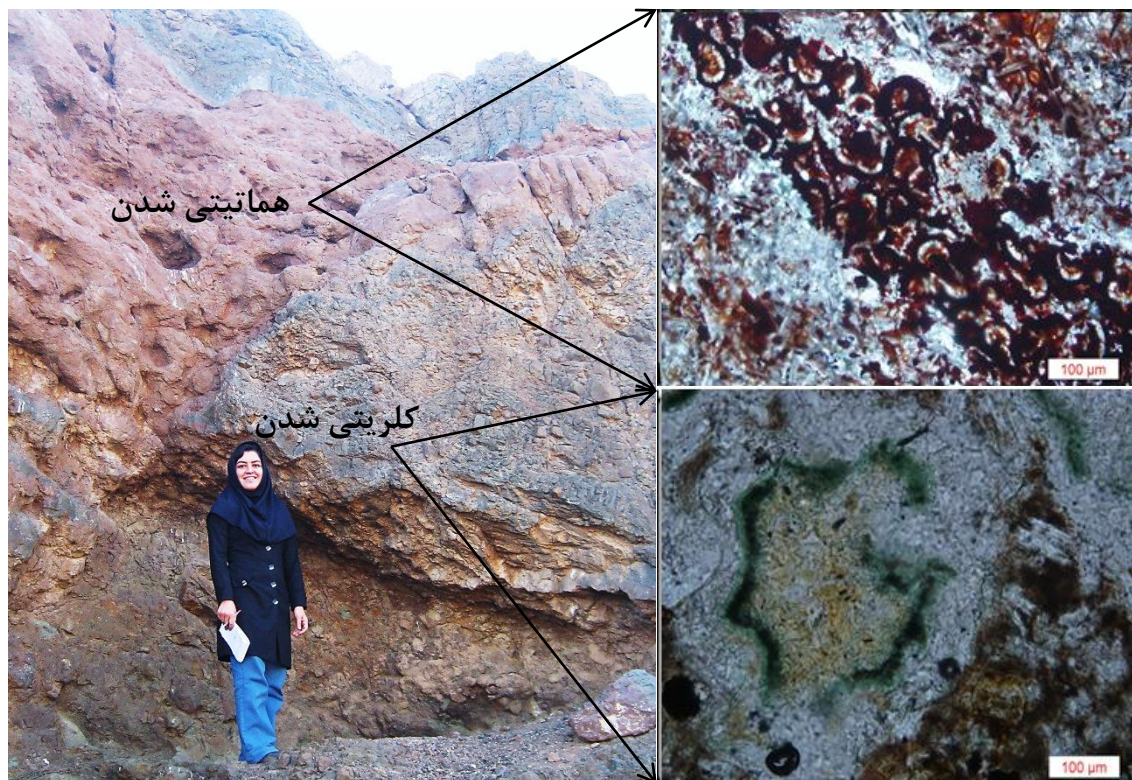
شکل ۳-۳۰ دگرسانی کلریتی در رگه و رگچه‌های معدنی در اثر فرایندهای گرمایی.



شکل ۳-۳۱ الف- نمایی از هماتیته و کلریتی شدن بازالت‌ها به موازات رگه‌ها و رگچه‌های کانه‌دار در منطقه، ب- تصویر بازسازی شده از پهنه دگرسانی منطقه

۳-۲-۴- دگرسانی در گریک و گورخان

مهم‌ترین دگرسانی‌های صورت گرفته در منطقه گریک و گورخان کلریتی شدن، هماتیتی شدن و کربناتی شدن می‌باشند. دگرسانی کلریتی در این منطقه به صورت وسیع گسترش دارد (شکل ۳-۳۲). سنگ‌های کلریتی شده در رخنمون‌ها معمولاً به رنگ خاکستری - آبی تا سبز مشاهده می‌شود. علاوه بر دگرسانی کلریتی، دگرسانی کربناتی نیز به صورت رگه و رگچه‌ای در منطقه گریک و گورخان مشاهده شد (شکل ۳-۳۳).



شکل ۳-۳۲) نمایی از دگرسانی کلریتی و هماتیتی همراه با تصاویر میکروسکوپی آن در منطقه گورخان

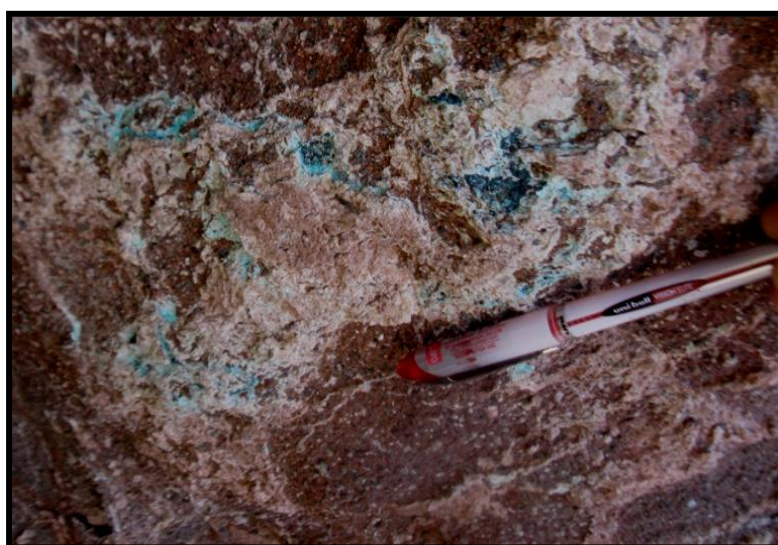


شکل ۳-۳۳) دگرسانی کربناتی به صورت رگه و رگچه‌ای در بازالت‌های منطقه گورخان همراه با تصویر میکروسکوپی

۳-۲-۵- دگرسانی در نرتلویی

بر اساس مطالعات صحرایی صورت گرفته دگرسانی‌های کلسیتی، کلریتی، هماتیتی و سیلیسی، در این منطقه مشاهده می‌شوند.

دگرسانی کربناتی: شدت این دگرسانی در منطقه، متفاوت بوده و این امر با تراکم درزه، شکستگی‌ها و حفرات موجود در منطقه، رابطه مستقیم دارد. در این منطقه در سنگ میزبان به راحتی می‌توان کانه‌زایی سولفیدی (کالکوسیت) و کربناتی (مالاکیت) را در داخل حفرات بادامکی و شکستگی‌های منطقه مشاهده نمود (شکل ۳-۳۴)



شکل ۳-۳۴) نمایی از دگرسانی کربناتی به همراه پرشدگی حفرات بادامکی و رگه‌ها با مالاکیت و کالکوسیت.

کلریتی:

کلریتی شدن حالت خاصی از دگرسانی پروپلیتیک می‌باشد که به علت درصد بالای کلریت آن را کلریتی شدن می‌نامند (شکل ۳-۳۵). علاوه بر کلریتی شدن، هماتیتی شدن ضعیفی نیز در منطقه نرتلویی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۳۶).



شکل ۳-۳۵) نمایی از دگرسانی کلریتی در سنگ‌های بازالتی



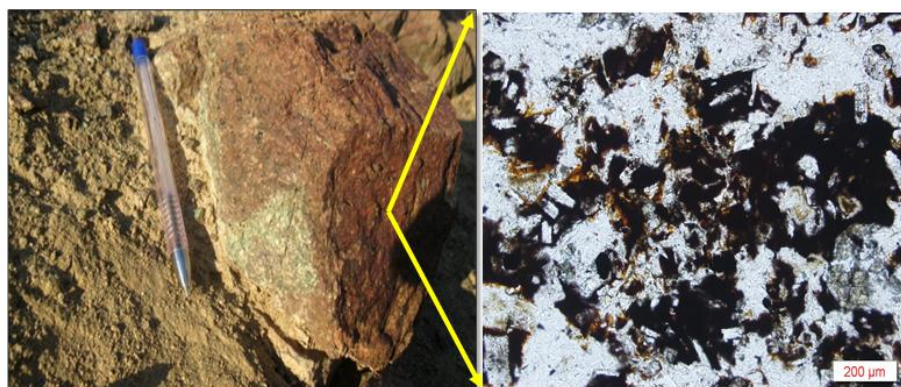
شکل ۳-۳۶) دگرسانی هماتیتی در سنگ‌های بازالتی.

۳-۲-۶- دگرسانی در الهاک (۱) و (۲)

دگرسانی هماتیته در شمال منطقه الهاک (۱) مشاهده می‌شود. با توجه به مشاهدات صحرایی صورت گرفته در قسمت جنوبی منطقه الهاک این دگرسانی بیشتر در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها نمود دارد (شکل ۳-۳۷). دگرسانی هماتیته در الهاک (۲) غالباً در مجاور رگه‌ها رخ داده است (شکل ۳-۳۸).



شکل ۳-۳۷) نمایی از دگرسانی هماتیته در کریستال لیتیک توفیت‌های قرمز در شمال منطقه الهاک (۱)



شکل ۳-۳۸) نمایی از دگرسانی هماتیته به همراه تصویر میکروسکوپی آن در منطقه الهاک (۲)

دگرسانی سیلیسی: دگرسانی سیلیسی یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمابی است که با افزایش کوارتز در سنگ همراه است (پیراجنو، ۱۹۹۲). سیلیسی شدن در الهاک (۱) و (۲) محدوده بسیار اندک و عمدتاً به صورت اضافه شدن سیلیس و یا به صورت تشکیل رگچه‌هایی از کوارتز است.

که در امتداد شکستگی‌ها نمود دارد. به نظر می‌رسد این نوع دگرسانی غالباً در مجاور رگه‌ها رخ داده است. تصاویری از دگرسانی کربناتی و دگرسانی سیلیسی در منطقه الهاک (۱) و (۲) نشان داده شده است (شکل ۳-۳۹ و شکل ۳-۴۰).



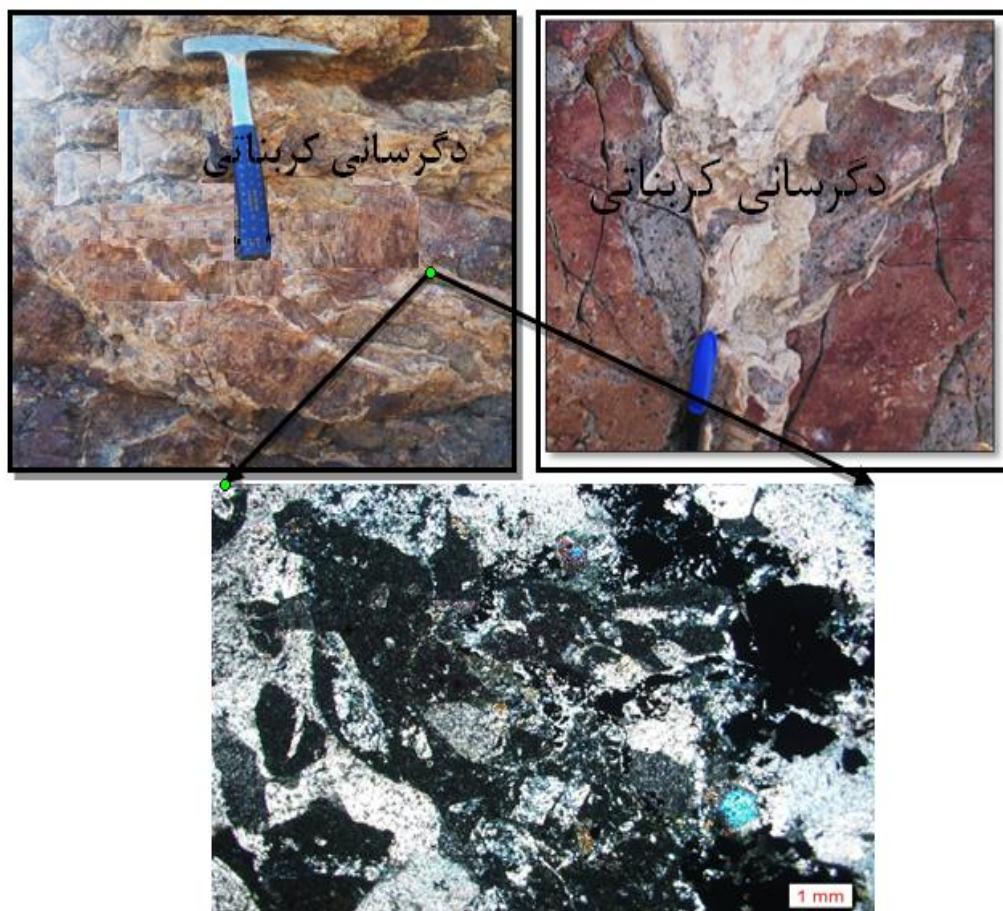
شکل ۳-۳۹ دگرسانی کربناتی و دگرسانی سیلیسی در شمال الهاک (۱)



شکل ۳-۴۰ دگرسانی سیلیسی همراه با کانه‌زایی کالکوسیت در منطقه الهاک (۲)

۳-۲-۷- دگرسانی در روگرو

براساس مطالعات صحرایی صورت گرفته در منطقه روگرو دگرسانی کربناتی و کلریتی بیشترین گسترش را در منطقه دارند. شدت این دگرسانی در قسمت‌های مختلف منطقه، متفاوت بوده است. و اصولاً این دگرسانی‌ها از روند شکستگی‌های منطقه پیروی می‌کنند. این رگه‌ها عمدتاً کربناتی هستند که بخش زیادی از آن‌ها به وسیله کانه‌های کربناتی (مالاکیت) و کلریت پر شده است (شکل ۳-۴۱).



شکل ۳-۴۱: نمایی از دگرسانی کربناتی در سطح آگلومراها و هیدروکلاست‌ها و در میان درزه و شکستگی‌های منطقه به همراه تصویر میکروسکوپی آن.

فصل چهارم

کافی‌شناسی، ساخت، بافت

و توالی پارازیتیک

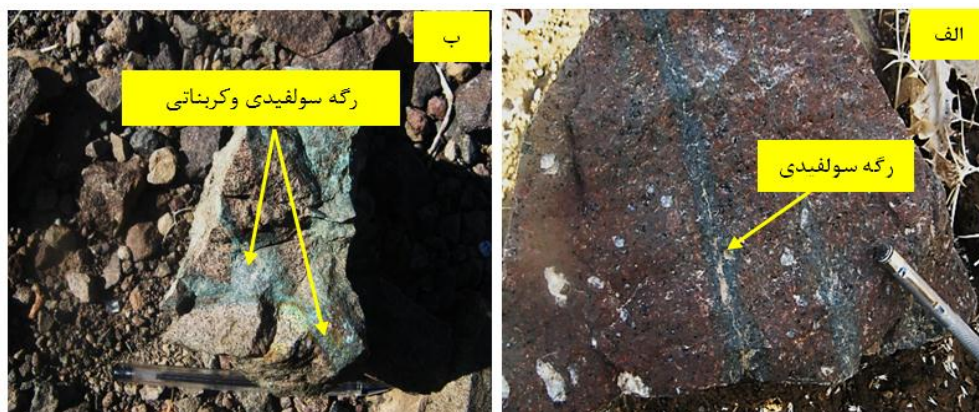
۴-۱- مقدمه

مطالعه ساخت، بافت، کانی‌شناسی و تعیین توالی پاراژنتیکی کانی‌ها، اطلاعات سودمندی درباره ویژگی‌های محیط تشکیل کانسار در اختیار می‌گذارد که این اطلاعات در تعیین ارزش اقتصادی کانسار و تعیین روش فرآوری ماده معدنی بسیار کاربردی می‌باشد، رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده آن کانسار است (Craig and Vaughan, 1994). یک کانسار، در طی مجموعه فرآیندهایی تشکیل می‌شود که هر یک از این فرآیندها، با تأثیر مشخصی بر سنگ میزبان و کانی‌های موجود همراه است، با بررسی تشکیل هر یک از این کانی‌ها در بستر زمان و ارتباط آن‌ها با دیگر کانی‌ها و سرانجام، کنار هم نهادن و ساماندهی این دانسته‌ها می‌توان معمای پیچیده توالی پاراژنتزی و کانی‌شناسی را به رشته نظم کشید. مطالعات ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنتز کانی‌های معدنی سنگ‌ساز، ما را به شناخت بهتر از کانسارهای مس شرق شاهرود رهنمون می‌سازد. به منظور انجام مطالعات مذکور، از ماده معدنی و سنگ‌های میزبان منطقه، تعداد ۳۰ مقطع نازک صیقلی، ۱۰ مقطع صیقلی و ۲۰ مقطع نازک، تهیه گردید. جهت سهولت مطالعه در این پایان‌نامه کانسارها و اندیس‌های هر منطقه به صورت جداگانه بررسی می‌شود.

۴-۲- ساخت و بافت ماده معدنی در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود

رخساره رگه- رگچه‌ای در کانسارهای مورد مطالعه، دارای گسترش فراوان می‌باشد. این رگه و رگچه‌ها نامنظم بوده و متشکل از رگه‌های مس طبیعی، سولفیدهای مس و کربنات‌های آبدار مس می‌باشند. رگچه‌های سولفیدی حاوی کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت در این کانسارها مشاهده می‌شود. رگه‌های حاوی سولفیدهای مس در بخش‌های برشی شده به وفور دیده می‌شوند. در رگه‌های سولفیدی، از بیرون به سمت داخل، ابتدا هاله واکنشی و سپس جانشینی سولفیدها در سنگ درون‌گیر رخ داده است. کانی‌های کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولین، مس طبیعی و مالاکیت رخساره رگه- رگچه‌ای را تشکیل می‌دهند. در برخی موارد نیز به راحتی می‌توان مس طبیعی، پیریت و بورنیت

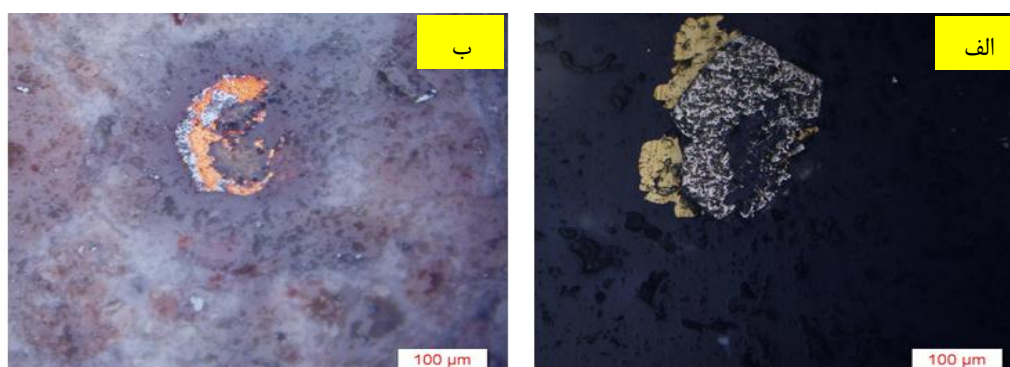
را به صورت دانه پراکنده در سنگ میزبان بازالتی و آندزیت بازالتی مشاهده کرد (شکل ۴-۱ تا شکل ۴-۳).



شکل ۴-۱) الف- نمونه دستی از رگه سولفیدی در منطقه چغندر سر جنوبی ب- نمونه دستی از رگه سولفیدی (کالکوسیت) و رگه کربناتی (مالاکیت) در منطقه نرتلویی



شکل ۴-۲) الف- نمونه دستی از رخساره رگه- رگچه‌ای و هاله دگرسانی اطراف آن در سنگ دیواره در منطقه عباس آباد ب- نمونه دستی از رخساره رگه‌ای و هاله دگرسانی هماتیته در سنگ دیواره در چغندر سر جنوبی



شکل ۴-۳) الف- تصویر میکروسکوپی از نمونه‌ی کالکوپیریت به صورت دانه پراکنده در منطقه گورخان ب- تصویر میکروسکوپی از مس طبیعی به صورت دانه پراکنده در بازالت‌های منطقه گورخان

۳-۴- کانه‌های اصلی در منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود

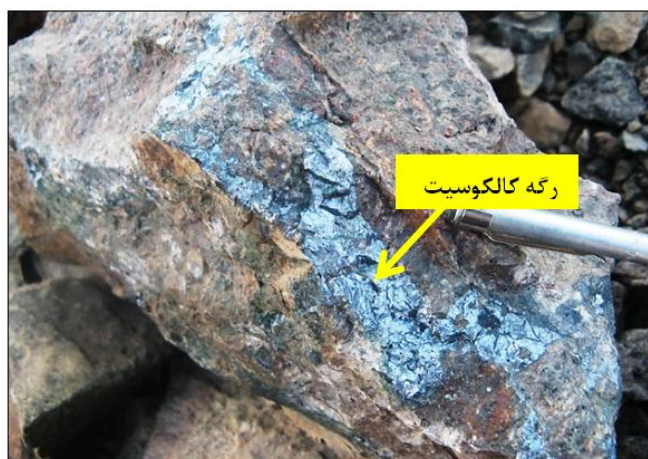
ماده معدنی در کانسارها و آثار معدنی شرق و جنوب شرق شاهرود به طور عمده کالکوسیت، مس طبیعی، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، کوپریت، هماتیت و مالاکیت هستند. کوولین و دیژنیت نیز به مقدار جزئی (در مقیاس میکروسکوپی) مشاهده می‌شوند.

۱-۳-۴- چغندر سرشمالی، جنوبی و مرکزی

کانی‌شناسی فلزی در کانسار چغندر سر شامل کانی‌های کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت و کوولین می‌باشند.

کالکوسیت Cu_2S

کالکوسیت در نمونه دستی به صورت رگه‌های سیاه تا نقره‌ای رنگ و یا به صورت دانه پراکنده و به رنگ نقره‌ای در نمونه‌های تازه شکسته شده مشاهده می‌شود. در نمونه دستی این کانی به صورت کانی اولیه دانه درشت و سیاه رنگ در رگه و رگچه‌ها مشاهده شد (شکل ۴-۴). این کانی نسبت به دیگر کانی‌های سولفیدی بیشترین فراوانی را در این مناطق شامل می‌شود. کالکوسیت در نمونه میکروسکوپی همراه با بورنیت، کوولین و کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل ۴-۷ الف).



شکل ۴-۴) نمونه دستی از کالکوسیت به صورت رگه‌ای در بازالت‌ها در چغندر سر جنوبی

بورنیت Cu_5FeS_4

این کانی در نمونه دستی با رنگ صورتی تا صورتی متمایل به قهوه‌ای قابل شناسایی است (شکل ۴-۵). بورنیت در مقاطع میکروسکوپی هم رشدی خوبی را با کالکوپیریت و کوولین نشان می‌دهد (شکل ۴-۷ ب) و از لحاظ دمای تشکیل همراهی این سه کانی با هم قابل توجیه است. در مقاطع میکروسکوپی این کانی سولفیدی مس از اطراف در شکستگی‌ها به کانی‌های کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است. بورنیت در اثر جانشینی به کالکوسیت و کوولین تبدیل می‌شود (رامدور، ۱۹۸۰).



شکل ۴-۵) بورنیت به رنگ قهوه‌ایی به دو صورت دانه پراکنده و رگه‌ای درون بازالت‌ها در چغندرسر شمالی

کالکوپیریت CuFeS_2

کالکوپیریت در نمونه‌های دستی به صورت دانه پراکنده (شکل ۴-۶) قابل مشاهده است. در مطالعه مقاطع صیقلی رنگ زرد گوگردی، آن را از سایر کانی‌ها متمایز نموده است. کالکوپیریت به صورت تیغه‌هایی در داخل بورنیت مشاهده می‌شود (شکل ۴-۷ ج).

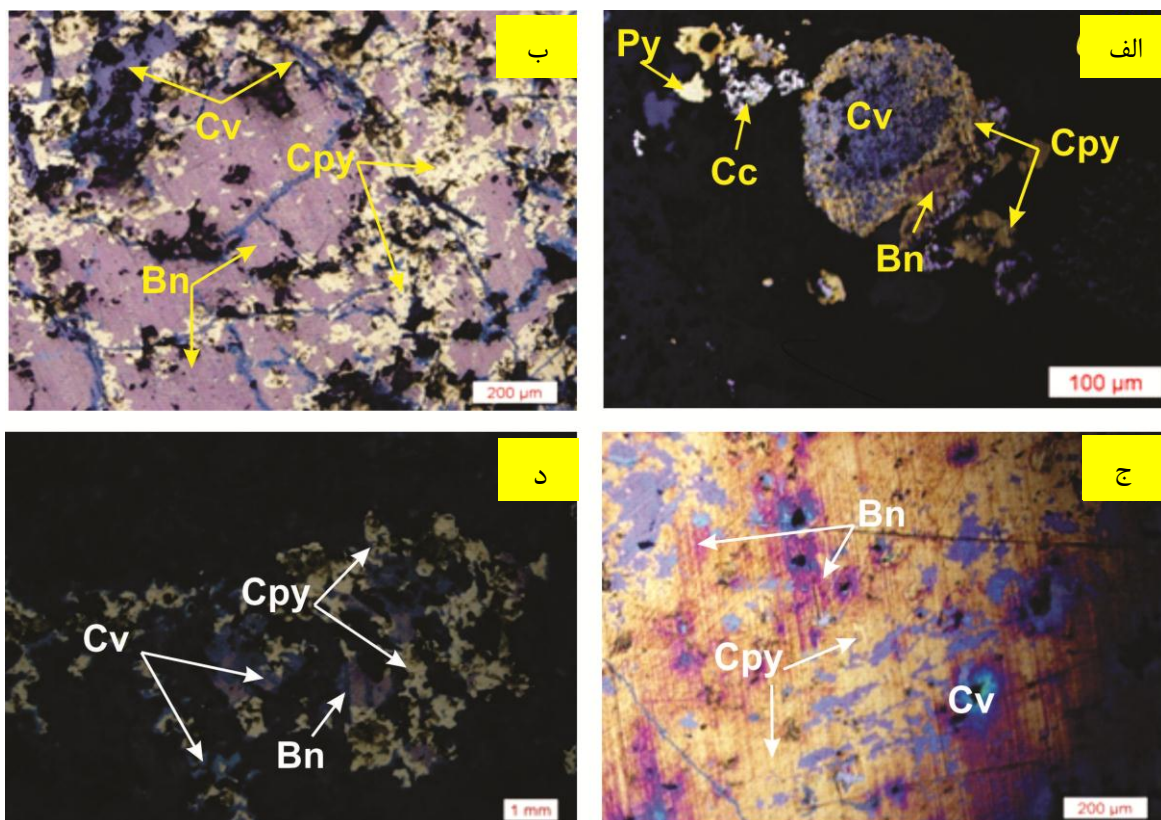
کوولین CuS

کوولین یک کانی ثانویه است که از تجزیه سولفیدهای مس (کالکوسیت، کالکوپیریت و بورنیت) تشکیل شده است و بیشترین گسترش این کانی در پهنه‌های هوازده و در رگه‌ها است. این کانی به

رنگ نفتی در مقاطع دیده می‌شود (شکل ۴-۵). کوولیت چند رنگی قوی و انیزوتروپی بالایی دارد. کوولین را می‌توان کانی ثانویه حاصل از دگرسانی کانی‌های سولفیدی مس در نظر گرفت.



شکل ۴-۶) کالکوپیریت و بورنیت در سنگ‌های میزبان بازالتی در چغندر سر شمالی



شکل ۴-۷) الف- تصویری از کالکوپیریت (Cpy) بورنیت (Bn) و کالکوسیت (Cc) و هم رشدی پیریت و کالکوپیریت. ب- تصویری از کالکوپیریت (Cpy) بورنیت (Bn) و تشکیل کوولین (Cv) در شکستگی‌ها. ج- تصویری از کالکوپیریت، بورنیت (Bn) و کوولین (Cv)، بورنیت از اطراف به کوولین تبدیل شده است. د- کالکوپیریت همراه با بورنیت و کوولین در داخل بازالت‌ها

۴-۳-۲- گریک و گورخان

مس طبیعی (Cu):

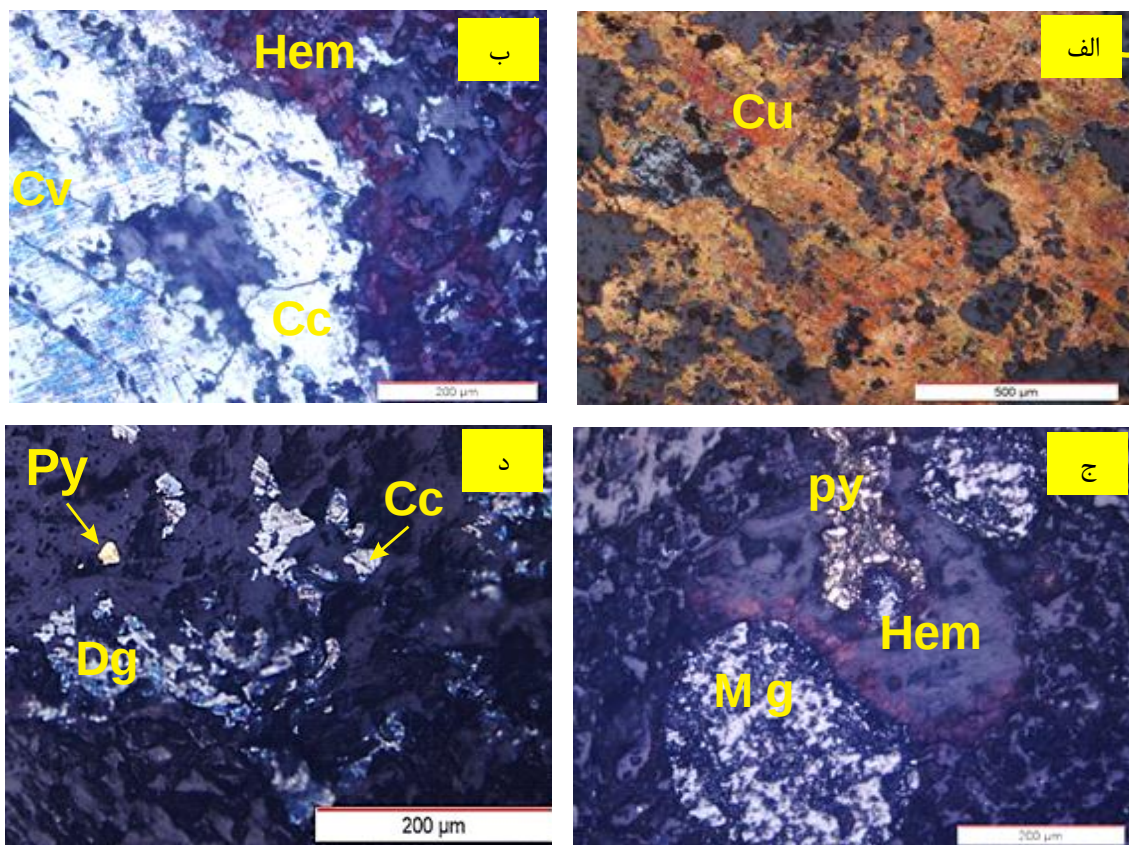
مس طبیعی با رنگ خاص خود هم در نمونه‌ی دستی و هم در مقاطع صیقلی میکروسکوپی به راحتی قابل تشخیص است. رنگ مس در زیر میکروسکوپ قرمز متمایل به مسی است. مس خالص در نور پلاریزه متقاطع ایزوتروپ است. اندازه دانه‌های مس خالص در حدود ۱ میلی‌متر تا ۲ سانتی‌متر و گاهی در اندازه‌های بزرگ‌تر در داخل رگه‌ها دیده می‌شود. مس در فضاها و خالی در زیر میکروسکوپ به راحتی قابل تشخیص است (شکل ۴-۸ الف).

هماتیت (Fe_2O_3):

بر اساس Haynes et al. (1995) برای تشکیل هماتیت در قسمت‌های فوقانی کانسار حضور اکسیژن ضروری است. به عبارت دیگر، باید فوگاسیته اکسیژن افزایش پیدا کند. برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا این میزان زیاد اکسیژن را فراهم کند و محتمل‌ترین منبع اکسیژن، آب-های جوی است که در اثر چرخش در قسمت بالایی کانسار باعث اکسیده شدن قسمت فوقانی کانسار می‌شوند. هماتیت در محیط هوازدگی، پایدار بوده و معمولاً توسط هوازدگی به وجود می‌آید. در این مناطق اصولاً هماتیت حاصل دگرسانی مگنتیت می‌باشد. (شکل ۴-۸ ب).

پیریت (FeS_2):

بر اساس Craig and Vokes. (1993) پیریت، گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین بوده و معمولاً فاز کدر اولیه نهشته‌های معدنی را تشکیل می‌دهد. پیریت با رنگ کرمی در زیر میکروسکوپ قابل شناسایی است. در مقاطع صیقلی بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار پیریت به صورت دانه پراکنده در زمینه سنگ دیده می‌شود (شکل ۴-۸ د). پیریت به مقدار کم همراه با بخش‌های سولفیدی کانه‌زایی‌های مس صورت گرفته در مناطق مختلف مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۸ الف- تصویر میکروسکوپی مس طبیعی (Cu) در بازالت‌ها ب- هماتیت (Hem) به همراه مگنتیت (Mg) و کالکوسیت (Cc) در بازالت‌ها ج- رشد کانی‌های پیریت (py) و مگنتیت (Mg) در کنار یکدیگر، مگنتیت‌های نیمه شکل‌دار که در اثر هوازدگی به هماتیت تبدیل شده است. د- بلورهای نیمه شکل‌دار پیریت (Py) به همراه کالکوسیت (Cc) و دیژنیت (Dg)

۴-۳-۳- روگرو

مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$:

این کانی به رنگ سبز روشن تا تیره، به مقدار بسیار کمی همراه با کلسیت دیده می‌شود (شکل ۴-۹). مالاکیت یکی از فراوان‌ترین کانی‌ها در قسمت‌های سطحی ذخایر مس است. مالاکیت یک کانی کربناتی است که در اثر عوامل ثانویه از قبیل فرایندهای جوی در مناطق سطحی تشکیل شده است. این کانی در بیشتر کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود مشاهده می‌شود.



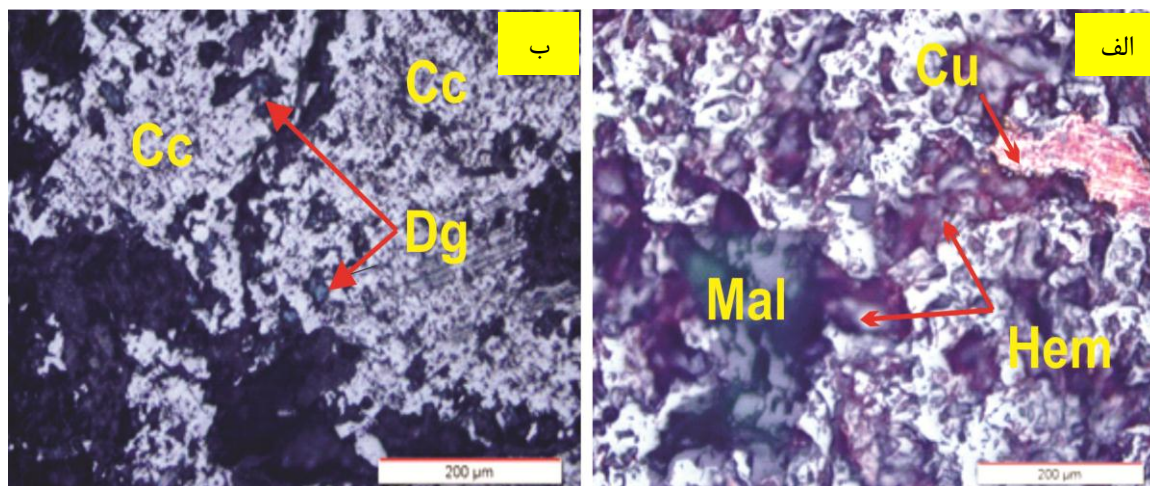
شکل ۴-۹) نمونه دستی از مالاکیتهای منطقه روگرو که به صورت رگه‌ای تشکیل شده‌اند.

۴-۳-۴- استغانی و نرتلویی

در مناطق استغانی و نرتلویی نیز همانند سایر مناطق شرق و جنوب شرق شاهرود کانی‌های کالکوسیت، مالاکیته، کوولین، هماتیت و مس طبیعی دیده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌شود در این مناطق اغلب کانی‌های کالکوسیت به مالاکیته تبدیل شده است. در تصاویر میکروسکوپی منطقه استغانی کانی‌های کالکوسیت، هماتیت و مس طبیعی در کنار یکدیگر مشاهده می‌شود (شکل ۴-۱۱ الف). همچنین در این مناطق به مقدار کمتر کانی‌های کالکوسیت و کوولین مشاهده شد (شکل ۴-۱۱ ب).



شکل ۴-۱۰) کانه‌زایی کالکوسیت و مالاکیته با ساخت رگه‌ای در منطقه استغانی



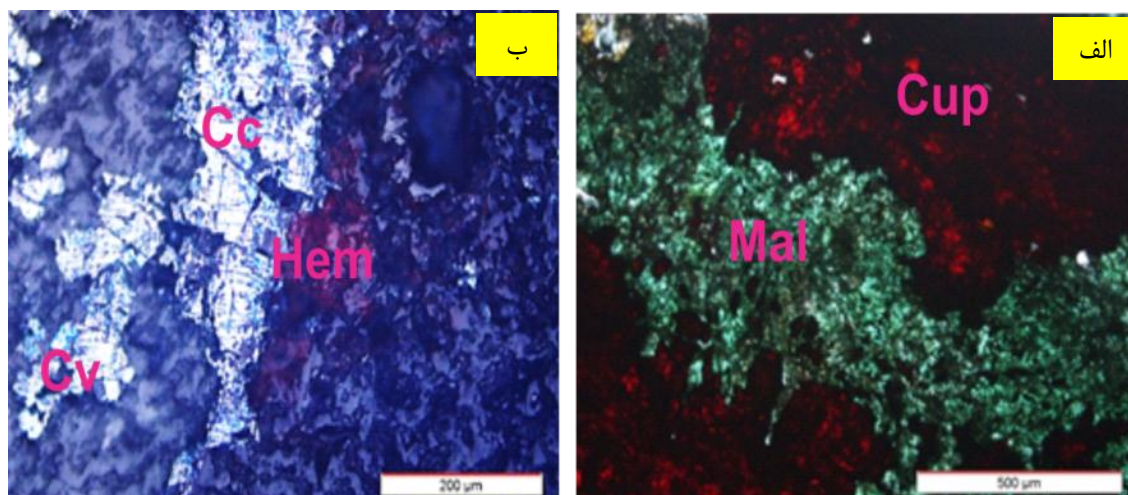
شکل ۴-۱۱) الف- تصویر میکروسکوپی مس طبیعی (Cu)، هماتیت (Hem) و مالاکیت (Mal) در بازالت‌های منطقه استغانی ب- تصویر میکروسکوپی کالکوسیت (Cc) و به مقدار کمتر کوولین (Cv) در منطقه استغانی

کوپریت Cu_2O :

کوپریت در مناطق اکسیدان ذخایر مس تشکیل می‌شود. در زیر میکروسکوپ این کانی دارای بیرفرنژانس سبز مایل به آبی است و دارای انعکاس درونی قرمز است (شکل ۴-۱۲ الف). کوپریت یک کانی ثانویه است. کوپریت بیشتر با مس خالص همراه است. این کانی به صورت ثانویه در حفره‌ها و شکستگی‌ها تشکیل شده است.

مالاکیت و آزوریت:

مالاکیت فراوان‌ترین کانی‌های غیر سولفیدی مس‌دار در منطقه مطالعاتی می‌باشد. برخلاف مالاکیت، آزوریت از فراوانی بسیار کمی برخوردار است. این دو کانی کربناته آبدار از اطراف جانشین کالکوسیت، کالکوپیریت و بورنیت می‌شوند (شکل ۴-۱۲ ب). بسته به شرایط این جانشینی ممکن است به طور کامل انجام گیرد و باعث شود تمام کانی‌های سولفیدی به مالاکیت و آزوریت تبدیل شوند.



شکل ۴-۱۲) الف- تصویری میکروسکوپی از کوپریت (Cup) و مالاکیت (Mal) در منطقه نرتلویی ب- تصویر میکروسکوپی از حضور کالکوسیت (Cc)، کوولین (Cv) و هماتیت (Hem)

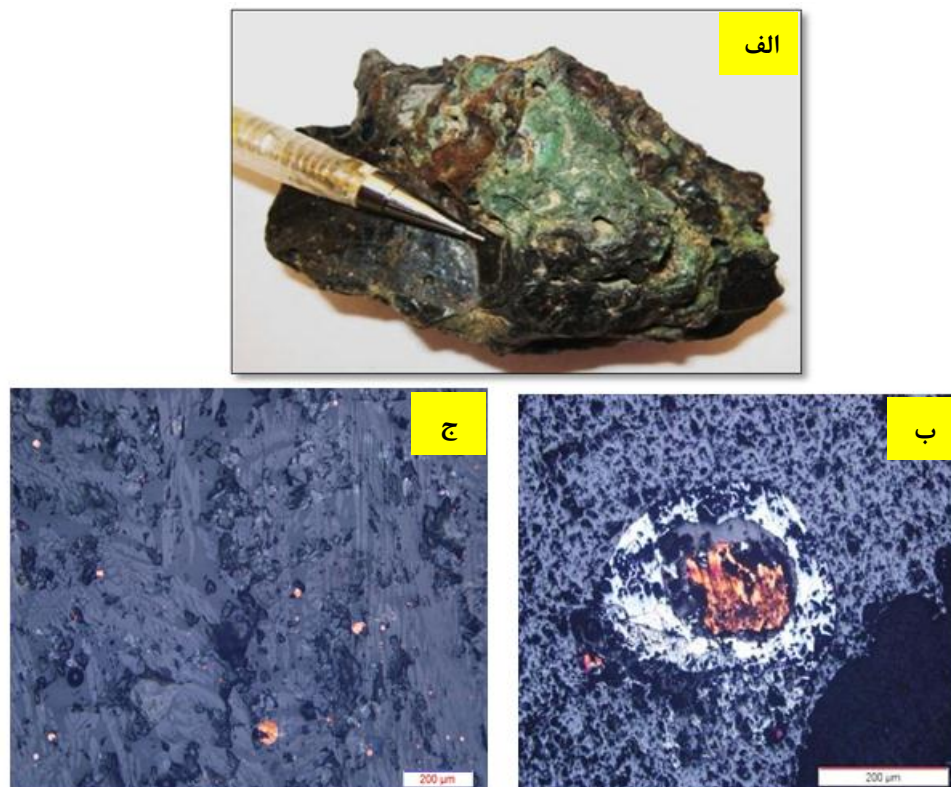
سرباره‌های ذوب قدیمی

از مهم‌ترین مشخصات ظاهری سرباره‌ها عبارت‌اند از:

رنگ: با توجه به درصد بالای ترکیبات سیلیکاته آهن‌دار در سرباره‌ها، رنگ آن‌ها بیشتر به سیاه تا خاکستری تیره تمایل دارد و سطح قطعات بسیار براق و شیشه‌ای است (شکل ۴-۱۳ الف). سرباره‌های ذوب مس با رنگ سیاه تا قهوه‌ای روشن، که در بافت خود شیارهای قرمزی آشکار می‌سازند ناشی از وجود اکسیدهای مس است (شکل ۴-۱۳ ب).

بافت: بسیاری از سرباره‌ها دارای بافت و ساخت جریانی می‌باشند (شکل ۴-۱۳ ج). این بافت در برخی موارد مشابه سرباره به‌صورت شیشه‌ای و براق ظاهر می‌شود (مانند ابسیدین). تنوع ساختاری سرباره‌ها با توجه به تکنیک استحصال و ذوب تفاوت می‌کند.

تخلخل: تخلخل در اکثر سرباره‌ها به‌وفور دیده می‌شود این تخلخل غالباً ناشی از وجود گازی است که در اثر عملیات ذوب خارج شده‌اند (امامی، ۱۳۸۳).



شکل ۴-۱۳) الف- نمونه دستی از سرباره کوره ذوب مس در منطقه استغانی ب- تصویری میکروسکوپی از کانی‌های مس‌دار (مس طبیعی و کالکوسیت) در سرباره‌های کانسار نرتلویی در نور (PPL) ج- تصویر میکروسکوپی بافت جریانی سرباره مس در نور (XPL).

۴-۴- پاراژنز

مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها اطلاعات مفیدی در مورد ویژگی‌های محیط تشکیل کانسار در اختیار می‌گذارد (واگان، ۱۹۷۸). طبق مشاهدات بافتی که در طی مطالعات میکروسکوپی صورت گرفت می‌توان توالی پاراژنزی را برای کانه‌زایی در این مناطق به صورت زیر تعیین کرد (جدول ۵-۱ تا ۵-۳).

جدول ۴-۱۴) توالی پاراژنتیک کانی‌ها، بافت و ساخت ماده معدنی در کنسارهای مس گریک و گورخان

Minerals		Diagenesis	Uplift	Weathering
	Hematite			
	Pyrite			
	Digenite			
	Chalcocite			
	Quartz			
	Calcite			
	Native Copper			
	Malachite/Azurite			
Textures	Vein-veinlet			
	Open space filling			
	Replacement			

جدول ۴-۱۵) توالی پاراژنتیک کانی‌ها، بافت و ساخت ماده معدنی در کنسارهای مس نرتلویی و استغانی

Minerals		Diagenesis	Uplift	Weathering
	Hematite			
	Chalcocite			
	Covelite			
	Quartz			
	Calcite			
	Zeolites			
	Native Copper			
	Malachite/Azurite			
Textures	Vein-veinlet			
	Open space filling			
	Replacement			

جدول ۴-۱۶) توالی پاراژنتیک کانی‌ها، بافت و ساخت ماده معدنی در کانسارهای چغندر سر شمالی، مرکزی، جنوبی

Minerals		Diagenesis	Uplift	Weathering
	Hematite			
	Chalcopyrite			
	Pyrite			
	Digenite			
	Bornite			
	Chalcocite			
	Covelite			
	Quartz			
	Calcite			
	Zeolites			
	Native Copper			
	Malachite/Azurite			
Textures	Vein-veinlet			
	Open space filling			
	Replacement			

فصل پنجم

ژئوسمی

۵-۱- مقدمه

ترکیب عناصر اصلی و فرعی ماگما توسط نوع فرآیند ذوب و نرخ ذوب بخشی کنترل می‌شود و با توجه به اینکه ماگما در حین حرکت به سطح زمین و جایگیری در بین طبقات سطحی توسط عواملی همچون تبلور بخشی، اختلاط ماگمایی، آلیش و هضم و یا مخلوطی از همه‌ی این فرآیندها به شدت تغییر می‌کند، برای شناخت این عوامل تنها با تکیه بر شواهد پتروگرافی سنگ‌ها نمی‌توان به تحولات ماگمایی پی برد. در نتیجه برای شناخت تأثیرات شیمیایی این فرایندها و به منظور درک فرایندهای مؤثر در تغییر و تحول ماگما و شناخت اختصاصات ماگمایی مولد آن، لازم است تا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی آن انجام گیرد. همچنین توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که معمولاً همیشه در مطالعات ژئوشیمیایی مدنظر می‌باشد و با استفاده از این روابط تا حدودی می‌توان به محیط و فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد (بارنز^۱، ۱۹۷۹)، بنابراین به منظور آگاهی از روابط موجود میان عناصر مختلف و توزیع آن‌ها در واحدهای سنگی موجود و همچنین اطلاع از تمرکز عناصر مختلف در کانسنگ‌های مس کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود اقداماتی در این تحقیق صورت گرفت. از این رو پس از مطالعات میدانی و نمونه‌برداری از سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌ها از کانسار و اندیس‌های این منطقه، تجزیه نمونه‌ها با روش‌های XRF در آزمایشگاه شرکت فرآوری مواد معدنی و ICP-MS در آزمایشگاه Acme کانادا انجام شد.

۵-۲- ژئوشیمی مس

از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت کالکوفیل دارد (میسون و مر، ۱۹۸۲). سولفیدهای مس طی فرایند هوازدگی به سادگی به سولفات‌ها اکسیده می‌شود و مس به صورت Cu^{+2} آزاد می‌شود. Cu^{+2} توسط محلول‌ها انتقال یافته و سپس در محیط‌های احیایی به صورت سولفید رسوب می‌کند و یا در

1 Barnse

اثر برخورد با سنگ‌های آهکی مسیر انتقال، به صورت کربنات‌ها ته‌نشین می‌شود. غلظت مس در آب دریا حدود ۰/۰۰۳ بوده است. مقدار مس در کانی‌های سیلیکاته با پیشرفت فرایند تفریق، تا زمانی که فاز مایع از سولفور اشباع شود، افزایش می‌یابد. در این مرحله، به علت تشکیل یک مذاب سولفیدی غیر قابل امتزاج با ماگمای مادر، بخش عمده مس از مذاب سیلیکاتی جدا می‌شود و در نتیجه بعد از این مرحله، کانی‌های تشکیل شده مقدار مس پایین‌تری را نشان می‌دهند (فیربریدج، ۱۹۷۲). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مس به راحتی وارد ساختمان کانی‌های سیلیکاته نمی‌شود، چون باعث به هم ریختگی شدید در شبکه بلوری و ناپایداری انرژی می‌گردد. مس در شبکه کانی‌های سیلیکاته به صورت Cu اهمیت دارد، در صورتی که حالت یک ظرفیتی مس از اهمیت کمتری برخوردار است (استانتون، ۱۹۹۴).

۵-۳- ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب

عناصر اصلی عناصری هستند که غلظت آن‌ها در سنگ بیشتر از ppm ۱۰۰۰ است (مر و مدبری، ۱۳۸۴). این عناصر در نتایج تجزیه سنگ، غالب هستند و به‌طور مرسوم به صورت اکسید بیان می‌شوند. این عناصر عبارت‌اند از: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Na, P, K, Mg و غلظت آن‌ها به صورت درصد وزنی (Wt%) اکسید بیان می‌شود. اندازه‌گیری عناصر اصلی فقط برای کاتیون‌ها صورت می‌گیرد و فرض بر این است که آن‌ها با مقدار مناسبی اکسیژن همراهی می‌شوند. بنابراین مجموع اکسیدهای عناصر اصلی حدود ۱۰۰٪ خواهد بود و مجموع داده‌های تجزیه می‌تواند به عنوان راهنمای تقریبی برای قابل اعتماد بودن آن بکار رود (رولینسون، ۱۹۹۸). به منظور مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، تعداد ۱۱ نمونه به روش XRF (جدول ۵-۱) و ۱۵ نمونه جهت آنالیز عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی به روش ICP-MS (جدول ۵-۲)، به مرکز فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد. برای استفاده از نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش XRF ابتدا تصحیحاتی لازم بر روی آن اعمال شد.

۵-۳-۱- تصحیح مربوط به حذف مواد فرّار (L.O.I)

میزان مواد فرّار در سنگ‌های ماگمایی کم است و حضور آن‌ها عمدتاً ناشی از فرآیندهای ثانویه مانند دگرسانی و هوازدگی می‌باشد (ویلسون^۱، ۱۹۸۹). نتایج حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده وجود مواد فرّار (L.O.I) در نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی ۱/۲ تا ۱۰/۲ درصد است. به منظور حذف مواد فرّار برای هر نمونه‌ی سنگی، درصد L.O.I را از مقدار حاصل جمع اکسیدهای آن نمونه کم کرده، عدد بدست آمده، مقدار جدید مجموع اکسیدها در سنگی خواهد بود که مواد فرّار آن حذف شده است. سپس، نسبت بدست آمده (۱۰۰ تقسیم بر مجموع جدید) را به صورت ضریبی در مقدار درصد هر یک از اکسیدهای سنگ ضرب کرده، تا درصد وزنی اکسیدها بدون مواد فرّار محاسبه گردد. به عنوان مثال ضریب حذف مواد فرّار (Z) برای نمونه‌ی AB₉، به صورت زیر محاسبه شده است:

$$L.O.I = 2.6, AB_9: \text{Sum} = 99.64$$

$$\text{Sum} - L.O.I = 99.64 - 2.6 = 97.04$$

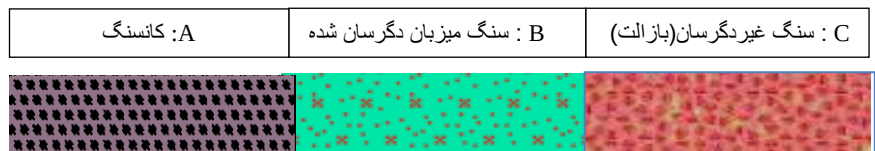
$$Z = 100 / 97.04 = 1.03$$

۵-۳-۲- عناصر کمیاب:

عناصر کمیاب به عناصری اطلاق می‌شود که در حد کمتر از ۰/۱ درصد حضور دارند و غلظتشان به صورت قسمت در میلیون (ppm) و یا ندرتاً قسمت در بیلیون (ppb) بیان می‌شود. به‌طور کلی عناصر ناسازگاری که متعلق به گروه عنصری دارای قدرت میدانی پایین (LFSE) هستند متحرک هستند. در صورتی که عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) شامل: P, Ta, Nb, Ti, Hf, Zr, Th, Sc و REE غیرمتحرک می‌باشند (پیرس، ۱۹۸۳). با نرمالیزه کردن این عناصر به نسبت یک شاخه اولیه به غنی‌شدگی یا فقیرشدگی آن‌ها پی برده و به عنوان یک ابزار مفید در بررسی‌های زمین‌شناسی استفاده نمود. نرمالیزه کردن نسبت به کندریت‌ها از دو جنبه دارای اهمیت است: اولاً تغییرات فراوانی عناصر با عدد اتمی زوج و فرد حذف و برطرف می‌شود و ثانیاً هرگونه جدایش و تفکیکی که از عناصر نسبت به کندریت‌ها صورت گرفته باشد به آسانی قابل تشخیص است (رولینسون، ۱۹۸۹).

جدول ۵-۱) نتایج آنالیز XRF، برای نمونه‌های کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود.

Sample	گریک			گورخان			عباس آباد	روگرو	استغانی	نرتلویی	چغندر سر
Major Oxide wt. %	A	B	C	A	B	C	B	A	C	A	A
Al ₂ O ₃	17.12	18.46	18.71	15.55	16.77	17.61	17.38	15.53	14.59	16.42	19.80
SiO ₂	60.71	51.33	50.57	63.46	56.11	56.07	52.01	48.79	48.74	52.02	54.79
MgO	2.49	6.05	5.84	3.16	5.16	3.07	5.66	4.31	5.67	9.69	4.01
Fe ₂ O ₃	5.57	8.10	7.93	4.97	7.21	7.75	5.99	8.98	8.02	6.45	6.04
Na ₂ O	3.94	5.74	4.95	3.62	3.02	3.26	6.29	4.75	3.60	5.38	4.00
K ₂ O	2.98	1.77	1.73	1.07	2.19	2.70	0.90	3.65	2.81	1.69	4.03
CaO	5.90	6.96	8.44	7.01	8.26	8.16	9.74	12.68	7.37	7.28	5.62
TiO ₂	0.68	0.87	0.85	0.58	0.60	0.77	1.22	0.72	0.73	0.60	0.74
MnO	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
SrO	0.07	0.07	0.07	0.16	0.08	0.08	0.07	0.00	8.02	0.00	0.13
P ₂ O ₅	0.53	0.65	0.59	0.43	0.60	0.54	0.57	0.58	0.47	0.49	0.58
SO ₃	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
L.O.I	1.47	4.47	3.48	3.15	3.1	1.12	6.23	10.2	5.52	9.88	3.51
Total	97.57	95.54	96.51	96.17	96.89	98.68	93.75	86.05	98.43	82.19	95.54



جدول ۵-۲ داده‌های آنالیز ICP-MS برای کانسارهای شرق شاهرود (داده بر حسب PPM)

Sample	نرتلویی		روگرو		گریک			گورخان			استغانی	گچ کنوم	عباس آباد	چغندر سر	
.	NA	N1/6B	RU.1A	RU.2B	Ger2/1A	Ger3/4B	Ger3/2C	Gor2/22A	Gor.11B	Gor.1.C	E1.B	gaj1.A	A.T.5/4B	Ch3/3A	CH.3.1B
PPM															
Mo	0.54	0.89	0.48	1.01	0.54	0.71	0.68	0.34	0.78	1.08	0.84	0.93	1.11	0.93	1.36
Cu	79300	1350.04	37300	132.52	9700	51.17	56.73	9223.03	81.89	1737.06	266	2667.88	25.21	9600	51.07
Pb	4.57	10.66	25.34	16.07	6.61	20.99	10.25	4.39	10.7	9.16	12.11	13.99	24.72	11.77	14.37
Zn	44.7	72.7	60	65.1	41.2	65.5	75.8	49.7	62.6	83.1	73.8	103.2	72.4	61.7	108.3
Ag*	2464	586	3291	298	8819	151	121	4108	118	397	210	1700	78	2660	83
Ni	37	32.2	15.1	16.1	7.3	35.4	26.4	6.4	10.5	16.8	32.2	35.8	16.8	8.7	9.7
Co	27.9	34.2	29.7	34.4	16.1	35.3	38.6	17.6	27.8	22.6	34.4	34.8	21.6	23.2	26.4
As	0.6	2.4	3.6	3	16.5	1.8	1.3	6.5	1.2	2.6	0.9	1.3	4.1	2.1	1.9
Th	2	3.6	3.7	4.1	2.5	4.3	3.9	2.2	3	2.4	3.8	3.2	3.9	5.6	5.6
Sr	131	705	374	863	617	643	744	1172	805	735	911	324	695	951	859
Cd	0.08	0.14	0.08	0.4	0.1	0.15	0.19	0.1	0.13	0.06	0.13	0.12	0.08	0.41	0.24
Sb	1.01	0.49	0.16	0.13	0.11	0.1	0.08	0.08	0.21	0.17	0.28	1.06	0.11	0.2	0.22
Bi	0.11	0.06	0.06	<0.04	0.13	0.05	0.07	0.12	0.07	0.11	0.07	0.13	<0.04	0.05	<0.04
V	179	290	239	362	264	312	359	252	297	355	322	287	277	233	250
P	1030	1630	1960	2360	1610	2310	1990	1350	1840	1580	2180	1630	1900	2280	2270
La	9.5	16.7	16.9	19.2	9.3	21.5	18	10.3	16.4	13.1	19.8	16.4	28.1	16.7	16.1
Cr	173	144	73	59	127	149	78	56	47	122	116	182	65	59	37
Ba	227	344	609	481	289	275	316	228	315	298	352	451	114	405	377
Ti	2870	4300	3750	4130	4240	4600	5120	3690	4340	4650	4820	3950	6740	4400	4880
K	12500	24300	27900	16700	27500	14300	16200	10500	18000	22500	24400	24600	7400	33600	30200
W	0.2	0.4	0.4	0.6	0.7	0.2	0.1	0.3	0.3	1	0.4	0.3	0.5	0.5	0.3
Zr	49.6	75.2	60.1	71.7	73.9	91.3	82.3	59.5	66.8	71	86.2	71.2	111.2	138.1	145.7
Sn	0.7	0.9	0.7	1	0.9	1.1	0.9	1.2	0.8	0.9	1.1	0.9	1.1	1.3	1.2

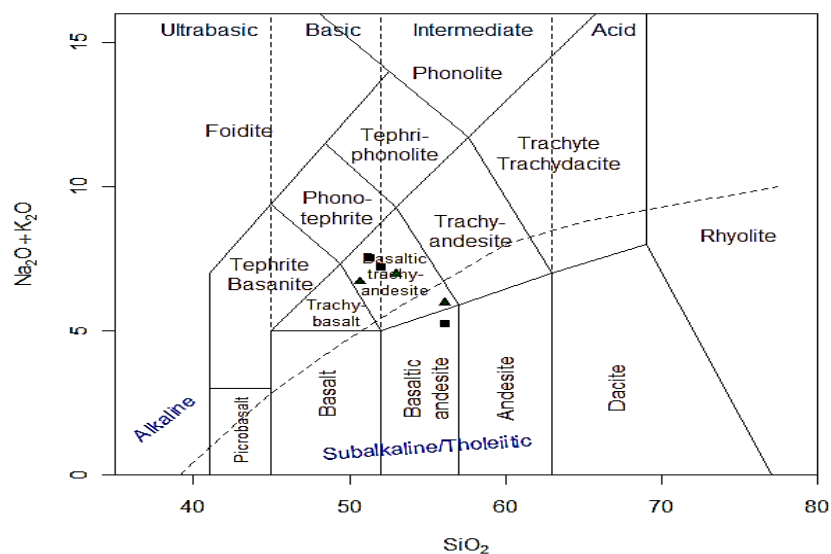
ادامه جدول ۵-۲

Sample	نرتلویی	روگرو	گریک	گورخان	استغانی	گچ کنوم	عباس آباد	چغندر سر	Sample	نرتلویی	روگرو	گریک	گورخان	استغانی	گچ کنوم
.	NA	N1/6B	RU.1A	RU.2B	Ger2/1A	Ger3/4B	Ger3/2C	Gor2/22A	.	NA	N1/6B	RU.1A	RU.2B	Ger2/1A	Ger3/4B
Sc	22.1	33.7	23.4	26.3	26.1	28.7	35.6	23.4	29.8	32.6	28.3	34.3	25.6	13.9	15
Y	11.3	16.6	14	15.7	13.4	17.5	17.6	12.9	16	16.3	18.1	13.9	17.4	17.5	17.4
Ce	21.53	35.42	35.95	40.99	22.73	44.85	39.54	22.48	32.53	27.3	40.97	33.56	54.92	36.98	39.21
Pr	2.8	4.5	4.4	5.2	3	5.7	5.2	2.9	4	3.4	5.4	4.6	6.2	4.6	4.5
Nd	12.6	19.8	19.6	20.8	13.3	25	21.8	13.2	18.8	16.3	23	18.9	24.8	17.7	19.6
Sm	2.7	4.4	3.9	4.9	3.6	5.2	4.9	3.2	3.9	4	5.1	4.2	4.9	4.2	4.8
Eu	0.6	1.3	1.1	1.2	0.9	1.4	1.4	0.9	1.2	1	1.4	1	1.4	1	1.2
Gd	2.7	4	3.8	4.3	3.4	4.8	4.9	2.8	3.9	3.6	4.3	4.2	4.5	3.8	4.9
Tb	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.6
Dy	2.3	3.7	3	3.4	2.8	4.2	4	2.8	3.3	3.3	3.4	3	3.7	3.6	3.7
Ho	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7
Er	1.2	2.1	1.6	1.9	1.6	2	2.1	1.5	1.8	2	2	1.6	1.8	2	1.9
Tm	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3
Yb	1.1	2	1.7	1.6	1.6	1.9	2.1	1.3	1.9	2	1.9	1.7	1.4	2.2	2.1
Lu	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4
Hf	1.38	2.15	1.74	2.02	2.1	2.42	2.28	1.7	2.02	1.95	2.41	2.13	2.77	3.35	3.91
Li	23.5	27.5	20.3	18	13.9	15.2	14.3	12.9	9	6.9	26.3	33.5	37	18.9	24.3
Rb	27.6	65	38.1	22.1	50.8	19.9	29.2	23.6	35.8	42.3	37	62.6	18.5	43.6	18.3
Ta	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	1.3	0.4	0.4
Nb	1.87	3	2.4	2.59	2.1	3.75	3.28	1.93	2.17	2.36	3.46	2.8	22.23	6.8	7.01
Cs	4.8	2.6	2.9	3.5	0.7	2.7	1.2	0.8	0.5	0.7	2	3.4	6.1	1.9	2
Ga	16.35	14.63	12.74	15.2	14.97	14.92	16.73	13.08	15.37	16.77	16.08	13.3	19.05	16.87	19.09
In	0.02	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.09	0.05	0.03	0.04
Te	2.4	2.8	1.52	1.74	1.1	2.01	2.39	0.97	2.46	1.57	1.8	2.33	1.92	1.01	0.97

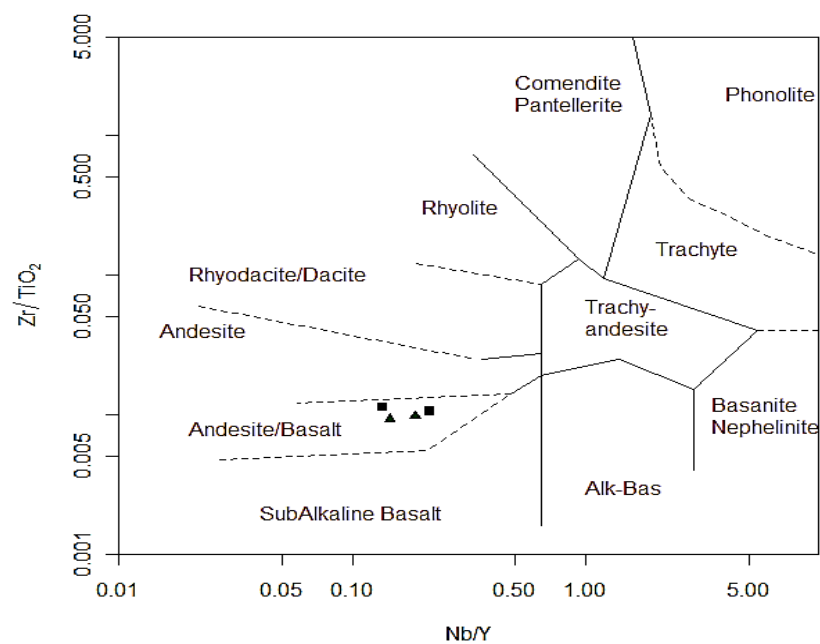
* واحد در بلیون (ppb)

۵-۳-۲-۱- نام‌گذاری ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین

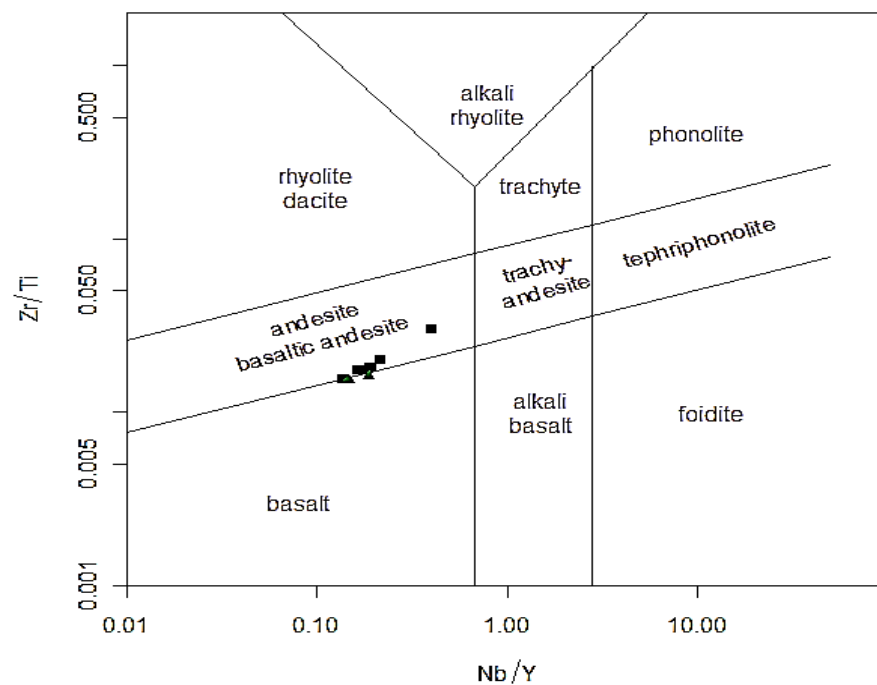
رده‌بندی‌های مختلفی توسط سنگ‌شناسان مختلف برای سنگ‌های آتشفشانی پیشنهاد شده است. در این تحقیق برای طبقه‌بندی سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه شرق شاهرود از نمودارهای (۱۹۸۶) (TAS) Le Bas et al (۱۹۷۷)، Winchester and Floyd (۱۹۷۷)، Middle، Modified by Pearce (۱۹۷۷) (۱۹۹۴) Most (TAS) استفاده شده است. در نمودار (۱۹۸۶) (TAS) Le Bas et al مجموع درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ترسیم می‌شود. این نمودار با توجه به مقدار SiO_2 به گروه‌های اولترابازیک، بازیک، حدواسط و اسیدی تقسیم شده است. از ویژگی‌های این نمودار، وجود خط جداکننده‌ی محدوده‌ی آلکالن از ساب‌آلکالن است. بر طبق این نمونه‌های مورد مطالعه متعلق به مناطق شرق و جنوب شرق شاهرود در تراکی آندزیت بازالت و آندزی بازالت قرار می‌گیرند، ضمناً بیشتر نمونه‌ها در قلمرو آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۱). در نمودارهای Nb/Y در برابر Zr/TiO₂ (وینچستر و فلوی، ۱۹۷۷) سنگ‌های آتشفشانی مورد نظر دارای ترکیب بازالت می‌باشند (شکل ۵-۲)، ولی سنگ‌های همین مناطق در نمودار پیرس (۱۹۷۷) در مرز بین واحدهای بازالتی و آندزیت بازالتی واقع می‌شود (شکل ۵-۳). در نمودار میدل موست (TAS) (1994) سنگ‌های فوق‌الذکر در محدوده بازالت و تراکی آندزیت بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۵-۴). در مجموع با توجه به مشاهدات صحرایی و پتروگرافی و ملاحظات ژئوشیمیایی نام بازالت، تراکی بازالت و تراکی آندزی بازالت برای این سنگ‌ها مناسب و منطقی است. به طور کل تفاوت این نمودارها، می‌تواند در نحوه‌ی مرزبندی میدان‌های مختلف باشد. در این مبحث بازالت‌های دگرسان شده با علامت مربع (■) و بازالت‌های غیردگرسان با علامت مثلث (▲) نشان داده شده است.



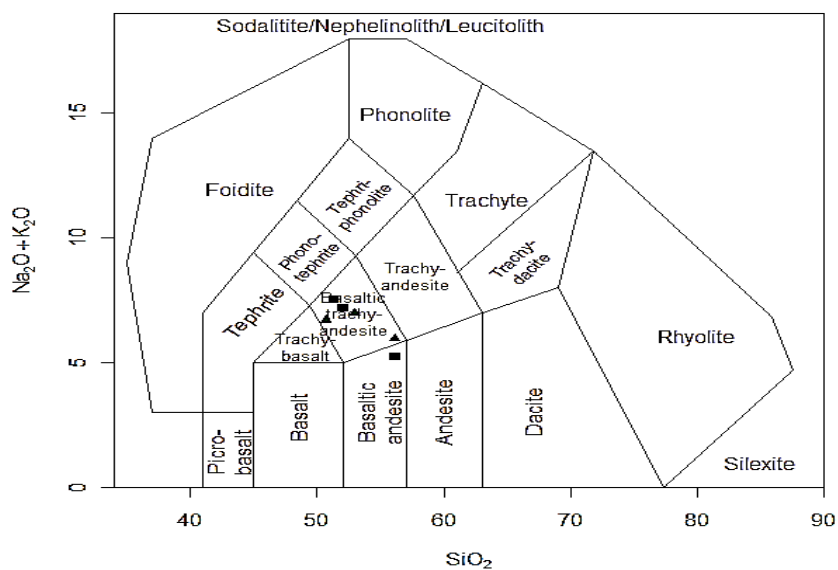
شکل ۵-۱) نمودار TAS ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) اقتباس از Le Bas et al. (۱۹۸۶)



شکل ۵-۲) موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Nb/Y . Winchester and Floyd (1977)



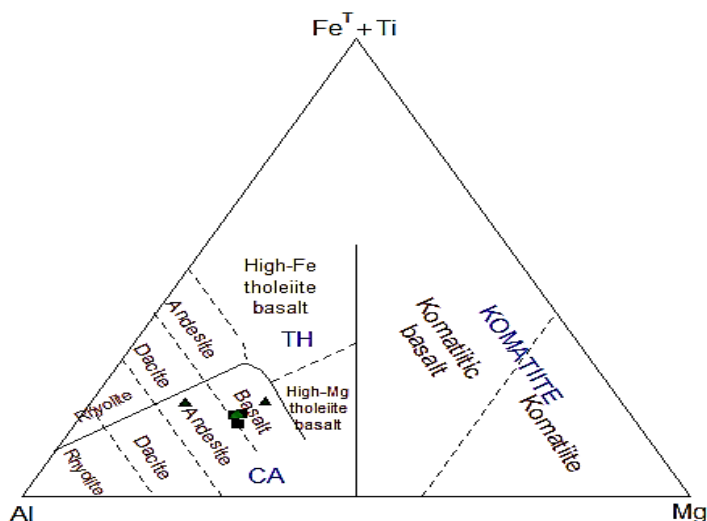
شکل ۳-۵ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود در نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti (پیرس، ۱۹۷۷).



شکل ۴-۵ رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار TAS (SiO₂/Na₂O+K₂O) (میدل ماست، ۱۹۹۴).

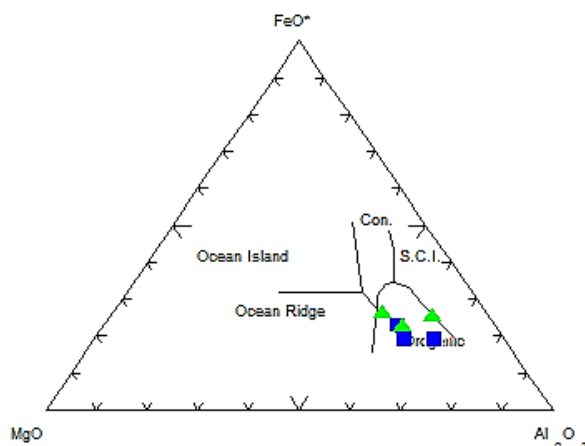
۵-۳-۲- تعیین محیط زمین ساخت سنگ‌های آذرین

نمودارهای متمایز کننده محیط‌های تکتونوماگمایی، نمودارهای تغییرات ژئوشیمیایی هستند که در آن ماگماهای تولید شده در جایگاه‌های متفاوت تکتونیکی می‌توانند براساس شیمی‌شان از یکدیگر متمایز شوند. در این نمودارها ماگمای تشکیل شده در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف بر اساس تغییرات ژئوشیمیایی متفاوت عناصر اصلی، فرعی و کمیاب از یکدیگر جدا می‌شوند (Turner and et al., 1996). در نمودار سه‌تایی Fe^T+Ti , Mg , Al از Jensen (۱۹۷۶) سنگ‌های آتشفشانی در محدوده بازالت‌های کالکوالکالن قرار می‌گیرند (شکل ۵-۵).



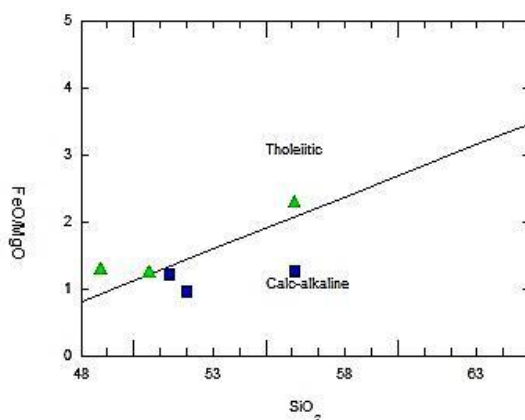
شکل ۵-۵) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق شاهرود در نمودار سه‌تایی $Al-Mg-Fe^T+Ti$

نمودارهای $MgO-FeO-Al_2O_3$ (اقتباس از پیرس و همکاران، ۱۹۷۷) مرزهای بسیاری از جایگاه‌های زمین ساخت را بر اساس دامنه ترکیبی سنگ‌های آتشفشانی نشان می‌دهد. این نمودار فقط برای سنگ‌های ساب آلکالن با دامنه SiO_2 ۵۱-۵۶٪ وزنی به کار می‌رود. در این نمودار نمونه‌ها در محدوده جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره‌ایی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۶). با توجه به موقعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و تاریخچه تحولی آن، محیط پشت قوس یا درون قوسی برای آن مناسب‌تر است.



شکل ۵-۶) نمودارهای $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3$ اقتباس از پیرس و همکاران (۱۹۷۷)

در نمودار SiO_2 در برابر FeO/MgO از Miyashiro (۱۹۷۴) توزیع سنگ‌های آتشفشانی را بین سری ماگمایی تولییتی و کالک‌آلکالن را نشان می‌دهد بیانگر ماهیت کالک‌آلکالن بیشتر سنگ‌ها می‌باشد فقط تعداد اندکی از نمونه‌ها در مرز و محدوده سری تولییتی قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۷). واقع شدن نمونه‌ها در محدوده تولییتی امری انتزاعی است و با سایر شواهد سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی مطابقت ندارد.



شکل ۵-۷) موقعیت نمونه‌های بازالتی منطقه شرق شاهرود در نمودارهای SiO_2 در برابر FeO/MgO (میشیرو، ۱۹۷۴).

نمونه‌های آتشفشانی در نمودار سه‌تایی $\text{Y} - \text{Zr} - \text{Nb}$ (میدل ماست، ۱۹۸۶) در محدوده بازالت‌های قوس آتشفشانی (Volcanic arc basalts) قرار می‌گیرند (شکل ۵-۸).

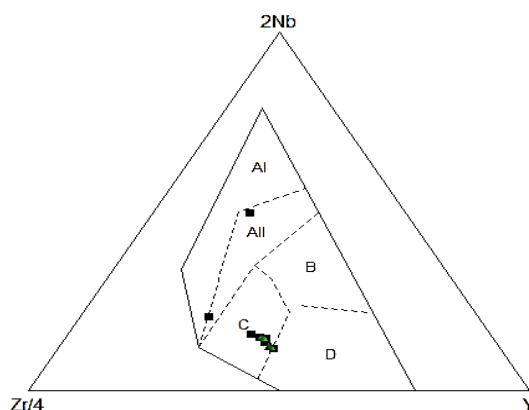
AI= آلکالی بازالت درون صفحه‌ای

AII= آلکالی بازالت درون صفحه‌ای

و تولیت‌های درون صفحه‌ای

C = تولیت‌های داخل صفحه‌ای

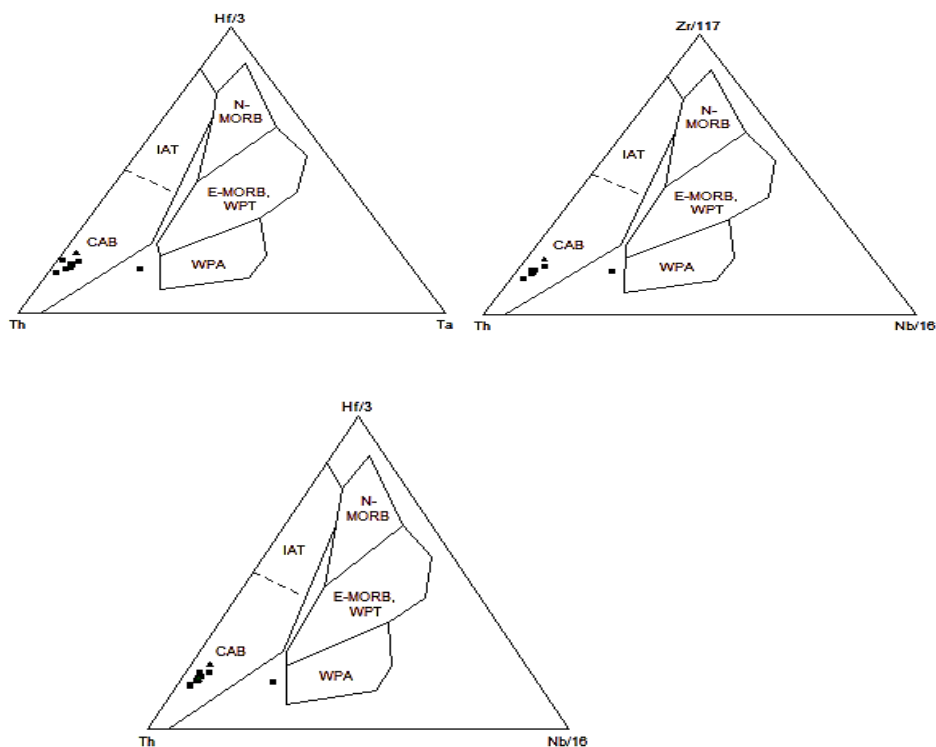
و بازالت‌های قوس آتشفشانی



شکل ۵-۸) موقعیت نمونه‌های آتشفشانی در نمودار سه‌تایی Y - Zr/4 - 2Nb (Meschede, 1986).

سنگ‌های آذرین این مناطق در نمودارهای سه‌تایی $\text{Hf}/3\text{-Th}$ ، $\text{Hf}/3\text{-Th-Nb}/16$ ، $\text{Zr}/117\text{-Th-Nb}/16$

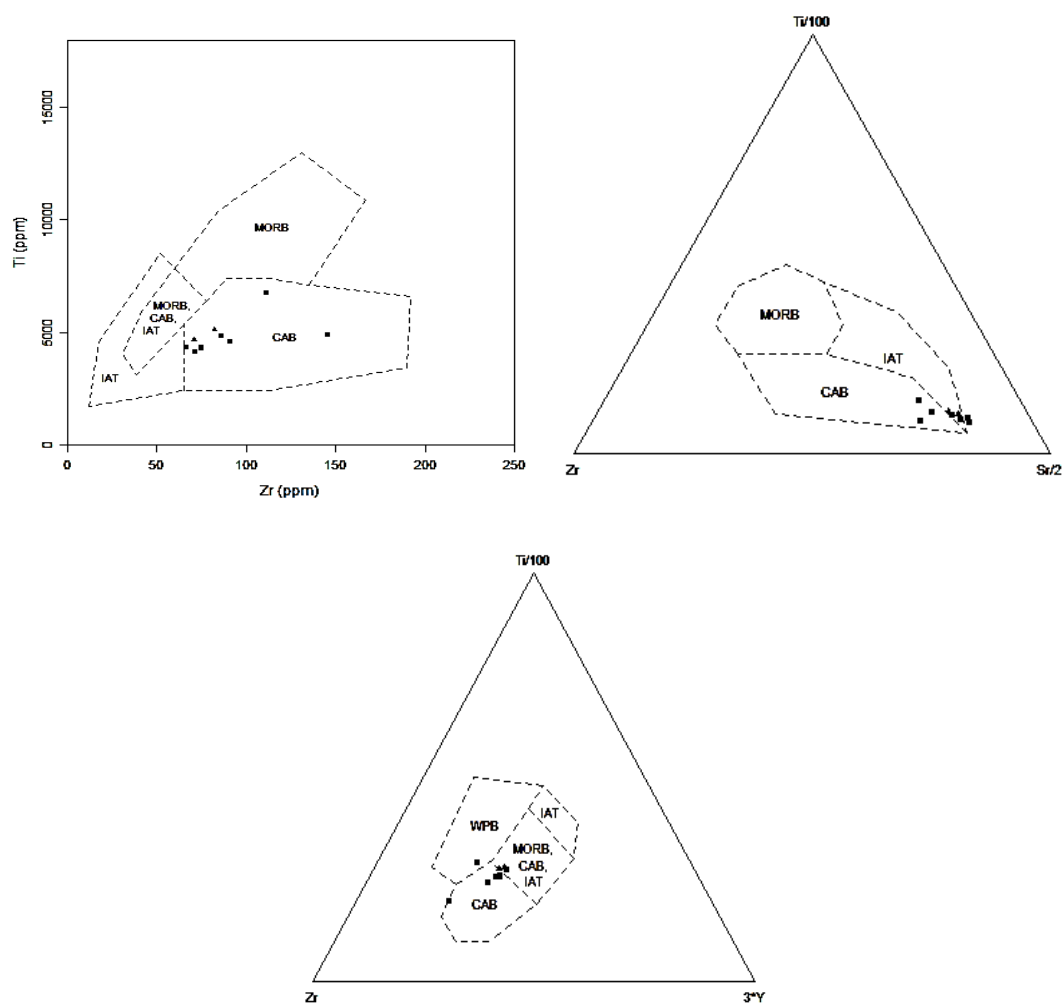
از Wood(1980)، بیشتر در محدوده بازالت‌های کالکوالکالن (CAB) قرار می‌گیرند (شکل ۵-۹)



شکل ۵-۹) موقعیت نمونه‌های آتشفشانی شرق شاهرود در نمودارهای سه‌تایی $\text{Hf}/3\text{-Th-Nb}/16$ ، $\text{Zr}/117\text{-Th-Nb}/16$ ، $\text{Hf}/3\text{-Th}$ ، از Wood(1980)

نمودار متمایز کننده برای بازالت‌ها بر اساس متغیرهای Ti-Zr ، $\text{Sr}/2$ - Zr ، $^{3*}\text{Y}$ - Zr -

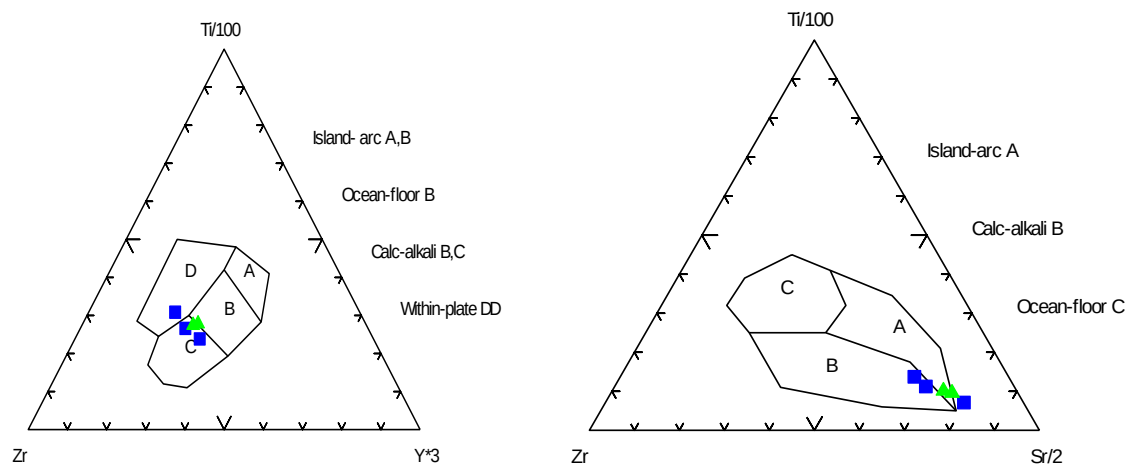
Ti/100 از (1973)، پیرس و کن رسم گردید که در این نمودارها نمونه‌ها در محدوده کالکوالکان با گرایش ضعیف تولیت قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱۰). گرایش به سمت محیط تولیتی امری انتزاعی است و واقعیت ندارد.



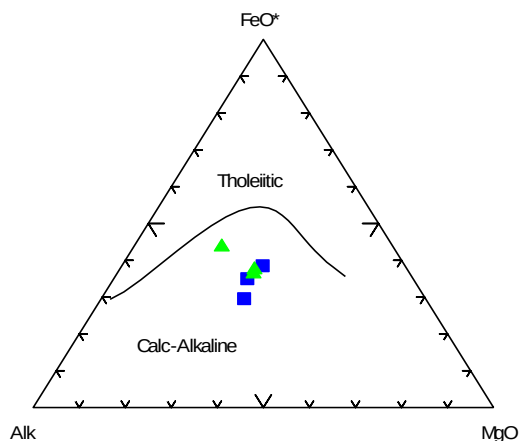
شکل ۵-۱۰) موقعیت نمونه‌های بازالتی منطقه شرق شاهرود در نمودارهای Ti-Zr ، Ti-Zr-Sr/2 ، Ti/100-Zr ، $\text{Ti/100-Zr-}^3\text{Y}$ - پیرس و کن، ۱۹۷۳).

نمودار متمایز کننده Ti-Zr-Y ، Ti-Zr-Sr/2 از پیرس و کن (۱۹۷۳)، برای بازالت‌ها رسم شده است. در این نمودار نمونه‌های مورد نظر در محدوده بازالت‌های کالکالکان قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱۱). همچنین در نمودار AFM ابروین و باراگار (۱۹۷۱)، تمامی نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های کالکالکان قرار

می گیرند (شکل ۵-۱۲).



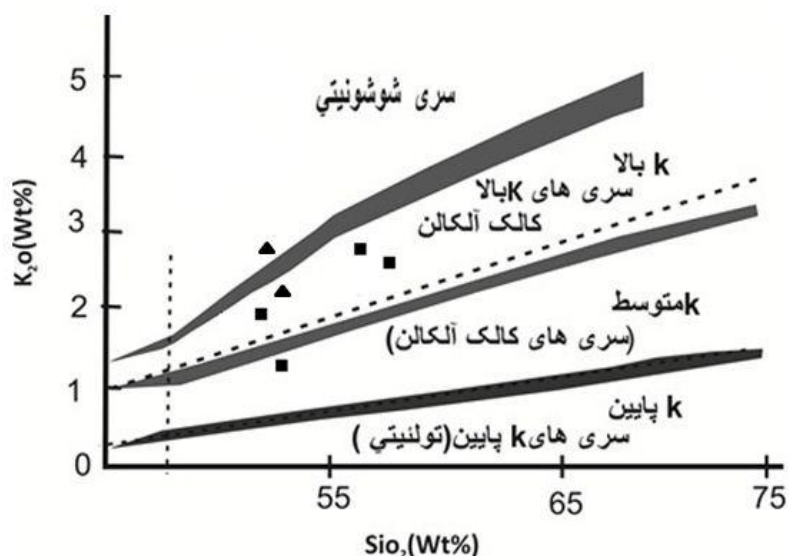
شکل ۵-۱۱) موقعیت نمونه‌های بازالتی منطقه شرق شاهرود در نمودارهای Ti-Zr-Sr/2 و Ti-Zr-Y*3 اقتباس از (پیرس و کن، ۱۹۷۳).



شکل ۵-۱۲) موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار AFM ابرین و باراگار (۱۹۷۱)

سنگ‌های آتشفشانی سری‌های ساب‌آلکالن بر اساس مقدار K_2O و SiO_2 به طور جزئی‌تر تقسیم‌بندی شده‌اند (پسریلور و تیلور، ۱۹۷۶). لی‌مایتره و همکاران (۱۹۸۹) تقسیم‌بندی سنگ‌های ساب‌آلکالن را به انواع K پایین، K متوسط و K بالا پیشنهاد کرده و متذکر شده‌اند که این عبارات می‌تواند برای توصیف بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت به کار روند. این اصطلاحات با عبارات سری K پایین (تولئیتی)، سری آلکالن K بالا (آلکالن) در ریکورد (۱۹۸۹) و نیز با عبارات بازالت ساب‌آلکالن K پایین،

بازالت ساب‌آلکالن و بازالت آلکالن که توسط میدل‌موست (۱۹۷۵) به کار رفته‌اند، مطابقت دارند که بر طبق نمودار رسم شده بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های کالک‌آلکالن سری‌های K بالا قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳) تقسیم‌بندی سنگ‌های آلکالن با استفاده از نمودار K_2O در مقابل سیلیس

۵-۳-۲-۳- بررسی تغییر و تحولات ژئوشیمیایی سنگ‌ها به کمک نمودارهای

هارکر

یکی از کاربردهای نتایج تجزیه‌ی شیمیایی عناصر اصلی، تهیه‌ی نمودارهای تغییرات است. این نمودارها، دو یا سه متغیره می‌باشند که به منظور بررسی روند تغییرات بین سنگ‌های آذرین یک ناحیه و همچنین تحولات پترولوژیکی در جریان توسعه و تبلور ماگما، توسط پترولوژیست‌های مختلف ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به نمودارهای درصد اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب در مقابل SiO_2 (هارکر^۱، ۱۹۰۹)، نمودارهای درصد اکسیدهای عناصر اصلی در مقابل MgO (فنر^۲، ۱۹۴۸) و نمودارهای درصد اکسیدهای

1Harker
2Fenner

عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی در مقابل ضریب تفریق اشاره کرد. نمودارهای هارکر، پر استفاده-ترین نمودارهای دو متغیره می‌باشند. در محور افقی این نمودارها، SiO_2 قرار دارد که سازنده‌ی اصلی سنگ‌ها بوده و نشان‌دهنده‌ی محدوده‌ی وسیعی از تغییرات است. در نمودار هارکر از نمونه‌های رسم شده با افزایش SiO_2 مقادیر CaO ، TiO_2 ، MgO ، FeO ، MnO و K_2O کاهش و مقادیر Na_2O افزایش را نشان می‌دهد. Al_2O_3 نیز به مقدار کمی کاهش نشان می‌دهد. کاربرد اصلی نمودار هارکر بر این اصل استوار است که در طی مراحل تفریق درصد SiO_2 افزایش می‌یابد (شکل ۵-۱۴).

- تغییرات Al_2O_3 در برابر SiO_2

در این نمودار روند خاصی که تمام نمونه‌ها را به هم ارتباط دهد (نشان‌دهنده روند تفریق در تمام نمونه‌ها باشد)، به خوبی قابل تشخیص نیست، ولی می‌توان نمونه‌های سنگی مورد مطالعه را به خوبی تفکیک کرد. نمونه‌هایی که غنی از الیومین و پیروکسن هستند و دارای کمترین مقدار SiO_2 می‌باشند. مشاهدات پتروگرافی حضور قابل توجه الیومین در این سنگ‌ها را تأیید می‌کند. نمونه‌هایی که دارای SiO_2 و Al_2O_3 کمی می‌باشند و در واقع سنگ‌های غنی از پیروکسن می‌باشند و در بین خود یک روند صعودی تقریباً محسوسی نشان می‌دهند. نمونه‌هایی که دارای SiO_2 و Al_2O_3 بیشتری در مقایسه با سایر نمونه‌های سنگی می‌باشند. با توجه به مشاهدات پتروگرافی این گروه از سنگ‌ها دارای پلاژیوکلاز فراوان هستند و همین امر بالا بودن مقدار Al_2O_3 در آن‌ها را به خوبی توجیه می‌کند.

- تغییرات MgO در برابر SiO_2

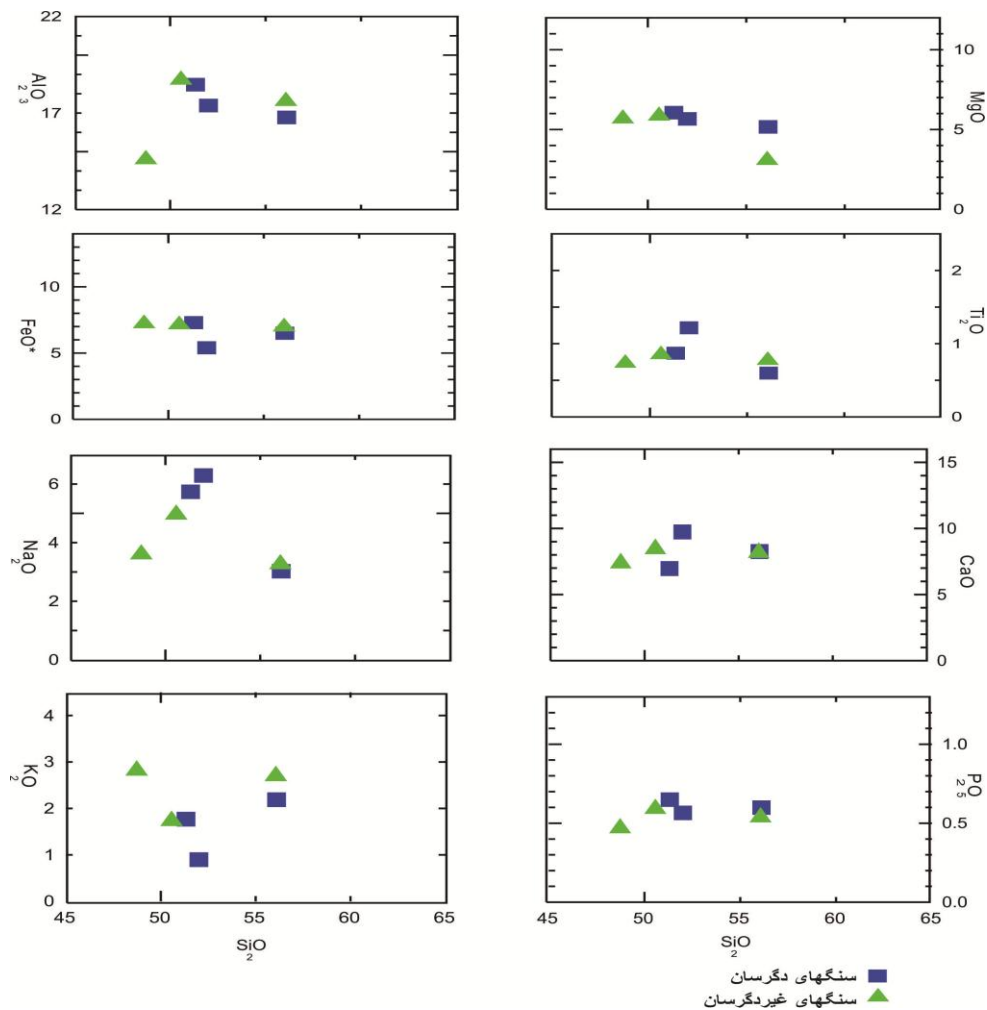
در این نمودار نیز رده‌بندی صورت گرفته در مراحل قبل تأیید می‌گردد. منتهی به علت حضور همزمان مقدار قابل توجهی پیروکسن، نمونه‌هایی که دارای MgO کمی بیشتر می‌باشند در بین خود یک روند نزولی مشخصی را نشان می‌دهند. این تغییرات در نمونه‌هایی که دارای مقدار MgO نسبتاً کم و SiO_2 زیاد می‌باشند که با حضور کمتر کانی‌های منیزیم‌دار در این دسته از سنگ‌ها سازگار است.

- تغییرات Fe_2O_{3t} در برابر SiO_2

میزان Fe_2O_{3t} با افزایش SiO_2 (فرایند تفریق یافتگی بیشتر) کاهش می‌یابد و روند نزولی مشخصی نشان می‌دهد. Fe^{+2} دارای شعاع یونی نزدیک به Mg می‌باشد و در طول مراحل اولیه تفریق در شبکه بلوری الیون و پیروکسن وارد می‌شود. بنابراین با تبلور این کانی‌ها در مراحل اولیه تفریق و فقیر شدن ماگما از Fe_2O_{3t} ، مقدار آن در ماگمای باقیمانده کاهش می‌یابد و باعث ظهور روند نزولی می‌شود.

- تغییرات CaO در برابر SiO_2

نمودار CaO در مقابل SiO_2 دسته‌بندی صورت گرفته در توجیه نمودار SiO_2 و Al_2O_3 را مجدداً تأیید می‌کند. در برخی نمونه‌ها مقدار CaO نسبتاً کم است و علت آن وجود الیون در این نمونه از سنگ‌ها است و نمونه‌هایی که مقدار CaO به بیشترین حد خود می‌رسد وجود مقدار قابل ملاحظه CaO در این سنگ‌ها با وجود پیروکسن و مقدار قابل توجهی پلاژیوکلاز کلسیک قابل توجیه است.



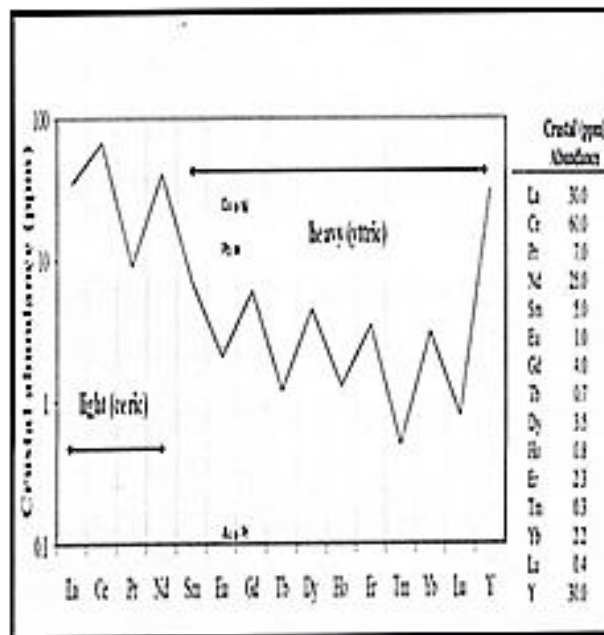
شکل ۵-۱۴) نمودار عناصر اصلی در برابر سیلیس در نمونه‌های مورد مطالعه

۵-۴- عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی شامل دو دسته عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) می‌باشند. عناصر نادر خاکی، عناصری ناسازگار بوده و کمتر ساختمان سیلیکات‌ها وارد می‌شوند و تنها در شرایط دگرگونی درجه بالا یا دگرسانی زیاد متحرک می‌گردند. به نظر (Ganveyev et al., 1999)، توزیع عناصر نادر خاکی در شرایط دگرسانی هیدروترمالی تغییر زیادی نمی‌کند. در برخی موارد نمونه‌هایی را می‌توان مشاهده کرد که تحت شرایط دگرسانی هیدروترمالی و فرآیندهای سوپرژن عناصر نادر خاکی متحرک شده‌اند (Ohlander et al, 1985) در پوسته زمین عناصر نادر خاکی، نسبت به بخش‌های دیگر

زمین از فراوانی بیشتری برخوردار می‌باشند. فراوانی این عناصر در پوسته زمین با افزایش عدد اتمی کاهش محسوسی از خود نشان می‌دهد. عناصر نادر خاکی با عدد اتمی زوج فراوانی بیشتری نسبت به عدد اتمی فرد از خود نشان می‌دهند که این در نتیجه تبعیت از قانون ادوو- هارکینز است به همین دلیل در نمودار ترکیب- فراوانی زیگزاگ از خود نشان می‌دهند (شکل ۵-۱۵).

عدد اتمی	نام	علامت	شعاع یونی برای مشخصات ۸ وجهی
۵۷	Lanthanum	La	La^{+3}
۵۸	Cerium	Ce	Ce^{+4} و Ce^{+3}
۵۹	Praesodymium	Pr	Pr^{+3}
۶۰	Neodymium	Nd	Nd^{+3}
۶۱	Promethium	Pm	مصنوعی است
۶۲	Samarium	Sm	Sm^{+3}
۶۳	Europium	Eu	Eu^{+3} و Eu^{+2}
۶۴	Gadolinium	Gd	Gd^{+3}
۶۵	Terbium	Tb	Tb^{+3}
۶۶	Dysprosium	Dy	Dy^{+3}
۶۷	Holmium	Ho	Ho^{+3}
۶۸	Erbium	Er	Er^{+3}
۶۹	Thulium	Tm	Tm^{+3}
۷۰	Ytterbium	Yb	Yb^{+3}
۷۱	Lutetium	Lu	Lu^{+3}
۳۹	Yttrium	Y	Y^{+3}



شکل ۵-۱۵) فراوانی عناصر نادر خاکی در ترکیب میانگین پوسته زمین (SINTON, 2005) و مشخصات عناصر نادر خاکی

۵-۵- نمودارهای عنکبوتی

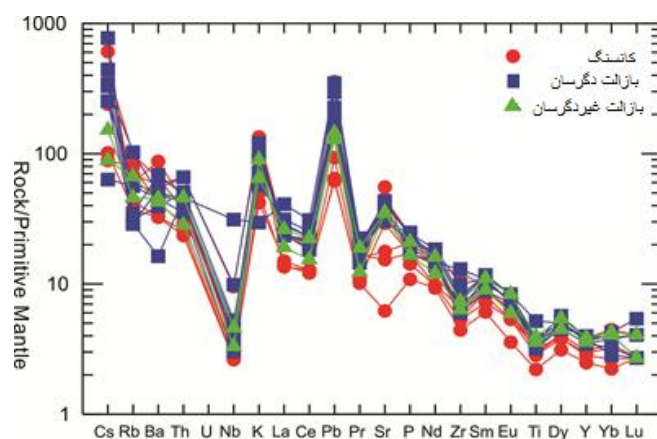
به منظور فهم طرح فراوانی‌های عناصر نادر در بازالت‌ها (یا در هر سنگ آذرین)، باید چارچوب مرجعی وجود داشته باشد که بتوان فراوانی‌های عنصری در یک سنگ خاص را با آن مقایسه کرد. گسترش این عقیده منجر به شکل‌گیری نمودارهای عنکبوتی شد (وود^۱ و همکاران، ۱۹۷۹؛ سان^۲، ۱۹۸۰؛ تامپسون، ۱۹۸۲). غلظت عناصر خاکی نادر در سنگ‌ها به طور معمول نسبت به یک مرجع استاندارد مشترک، که

1Wood

2 Sun

3-Sun

در بیشتر موارد مقدار عناصر خاکی نادر در شخانه‌های کندریتی است، بهنجار می‌شود. شخانه‌های کندریتی به دلیل این که مواد اولیه منظومه‌ی شمسی می‌باشند و ممکن است با هسته سازی اولیه‌ی زمین مرتبط باشند، انتخاب شده‌اند (ویلسون، ۱۹۸۹). برای مطالعه تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی، نمونه‌هایی از سنگ همراه با کانه‌زایی، سنگ دگرسان شده و سنگ میزبان دگرسان نشده برداشت شد که پس از آزمایش مورد تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی قرار گرفت. به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب، این عناصر نسبت به گوشته‌ی اولیه (سان و مک‌دونوف، ۱۹۸۹^۱) بهنجار شده‌اند (شکل ۵-۱۶). این نمودار تمرکز نسبتاً بالایی از عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) و تمرکز پایین از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مخصوصاً Nb و Ti را نشان می‌دهد که از خصوصیات ماگماهای مرتبط با فروران‌ش است (گاس^۲ و کای^۳، ۲۰۰۹؛ کوالنکو^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). به طور کلی، تهی شدگی Nb و Ti با تفریق فازهای تیتانیوم‌دار مانند تیتانیت، تیتانومگنتیت و غیره اثبات می‌شود (ویلسون، ۱۹۸۹).



شکل ۵-۱۶) نمودار عناصر کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی شرق شاهرود که به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نرمالیزه شده‌اند.

به منظور بررسی بیشتر، نمونه‌های از کل مناطق شرق و جنوب شرق شاهرود رسم شد. این نمودار (شکل ۵-۱۷) Sr و K در نمونه‌های مورد مطالعه غنی‌شدگی نشان می‌دهند که با حضور فراوان پلاژیوکلاز در

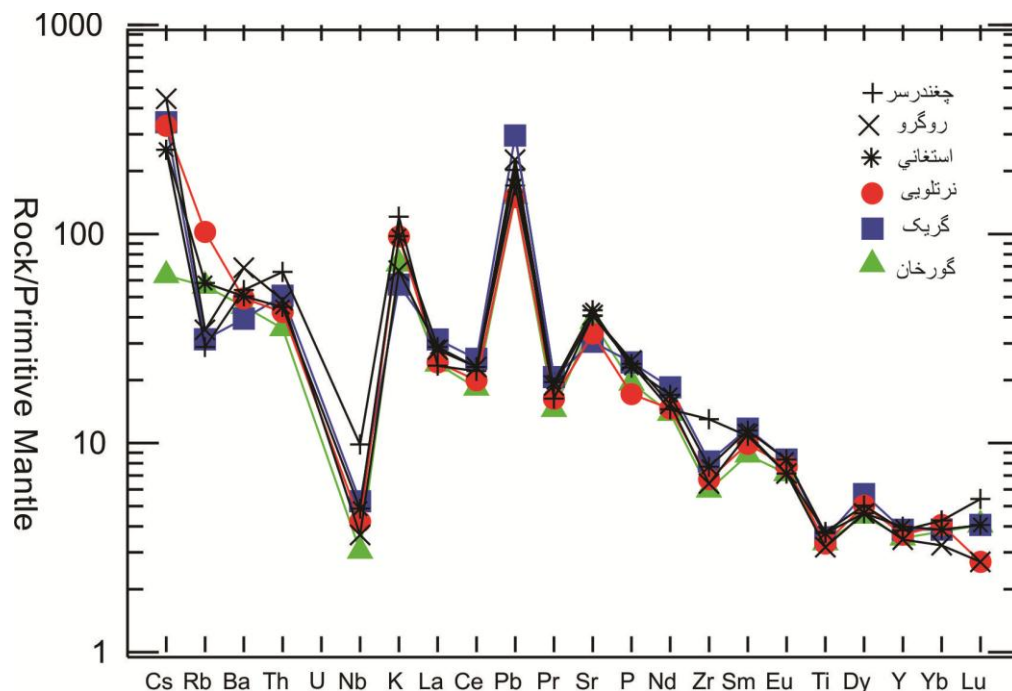
1 - Mc Donough

2 - Goss

3 - Kay

4 - Kovalenko

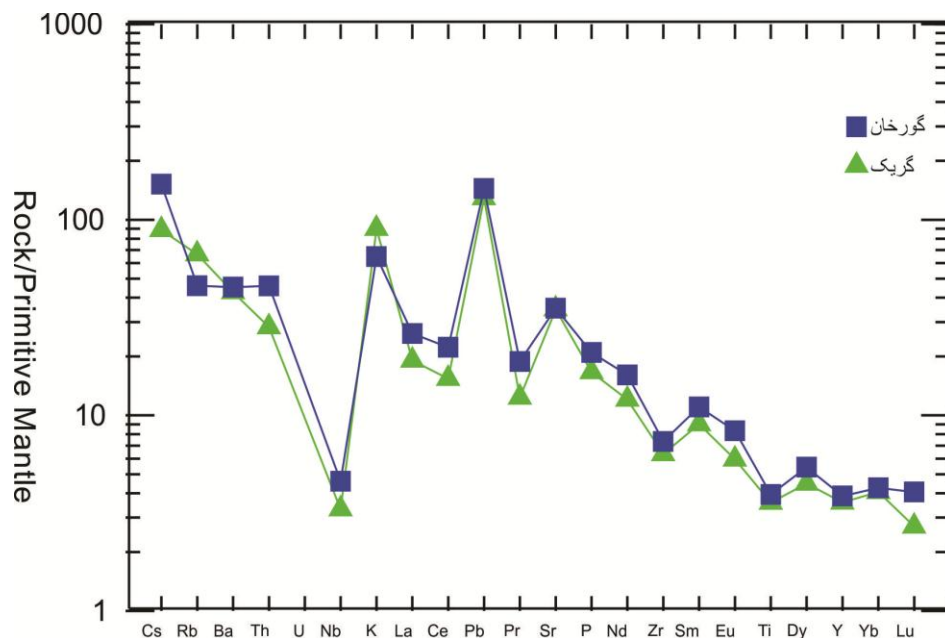
آن‌ها مطابقت دارد. غنی‌شدگی این عناصر حاکی از فقدان تفریق پلاژیوکلاز یا حضور آن در فازهای باقیمانده در منشأ و تجمع پلاژیوکلاز به عنوان یک فاز غالب در این نمونه‌ها می‌باشد (جهانگیری، ۲۰۰۷). در مورد آنومالی منفی Nb نظریات مختلفی ارائه شده است، از جمله اینکه: (۱) این آنومالی نشان‌دهنده پایین بودن مقدار این عنصر در رسوبات همراه ورقه فرورونده است. (۲) بالا بودن نسبت بار به شعاع در این عنصر می‌تواند باعث آن شود که در سیالات آبدار نامحلول باشد و بنابراین به اندازه کافی به گوه گشته‌ای منتقل نشود. (۳) درجه کم ذوب‌شدگی در مناطق قوس باعث تمرکز کم این عنصر در مذاب می‌شود (ماکادو و همکاران^۱، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه پلاژیوکلاز یکی از کانی‌های بارز در تمامی نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه است، انتظار می‌رود که آنومالی مثبت در Eu دیده شود. ولیکن در هیچ یک از نمونه‌ها این آنومالی به چشم نمی‌خورد. در شرایط فعالیت کم اکسیژن، ضرایب جدایش برای Eu بین پلاژیوکلاز و مذاب بازالتی بالا است (عموماً بالاتر از ۱) و نسبت به سایر عناصر یک آنومالی نشان می‌دهد (رولینسون، ۱۹۹۳). در صورتی که در شرایط فعالیت زیاد اکسیژن، ضرایب جدایش برای Eu پائین بوده و این عنصر مانند سایر عناصر کمیاب خاکی رفتار می‌کند.



شکل ۵-۱۷) نمودار عناصر کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی شرق شاهرود که به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نرمالیزه شده‌اند.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده که بر اساس سان و مک دونوف^۱ (۱۹۸۹) رسم گردید، دو منطقه گریک و گورخان با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۶-۱۸)، همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، موازی بودن الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی در این نمونه‌ها می‌تواند نشانه خاستگاه مشترک این سنگ‌ها باشد و به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها کم و بیش محصول تبلور و یا جدایش اندک ماگمای بازالتی مشتق شده از گوشته باشند. عناصر LREE نسبت به HREE ناسازگارترند، اختلاف اندازه یون‌ها باعث می‌شود LREE تا حدی ناسازگارتر از HREE باشند و همین علت باعث می‌شود که به آسانی وارد فاز سیال شده و غلظتی بیشتر از عناصر سنگین داشته باشند (کراسکوپف و بیرد^۲، ۱۹۷۹).

¹Mc Donough
^۲Kruskopf & Bird



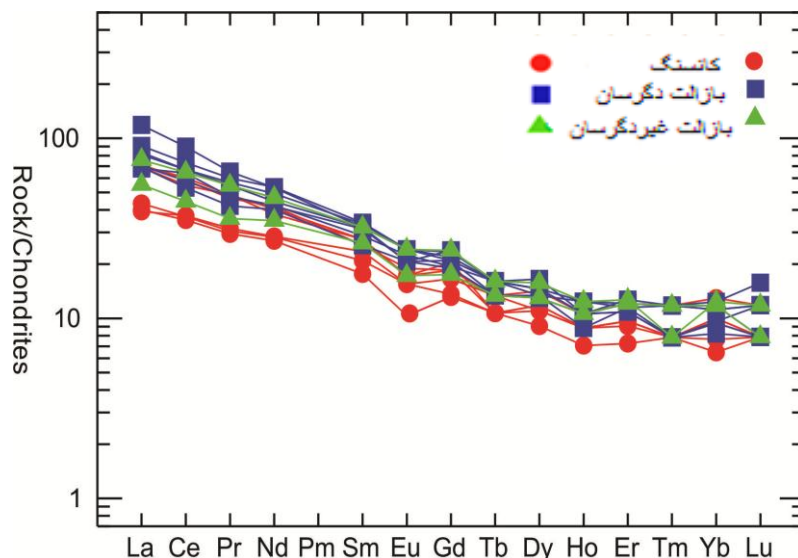
شکل ۵-۱۸) نمودار عناصر کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی شرق و جنوب شرق شاهرود که به گوشته اولیه (1989, Sun and McDonough) نرمالیزه شده‌اند.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریت ناکامورا (۱۹۷۴) (شکل ۶-۱۹)، نمونه‌های (کانسنگ، بازالت دگرسان شده، بازالت غیردگرسان)، تمامی مناطق مورد مطالعه از عناصر نادر خاکی سبک و ناسازگار غنی‌شدگی و از عناصر با شدت میدان بالا تهی‌شدگی نشان می‌دهند. به طور کلی، غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سبک را می‌توان به دو عامل درجات ذوب بخشی پایین (کمتر از ۱۵ درصد) منبع گوشته‌ای غنی شده (هیرشمن^۱ و همکاران، ۱۹۹۸) و آلایش ماگمایی توسط مواد پوسته‌ای نسبت داد (سریواستاوا^۲ و سین^۳، ۲۰۰۴). با توجه به ماهیت آلکالن نمونه‌های مورد مطالعه، درجات ذوب بخشی پایین منبع گوشته‌ای غنی شده در تشکیل ماگمای این سنگ‌ها، تأیید می‌شود.

1 Hirschman

2 Srivastava

3 Singh



شکل ۵-۱۹) نمودار عناصر نادر خاکی در منطقه گورخان که به کندریت (Nakamura, 1974) نرمالیزه شده‌اند.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریت تامپسون (۱۹۸۲) (شکل ۵-۲۰)، نمونه‌های سنگی (کانسنگ، بازالت دگرسان شده، بازالت غیردگرسان)، در منطقه گورخان مورد مطالعه قرار گرفت. به طور کلی می‌توان گفت که غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌تواند ناشی از سه عامل باشد. ۱- ناشی از حضور گارنت در سنگ منشأ که با حفظ HREE در ساختمان خود موجب تهی‌شدگی این عناصر در ماگما می‌شود (مکدونالد و همکاران^۱، ۲۰۰۰). ۲- آرایش با مواد پوسته‌ای (سریواستاوا^۲ و سین^۳، ۲۰۰۴). ۳- متاسوماتیسم گوه‌گوشته‌ای در اثر سیالات حاصل از آب‌زدایی پوسته اقیانوسی (وینتر^۴، ۲۰۰۱). الگوی موازی نمونه‌ها، منشأ واحد و تحول آن‌ها را در طی فرایند تبلور تفریقی ماگما تأیید می‌کند (نیکلسون^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). در این منطقه نمونه‌های دگرسان شده و غیردگرسان و نمونه‌های کانسنگ الگوی موازی را نشان می‌دهند که موازی بودن الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی در این نمونه‌ها می‌تواند نشانه خاستگاه مشترک این سنگ‌ها باشد.

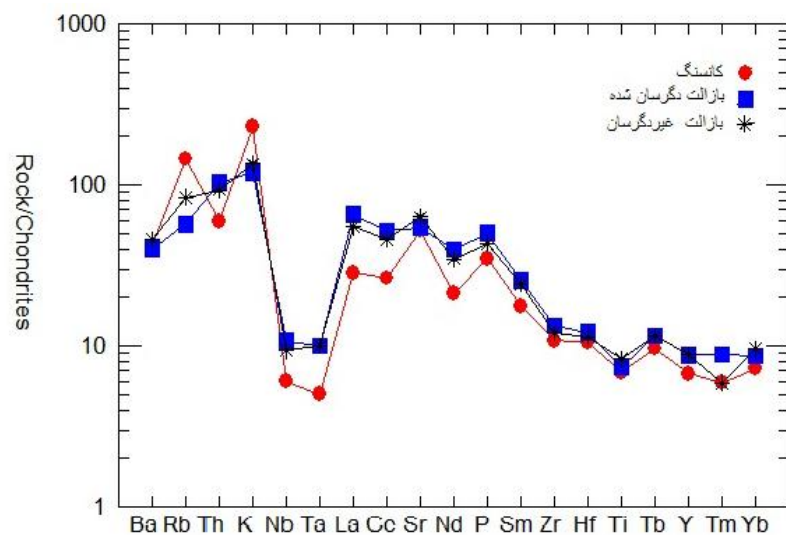
1 Macdonald et al

2 Srivastava

3 Singh

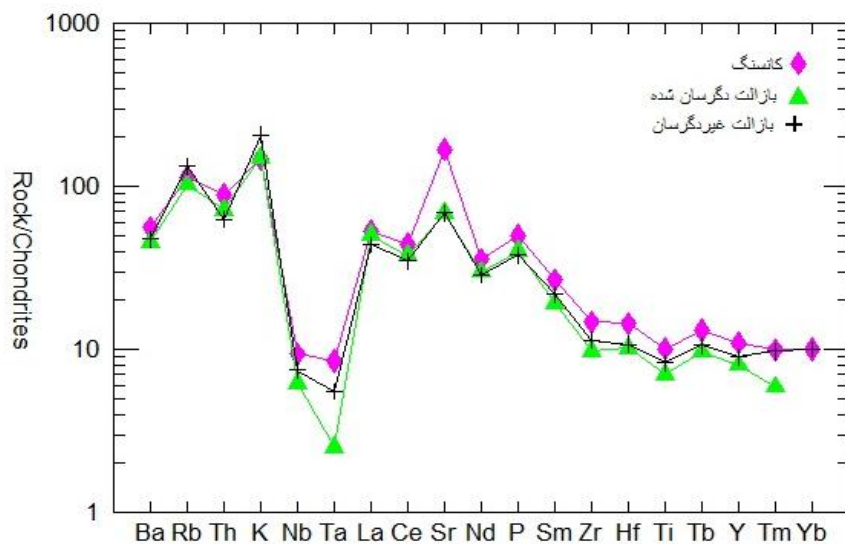
4 Winter

5 Nicholson



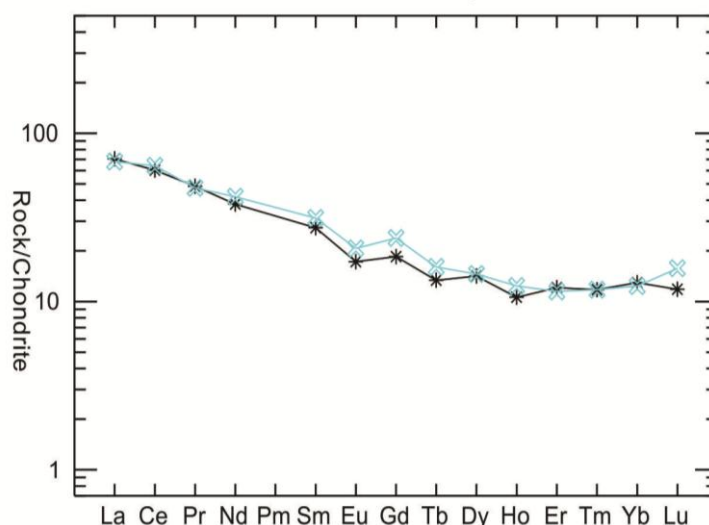
شکل ۵-۲۰) عناصر نادر خاکی در منطقه گورخان که به کندریت (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند.

همچنین در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریت تامپسون (۱۹۸۲) (شکل ۵-۲۱)، نمونه‌های سنگی (کانسنگ، بازالت دگرسان شده، بازالت غیردگرسان)، در منطقه گریک نیز الگوی موازی با که نشانه خاستگاه مشترک این سنگ‌ها می‌باشد را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۱) نمودار عناصر نادر خاکی در منطقه گریک که به کندریت (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند.

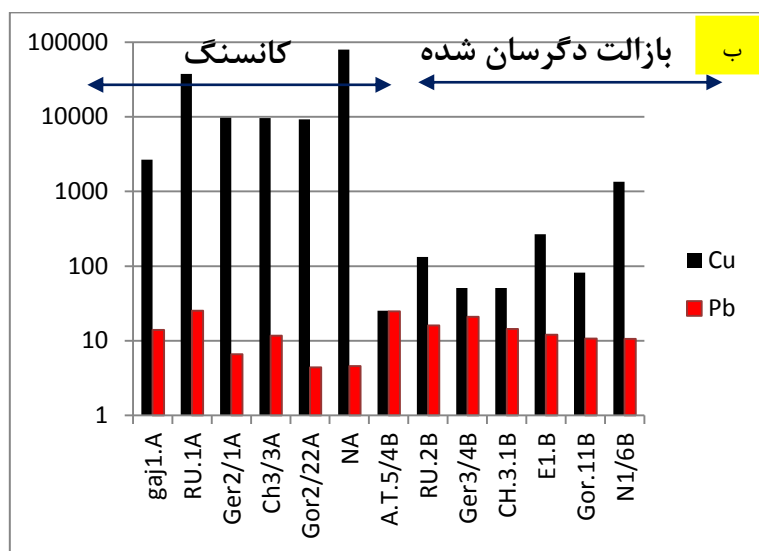
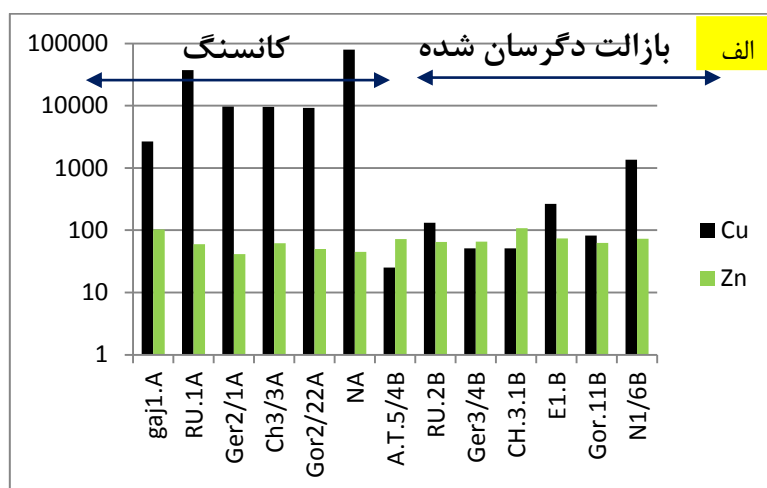
در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریت (Nakamura, 1974)، نمونه سنگی نرتلویی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵-۲۲). در این سنگ‌ها Eu تهی‌شدگی و غنی‌شدگی مشخصی را نشان نمی‌دهد که بیشتر ناشی از تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفتن این سنگ‌ها نسبت به گدازه‌های آتشفشانی می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، نمونه‌های مورد مطالعه فاقد آنومالی Eu می‌باشند. آنومالی Eu توسط پلاژیوکلاز کنترل می‌شود و به فوگاسیته‌ی اکسیژن وابسته است. بنابراین خارج شدن فلدسپارها از طریق تفریق بلوری در شرایط فوگاسیته‌ی پایین اکسیژن باعث آنومالی منفی در مذاب می‌شود (ویلسون، ۱۹۸۹؛ جهانگیری و عزیزی، ۲۰۰۸). عدم وجود آنومالی منفی این عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان به حضور پلاژیوکلاز و همچنین دخالت یک منبع آمفیبولیتی با مقادیر نسبتاً زیاد گارنت (حداکثر تا ۳۰ درصد) در تشکیل آن‌ها مربوط دانست (کلیپس و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۵-۲۲) نمودار عناصر نادرخاکی در منطقه نرتلویی که به کندریت (Nakamura, 1974) نرمالیزه شده‌اند.

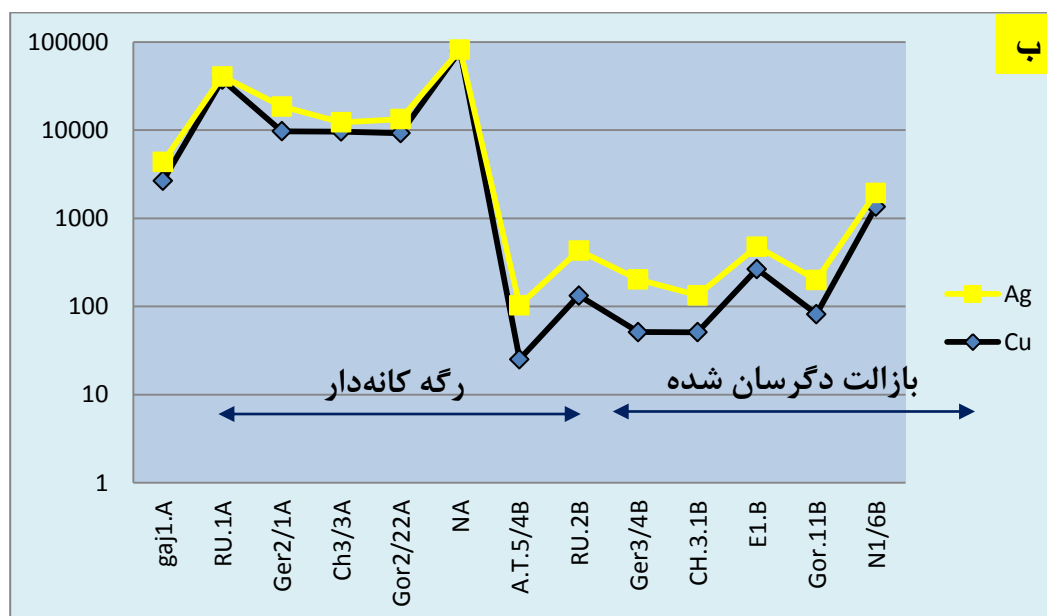
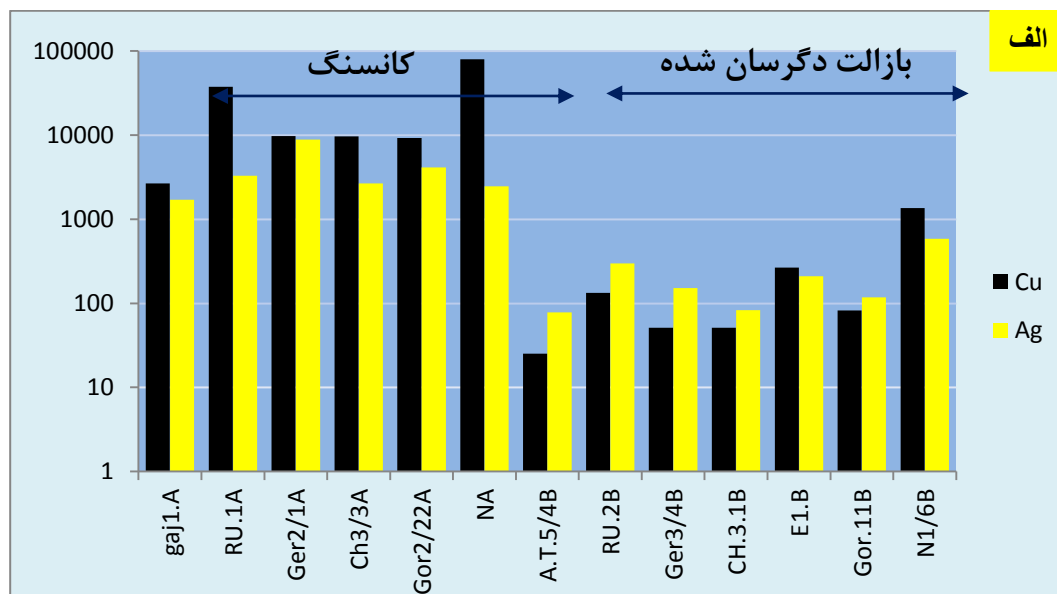
براساس نتایج ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز تعدادی نمونه برداشت شده از کانسارها و اندیس‌های مس شرق و جنوب شرق شاهرود، تغییرات فراوانی مس و تعدادی از عناصر فلزی بارز نظیر سرب، روی و نقره مورد بررسی قرار گرفته است. معمولاً بین مس و سرب و همچنین مس و روی ارتباط ژئوشیمیایی خاص وجود ندارد (شکل ۵-۲۳). با توجه به نمودارهای رسم شده، بین فراوانی مقادیر مس و نقره تطابق و هماهنگی

خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۵-۲۴، ب)، اگرچه کانی حاوی نقره به صورت مستقل در کانسارهای مورد مطالعه مشاهده نشده است ولی حضور نقره در کانه‌زایی‌های مس با ماهیت مشابه در دنیا امری متداول است و وجود نقره یکی از ویژگی‌های بارز این تیپ کانسارها است. مقادیر نقره در کانسارهای مورد مطالعه در بین این عناصر بیشترین همبستگی را با مس دارد (شکل ۵-۲۴، ب). میانگین عیار مس در این کانسار ۰/۴٪ و حداکثر مقدار مس ۰/۹۲٪ می‌باشد. در این میان میانگین عیار نقره ۶/۴ppm و حداکثر مقدار آن ۸/۸ ppm است.



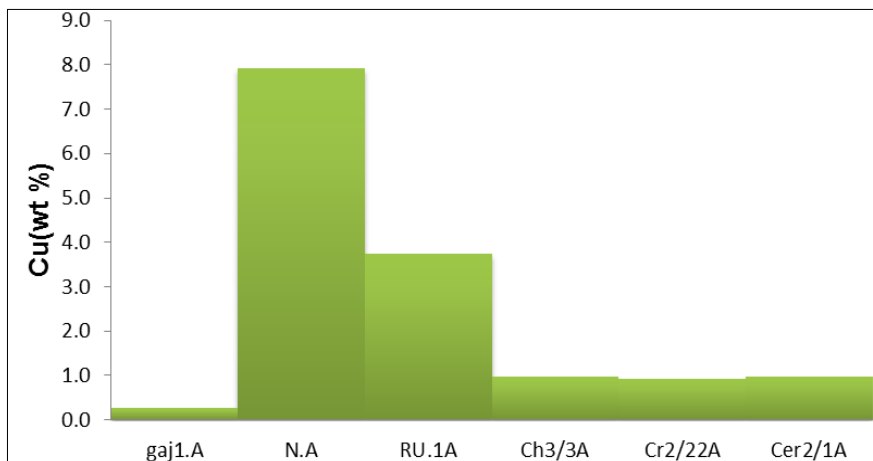
شکل ۵-۲۳) تغییرات فراوانی مس و عناصر فلزی بارز نظیر سرب و روی. الف- مس و روی، ب- مس و سرب

با توجه به نمودارهای ارائه شده، می‌توان دریافت که در بخش بازالت‌های دگرسان شده و کانسنگ اختلاف بارزی در مقادیر سرب و روی مشاهده نمی‌شود، بنابراین همبستگی بارزی بین عناصر وجود ندارد.



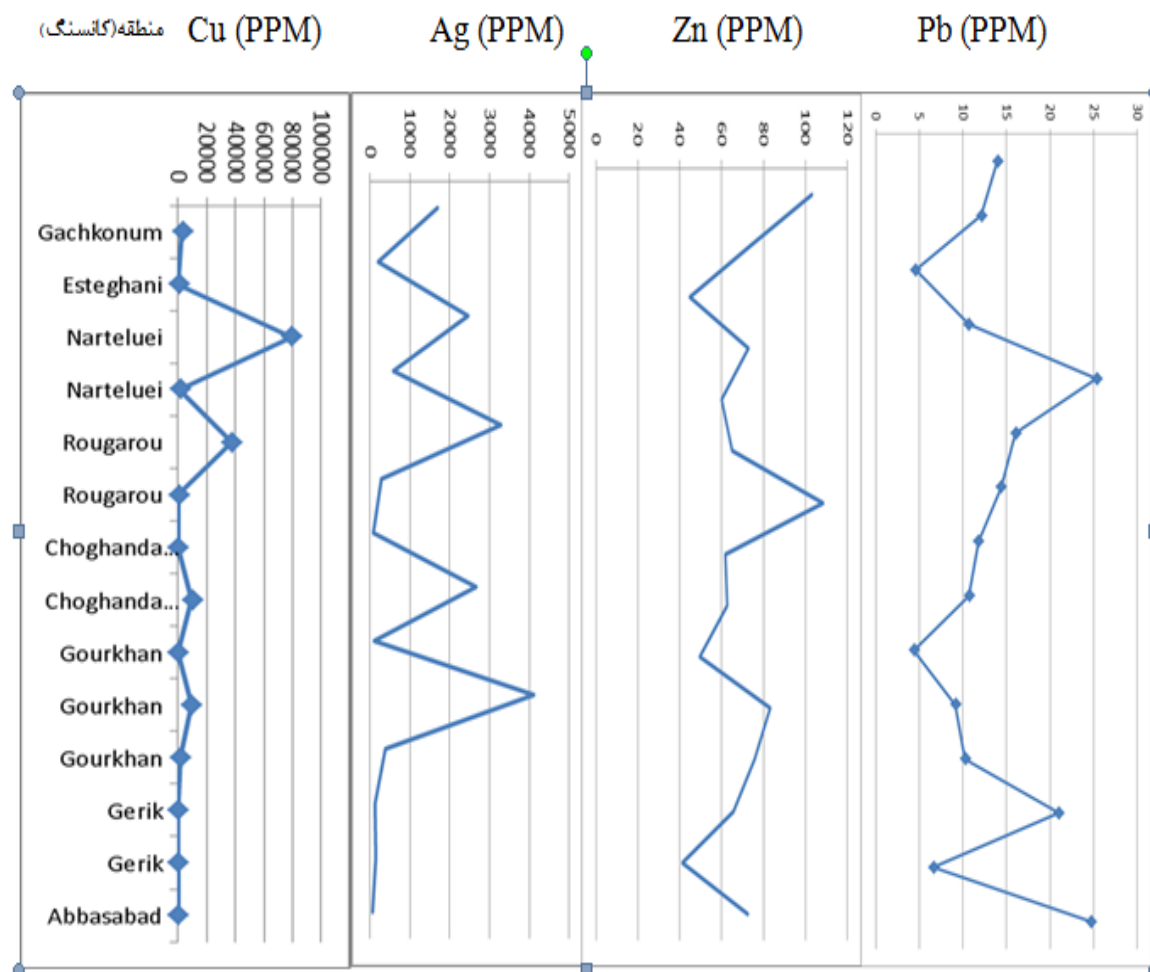
شکل ۵-۲۴) الف بین فراوانی مقادیر مس و نقره تطابق و هماهنگی خوبی مشاهده می‌شود.
 ب) همبستگی بین مس و نقره در کانسارهای مس شرق شاهرود

ولی نمودار تغییرات فراوانی مس و نقره نشان می‌دهد که بین این دو عنصر همبستگی مثبت خوبی وجود دارد. به طوری که در بخش کانسنگ مقدار نقره بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش نشان می‌دهد (شکل ۵-۲۵). همچنین درصد فراوانی عیار مس در کانسارهای مختلف شرق و جنوب شرق شاهرود رسم گردید، بیشترین میزان مس مربوط به کانسار نرتلویی (N_A) با عیار ۷/۹ درصد می‌باشد.



شکل ۵-۲۵) همبستگی بین کانسنگ‌های مس و بازالت‌های دگرسان شده در کانسارهای مس شرق و جنوب شرق شاهرود

بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های تجزیه شده به روش ICP- MS ، نشان‌دهنده تغییرات ترکیب شیمیایی موجود در هر کانسار می‌باشد. حداکثر عیار مس در کانسار نرتلویی در حدود ۷/۹۳ درصد و حداقل مقدار آن در کانسار گچ‌کنوم در حدود ۰.۲٪ می‌باشد. در بین عناصر روی، سرب و نقره در کانسارهای مورد مطالعه نقره بیشترین همبستگی را با مس دارا می‌باشد. به عبارتی در بین مقادیر مس و نقره نظم و تطابق خاصی مشاهده می‌شود در صورتی که این نظم و هماهنگی بین مس با سرب و روی به خوبی مشهود نیست (شکل ۵-۲۶).



شکل ۵-۲۶) نمودار تغییرات میزان عناصر اصلی در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود

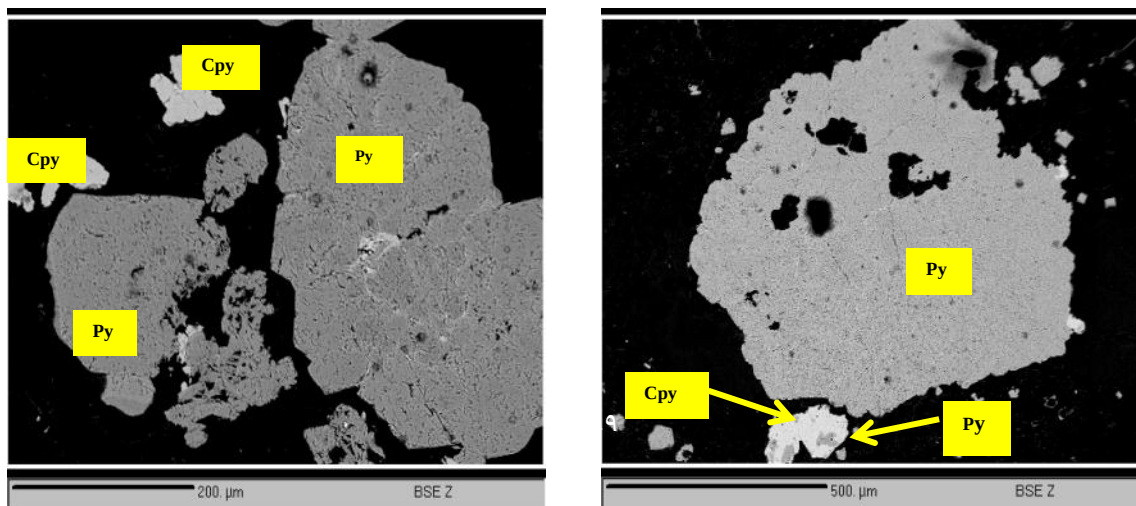
۵-۶- شیمی کانی‌ها

برای تشخیص ترکیب شیمیایی و شناسایی کانی‌ها و فراوانی عناصر سازنده آن‌ها در کانسار مس چغندرسرشمالی، یک نمونه کانسنگ حاوی کالکوپیریت در آزمایشگاه مرکز فرآوری مواد معدنی ایران به روش کاوش الکترونی (EPMA) مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۶-۴) ارائه شده است.

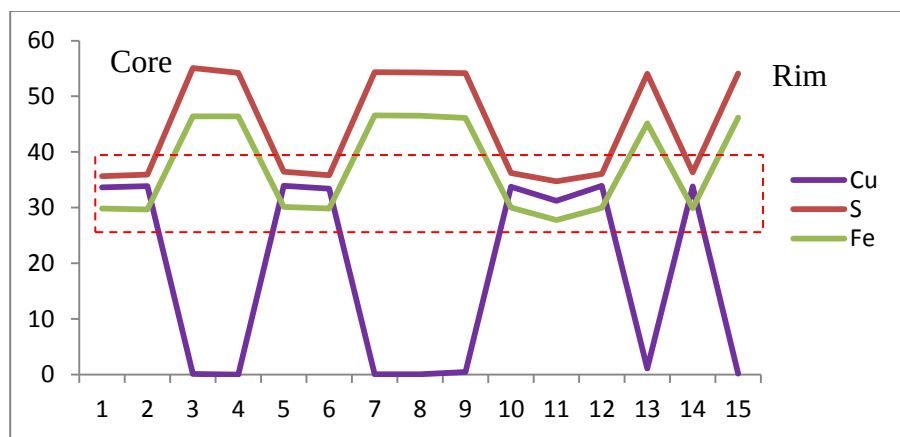
جدول (۵-۳) نتایج آنالیز EPMA برای کالکوپیریت در یک نمونه کانسنگ از چغندرسرشمالی

DataSet/Point	Name	Fe	S	Cu	As	Ag	Bi	Au	Si
1/1	کالکوپیریت	29.86	35.64	33.65	0.11	0.01	0	0	0.03
2/1	کالکوپیریت	29.66	35.96	33.86	0.04	0	0.02	0.04	0.21
3/1	پیریت	46.38	55.11	0.12	0.04	0	0	0.14	0
4/1	پیریت	46.39	54.23	0	0.04	0	0.02	0.04	0
5/1	کالکوپیریت	30.15	36.45	33.92	0.03	0	0	0.01	0
6/1	کالکوپیریت	29.81	35.81	33.43	0.08	0.03	0.29	0.03	0
7/1	پیریت	46.59	54.36	0.05	0.05	0.02	0.05	0	0.49
8/1	پیریت	46.05	54.27	0.06	0.02	0	0.24	0	0.11
9/1	پیریت	56.09	54.17	0.45	0	0.02	0	0	0.34
10/1	کالکوپیریت	29.99	36.23	33.74	0.03	0	0.02	0	0.89
11/1	کالکوپیریت	27.79	34.07	31.22	0	0	0.01	0.05	0.85
12/1	کالکوپیریت	29.98	36.05	33.9	0.04	0	0	0.013	0.08
13/1	کالکوپیریت	45.11	54.05	1.09	0.05	0	0.2	0	0.49
14/1	کالکوپیریت	29.91	36.36	33.82	0.04	0	0	0	0.39
15/1	پیریت	46.18	54.08	0.14	0.04	0	0	0	0.4

لازم به ذکر است نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نقطه‌های آنالیز شماره‌های ۱/۳، ۱/۴، ۱/۷، ۱/۸، ۱/۹ و ۱/۱۵ بیانگر پیریت و باقی نقاط کالکوپیریت هستند.



شکل ۵-۲۷) تصویر پس پراکنشی الکترون (BSE) از پیریت و کالکوپیریت در کانسنگ‌های منطقه چغندر سر شمالی با توجه به نمودار به دست آمده می‌توان محل انطباق عناصر مس، گوگرد و آهن را معادل وجود کانی کالکوپیریت دانست و محل تجمع دو عنصر آهن و گوگرد را معادل وجود پیریت برشمرد (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۲۸) نمودار نشان‌دهنده تغییرات فراوانی عناصر مس، گوگرد و آهن در کانی‌های پیریت و کالکوپیریت

فصل ششم

سیالات درگیر

۶-۱- مقدمه

مطالعات سیالات درگیر امروزه به عنوان یکی از اساسی‌ترین روش‌های مطالعه و شناخت وضعیت و شرایط حاکم بر حمل و نهشت کانه‌ها بوده، به گونه‌ای که دماسنجی با استفاده از سیالات درگیر بیش از هر روش دیگری برای تعیین درجه حرارت تشکیل کانسار مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعه سیالات درگیر، داده‌های ارزشمندی از درک مسائل گذشته زمین‌شناسی از جمله دما، فشار، شوری، چگالی، ترکیب سیالات کانسارساز و همچنین ترکیب سیالاتی که تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و یا طی فرآیندهای بعدی از داخل آن‌ها عبور کرده‌اند را فراهم می‌کند (رودر^۱، ۱۹۸۴). برای مطالعه سیالات درگیر، کانی‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که بی‌رنگ و شفاف باشند. مناسب‌ترین کانی‌ها بنا به اعتقاد شفارد و همکاران^۲ (۱۹۸۵) عبارت‌اند از کوارتز، فلوئوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، توپاز و کاسیتريت می‌باشد. از لحاظ ژنتیکی، سیالات درگیر به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- سیالات درگیر اولیه^۳ که در زمان رشد و تشکیل بلور میزبان، تشکیل شده‌اند. ۲- سیالات درگیر ثانویه^۴ که بعد از تشکیل و رشد بلور میزبان تشکیل می‌شوند. ۳- سیالات درگیر ثانویه کاذب^۵ که ضمن مرحله‌ای از رشد بلور در شکستگی‌های موجود در بلور تشکیل و در مراحل بعدی رشد پوشیده می‌شوند (رودر، ۱۹۸۴؛ بودنار^۶، ۱۹۸۵). توأم با پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای، هر ساله حجم زیادی از یافته‌ها و تحقیقات نوین علمی در رابطه با نحوه مطالعات و تجزیه سیالات درگیر در کانسارهای مختلف ارائه می‌شود. این مسأله، اهمیت سیالات درگیر را به عنوان ابزار اکتشافی مناسب و سودمند نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر، مطالعه سیالات درگیر به عنوان یک روش تحقیقی جهت شناسایی ترکیب سیالات هیدروترمال مرتبط با

1 - Roedder

2 - Shepherd et al

3 - Primary

4 - Secondary

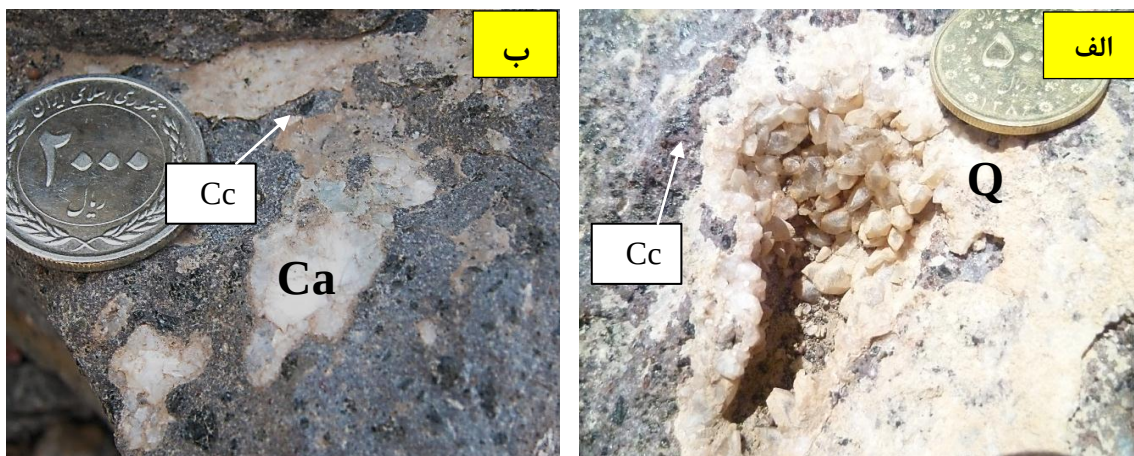
5 - Pesudosecondary

6 - Bodnar

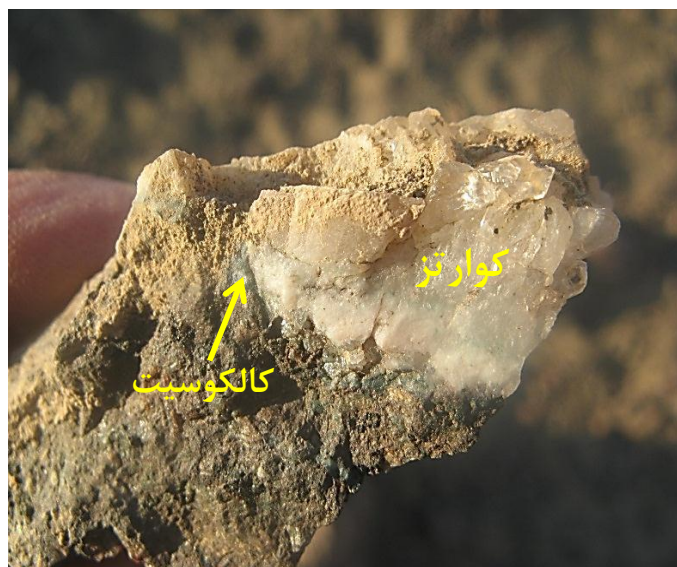
کانه‌زائی مس، و نیز بررسی شرایط دما و فشار این سیالات و فرآیندهای نهشت کانسنگ به منظور پاسخگوئی به سؤالات اساسی در رابطه با ژنز کانسار مس شرق و جنوب شرق شاهرود انجام گرفته است. در این مطالعه از کانی شفاف کوارتز و کلسیت برای مطالعه سیالات درگیر استفاده شده است، مهم‌ترین کاربرد سیالات درگیر در این تحقیق، تعیین دما، تغییرات شوری و محاسبه چگالی سیال کانه ساز در کانسارهای مس شرق و جنوب شرق شاهرود می‌باشد.

۲-۶- نمونه‌برداری و آماده سازی نمونه‌ها

جهت مطالعات سیالات درگیر، تعداد ۳ نمونه با کانی‌شناسی کوارتز و کلسیت انتخاب شد. نمونه‌های انتخاب شده از رگه‌ها و بخش کانه‌دار انتخاب شد. جهت این مطالعات از کوارتز با بافت فضا پرکن و کلسیت رگه‌ای از کانسارهای مختلف مقطع صیقلی دوطرفه^۱ تهیه شد (شکل ۶-۱ الف، شکل ۶-۱ ب و شکل ۶-۲).



شکل ۶-۱ الف- حفره پر شده با کوارتز در منطقه نرتلویی ب- رگه کلسیتی در بازالت‌های منطقه استغانی



شکل ۶-۲) کوارتز با ساخت فضاپرکن همراه با ماده معدنی از منطقه الهاک ۲

مطالعات ترمومتری سیالات درگیر در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به کمک Stage:THMS 600، مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت، دامنه حرارتی این دستگاه 196- تا 600+ درجه سانتی‌گراد است همچنین این دستگاه مجهز به دو کنترل‌گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. کالیبراسیون Stage در گرمایش، با دقت ± 0.6 درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) با نقطه ذوب 414 درجه و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد ان-هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب 94/3- درجه سانتی‌گراد انجام شده است.

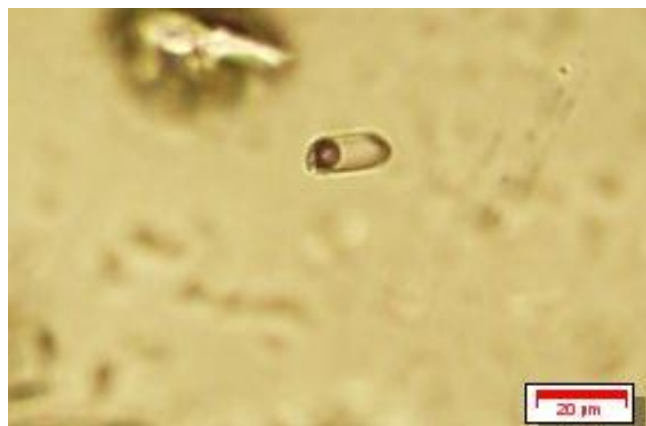
۶-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر اولین گام در مطالعه سیالات درگیر بوده و اطلاعات مفید و ارزشمندی از شرایط به دام افتادن سیالات درگیر و تشکیل بلور از این مطالعات حاصل می‌شود. در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه سیالات درگیر، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)،

محتویات سیالات درگیر (L+V+S)، نسبت V/L، نوع کانی‌های دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، پدیده‌هایی مانند تراوش^۱ و دم بریدگی^۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل سیالات درگیر تا حدودی به وسیله ساختمان بلوری کانی میزبان کنترل می‌شود. سیالات درگیر ممکن است، شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرند و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (شلتون و مک منامی^۳، ۲۰۰۴).

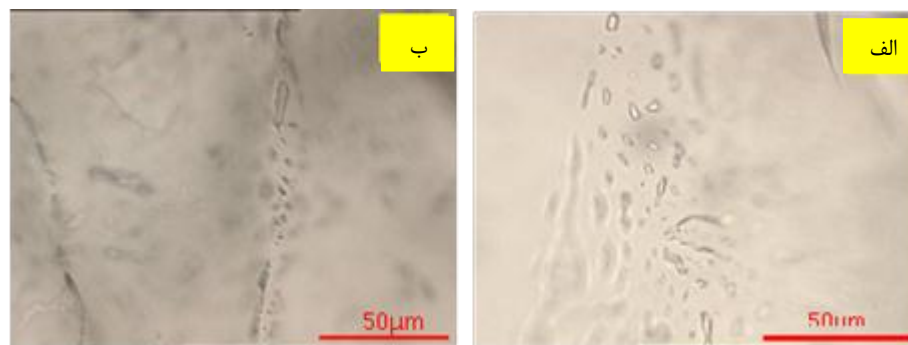
سیالات درگیر در نمونه‌های مورد مطالعه از نوع سیالات درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب هستند. سیالات درگیر اولیه با پراکندگی تصادفی دیده می‌شوند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶ سیال درگیر اولیه دو فازی (L+V)

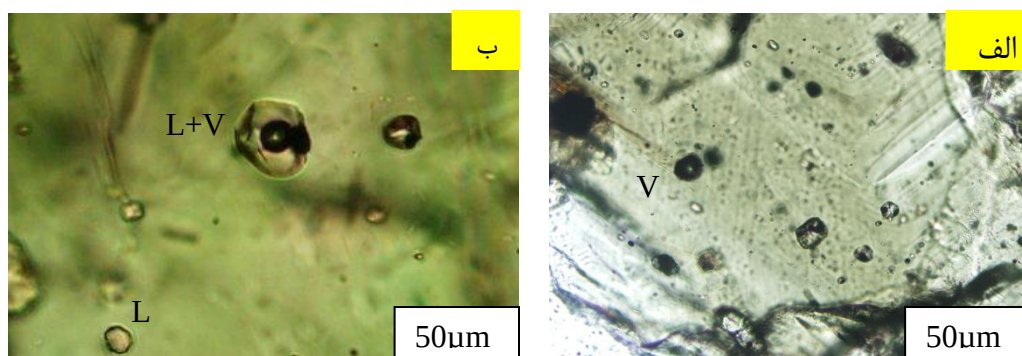
سیالات درگیر ثانویه و ثانویه کاذب به صورت خطی می‌باشند، با این تفاوت که سیالات درگیر ثانویه کاذب برخلاف نوع ثانویه تا حاشیه بلور ادامه پیدا نمی‌کنند. سیالات درگیر ثانویه به دلیل قرارگیری در محل شکستگی‌ها اغلب تا حاشیه بلور امتداد پیدا می‌کنند (شکل ۴-۶ الف و ب).

1 - Leakage
2 - Necking down
3 - Shelton and McMenamy



شکل ۴-۶ الف- سیالات ثانویه کاذب در متن بلور، ب- سیالات ثانویه به صورت خطی درون شکستگی‌ها

از نظر اندازه سیالات عموماً اندازه‌ای کوچک دارند و به ندرت ابعاد آن‌ها به ۵۰ میکرون می‌رسد. سیالات درگیر در نمونه‌های مورد مطالعه به سه دسته تک فازی پر شده از گاز (V)، تک فازی پر شده از مایع (L) و دو فازی مایع-گاز و غنی از مایع (L+V) قابل تقسیم هستند (شکل ۵-۶ الف و ب).



شکل ۵-۶ الف- سیال درگیر تک فازی پر شده از گاز (V)، ب- سیالات درگیر تک فازی پر شده از مایع (L) و دو فازی مایع + گاز غنی از گاز (L+V)

به دلیل شفافیت کم (شیری رنگ بودن) نمونه‌های مورد مطالعه و اندازه و فراوانی کم سیالات درگیر، جهت مطالعات میکروترمومتری بسیار کم بوده و به سختی یافت شدند. مطالعات حرارت‌سنجی تنها در نمونه استغانی منتج به جواب شد (جدول ۶-۱). در مواردی تنها دمای همگن شدن (Th) ذکر شده است و امکان اندازه‌گیری اولین و آخرین نقطه ذوب یخ با توجه به شرایط و ماهیت نمونه فراهم نگردید. همچنین قابل ذکر است موارد مشکوک به هیدروها لیت در میانبارها مشاهده می‌شود ولی با توجه به اندازه کوچک میانبارها اندازه‌گیری دقیق آن‌ها مقدور نشد. در نمونه نرتلویی و الهاک ۲ تنها میانبارهای تک فاز مایع

(بیشتر به صورت میانبرهای ثانویه) مشاهده گردید که بسیاری از آن‌ها پدیده باریک‌شدگی Necking (down) و یا نشت (Leakage) را نشان می‌دهند.

جدول ۶-۱) نتایج آنالیزهای دماسنجی، از کانی‌های کلسیت در نمونه‌های منطقه استغانی و نرتلویی

n	Size(μm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	wt% NaCl	Thv-l (°C)	Shape
1	8	LV	P	-41	-8.4	12.29	274	irregular
2	8	LV	P	-45	-5	8.07	285	irregular
3	8	LV	P	-41	-6.2	9.67	288	irregular
4	10	LV	P	.....	.....	.....	265	irregular
5	16	LV	P	.....	.....	.....	205	elongated
6	6	LV	P	.....	.....	.....	268	irregular

۴-۶- مطالعات دماسنجی سیالات درگیر

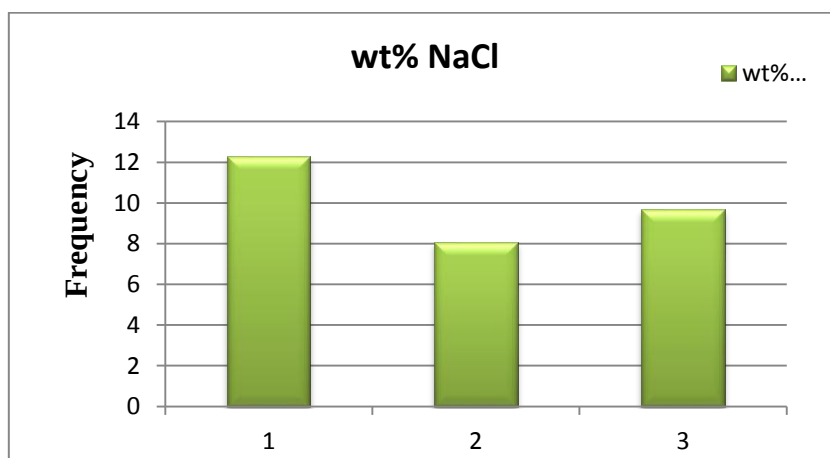
مطالعات دماسنجی سیالات درگیر به منظور تعیین منشأ و ماهیت سیالات کانه‌دار است که عمده این مطالعات برای تعیین دمای ذوب دمای اولیه (Tm1-Ice)، دمای نهایی ذوب قطعه یخ (Tm2-Ice)، همگن شدن^۱، میزان شوری و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آن‌ها ساخته شده است، که توسط عملیات سرد کردن^۲ و گرم کردن^۳ انجام می‌گیرد. هدف از سرد کردن و منجمد کردن سیال درگیر، پی بردن به میزان املاح یا اصطلاحاً درجه شوری محلول می‌باشد. جهت انجام این عملیات، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۱۱۰- درجه سانتی‌گراد سرد می‌کنیم تا سیال کاملاً منجمد شود. سپس با یک روند آهسته، حرارت دمای اتاق حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم. پس از مدتی، سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارت دیگر، اولین دمای ذوبی که در آن یخ به آب تبدیل می‌شود، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل‌شده در مایع

1 - Homogenization temperature

2 - Freezing

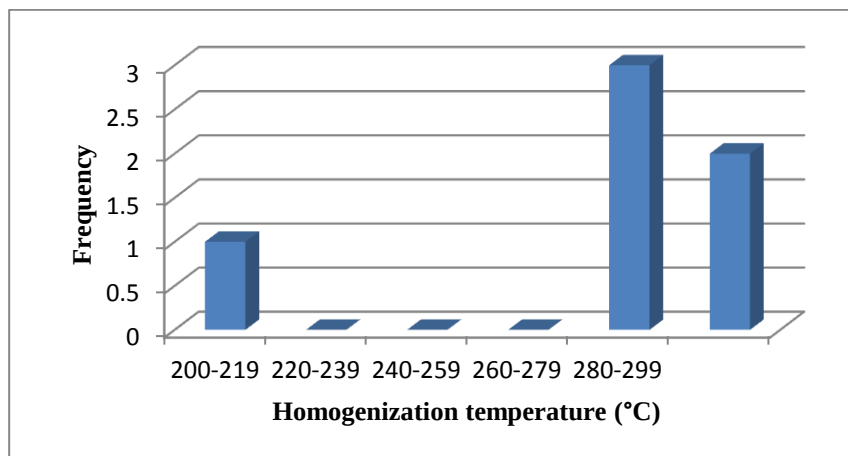
3 - Heating

ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ بیشتر ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلور یخ نیز از بین برود. دمائی که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی یخ (Tmice) اطلاق می‌شود. برحسب این دما، میزان شوری سیال بدست می‌آید. تعیین میزان شوری برای دماهای ذوب یخ بالاتر از -21°C به‌طور مستقیم با استفاده از نمودارها و جداولی که توسط بودنار (۲۰۰۳) ارائه شده است، قابل اندازه‌گیری است. هدف از حرارت دادن سیالات درگیر، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده یک سیال درگیر می‌باشد. دمای همگن شدن، یعنی دمایی که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه به‌صورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. در انجام این بخش از مطالعات، اندازه‌گیری‌ها توسط سیستم لینکام^۱ مدل HFS با کنترل کننده حرارتی ۹۲TMS ساخت کشور، آلمان انجام شده است. مطالعات پتروگرافی میانبارها با بزرگنمایی‌های ۵۰۰، ۶۲۵ و ۸۰۰ انجام گرفته است (شکل ۶-۶ تا شکل ۸-۶).

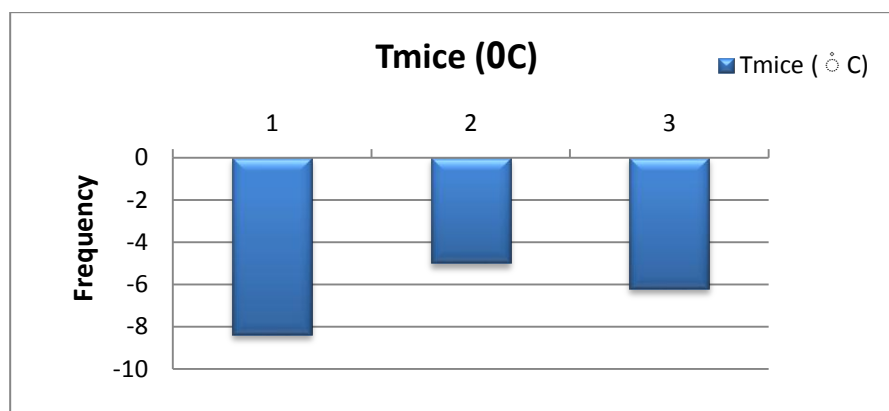


شکل ۶-۶ (فراوانی درجه شوری سیالات درگیر در کانسار استغانی

1 -Linkam



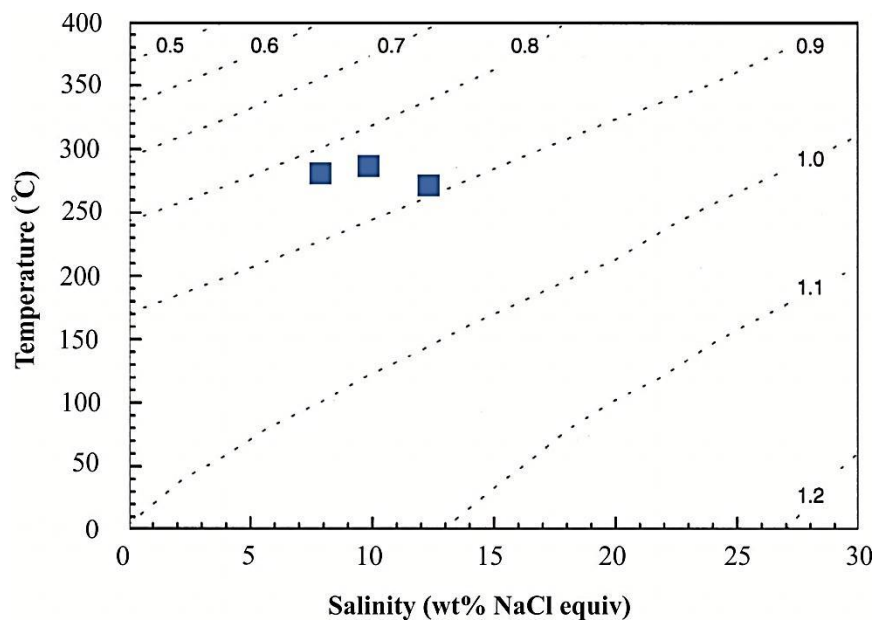
شکل ۶-۷) فراوانی درجه همگن شدن سیالات درگیر در کانسار استغانی



شکل ۶-۸) آخرین نقطه ذوب یخ سیالات درگیر در کانسار استغانی

۶-۵- چگالی سیال

تغییرات چگالی نکات مهمی در رابطه با فرآیندهای تکامل و تغییرات شوری و دمای سیال سیستم دارد (ویلکینسون، ۲۰۰۱). برای محاسبه چگالی سیال می‌توان از نمودارهای مرجعی که منحنی‌های چگالی با توجه به دمای همگن شدن به شوری رسم شده، استفاده برد. شکل بیانگر چگالی بین ۰/۸ تا ۰/۹ گرم بر متر مکعب برای سیالات مطالعه شده است (شکل ۶-۹).



شکل ۶-۹) نمودار تعیین چگالی سیال با استفاده از دمای همگن شدن و شوری سیال درگیر (ویلکینسون، ۲۰۰۱)

فصل، مضم

نتیجہ گیری، الگوی تشکیل، تیپ کا نرایی

ویشادات اکتشانی

۱-۷- مقدمه

ارائه یک الگوی زمین‌شناختی و پیشنهاد یک راهکار اکتشافی مبتنی بر مطالعه کانسارهای مشابه، یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعه هر کانسار می‌باشد که درگرو شناخت دقیق عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی است. بررسی این عوامل نیازمند بررسی دقیق مشاهدات صحرایی، نتایج داده‌های آزمایشگاهی و تلفیق مطالب مطرح شده در بخش‌های مختلف اعم از زمین‌شناسی، زمین‌ساخت منطقه، کانی‌شناسی و دگرسانی می‌باشد. در کانسارها و آثار معدنی منطقه مورد مطالعه، به منظور دستیابی به الگوی زمین‌شناسی، که سازوکار تشکیل ماده معدنی را توضیح دهد، بررسی‌های فوق‌انجام و الگوهای تشکیل و تمرکز ماده معدنی شناسائی گردید. در ادامه این بحث، کانسارها و اثرهای معدنی منطقه را با کانسارهای مشابه و شناخته شده ایران و جهان مقایسه کرده و پیشنهادات لازم برای شناسائی و اکتشاف مناطق امیدبخش و کانه‌سازی احتمالی در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

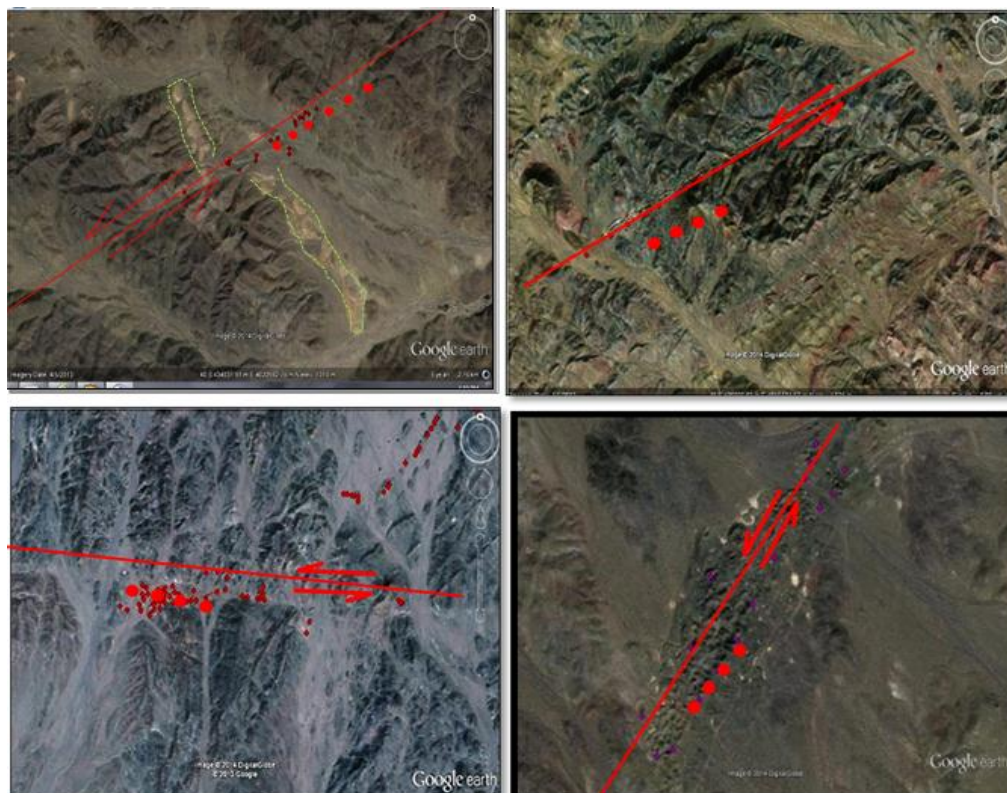
۲-۷- شواهد ژنتیکی حاصل از مطالعات انجام شده

۱-۲-۷- مطالعات سنگ‌شناسی

مناطق مورد مطالعه، بخشی از یک نوار آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن می‌باشد که از سمت شمال شرق تربت حیدریه و از جنوب غرب تا سمنان ادامه دارد. برون‌زدهای سنگی هیدروکلاست‌ها، توفیت‌ها، تراکی بازالت‌ها، بازالت‌های اولیوین‌دار و به مقدار کمتر آهک‌های نومولیت‌دار می‌باشند. شیل‌های توفی، ماسه سنگ‌های توفیتی و لیتیک توف‌های قرمز رنگ نیز جزء این مجموعه می‌باشند. رخساره آتشفشانی مربوط به محیط‌های خشکی نیز نظیر منشورهای بازالتی در این محدوده مشاهده شد. کنگومرا به صورت محلی در بین توالی آتشفشانی - رسوبی مورد مطالعه مشاهده می‌شود که با حضور قطعات آهکی خاکستری رنگ به سن کرتاسه مشخص می‌گردند.

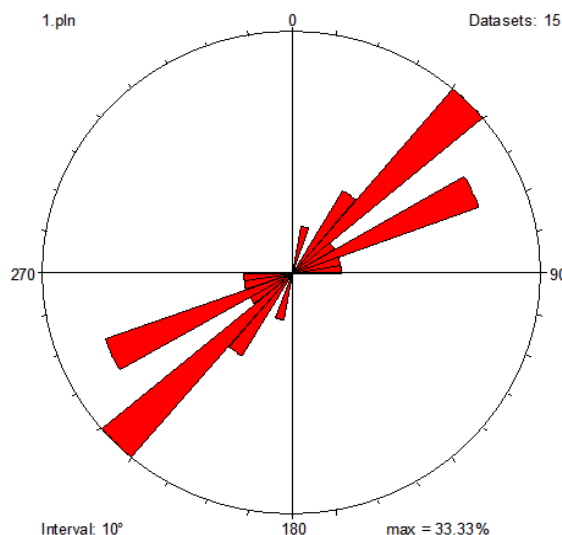
۷-۲-۲- شواهد ساختاری

گسل میامی یا گسل شاهرود با روند تقریباً شرقی - غربی، حد جدا کننده پهنه ساختاری البرز شرقی از ایران مرکزی است. حد شمالی این گسل بیشتر زمین‌های آبرفتی و کوه‌پایه‌ای، ولی حد جنوبی آن کوهستانی و در برخی نقاط (جنوب میامی، عباس‌آباد و فریمان) جداکننده ملانژهای افیولیتی از سایر واحدهای سنگی است. ساختارهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه غالباً از نوع شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌باشند. گسل‌ها و شکستگی‌ها محیط مناسبی را برای نقل و انتقال سیالات کانه‌ساز فراهم کرده‌اند. روند کانی‌سازی‌های رگه‌ای در هر منطقه تقریباً از روند اصلی شکستگی‌ها تبعیت می‌کند. دو روند اصلی چین‌خوردگی و شکستگی‌ها به صورت شمال شرق - جنوب غرب و شرقی - غربی می‌باشد. در تصاویر زیر روند گسل‌ها و شکستگی‌ها نشان داده شده است (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱) تصاویر ماهواره‌ای منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود، کانه‌زایی‌ها در امتداد گسل‌هایی با روند شمال شرقی - جنوب غربی و شرقی - غربی می‌باشد. علامت (●) نشان‌دهنده معدنکاری صورت گرفته و چاهک‌های حفر شده می‌باشد.

نمودار گل سرخی نشان‌دهنده راستای غالب شکستگی‌ها در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. روند غالب گسل‌ها و شکستگی‌ها با امتداد شمال خاوری جنوب باختری می‌باشد.



شکل ۷-۲) نمایش راستای شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود

۷-۲-۳- مشاهدات کانی‌شناسی، ساخت و بافت

در مناطق چغندرسر (شمالی، مرکزی و جنوبی) استغانی، نرتلویی، گریک و گورخان کانه‌های اصلی؛ سولفیدهای مس، کربنات مس و مس طبیعی می‌باشد که بهره‌برداری از آن‌ها به گذشته‌های دور برمی‌گردد، گواه این مطلب، تونل‌ها، کنده‌کاری‌ها و حفاری‌های بی‌شماری است که در این مناطق مشاهده شده است. در همه مناطق نامبرده کالکوسیت کانه اصلی است. علاوه بر کالکوسیت کانی‌هایی همچون کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، مالاکیت و مس طبیعی در این مناطق مشاهده شده است. ماده معدنی در این کنسارها به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و گاهی دانه پراکنده دیده می‌شود. براساس مطالعات میکروسکوپی، پاراژنز کانی‌های اولیه ماده معدنی، در کنسارها مورد مطالعه عمدتاً شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت می‌باشند، در بررسی‌های جزئی‌تر هر کنسار دارای پاراژنهای متفاوتی می‌باشد.

تمامی ویژگی‌هایی که در مورد کنسارهای مس شرق و جنوب شرق شاهرود در بخش‌های بالا بیان شد، سبب گردید به مطالعه دقیق‌تر محیط تشکیل این کنسارها پرداخته شود. بدین‌منظور، براساس

تقسیم‌بندی کورن وال، (۱۹۵۶)^۱ انواع مس‌های خالصی که در محیط‌های مختلف تشکیل شده‌اند را به صورت زیر بیان کرده است.

- مس در گدازه‌های بازالتی
- مس در توده‌های نفوذی مافیک نیمه عمیق
- مس در توده‌های نفوذی اولترامافیک
- مس در سنگ‌های رسوبی تخریبی
- مس در کانسنگ‌های اکسیده شده
- مس در باتلاق‌های جدید

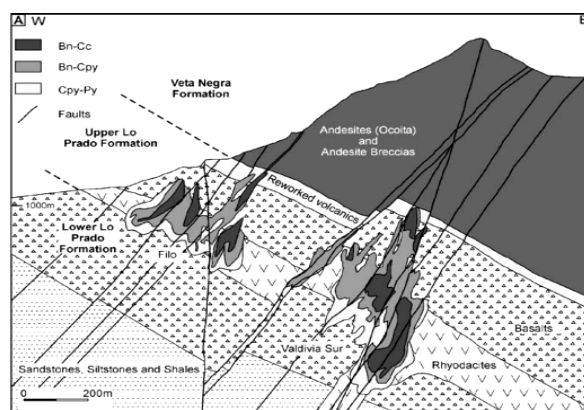
براساس مطالعه، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت و ارتباط کانه‌زایی با سنگ میزبان بازالتی می‌توان کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود را در گروه اول از این دسته‌بندی (مس در گدازه‌های بازالتی) قرار داد.

۷-۲-۴- دگرسانی و کانه‌زایی

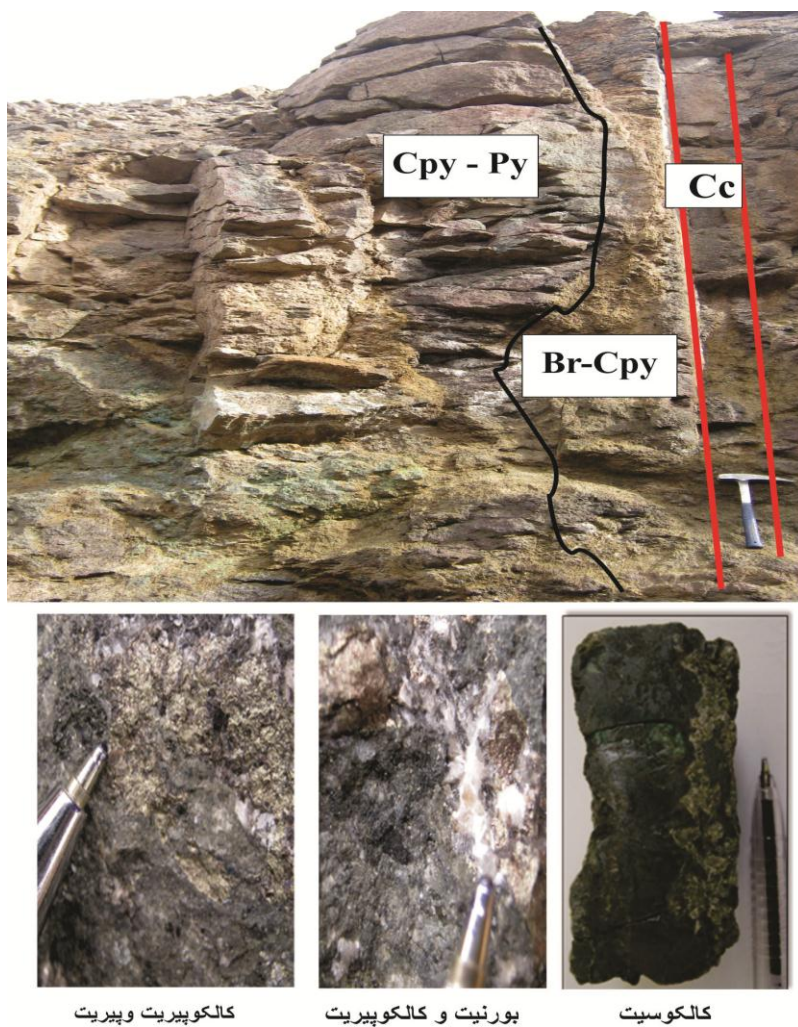
مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که جایگیری ماده معدنی در چغندر سر شمالی در پهنه‌های برشی بزرگ مقیاس رخ داده است. در این پهنه‌ی در مقیاس کوچک و بزرگ آثار دگرسانی همراه با کانه‌زایی کانه‌های مس‌دار به وضوح دیده می‌شود، در چغندر سر مرکزی، دگرسانی هماتیتی چشمگیری در منطقه ایجاد شده است. کانه‌زایی در چغندر سر جنوبی نسبت به چغندر سر شمالی در مقیاس وسیع‌تر انجام شده و به تبع آن دگرسانی نیز شدیدتر و گسترده‌تر است. از انواع دگرسانی‌ها می‌توان به انواع هماتیتی، کلریتی و سرسیتی در این مناطق اشاره کرد. کلریتی شدن یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می‌شود و ظاهری سبز رنگ به این سنگ‌ها می‌دهد (Evans, ۱۹۹۷). در منطقه چغندر سر جنوبی علاوه بر بازالت‌ها در آگلومراها نیز کانه‌زایی مشاهده شده است. در سایر مناطق نظیر گریک، گورخان، نرتلویی، استغانی، گچ‌کنوم و الهاک (۲)

1 Corenwall

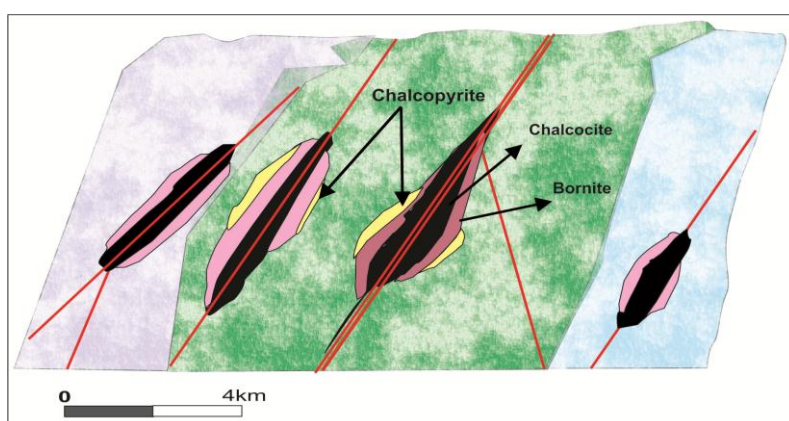
رخداد ماده معدنی، درون سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی صورت گرفته است. طبق شواهد صحرایی کان‌زایی به صورت رگه - رگچه‌ای و گاهی دانه پراکنده رخ داده است. ویلسون و زنتلی (۲۰۰۳) معتقدند در کانسارهای تیپ مانتو در منطقه شیلی کان‌زایی از کالکوسیت به بورنیت و سپس کالکوپیریت از رگه به سنگ میزبان صورت گرفته است (شکل ۷-۳). کان‌زایی در منطقه چغندرسر نیز مشابه همین منطقه می‌باشد (شکل ۷-۴ و شکل ۷-۵). تغییرات مقادیر عناصر فلزی و غیرفلزی کانی‌های مس‌دار و پیریت در زون کان‌زایی برحسب مقدار فراوانی در واحد فرمولی آن در (شکل ۷-۶) نشان داده شده است.



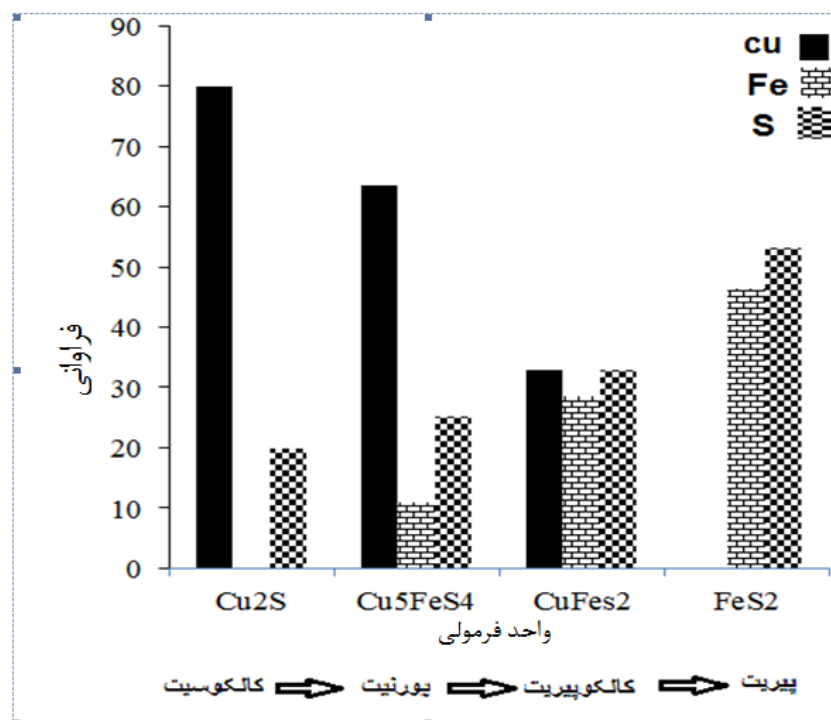
شکل ۷-۳) تصویری از نهشته‌های مس در داخل بازالت‌ها (Wilson and Zentli, 2003)



شکل ۴-۷) تصویری از رخنمون منطقه چغندر سر شمالی همراه با کانه‌زایی ایجاد شده



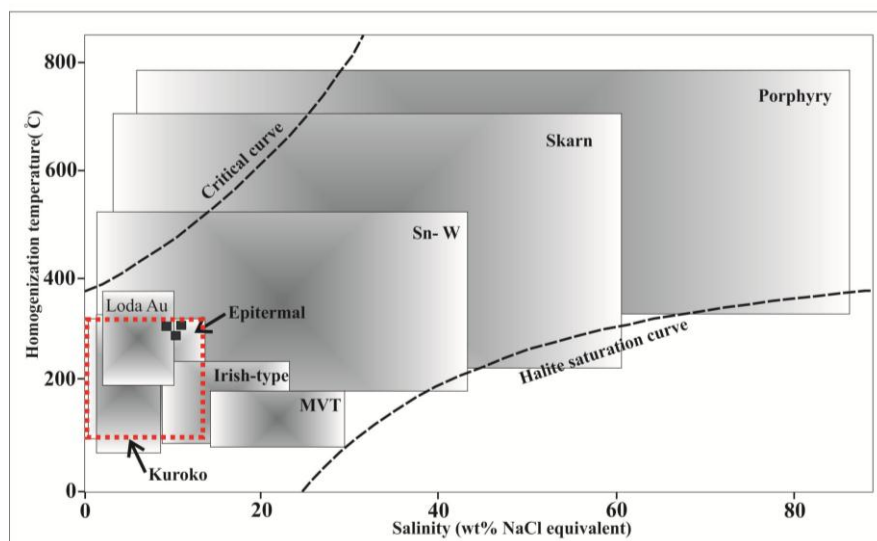
شکل ۵-۷) تصویر بازسازی شده از نهشته‌های مس در محدوده معدن چغندر سر شمالی



شکل ۶-۷) تغییرات مقادیر عناصر فلزی و غیرفلزی کانی‌های مس‌دار و پیریت در زون کانه‌زایی برحسب مقدار فراوانی در واحد فرمولی آن.

۷-۲-۵- سیالات درگیر

براساس این مطالعات، میانگین درجه همگن‌شدن سیالات درگیر در کانسار استغانی به طور میانگین ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. درجه شوری هر دو نمونه نسبتاً متوسط و بین ۸/۰۷ تا ۱۲/۲۹ درصد معادل وزنی نمک طعام (NaCl) می‌باشد. کانسارهای مس مورد مطالعه با درجه شوری متوسط با ادخال‌های سیال مطالعه شده سازگار است (شکل ۷-۷). این نمودار نشان‌دهنده قرارگیری این سیالات در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال می‌باشد. که در واقع شرایط دما- شوری احراز شده با شرایط مرز گذار از دیاژنز به دگرگونی سازگار است. و اپی‌ترمال مرتبط با توده‌های آذرین درونی در اینجا صادق نیست.



شکل ۷-۷) موقعیت داده‌های سرمایش و گرمایش کانی کلسیت که نشان‌دهنده قرارگیری این سیالات در محدوده کانسارهای کم دما و مشابه اپی‌ترمال می‌باشد (ویلکینسون، ۲۰۰۱).

۷-۲-۶- ژئوشیمی

- براساس مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی سنگ‌های میزبان، کانسارهای مورد مطالعه عمدتاً دارای ماهیت آلکالن سدیک هستند. مجموعه ماگمایی منطقه مورد مطالعه دارای یک روند تفریق با طیف ترکیبی اولیوین بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالت و تراکی آندزیت می‌باشند. از این میان، اولیوین بازالت و تراکی آندزیت بازالت بیشترین حجم را به خود اختصاص داده‌اند.
- پراکندگی‌های جزئی که در بعضی نمودارها دیده می‌شود به علت آرایش و همچنین تمرکز غیر عادی و موضعی کانی‌های خاص به علت تفریق درون سنگ‌ها می‌باشد.
- روندهای موجود بر روی نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب، نمایانگر منشأ واحد تشکیل‌دهنده سنگ‌های مناطق مورد مطالعه و منشأ واحد از یک سیال می‌باشد.
- روند موازی نمونه‌ها در نمودارهای عنکبوتی، تحول سنگ‌های منطقه‌ای مورد مطالعه در نتیجه فرایند تبلور تفریقی و منشأ واحد آن‌ها را تأیید می‌کند.
- میانگین عیار مس در این کانسار ۰/۴٪ و حداکثر مقدار مس ۰/۹۲٪ می‌باشد. در ضمن، میانگین عیار نقره ۶/۴ppm و حداکثر مقدار آن ۸/۸ ppm است.

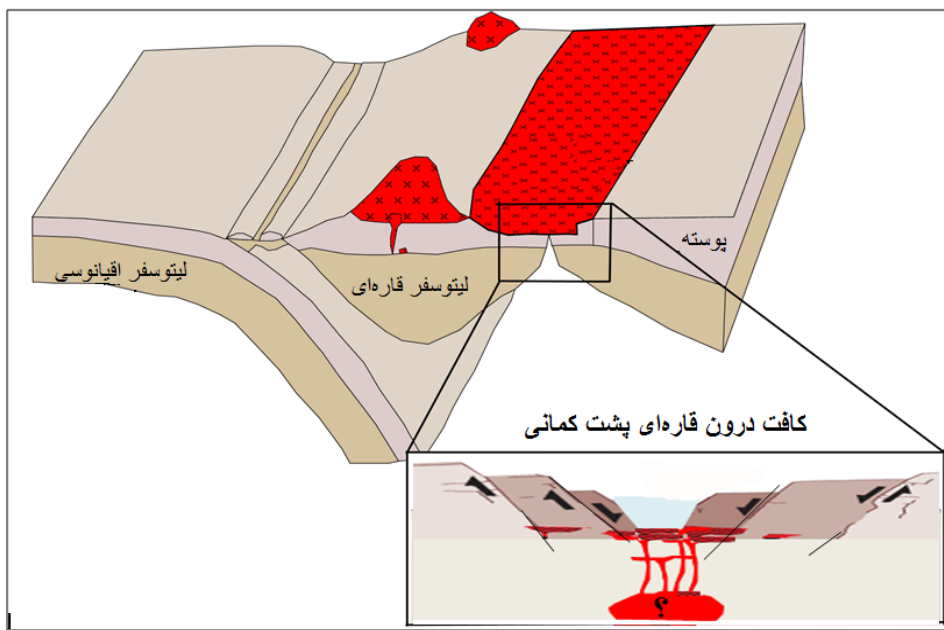
- براساس گزارش اداره صنایع و معادن شاهرود (سمنان) مقدار ذخیره کانسار ۲ میلیون تن با عیار ۲/۱ درصد به طور میانگین گزارش شده است که با نتایج بدست آمده سازگاری دارد.
- ذخایر مس خالص خیلی کم و به ندرت تشکیل می‌شود زیرا محلول‌های فقیر از گوگرد غیر معمول هستند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). این ذخایر فقط در برخی نقاط دنیا مانند ایران، بولیوی، چین، شیلی و دریاچه سوپریور در ایالت متحده آمریکا مشاهده شده است (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷).

۳-۷- الگوی تشکیل و نحوه کانه‌زایی صورت گرفته

بر اساس مطالعات و مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌ساخت، مشاهدات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، سیالات درگیر و شواهد ژئوشیمیایی، مراحل زیر را می‌توان برای تحولات زمین‌شناسی کانه‌زایی مس در منطقه در نظر گرفت:

۱-۳-۷- فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی - رسوبی پشت کمانی

پیامد فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، در بخش‌های شمالی پهنه ایران مرکزی، در ائوسن سبب رژیم کششی شده است که در نتیجه آن حوضه‌های فروافتاده کم‌عمق تا نسبتاً عمیق در مقیاسی گسترده تشکیل شده‌اند (شکل ۷-۸ و شکل ۷-۹). در این حوضه‌ها فوران‌های آتشفشانی با ماهیت تراکی بازالتی و بازالتی صورت گرفته و این فوران‌ها طی دوره حیات این حوضه‌ها به دفعات تکرار شده است. رخساره‌های آتشفشانی، هیدروکلاستی و برشی نیز همراه فوران‌های آتشفشانی به وفور دیده می‌شوند. علاوه بر این نهشته‌های آتشفشانی-رسوبی، حاصل حمل مجدد یا ته‌نشست برجای محصولات آتشفشانی و گاه حاصل مخلوط شدن با رسوبات نشأت گرفته از سرزمین‌های مجاور نیز به همراه گدازه‌های آتشفشانی نهشته شده‌اند. در این میان سنگ‌های بازالتی میزبان خوبی برای عنصر مس می‌باشند.



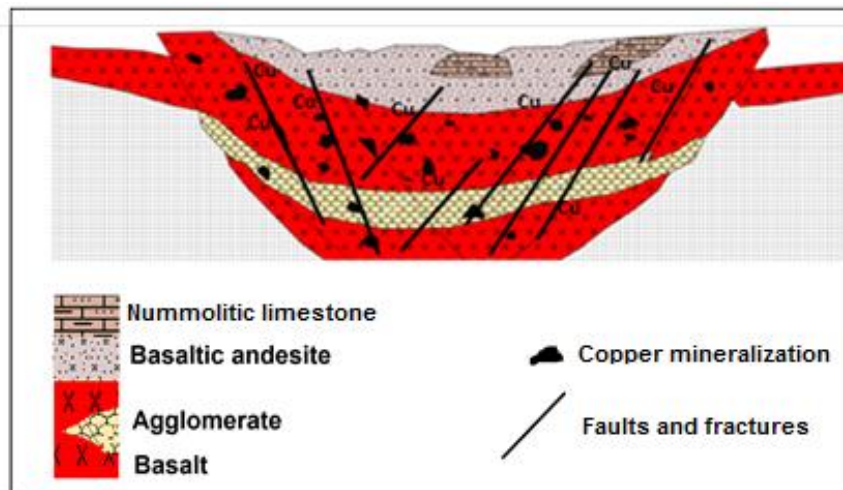
شکل ۷-۸) فعالیت‌های ریف‌ت‌زایی و گسترش سیستم‌های گرابنی در منطقه پشت کمانی



شکل ۷-۹) مرحله تشکیل حوضه آتشفشانی - رسوبی و گسترش بیشتر حوضه

۷-۳-۲- دیاژنز و دگرگونی دفنی

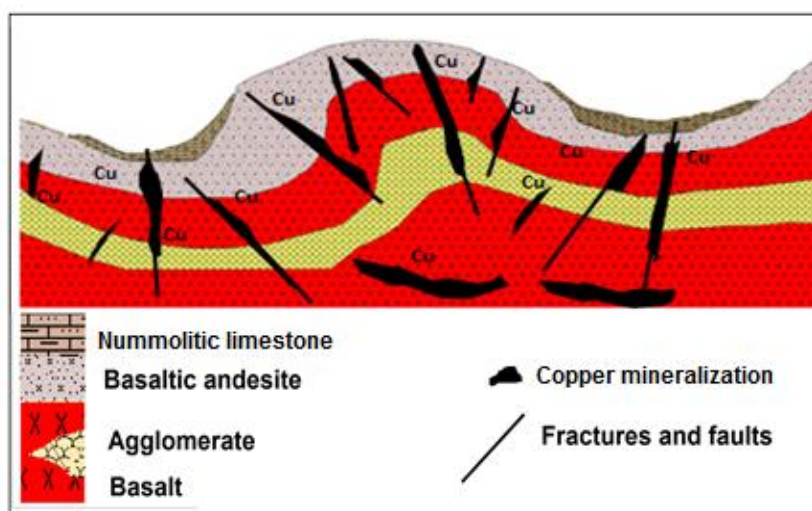
در مرحله دیاژنز و دگرگونی تدفینی، بازالت‌های غنی از مس شسته شده و عناصر فلزی آن‌ها با سیالات به افق‌های بالاتر مهاجرت کرده و در فضاها یا خالی (اعم از فضای بین بلوک‌ها و قطعات گسلی، درزه‌ها، شکاف‌ها، محور چین‌ها، سطوح محوری چین‌ها، حفرات، خلل و فرج و....) تمرکز پیدا کرده‌اند (شکل ۷-۱۰). مرحله دیاژنز در منطقه روگرو نسبت به سایر مناطق بیشتر قابل مشاهده است.



شکل ۷-۱۰) فرایند دیاژنز و دگرگونی تدفینی بر اثر فشار ناشی از حجم عظیمی از رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی بالایی

۷-۳-۳- بالآمدگی و چین‌خوردگی

در مرحله بالآمدگی و چین‌خوردگی منطقه و ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها، شرایط لازم برای رسیدن سیال به قسمت‌های بالاتر توالی فراهم می‌شود. در این مرحله سیال مس‌دار ناشی از دیاژنز با راه یافتن و چرخش خود درون پهنه برشی، کانه‌زایی سولفیدی همراه با دگرسانی عمده هماتیته در منطقه ایجاد کرده است. جریان یافتن سیال کانه‌دار به داخل درز و شکستگی‌ها و فضاهای خالی کانه‌زایی سولفیدی به صورت رگه و رگچه‌ای را ایجاد کرده است (شکل ۷-۱۱).



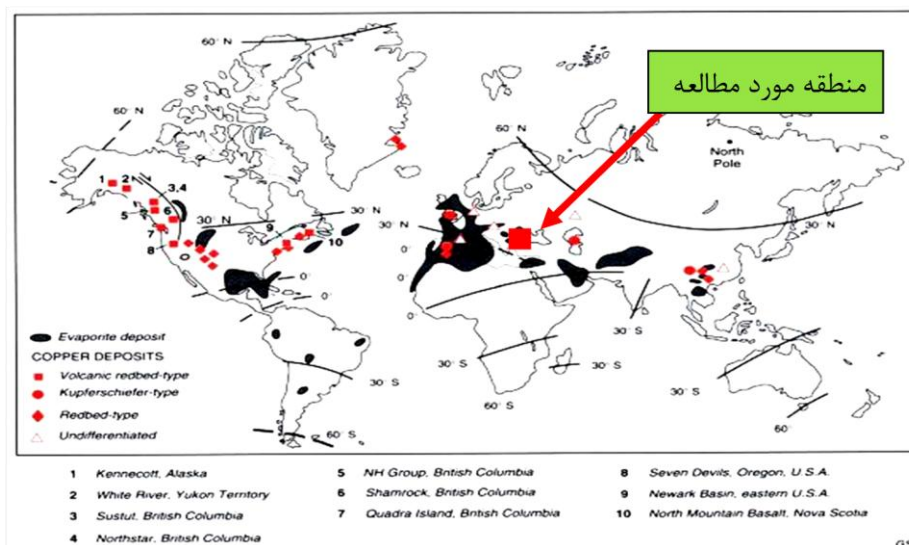
شکل ۷-۱۱) بالآمدگی و چین‌خوردگی‌ها باعث ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها شده و شرایط لازم برای رسیدن سیال به سطح را فراهم آورده است.

۷-۳-۴- مرحله هواز دگی

در این مرحله، واکنش‌های هواز دگی شیمیایی سبب تبدیل کانی‌های سولفیدی اولیه و مس طبیعی به کانی‌های سولفید ثانویه، و مجموعه کانی‌های اکسیدی می‌شوند. برخی از کانه‌های حاوی مس موجود، حاصل از دگرسانی مس طبیعی یا کانی‌های مس‌دار هستند که از آن جمله می‌توان به مالاکیت، کوولین، کوپریت و آزوریت اشاره کرد.

۷-۴- مدل پیشنهادی تیپ کانه‌زایی کانسارهای شرق و جنوب‌شرق شاهرود

از بهترین کانسارهای شاخص مس با میزبان آتشفشانی (رسوبی) دنیا می‌توان کانسارهای ایالت‌های یونان و گوئیژو (Bingquan, 2002)؛ مونت الکساندر کبک، آپالاشین کانادا (Cabral, 1996)؛ شبه‌جزیره کویناوی در شمال میشیگان (Brown, 2006)؛ آمریکای شمالی (Khirkham, 1969)؛ بخش‌های جنوبی رشته کوه‌های آند (Willson et al, 2003)؛ جزیره کویناو، ایالت متحده آمریکا (Cornwall, 1956)؛ کانادا کانسار مونت الکساندر (Lefebure & Church, 1996)؛ شیلی کانسار بوئناسیرانزا (Sillitoe, 1997)؛ شمال شیلی (Kojima et al, 2008)؛ مونت الکساندر (Cabral & Beaudoin, 2007) نام برد. در جدول ۷-۱ تا جدول ۷-۲ نشان داده شده است. در شکل ۷-۱۲ توزیع جهانی کانسارهای مس نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۲) موقعیت و پراکندگی برخی از کنسارهای مس با تیپ‌های مختلف (Kirkham, 1996)، در این شکل کنسارهای آتشفشانی لایه سرخ با مستطیل (■) نمایش داده شده‌اند.

با توجه به شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و کتاب‌نگاری‌های صورت گرفته و مقایسه با انواع تیپ‌های کنسارهای مس، شاهد آن هستیم که کنسارهای مورد مطالعه با سه تیپ زیر دارای شباهت‌های قابل تأمل هستند (جدول ۷-۱).

۱) کنسارهای مس نوع میشیگان امریکا (Michigan Type)

۲) کنسارهای مس آتشفشانی - لایه سرخ (Volcanic Redbed Copper)

۳) کنسارهای مس نوع مانتو (Manto Type)

۷-۴-۱- کنسارهای مس تیپ میشیگان

(Guilbert & Park, 1986) از دو نوع کنسارهای مس آندزیتی-بازالتی و کنسارهای مس آندزیتی نام برده‌اند. کنسارهای نوع کویناوی که به کنسارهای مس نوع میشیگان نیز معروف‌اند و در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) یافت می‌شوند، در گروه کنسارهای مس آندزیتی-بازالتی مس قرار می‌گیرند. در این کنسارها مس طبیعی کانه اصلی است. کنسارهای 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. دیویدسون (۱۹۵۹) و وایت (۱۹۶۸)

کانی سازی درون سنگ های بازالتی با ماهیت تولییتی بادمکی و نیز در زمینه لایه های کنگلومرای بین لایه ای را گزارش کرده اند. کانسارهای آندزیتی، رگه- رگچه ها و حباب گونه های حاصل از آکندگی حفره ها و افشاندگی هایی از مس و نقره آزاد، کالکوسیت، بورنیت و اندکی کالکوپیریت در سنگ های آتشفشانی کلسیمی- قلیایی مزوزوئیک میانه تا پلیوسن در کردیلرای آمریکا هستند. انباشته های اقتصادی این نوع کانسنگ تاکنون در شیلی و بولیوی تا ده ها متر ضخامت دارد. این کانسارهای مانتویی مس عموماً چند کیلومتر در امتداد راستای خود گسترش دارند. پرترفدارترین فرض در مورد زایش کانه سازی نوع میشیگان، نظریه دیرزاد (اپی ژنتیک) بودن این گونه ذخایر است. طبق این نظریه در اثر دگرگونی درجه پایین (در حد رخساره پرهنیت- پومپله ایت)، عنصر مس موجود در درون شبکه سیلیکات ها، آزاد و سپس توسط محلول های گرمابی به بخش های بالایی حمل شده است. در همین زمان در محیط بدون گوگرد، مس به صورت طبیعی نهشته شده است. ، بائر و همکاران (۱۹۶۸) با مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی خود به این نتیجه رسیدند که دگرگونی گدازه ها در ژرفا، مسبب دگرسانی بازالت به اپیدوت- پرهنیت- کلریت و رهایی مس و سازهای شیمیایی دیگر گشته است. می توان این چنین نتیجه گرفت که سیال های کم دما مس را در امتداد مناطق نفوذپذیر به سمت بالا حمل و وارد فضاهای باز در افق های نزدیک سطح کرده اند.

براساس مطالعات صورت گرفته بر روی محدوده مطالعاتی و مشاهده و حضور مس طبیعی در پارائنز با کانی های سولفیدی و نیز ویژگی های کانی شناسی، بافتی و سنگ میزبان، کانی سازی در کانسارهای مس شرق و جنوب شرق شاهرود در سنگ های آتشفشانی اذهان را به سمت ذخایر نوع تیپ میشیگان شبه جزیره کویناوی آمریکا معطوف می دارد، اما با مطالعه بیشتر تفاوت های بین این دو آشکار می شود. در منطقه مورد مطالعه مقدار کانه مس طبیعی تشکیل شده کم است این در حالی است که در کانسار میشیگان، کانه اصلی، مس طبیعی می باشد و اندازه تکه های مس آزاد گاه به بیش از ۱۰ سانتیمتر نیز می رسد. بنابراین در پارائنز کانایی کانسار میشیگان، مس طبیعی بیشترین سهم را دارد، در حالی که در کانسارهای مورد مطالعه، کانی های سولفیدی مس و بیشتر کالکوسیت حضور دارند.

تفاوت آشکار دیگری که بین این دو کانسار وجود دارد، این است که در کانسار میشیگان سنگ میزبان تا حد رخساره پره‌نیت- پومپله‌ایت دچار دگرگونی شده است. در حالی که در منطقه مورد مطالعه، آثار شاخصی از دگرگونی دیده نشد، جز در موارد اندکی شاهد حضور رخساره زئولیتی هستیم.

۷-۴-۲- کانسارهای مس نوع آتشفشانی - لایه سرخ (Volcanic red-bed copper)

این گونه کانی‌سازی مس به‌طور معمول از زمان پروتروزوئیک تا ترشیری رخ داده است. سنگ میزبان کانی‌سازی شامل گدازه‌های مافیک تا فلسیک به‌ویژه گدازه‌های بازالتی بادامکی^۱، توف، برش و سنگ‌های رسوبی وابسته از جمله کنگلومرا، ماسه‌سنگ و غیره است. سنگ‌های آتشفشانی از نظر ترکیب، طیفی از بازالت تا ریولیت را پوشش می‌دهند. برخی نهشته‌ها ساختار تخت دارند، برخی به‌صورت پهنه‌های چینه‌کران^۲ هستند و بقیه توسط ساختارها و چینه‌شناسی متقاطع کنترل می‌شوند. محصول فرعی همراه مس در این نوع ذخایر، نقره است. کانی‌های اصلی مس شامل کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی است. کانی‌سازی به‌صورت پراکنده، رگه‌ای، پرکننده بادامک‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. چنین نهشته‌هایی به‌طور معمول در جایگاه‌های زمین‌ساختی کافت‌های درون قاره‌ای همراه با توالی‌های بازالت سیلابی سطحی در تماس با هوای آزاد و نزدیک حاشیه صفحات به همراه جزایر و آتشفشان‌های کمان قاره‌ای یافت می‌شوند. جایگاه‌های آتشفشانی قاره‌ای تا دریایی کم‌ترفا در عرض‌های پایین تا متوسط و محیط‌های خشک تا نیمه‌خشک مخصوص این‌گونه ذخایر است. کانی‌های باطله شامل هماتیت، مگنتیت، کلسیت، کوارتز، اپیدوت، کلریت و زئولیت هستند.

کاپرال و بیودوین^۳ (۲۰۰۶) در مدل کنونی مس آتشفشانی - لایه سرخ بیان می‌دارند، فعالیت آتشفشانی باید سطحی باشد، یا دست کم بخش بیشتری از انباشته‌های آتشفشانی برای مدتی در تماس با هوای آزاد باشد تا بتواند اکسایش گدازه‌های آتشفشانی را توجیه کند. بررسی‌های کاپرال و

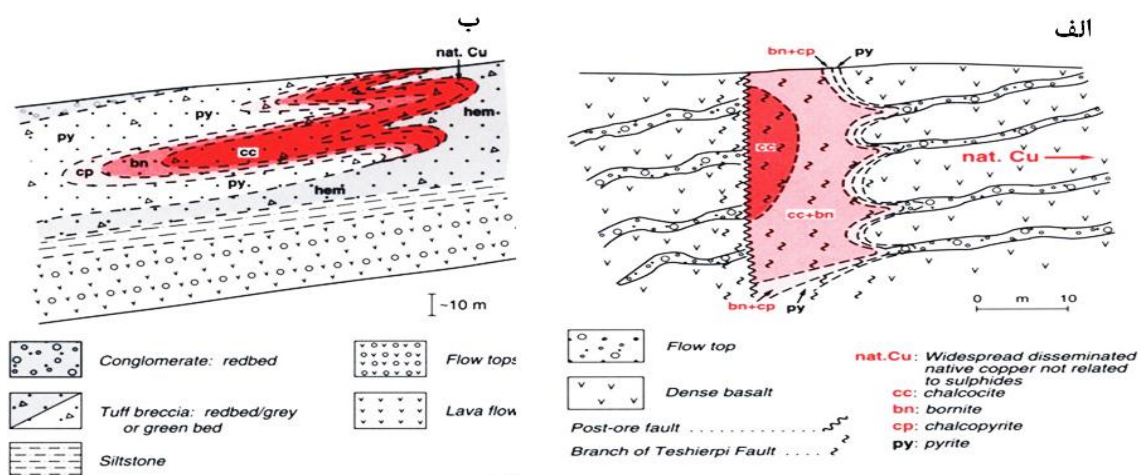
1 Amygdaloidal

2 Stratabound

3 Cabral & Beaudoin

بیودوین (۲۰۰۶) بر روی پهنه مونت الکساندر کبک کانادا^۱، رشته کوه آپالاشین نشان داد که نه تنها جایگاه‌های بازالتی سطحی برای این گونه نهشته‌ها مناسب‌اند، بلکه بازالت‌های زیردریایی اکسیده شده توسط آب‌های دریایی گرم نیز جایگاه مناسبی برای آن‌ها هستند. آب‌ها می‌تواند نقش یکسانی مانند آب‌زیرزمینی در محیط‌های قاره‌ای، برای شستشو و حمل و نقل مس از بازالت‌ها در طول اسپیلیتی شدن ایفا کند.

- کیرکام^۲ (۱۹۹۶) معتقد است، نهشته‌های مس آتشفشانی - لایه سرخ به صورت هم‌شیب و غیرهم‌شیب، می‌باشد، مس طبیعی عمدتاً در توالی‌های آتشفشانی به وسیله گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود. این نهشته‌ها دارای تنوع زیادی از ریخت‌شناسی شامل رگچه‌های ساده، انتشاری هم‌شیب و غیر هم‌شیب، رگه- رگچه‌های پیچیده، نهشته‌های برشی گسلی و نهشته‌های تقریباً هم‌شیب می‌باشد. در بسیاری از نهشته‌های هم‌شیب و غیر هم‌شیب، کانی‌های مس به صورت منظم، پرکننده فضاهای خالی در سنگ‌های میزبان قرار می‌گیرند (شکل ۷-۱۳).

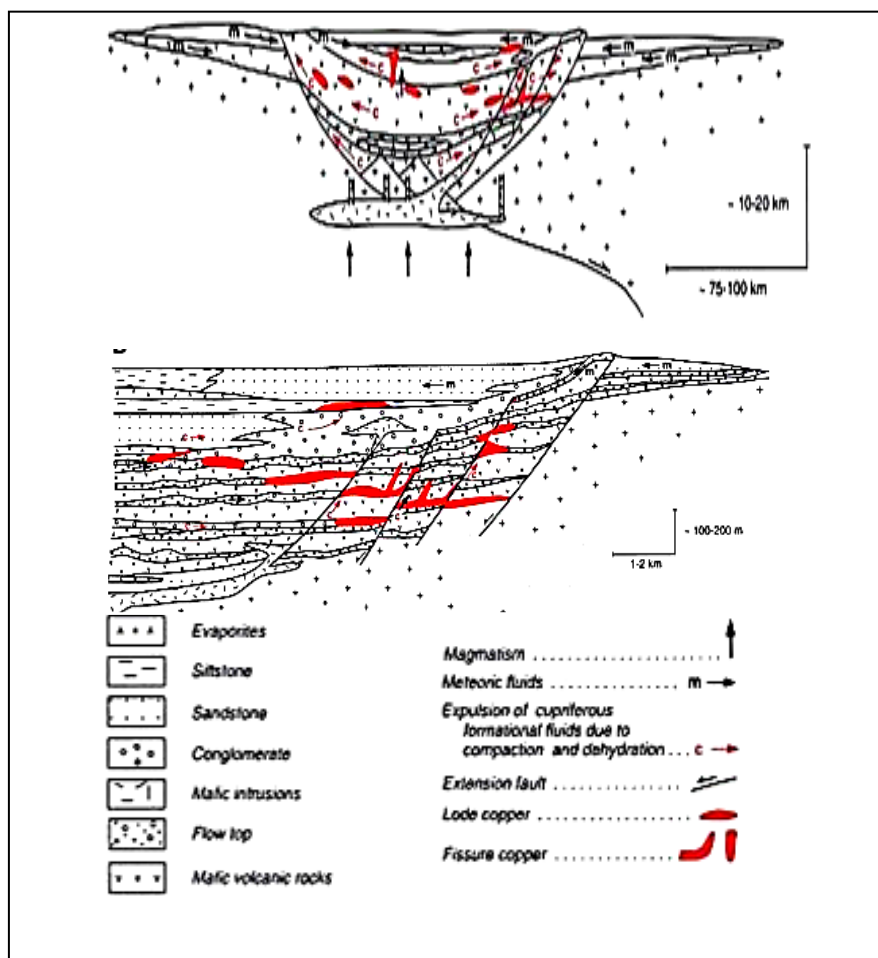


شکل ۷-۱۳) الف) طرح شماتیک از کانه‌زایی در رسوبات هم‌شیب (ب) طرح شماتیک از کانه‌زایی در رسوبات ناهم‌شیب (Kirkham, 1996).

- این نهشته‌ها به وسیله مجموعه‌های کانایی مس طبیعی یا سولفیدهای مس تقریباً ساده همراه با مقادیر متغیری از نقره مشخص می‌شوند. بسیاری از نهشته‌های مس آتشفشانی - لایه سرخ به وسیله

1 Mont AlexandriaQuebec Apalachians, Canada
2 Kirkham

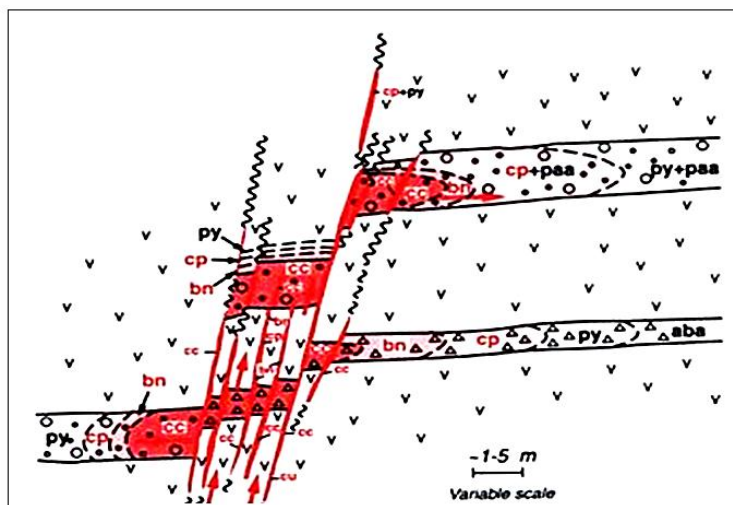
کانی‌های دگرگونی دمای کم از قبیل کوارتز، اپیدوت، آلبیت، کلریت، کلسیت، پرهنین، پامپلی‌ایت و لامونتیت که به‌صورت پرکننده حفرات و شکاف‌ها و همچنین به‌صورت جانشینی می‌باشد (شکل ۱۴-۷).



شکل ۱۴-۷) طرح شماتیکی از توالی آتشفشانی و نمایش مهاجرت سیالات مس‌دار، به صورت انشعابی به سمت بالا و نهشته شدن فلزات در طول گسل‌ها و رگه‌ها (Kirkham, 1996).

مس طبیعی، کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت و هماتیت و همچنین پیریت و مقادیر کم نقره خالص از جمله کانی‌های تیپیک نهشته‌های مس در کانسارهای آتشفشانی - لایه سرخ می‌باشد. گالن، اسفالریت و دیگر سولفیدها و سولفوسالت‌ها از جمله کانی‌های فرعی می‌باشد. مس در این نهشته‌ها در بسیاری موارد در پهنه‌های گسلی سنگ‌های برشی بادامی شکل و توف‌های فلسیک تمرکز یافته است

(شکل ۷-۱۵).



شکل ۷-۱۵) طرح شماتیکی از نمایش پهنه‌بندی کانی‌های شاخص نهشته‌های مس آتشفشانی لایه‌های سرخ که در واحدهای چینه‌شناسی و در طول گسل و پهنه‌های شکستگی تشکیل می‌شود (Kirkham, 1996).

خصوصیات بارز این ذخایر از دیدگاه کیرکام، (۱۹۹۶)

۱- مجموعه‌های کانیایی مس خالص و یا سولفیدهای مس در توالی‌های آتشفشانی همراه با مقادیر کمی نقره می‌باشند و عمدتاً چندفلزی نمی‌باشند و همچنین شامل مقادیر زیادی از سولفیدهای آهن نمی‌باشند.

۲- دگرسانی سنگ دیواره در این کانسارها یا وجود ندارد یا بسیار ناچیز می‌باشد. اما بسیاری از نهشته‌ها همراه با کانی‌های دگرگونی حرارت فشار پایین از قبیل کوارتز، اپیدوت، آلبیت، کلریت، کلسیت، پرهنیت، پامپلی‌ایت و لامونتیت می‌باشد.

۳- بخش مهمی از توالی سنگ‌ها در این نهشته‌ها در محیط‌های خشکی و در یک حالت اکسیدی ته‌نشین می‌شوند.

۴- همانند کانسارهای مس رسوبی استراتی‌فرم دیاژنتیک با میزبان رسوبی، شواهد دیرینه مغناطیس و رسوب‌شناسی تعیین می‌کند که سنگ‌های میزبان این نهشته‌ها در نواحی عرض جغرافیایی پایین و خشک و نیمه‌خشک ته‌نشین می‌شوند.

۵- بسیاری از نهشته‌های مس رسوبی دیاژنتیک و آتشفشانی لایه سرخ در توالی‌های یکسانی رخ می‌دهند.

در مدل ژنتیکی ارائه شده توسط کیرکام^۱ (۱۹۹۶) بسیاری از این نهشته‌ها همراه با کانی‌های دگرگونی حرارت پایین می‌باشند. برای شکل‌گیری یک نهشته مس آتشفشانی - لایه سرخ بایستی بخش مهمی از انباشته در محیط‌های خشکی ته‌نشین شود و بسیاری از سنگ‌های رسوبی بایستی در یک حالت اکسیدی قرار گیرند و گدازه‌ها فرصتی برای گوگردزدایی داشته باشند. در این نوع نهشته‌ها گوگرد بایستی در سیال کانه‌دار به صورت سولفات حمل شود و در محل‌هایی از ته‌نشینی کانه به سولفید احیا شود. مقدار گوگرد ۳۴ منفی نشان‌دهنده احیای باکتریایی سولفات به منظور تولید سولفید در برخی از نهشته‌ها می‌باشد. مقادیر فلزات و کانی‌های مشابه، الگوهای منطقه بندی کانیاپی، ارتباط با لایه‌های قرمز، کنترل کننده‌های تخلخل و نفوذپذیری و ته‌نشینی در مرزهای اکسیداسیون - احیا این نتایج را به دست می‌دهد. از طرف دیگر محل این تیپ از نهشته‌ها در نزدیک انتقال رخساره‌های دگرگونی از اپیدوت - پامپلی‌ایت به پهنه اپیدوت در حالت کلی تعیین می‌کند که این نهشته‌ها ممکن است در درجه حرارت و فشارهای بالاتری نسبت به نهشته‌های مس رسوبی دیاژنتیک شکل بگیرند (کیرکام، ۱۹۹۶)

نتایج حاصل از مقایسه کانسارهای شرق و جنوب‌شرق شاهرود با کانسارهای مشابه بیان شده، این است که این کانه‌سازی مس بیشترین شباهت در دنیا را با کانسارهای مس در آتشفشانی لایه سرخ دارد. به نظر می‌رسد که تمامی این کانسارها به یک نوع تعلق دارند و در مکان‌های مختلف اسامی گوناگونی به آن‌ها داده شده است. بنابراین کانسار مورد مطالعه نیز در این گروه نام‌گذاری می‌شود.

۷-۴-۳- کانسارهای مس نوع مانتو

کانسارهای مس نوع مانتو از گونه کانسارهای چینه‌کران با میزبان گدازه‌های آتشفشانی غنی از

¹ Kirkham

سیال‌های فرار هستند. شناخته‌شده‌ترین کانسار نوع مانتو کانسار بوئنااسپرانزا در شمال شیلی است، که خود به سه زیرگونه بوئنااسپرانزا (Buena Esperanza)، کارولینا (Carolina de Michilla sub-type) و مانتوبلانکو (Manto sub-type)، تقسیم شده است (Sergio Espinoza et al., 1994). این کانسارها نتیجه فرایند جایگزینی گرمابی در آندزیت‌ها و گاهی ریولیت‌ها هستند. چینه‌کران کانسارهای نوع مانتو به گروهی از کانسارها گفته می‌شود که معمولاً منطبق با لایه‌بندی و یا درون طبقات یا گدازه‌ها هستند. کانی‌های اصلی مس، کالکوسیت و بورنیت هستند. سنگ میزبان در این ذخایر، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی است. کانی‌سازی در این گروه، عموماً با دایک‌ها، نفوذی تنوره‌ای و سیل‌های دارای ترکیب گابرودیوریت همراه هستند و برخلاف دیگر انواع کانسارها، نبود یا کم بودن پدیده‌های گرمابی سنگ میزبان بسته به شرایط رخنمون، درجات متفاوتی از اکسایش وجوه آشکار آنهاست.

نتایج حاصل از مقایسه کانسارهای شرق و جنوب‌شرق شاهرود با کانسارهای تیپ مانتو، نشان می‌دهد که سنگ میزبان مشابه‌ای دارند، با این تفاوت که در کانه‌سازی تیپ مانتو گاهی توده‌های نفوذی دخالت دارند ولی با توجه به شواهد صحرایی وجود هیچ گونه توده نفوذی در شرق و جنوب شرق شاهرود اثبات نشد.

جدول ۷-۱ مقایسه کانسار مس شرق و جنوب شرق شاهرود با تیپ میشیگان، آتشفشانی لایه - سرخ و تیپ مانتو

کانسار	کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود	Michigan Type	Volcanic Redbed Cu	Manto Type
موقعیت	ایران	جزیره کوینا، ایالت متحده (کانسار میشیگان)	امریکای شمالی	شیلی (کانسار بوتناسپرانزا)
سنگ میزبان	بازالت تا آندزیت بازالت	بازالت آمیگدالوئیدال با میان لایه های کنگلومرایی	سنگ های آتشفشانی رسوبی میزبان بازالتی	گدازه های بازالتی و آندزیتی
سری ماگمایی	سری قلیایی	سری تولئیتی (نیمه قلیایی)	گدازه های مافیک و فلسیک	.....
جایگاه زمین ساختی	دریای کم ژرفا تا قاره ای	....	آتشفشانی قاره ای تا دریایی کم ژرفا	آتشفشانی نیمه قاره ای
جایگاه زمین ساختی	محیط پشت کمان	...	....	...
پاراژنز کانیایی	بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مس طبیعی، کوپریت	مس طبیعی، کوپریت، ملاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، کالکوسیت و دیژنیت	پیریت ، کالکوپیریت، بورتیت، کالکوسیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا
بافت ماده معدنی	رگه - رگچه ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده	افشان و پرکننده فضای خالی	رگه و رگچه ای دانه پراکنده، همشیب و غیر همشیب	رگه ای و پرکننده فضای خالی
محصولات دگرسانی	کلریت، کربنات، کلسیت، همتایت، ژئولیت	...	آلبیت ، کوارتز، کلریت، پرنهیت	کلریت، آلبیت، کوارتز، اپیدوت
سن کانه زایی	اواخر ائوسن	پالئوزوئیک	....	ژوراسیک
مراجع	این تحقیق	Cornwall (1956)	Khirkham (1969)	Sillitoe(1997)

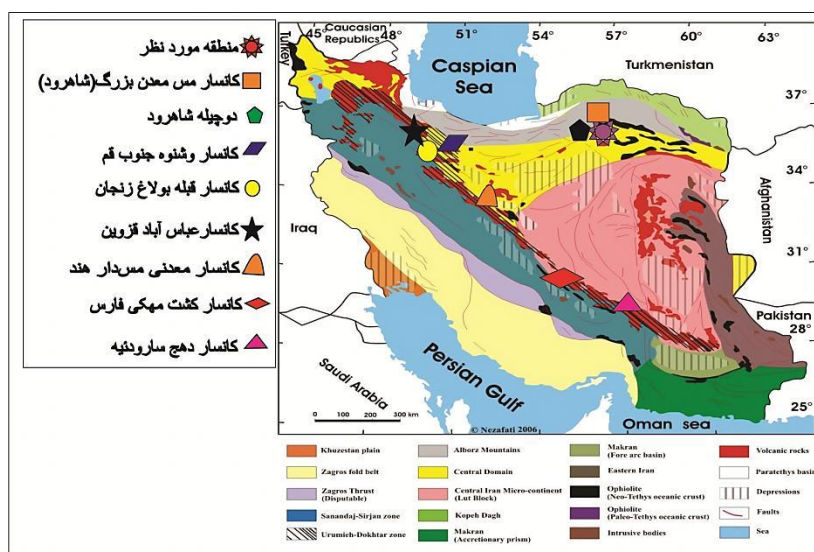
جدول ۷-۲) مقایسه کانسار مناطق شرق و جنوب‌شرق شاهرود با کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی در دنیا

موقعیت جغرافیایی	ایالت‌های یونان و Guizhou (گوئیژو)	مونت الکساندر کبک، آپالاشین کانادا	شبه‌جزیره کویناوی در شمال میشیگان	شمال شیلی	کانادا (کانسار مونت الکساندر)	بخش‌های جنوبی آند مرکزی (chily)
سن	پرمین پسین	سیلورین	پالئوزویک	کرتاسه و ژوراسیک	پروتروزویک تا ترشیری	کرتاسه پایین
سنگ میزبان	سنگ‌های بیتومین سلیسی، برش‌های ولکانیکی و گدازه‌های حفره‌دار	بازالت	واحدهای شیل، سیلتستون قاعده‌ای، برش، بازالت‌ها	آتشفشانی رسوبی و عمدتاً آندزیتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	آتشفشانی
دگرسانی	کلریتی، کربناتی، سلیسی، زئولیتی و بیتومینی شدن	هماتیتی، کلریتی، کربناتی، کلسیتی	اپیدوت به پومپلیثیت و کلریتی	کلسیتی، اپیدوت	کلسیت، زئولیت، اپیدوت، کلریت، آلبیت	کلسیتی، آلبیتی، سلیسی، اپیدوت
کانه	مس طبیعی، اکسیدهای مس با مقادیر کمی کالکوسیت	کالکوسیت، مس طبیعی، بورنیت، یارویت (Cu ₉ S ₈)	مس طبیعی، پیریت دانه‌ریز و هماتیت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت و کوولیت	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت
شکل ماده معدنی	مس‌های طبیعی رگه‌ای، دانه‌ای و ورقه‌ای شکل، تنوریت‌های آغشته- شده و کالکوسیت‌های عدسی شکل	رگه و رگچه‌ای	رگه‌های مس خالص و استراتاباند و استراتی‌فرم	چینه کران، رگه و رگچه‌ای	پراکنده، پرکننده فضای خالی، رگه - رگچه	چینه کران

۷-۴-۴- مقایسه کانسارهای تیپ مس آتشفشانی شرق و جنوب شرق شاهرود با

همدیگر و با کانسارهای مشابه در سایر نقاط ایران

مقایسه کانسارها مورد مطالعه در این پژوهش نشان‌دهنده شباهت در نوع کانه‌ها، ساخت و بافت سنگ میزبان و دگرسانی‌های رخ داده در کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود است (جدول ۷-۳). برای تأیید نتیجه‌گیری‌ها کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود با کانسارهای مس آتشفشانی لایه‌های سرخ در ایران مقایسه شده است (جدول ۷-۴). در شکل ۷-۱۶ پراکندگی کانسارهای مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی در نقشه پهنه‌های ساختاری ایران مشخص شده است. بر اساس ناهیدی فر و همکاران (۱۳۹۲) کانسار مس دیان در جنوب دامغان نیز دارای ویژگی‌های مشابه این مناطق می‌باشد. با این تفاوت که در کانسار دیان کانی‌های بورنیت و کالکوپیریت مشاهده نشده و تیپ کانه‌زایی برای این کانسار، آتشفشانی رگه‌ای معرفی گردیده است.



شکل ۷-۱۶ پراکندگی کانسارهای مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی در ایران (نقشه از آقاباتی، ۱۳۸۳).

جدول ۷-۳ مقایسه کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود

مشخصات	چغندر سر شمالی	چغندر سر مرکزی	چغندر سر جنوبی	گریک	گورخان	نر تلویی	استغانی	الهاک (۱)	الهاک (۲)	گچ کنوم
سنگ میزبان	آندزیت بازالت	آندزیت بازالت	بازالت	اولیوین بازالت	بازالت	بازالت	پیروکسن بازالت	بازالت	بازالت و آهک	بازالت
ساخت و بافت	رگه و گچهای و دانه پراکنده	رگه و رگچه-ای	رگه و رگچه‌ای	دانه پراکنده	دانه پراکنده و رگه‌ای	دانه پراکنده و رگه	رگه‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای	دانه پراکنده و رگه‌ای
پاراژنز	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولین	بورنیت، کالکوسیت، کولین	بورنیت، کالکوسیت، کولین	کالکوسیت، کولین	بورنیت، کالکوسیت، کولین، مس طبیعی	کالکوسیت، کولین، مس طبیعی	کالکوسیت، ملاکیت	ملاکیت	کالکوسیت، ملاکیت	کالکوسیت، ملاکیت
دگرسانی	سرسیتی، کربناتی، هماتیتی	کربناتی، هماتیتی	سرسیتی، کربناتی، هماتیتی	هماتیت	هماتیتی، کلریتی	هماتیتی، کلسیتی، کربناتی	هماتیتی	هماتیتی، کربناتی	کربناتی، سیلیسی	کربناتی، سیلیسی

جدول ۷-۴) مقایسه کانسارهای شرق و جنوب شرق شاهرود با کانسارهای مس آتشفشانی لایه‌های سرخ در ایران

مشخصات	شرق و جنوب شرق شاهرود	اندیس معدنی مس دار هند	اندیس معدنی مس قبله بولاغ	وشنوه (جنوب قم)	مس معدن بزرگ (عباس آباد)
موقعیت جغرافیایی	۱۰۰ کیلومتری شاهرود	۴/۵ کیلومتری نطنز	جنوب خاور زنجان	۶۰ کیلومتری جنوب قم	شاهرود
سن کانه زایی	ائوسن میانی	ائوسن میانی تا بالایی	ائوسن	ائوسن میانی تا بالایی	ائوسن
سنگ میزبان	بازالت و تراکی آندزیت بازالت	بازالت آمیگدال	بازالت آمیگدال	آندزیت بازالت تا بازالت آندزیتی	آندزیت و تراکی آندزیت
ساخت و بافت ماده معدنی	رگه و رگچه‌ای	رگه‌ای	افشان و پرکننده فضای خالی	رگه و رگچه و پرکننده فضای خالی	پرکننده فضای خالی، رگه و رگچه‌ای
پاراژنز	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، مس طبیعی، کولین،	مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مالاکیت و اندکی پیریت	مس طبیعی، تنوریت، مالاکیت، آزوریت، همتایت، پیریت	کالکوسیت، کوولین، مالاکیت	کالکوسیت، کولین، بورنیت،
دگرسانی	کلریت، کربنات، کلسیت، همتایت، زئولیت	.....	...	کلریت و سریسیت، پومپله‌ایت، اکتینولیت، کوارتز	سرسیتی، سیلیسی، زئولیت و کلریت
مراجع	این تحقیق	نظافتی (۱۳۷۹)	بهزادی (۱۳۷۳)	شهرزحق نظر (۱۳۸۷)	معانی جو، حیدری (۱۳۹۰)

ادامه جدول ۷-۴

مشخصات	شرق و جنوب شرق - دهج - سارودیه	دوچيله ، پهنه ایران مرکزی	کانسار پلی متال عباس آباد	عباس آباد	کشت مهکی، جنوب سندرچ - سیرجان
موقعیت جغرافیایی	شمال غرب استان کرمان	شمال شرق شاهرود	غرب قزوین	شاهرود	شمال غرب صفاشهر
سن کانه زایی	ائوسن	ائوسن	ائوسن	ائوسن میانی	کرتاسه پایینی
سنگ میزبان	آندزیت پورفیری	بازالت و الکالی بازالت ائوسن	بازالت، اولیوین بازالت، بازالت آندزیتی و آذرآواری	تراکی آندزیت بازالت و یا ولکانو کلاستیک	سنگ های بازالتی، با میان لایه هایی از لیتیک توف
ساخت و بافت ماده معدنی	دانه پراکنده، رگه و رگچه	رگه ای	رگه ای و پرکننده فضای خالی،	پرکننده فضای خالی، رگه و رگچه ای، بافت	رگه و رگچه ای و دانه پراکنده، به صورت جزئی و انتشاری
پاراژنز	کالکوسیت، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت، کوپریت کالکوسیت، مس خالص ،	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، تتراندزیت، تننالت، بورنیت، مالاکیت	کالکوسیت، بورنیت، کوپریت،	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت ثانویه، آنالیت، مالاکیت و آزوریت
دگرسانی	کربناتی، سیلیسی، پروپلیتی، سرسیتی، هماتیتی	اکسید آهن، کلریتی، ژئولیتی، کربناتی	پروپلیتی، سیلیسی	اپیدوت، کلریت، کلسیت، ژئولیت، کوارتز و آنالسیم	کوارتز، سرسیت، کلسیت، اپیدوت هماتیت، کلریت و آلپیت
مراجع	ابولی پور و همکاران (۱۳۹۰)	ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۲)	کامران جهاننیده کاظم پور - مهدی حسینی (۱۳۹۰)	الهام السادات موسوی شاهرودی (۱۳۸۹)	مینا بویری، ابراهیم راستاد (۲۰۱۳)

۵-۷- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل

۵-۷-۱- منشاء عناصر

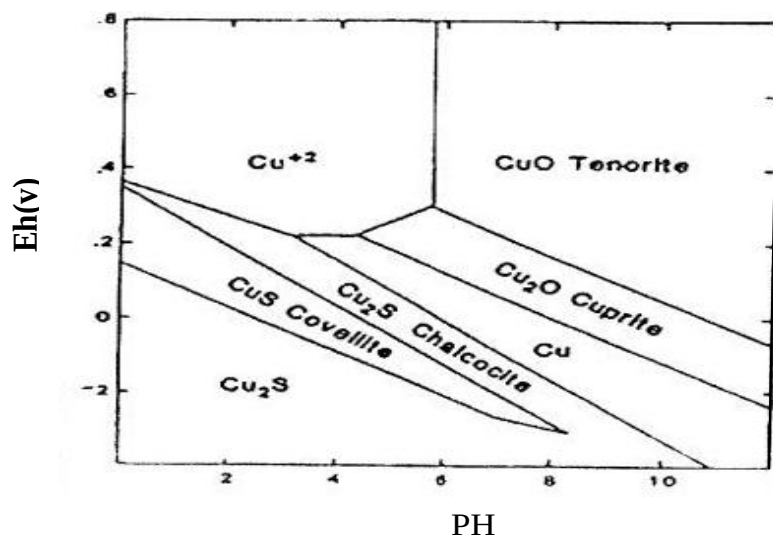
عقیده بر این است که منبع فلز از بازالت‌ها است و مس نه فقط به صورت مس خالص بلکه به صورت سولفیدی نیز حضور دارد. احتمالاً محلول‌های سولفیدی وارد سنگ‌های غنی از آهن در طول زون‌های برشی شده و کانه‌زایی رخ داده است (واتسون^۱، ۱۹۲۳). جهت تعیین منشاء عنصر Cu در این منطقه از تمام واحدهای سنگی موجود در منطقه من جمله بازالت‌های دگرسان شده، دگرسان نشده و کانسنگ نمونه برداری و جهت تعیین مقدار مس (و همچنین سایر عناصر همراه) آنالیز صورت گرفت. با مقایسه مقدار مس در هر یک از این نمونه‌ها، ملاحظه می‌شود که میزان مس و سایر عناصر همراه در کانسنگ و بازالت‌های دگرسان شده و دگرسان نشده از یک روند خاصی پیروی می‌کنند که نشان‌دهنده منشاء واحد مس و سایر عناصر می‌باشد.

۵-۷-۲- شرایط ته‌نشست

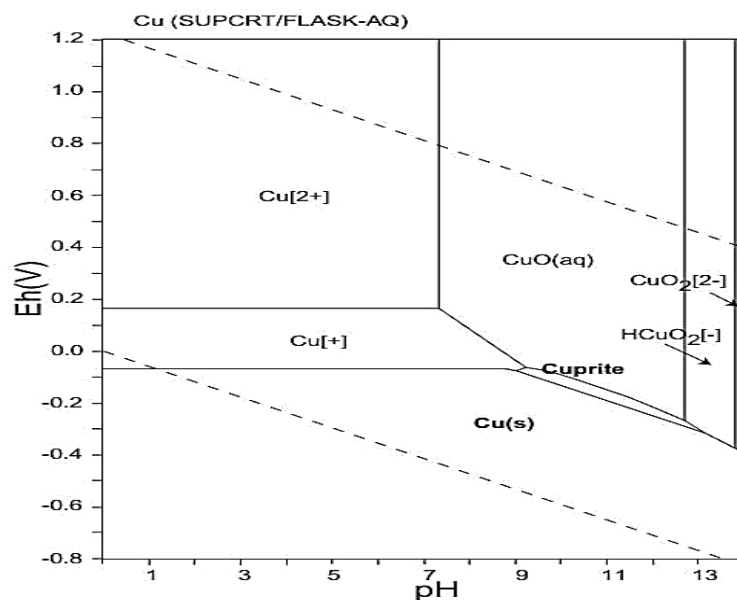
جریان‌های اکسیدی بالارونده و سنگ‌های رسوبی بین لایه‌های قرمز احتمالاً در رُز این نهشته‌ها مهم می‌باشد. محیط زمین‌شناسی، این تیپ از نهشته‌ها به‌طور وسیع در توالی‌های بازالتی خشکی توزیع شده‌اند و با عنوان نهشته‌های مس با میزبان بازالتی معرفی می‌شوند. ظاهراً این کانسارها مشابه کانسارهای مس رسوبی دیاژنتیک فقط در سنگ‌های خشکی تا کم‌عمق دریایی که با اکسیژن اتمسفر زمین ترکیب شده‌اند رخ می‌دهند. این کانسارها در آب‌های عمیق و در توالی‌های گدازه‌ای بالشی رخ نداده و به صورت جایگیری کانه‌ها بعد از تشکیل سنگ‌میزبان رخ می‌دهند کیرکام (۱۹۹۶). عوامل شیمیایی احتمالاً نقش مهمی در ته‌نشینی عنصر مس در منطقه مطالعاتی داشته است، زیرا بر طبق شکل ۷-۱۷ عنصر مس در شرایط اسیدی و اکسیدکننده در سیالات هیدروترمالی می‌تواند انتقال یابد و با توجه به این مسئله که فلزات قلیایی و قلیایی خاکی، به‌طور فراوان در منطقه حضور دارند، مانند

¹ Watson

رگه‌های کلسیتی فراوانی که در سیستم درز و شکستگی‌ها و حفره‌ها مشاهده گردید، می‌توان نتیجه گرفت با وارد شدن عناصری مانند Ca به سیالات کانه‌دار، این سیالات قلیایی‌تر شده و در نتیجه تفکیک و تجزیه کمپلکس‌های کلریدی مس صورت گرفته است (شکل ۷-۱۸).



شکل ۷-۱۷) ترکیبات مس در دیاگرام PH, Eh در سطح زمین و شرایط اسیدی، مس به صورت محلول توسط آب حمل و در عمق زمین در شرایط احیایی راسب می‌گردد (برگرفته از مینارد، ۱۹۸۳).



شکل ۷-۱۸) ترکیبات مس در دیاگرام PH, Eh برگرفته از Naoto Takeno(2005)

۶-۷- پیشنهادات تحقیقاتی و اکتشافی

- توالی‌های آتشفشانی- رسوبی مشابه منطقه شرق و جنوب شرق شاهرود، در سایر نقاط ایران، جهت اکتشاف این تیپ نهشته‌ها مورد توجه و مطالعه دقیق‌تر قرار گیرند.
- تحلیل عملکرد گسل‌ها و به‌طور کلی عامل زمین ساخت باید به صورت کلی در منطقه بررسی شود که خود این امر می‌تواند راهنمایی مفیدی در کشف مناطق امید بخش باشد.
- با توجه به این‌که کانه‌زایی در این مناطق بیشتر در امتداد گسل‌ها صورت گرفته است، مناطق دارای گسل‌ها باید شناسایی شده و نقشه آن‌ها تهیه گردد.
- انجام اکتشاف ژئوفیزیکی به روش‌های ترکیبی پتانسیل القایی (IP) و مقاومت سنجی (RS) انجام عملیات حفاری (مغزه گیری) در این کانسارها جهت پیگیری پهنه‌های کانه‌دار و نیز بررسی دقیق‌تر ساختار درونی پیکره‌های معدنی. واضح است که هر کدام از مراحل اکتشافی پیشین بخشی از سیمای کانی‌سازی را در اختیار قرار می‌دهد که به تنهایی چندان قابل استفاده نخواهد بود. برای بکارگیری و استفاده بهینه از ابزارهای مختلف اکتشافی لازم است که داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی در سیستم GIS تلفیق شده و نتیجه آن، به‌عنوان محدوده‌های اولویت‌دار، بر روی نقشه‌های پایه زمین‌شناسی (ترجیحاً در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰) منعکس گردیده و جهت کنترل صحرایی در اختیار زمین‌شناس اکتشافی قرار گیرد.
- تمامی مناطق از جمله چغندرسرشمالی، جنوبی، مرکزی، الهاک ۱ و ۲، گریک، گورخان، نرتلویی، استغانی، گچ کنوم و روگرو از نظر عنصر مس پتانسیل لازم را نشان می‌دهد و در مورد سایر عناصر همراه اعم از روی، سرب و دیگر عناصر به مطالعات تفصیلی بیشتری نیاز است.

منابع

- ۱- آقاباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- ۲- بادامه، ع.، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی منطقه میان‌دشت (شرق شاهرود)"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۱ صفحه.
- ۳- بلاغی، م.، صادقیان م.، قاسمی ح و محجل م.، (پذیرش چاپ برای زمستان ۱۳۹۳)، "کانی-شناسی، زمین‌شیمی و سن پرتوسنجی دایک‌های مافیک موجود در مجموعه دگرگونی دلبر، بیارجمند (جنوب شرقی شاهرود)" مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- ۴- سامانی، ب.، (۱۳۸۱)، "متالوژنی کانسارهای مس (نوع مانتو) در ایران"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- ۵- خلعتبری، م.، (۱۳۸۰)، "نقشه زمین‌شناسی عباس آباد به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۶- درویش زاده، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، تهران، ۴۳۴ ص.
- ۷- رولینسون، هیو. آر.، (۱۳۸۴)، "کاربرد داده‌های زمین‌شناسی"، ترجمه مر. ف. مدبری، س. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، چاپ اول.
- ۸- صادق زاده، ش.، (۱۳۷۷)، "پتروولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق میان‌دشت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۴ صفحه.
- ۹- قربانی، م.، (۱۳۸۱)، "دیاچهای بر زمین شناسی اقتصادی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی، ۶۹۵ صفحه.

- ۱۰- گیلبرت و پارک، (۱۳۷۸)، "زمین‌شناسی کانسارها"، ترجمه سعید علیرضایی، نشر دانش امروز مؤسسه انتشارات امیرکبیر تهران.
- ۱۱- مردانی بلداجی م، "پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل رخساره‌ای سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی منطقه پهنواز، جنوب بیارجمند - شاهرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۲- معین وزیری، ح، احمدی، ع، (۱۳۸۳)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، ۵۴۵ صفحه.
- ۱۳- معین وزیری، ح؛ احمدی، ع، (۱۳۷۱)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین"، دانشگاه تربیت معلم، ۵۵۵ صفحه.
- ۱۴- مغفوری، س، راستاد، ا، موسیوند، ف، (۱۳۹۰)، "رخداد کانی زائی مس سولفید توده ای نوده در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه بالایی در جنوب غرب سبزوار". دومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان .
- ۱۵- مهرابی، ب، فاضلی، آ ، (۱۳۸۰)، "بررسی تیپ کانی زایی مس در کانسار و شنوه جنوب استان قم"، بیستمین گردهمایی علوم زمین.
- ۱۶- موسوی، ا، (۱۳۸۸)، "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه چغندرسر (جنوب غرب عباس آباد) و کانه‌زائی وابسته به آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۸ صفحه.
- ۱۷- موسیوند، ف، (۱۳۸۹) ، زمین شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی- سری- مس چاه‌گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسار سولفید توده‌ای مس- روی- نقره بوانات در پهنه سندن‌ج‌سیرجان جنوبی. رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، ۵۰۵ صفحه.

۱۸- موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، ا.، (۱۳۸۱)، "کانه زایی سولفید توده ای مس -روی (نقره)

در مجموعه آتشفشانی -رسوبی سوریان در منطقه بوانات در پهنه سندج -سیرجان"، بیست

و یکمین گردهمایی علوم زمین.

۱۹- موسیوند، ف.، (۱۳۸۲)، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه زایی مس در مجموعه آتشفشانی

رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت

مدرس.

۲۰- نبوی، م. ح.، (۱۳۵۵)، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات

معدنی کشور، ۱۰۹ص.

۲۱- الهیاری (۱۳۸۹)، "پتروژنز سنگ‌های آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک - عباس‌آباد"

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۵۴صفحه.

22- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., Wortel, R., (2011). "Zagros orogeny: a subduction-dominated process", Geol. Mag. pp 1- 34.

23- Alavi, M., (1991), "Tectonic map of the Middle East, Geological Survey of Iran".

24- Alavi, M., (1996), "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountains in northern Iran". J. Geodynamics 21(1). pp.1-33.

25- Arvin M., Pan Y., Dargahi S., Malekizadeh A., Babaei A., (2007). "Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction". Journal of Asian Earth Sciences 30. pp. 474–489.

26- Azizi H., & Jahangiri A., (2008). "Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone", Iran. Journal of Geodynamics 45. pp. 178–190.

27- Badrzadeh, Z., Sabzehei, M., Gimeno, D., Peter, J.M., Barrett, T.J., Rastad, E., and Aghazadeh, M., 2010, Geology, Mineralogy and Sulfur Isotope Geochemistry of

- the Sargaz Cu-Zn Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran.
- 28- Barbey, P., Ayalew, D., Yirgu, G., (2005). "Insight into the origin of gabbro-dioritic cumulo-phyrlic aggregates from silicic ignimbrites: Sr and Ba zoning profiles of plagioclase phenocrysts from Oligocene Ethiopian Plateau rhyolites". *Contribution to Mineralogy and Petrology* 149. pp. 233–245.
- 29- Barnes, H. L. (1997). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* (Vol. 1): John Wiley & Sons.
- 30- Barnes, H. L. (1997). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, John Wiley & Sons.
- 31- Berberian M., (1983). "The southern Caspian: A compression floored by a trapped modified oceanic crust". *Canadian Earth Sciences*, 20, pp.163 – 183
- 32- Berberian, F. and Berberian, M., (1981). Tectono-plutonic episodes in Iran. In: *Zagros–Hindu Kush–Himalaya Geodynamic Evolution* (H.K. Gupta and F.M. Delany, Eds), pp. 5–32. American Geophysical Union & Geological Society of America, Washington.
- 33- Berberian, M. (1981). "Active faulting and tectonics of Iran, in Zagros, Hindu Kush, Himalaya". *Geodynamic Evolution, Geodyn. Ser.*, vol. 3. pp. 5–32
- 34- Berberian, M., & King, G. P. (1981), "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran". *Can. J. Earth Sci* , 18, pp.210-265.
- 35- Berberian, M., b., (1976) "Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II)". *Geo,surv, of Iran*, Rep. No. 39,518 P, 5 maps, 259.
- 36- Berberian, M., Qorashi, M., Arzhang-ravesh, B., Mohajer-Ashjai, A., (1983). "Recent tectonics, seismotectonics, and earthquake-fault hazard study in the Greater Qazvin area". *Geological Survey of Iran* 57.
- 37- Bodnar, R.J., and Vityk, M.O., (1994), Interpretations of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, in DeVivo, B., and Frezzotti, M.L., eds., *Fluid inclusions in minerals: Methods and applications*: Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University Press, p. 117–130.
- 38- Cabral AR, Beaudoin G, Kwitko-Ribeiro R, Lehmann B, Poloˆnia JC, Choquette M(2006) Platinum–palladium nuggets and mercury-rich palladiferous platinum from Serro, Minas Gerais, Brazil. *Can Mineral* 44: 385–397.

- 39- Cabral, A. R. and G. Beaudoin (2007). "Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada." *Mineralium Deposita* 42(8): 901-912.
- 40- Cornwall, H. R., (1951), "Differentiation in magmas of the Keweenaw series": *Jour. Geology*, v. 59, p. 151-112.
- 41- Cox K. G., Bell, J.D., Pankhursts, R. J., (1979). "The interpretation of igneous rocks". George Allen and Unwin, pp. 450.
- 42- Craig, G.R. and Vaughan, P., (1994), "Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley and Sons", 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p.
- 43- Emami, M. H. (1981). "Geologie de la region Qom – Aran. Contribution a letude dynamique et geochimique du volcanisme tertiaire d Iairan central", these decortect at, Grenoble, pp.489.
- 44- Evans, A. M.,(1997) "Aninroduction to ecomamic geology and its enviromental impact: blackwell, " Sci: Pub. 364P.
- 45- Farhoudi G. (1978)." A comparison of Zagros geology to Island arcs". *Jour. Geol.* 86. pp. 323-334.
- 46- Fenner C.N. (1948) "Incandescent tuff flows in southern Peru", *Journal of Geological society of America Bulletin*, V. 59, pp 879-893.
- 47- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., Galley, A.G., (2005) "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits"Economic Geology 100anniversary, p. 523-560. 35
- 48- Franklin, J.M.,(1996), Volcanogenic- associated massive sulfide base metals, in *Geology of Canadian mineral deposit types*, (eds), O. R. Eckstrand, W.D. Sinclair, and R.I.Throp, Geological survey of Canada, *Geology of Canada*, no.8, p. 158-183.
- 49- Gally,A.G., (2003) "Composite synvolcanic intrusions associated with Precambrian VMS- related hydrothermal systems, Mineral" *Deposita*, v.38, n.4, p.443-473.
- 50- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., (2006). A new tectonic scenario for the Sanandaj– Sirjan Zone (Iran). *J. Asian Earth Sci*, 26, 683–693.

- 51- Guilbert, J.M. and Park, C.F.J., (1999), "The geology of ore deposits": Freeman, W.H. and company.pp. 985.
- 52- Harker, A. (1909). "The natural history of igneous rocks".Methuen &co.London.
- 53- Haynes D W, Cross K C, Bills R T, Reed M H (1995) Olympic Dam Ore Genesis: A FluidMixing Model. *Economic Geology* 90: 281-307.
- 54- Heald, P., Foley, N.K., and Hayba, D.O.,(1987) "Comparative anatomy of volcanic- hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite type" *Economic Geology*, v.82, p.1-26.
- 55- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Jr., & Gonzalez Urien, E. (2000). " Exploration for Gold Deposits". *Review in Economic Geology*, Vol. 13, pp. 245 – 277.
- 56- Hemley, J. J., Jones, W.R., (1993). "Chemical aspect of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism", *Economic Geology*, v. 59, pp. 538-569.
- 57- Hitzman M, Kirkham R, Broughton D, Thorson J., Selly D (2005) The sedimenthosted stratiform copper ore system. In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, pp 609–642.
- 58- Irvin, T. N. & Baragar, W. R. A., (1971)- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Petrology*, 27, 745-750, 1986.
- 59- Jahangiri, A, (2007)." Post collision Miocene adakitic volcanism in NW Iran". *Geochemical and geo dynamic implications. Journal of Asian Earth Sciences*. pp. 433–447.
- 60- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., (2005) "Taknar Polymetal (Cu-Zn-AuAg-Pb) Deposit: A New Type Magnetite-Rich VMS Deposit, Northeast of Iran" *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 16(3): 239-254
- 61- Kesler, S. E., copper, (1973). "molybdenum and gold abundance in porphyry copper Deposites". *Econ.Geol.*, Vol168, pp. 106-112.
- 62- Kirkham, R. (1996). Volcanic redbed copper. *Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada*(8), 241-252.
- 63- Kirkham, R.V, (1996)."Volcanic red bed copper", *Geol. Sur. Of Canada, Canadian mineral deposit types*, 8, pp. 241- 252.

- 64- Kojima, S., Trista-Aguilera, D., & Hayashi, K. i. (2009). Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits. *Resource geology*, 59(1), 87-98.
- 65- Krauskopf, K.P. and Bird, D.K., 1979, *Introduction to geochemistry*, McGraw-Hill, 2nd edition, International Series, 617 p.
- 66- Le Bas, Le Maitre, Streckeisen and Zanettin, (1986). "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram". *Journal Petrol*, 27, Part 3, pp.375 – 750.
- 67- Le Maitre R.W. (1976). "The chemical variability of some common igneous rocks". *Journal Petrol.*, 17, pp.589 – 637.
- 68- Le Maitre R.W; Bateman P; Dudek A., Keller J; Lameyre Le Bas M.J; Sabine P.A; Schmid R.,Sorensen H; Streckeisen A; Wolley A.R; Zanettin B. (1989), *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- 69- Le Maitre, R.W., (2004). "Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms". *Recommendations of the IUGS, Subcommittee on the Systematic of Igneous Rocks*. Cambridge University Press. pp.236.
- 70- LeBas M.J., LeMaitre R.W., Streckeisen A., and Zannettin B., (1986) "A classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram" *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- 71- Lefebure ,D.V .&Church ,B.N., (1996) "Volcanic Redbed Cu, in selected British Colombia Mineal Deposit Profiles "
- 72- Lefebure, D. V., & Ray, G. E. *Unconventional Metal Deposits in Volcanic Arcs*.
- 73- Macdonald, R., Hawakesworth, C. J. & Heath, E., (2000). "The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism". *Earth-Science Reviews*. 49. pp. 1-76.
- 74- Maitre R.W; Bateman P; Dudek A., Keller J; Lameyre Le Bas M.J; Sabine P.A; Schmid R.,Sorensen H; Streckeisen A; Wolley A.R; Zanettin B. (1989), *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- 75- Makshev, V. and M. Zentilli (2002). "Chilean stratabound Cu–(Ag) deposits: an overview." *Hydrothermal iron oxide copper–gold and related deposits: a global perspective* 2: 185-205.

- 76- MaksaeV, V., Townely, B., Palacios, C., Camus, F., 2003, Metallic ore deposits in Genesis of copper mineralization and associated alterations an Jurassic volcanic rocks of Buena Esperanza, The geology of Chile, Moreno
- 77- Management Services, 18p. 60 Khadem, N., 1964, Type of copper deposits in Iran, in symposium on mining
- 78- Maynard. J. B. (1983)" Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits" Springer, New York, pp 305.
- 79- McMillan, W. J., Panteleyev, A. (1990), Porphyry copper deposits, in: reports, R. G., and sheahan, P. A., ed.: ore deposit models: Geological Association of Canada, P.
- 80- Meschede, M., 1986, A method of discriminating between different type of mid ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb- Zr- Y diagram. Chem. Geol., 56, 207- 218.
- 81- Middlemost, E. A. K. (1994), Naming materials in the magma / igneous rock system. Longman Groun u. k, pp. 73 – 86.
- 82- Middlemost, E.A.K. (1985). "Magma and magmatic rocks, An introduction to igneouspetrology". Longman Group U.K., pp: 73-86.
- 83- Miyashiro, A., (1974). "Nature of alkalic volcanic series. Contributions to Mineralogy and Petrology", 66. pp.91-110
- 84- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., (2000). "Dextral transpression in Late-Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan zone", Western Iran. J. Struct. Geol. 22. pp.1125–1139.
- 85- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., Sahandi, M.R., (2003). "Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone", western Iran. J. Asian Earth Sci. 21. pp. 397–412.
- 86- Mosier, D. L., Berger, V. I., Singer, D. A., (2009), "Volcanogenic massive sulfide deposit of the world; database and grade and tonnage models: U. S. Geological survey open file report 2009- 1034, 50p.
- 87- Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., Watanabe, M. (2007). "The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: First recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran", N. Jb. Miner. Abh. V. 183/3, pp. 297–315.

- 88-Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Solomon, M., Khin Zaw, (2010)."U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, South of Iran". International Geology
- 89-Mousivand, M., Rastada, E., Meffre, S., Peter, J., Solomon, M and Khin Zaw, (2011). "U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulphide deposit, southern Iran", International Geology
- 90-Nakamura N. (1974). "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta", 38, pp. 757 – 775.
- 91-Omrani J., Agard Ph., Whitchurch H., Benoit M., (2008)."Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences". Lithos 106. pp. 380 – 398.
- 92-Pearce, J. A., Cann, J. R., (1973). "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses". Earth Planetary Science Letters 19. pp.290 – 300.
- 93- Pirajno F.,(1992) " Hydrothermal mineral deposits – Principles and fundamental concepts for the Exploration Geologist". Springer-Verlag. pp.706.
- 94- Ramdohr, P., (1980) "The ore mineral and their intergroths" 1207 Page. Pergamon, Oxford, England.
- 95-Rodder, E., Fluid inclusions: Reviews in mineralogy, v.12, miner. Soc. Am. Resten, Virginia, 1976.
- 96-Rollinson, H. R., (1993). "Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation". London, UK. 652 P.
- 97-Rollinson, h. R., (1993)." Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation". John Wiley and Sons, 325p.
- 98-Romdohr, P., (1980)."The ore mineral and their intergrouth, 2nd Ed"., PergomanPress. 1207 P.
- 99-Rossetti. F, Nasrabady.M, Vignaroli.G, Theye.T, Gerdes.A, Razavi.m, and Moin Vaziri.H, (2010). "Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran". Terra Nova, v 22, pp 26-34.

- 100- Sengor, A. M. C.(1984) " The Cimmerideorogenic system and the Tectonics of Eurasia". Geological society of America ,Special, pp. 195.
- 101- Shafiei, B., Haschke, M., Shahabpour, J., (2009), Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran, Miner Deposita 44:256- 283
- 102- Shahabpour, J. (2007). "Island – arc affinity of the central Iranian volcanic belt". Journal of Asian Earth. Sci. 30. pp. 652 – 665.
- 103- Shelton, L. K. and McMenamy, A. T., (2004). "Deciphering the complex fluid history of a greenstone- hosted gold deposits: fluid inclusion and stable isotope studies of the giant mine", Yellowknife, Northwest Territories. Canada, Econ. Geol., 99. pp. 1643- 1663.
- 104- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H., (1985), "A practical guide to fluid inclusion studies". Glasgow, Blackie and Son. 239p.
- 105- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. Economic Geology, 105(1), 3-41.
- 106- Sillitoe R. H.(1977)." Mettallic Mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, PP> 99-116 in: volcanic processes in ore Genesis". Lonon: Inst. Metall., spec. pap.7,,pp.177.
- 107- Sillitoe R. H., (1977). " Mettallic Mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, PP> 99-116 in: volcanic processes in ore Genesis", Lonon: Inst. Metall.,spec. pap.7, 177 P.
- 108- Stampfli, G., 1978. Etude gdologique generale de l'Elbourz oriental au sud de Gonbad-e-Qabus (Iran NE). Thesis. Univ. Gen6ve.
- 109- Stiber, R. E., and E. S. Davidson.,(1959) "Amygdule mineral zoning in the portage lava series, Michigan copper district" Econ. Geol. 54: 1250-1277.
- 110- Stocklin, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran: a review, American Association of Petrological Geology B.52, No.7, 1229-1258
- 111- Stocklin, J and nabavi, M.H. (1973)." Tectonic Map of Iran 1:2500000 Geological Survey of Iran".
- 112- Stöcklin, J. (1974) Possible Ancient Continental Margin in Iran. In: C.A. Burk & C. L. Drake (Eds.), The Geology of Continental Margins. Springer, Berlin, 873-887.

- 113- Stocklin, J.,(1968). "Structural History and Tectonics of Iran", A Review, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 52, pp. 1229-1258.
- 114- Stocklin,J and Nabavi, M.H., Tectonic map of Iran .Geol.sur. of Iran
- Asserto,R. and Ippolito, I. (1964). Osservazioni preliminary sul cretaceo della bassa del lar(Elbors Central Iran); Riv. Ital. Paleont. Strata; V, 70, No.4. (1973).
- 115- Stocklinn, J.(1974) " a-Northern Iran: Alborz mountains. Meszoic – senozoicorogenic Belt, data for orogenic studies, Geol. Soc, london, Sp. Pub4, P. 213-234(Collec. Ed. A. M. Spennner, scottish Academic press.
- 116- Sun, S.S., and McDonough, W.F., (1989) "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes, in Saunders,288
- 117- Takeno, N. (2005). "Atlas of Eh-pH diagrams." Geological survey of Japan open file report 419: 102.
- 118- Takeno, N. (2005). Atlas of Eh-pH diagrams. Geological survey of Japan open file report, 419, 102.
- 119- Takin, M., (1972). "Iranian, Geology and Continental Drift in the Middle East", Nature,Vol. 235.
- 120- Thompson R. N. (1982). "British Tertiary volcanic province". Scoot. J. Geol., 18. pp. 49 – 107.
- 121- Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Wan, Y.S., Li, C.F., Zi, F., Jiang, Z.Q., Qiu, H.N., Chu, Z.Y., Zhao, Z.H., Dong, Y.H., (2008). "Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge". Contributions to Mineralogy and Petrology 155, pp.473–490.
- 122- Waterman, G.C., Hamilton, R.L., 1975. The Sar-Cheshmeh porphyry copper deposit. Economic Geology 70, 568–576.
- 123- White, D. E., Enviroments of genatation of some base metal ore derosits. Econ. Geol. 63:301-335., 1968.
- 124- Wilkinson, J., 2001. "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits". Lithos 55, pp. 229-272.

- 125- Wilson, M. (1989). "Igneous petrogenesis a global tectonic approach".Unwin HymanLtd., London, 466p.
- 126- Wilson, N. S., Zentilli, M., & 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. *Economic Geology*, 98(1), 163-174.
- 127- Winchester, J. A. And P. A. Floyd., (1977). "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements",*Chemical geology*, 20. pp.325-343.
- 128- Winchester, J.A., Floyd, P.A.(1976). "Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks". *Earth and Planetary Science Letters* 28, pp: 459–469.
- 129- Winter, O.,(2001), "An introduction of igneous and metamorphic petrology". Department of Geology whit man college. 697pp.
- 130- Wood D. A., (1980)." The application of 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 Planet. Sci. Lett.*, 50, pp. 11 – 30.
- 131- Wood D. A., Joron J. L., Treuil m. (1979). "A re – appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings". *Earth Planet. Sci. Lett.* 45, pp. 326 336.

Abstract

copper deposits in Central, Northern and Southern Choghdarsar, Gerik, Gorkhan, Narteluei, Asteghani, Gachconom, Alhak (1) and Alhak (2) are located at a distance of approximately 100 to 120 kilometers northeast and East and South-East Shahrood on the edge of Iran's central structural zone. Sequence of volcanic rocks and volcano-sedimentary rocks of the region are included. This area consists of an intermediate basic lava sequence - and middle Eocene pyroclastic rocks. Studied volcanic rocks consists of a compositional range of olivine basalt, andesite basalt, trachy-andesite, basalt that represents a subtraction series of olivine basalt to andesite trachy-andesite. These rocks show enrichment of light REE and large ion lithophilic element and depletion of heavy REE. Negative anomalies in high field magnitude elements such as Ti and Nb in the studied rocks is one of the typical characteristics of arc environments. According to geochemical surveys, copper deposit of Shahrood's Eastern and Southeastern tectonic environment is consist of a stretch region that formed in a back-arc basin. Eastern and South-Eastern Shahrood Mineralization is formed as depositional veins - veinlets, scattered grains and filled cavities. Primary formed minerals is consists of chalcocite, bornite, natural copper, pyrite and chalcopyrite. Secondary oxide and carbonate minerals such as hematite, and malachite cuprite formed in the surface due to weathering. The dominant alteration in host rocks consist of hematite, chlorite, sericitic, silica and carbonate. Microthermometry study of fluid inclusions in the ore-bearing calcite veins indicate that most of the fluids are two-phase and liquid - vapor (L + V) type with 10.1 wt% NaCl salinity and mean homogenization temperature of 264 °C. According to basic characteristics of copper mineralization in the East and South-East of Shahrood has many similarities to the large copper deposits of volcanic red layer in terms of tectonic settings, encompassing rock, mineralogy, metal content, alteration and mineralization.

Key words: The stretch, back - arc, copper, volcanic - red layer, Shahrood



Faculty of Earth Sciences

Petrology and Economic Geology Group

Title

**Investigation of genesis of copper mineralization
associated with Eocene volcanic and
volcano-sedimentary rocks of northern margin of
Central Iran Zone, east and southeast of Shahrood**

By

Nahid Taefi

Supervisor

Dr. M. Sadeghian

Dr.F. Mousivand

September 2014