



دانشکده: علوم زمین

گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ربیعی ترود، جنوب‌شاهرود

نگارش:

زهرا باقرزاده

استاد راهنما:

دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور:

دکتر محمود صادقیان

تابستان ۱۳۹۳



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۱۲۹۵۹
تاریخ: ۱۳۹۴/۰۵/۰۹
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 زهرا باقرزاده رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ربیعی تروود، جنوب شاهرود که در تاریخ ۹۳/۴/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی - امتیاز ۱۸/۲۳) دفاع مجدد مردود

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
- ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
- ۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)
- ۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)
- ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبیه علمی	امضاء
۱- استادارهما	دکتر فردین موسیوند	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر محمودصادقیان	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر فرج اله فردوست	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر مسعود علیپور	استادیار	

رئیس دانشکده : دکتر پرویز امیدی

امضاء

پیوست شماره ۲

دانشگاه شاهرود

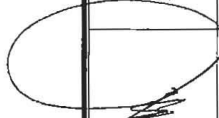
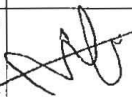
دانشکده : علوم زمین




گروه : پترولولوزی و زمین شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زهرا باقرزاده

تحت عنوان: گانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانساز منگنز ربیعی هطرود، شمال شاهرود

در تاریخ ۹۳/۴/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

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

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر افشین قشلاقی		نام و نام خانوادگی : دکتر مسعود علیپور
			نام و نام خانوادگی : دکتر فرج ... فردوست

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی سخاوت، سکوت، مهربانی و

پدرم دلخوشی همیشگیست

پدرم راه تمام زندگیست

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم:

مادرم هستی من ز هستی توست تا هستم و هستی دارم دوست.

چشم سار مهربانی مادر است.

غمگسار جاودانی مادر است.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

از استاد دلسوز و مهربانم، جناب آقای دکتر فردین موسیوند که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و تواضع، در به ثمر رساندن این تحقیق هیچ کمکی را از من دریغ نفرمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد فرزانه و شفیقم، جناب آقای دکتر محمود صادقیان، که با گشاده رویی زحمت مشاوره این رساله را قبول کردند؛ و از استادان فرهیخته و دلسوز دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود، به خصوص جناب آقایان دکتر علیپور، فردوست، قشلاقی، قاسمی، طاهری، دکتر جعفری و همچنین مسئولان دانشکده علوم زمین خانم مهندس فارسی و سعیدی و آقای مهندس میر باقری و همچنین مهندس خانعلیزاده کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) که حمایت مالی این رساله را متقبل شدند سپاسگزارم.

در اینجا از تک تک افراد خانواده ام پدر و مادر مهربانم و برادران زحمتکش و فداکارم و خواهر دلسوزم تشکر و قدردانی میکنم که همواره در طول تحصیل تکیه گاه محکمی هم از بعد عاطفی و هم مادی و معنوی برای من بوده اند، باشد که گوشه ای از این همه محبت و همراهی آنها را جبران کرده باشم. در پایان همیشه قدردان زحمات دوستانم خانم دکتر لیلا ذاکری، سمیه تقی زاده، مجید و کیلی، علی نصرالهی، زینب نجفی و رویا قاسمی نژاد، مریم ورمزیار و مهناز علیزاده می باشم.

تعهد نامه

نویسنده پایان نامه کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ربیعی ترو، جنوب شاهرود

تحت راهنمایی دکتر فریدین 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « به چاپ خواهد رسید. Shahrood University of Technology»

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل

رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۹۳، ۵، ۳

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.

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

چکیده

کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی (ربعی) در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شاهرود و ۵۹ کیلومتری جنوب شرق روستای ترو، در بخش شمالی پهنه ماگمایی-آتشفشانی ایران مرکزی قرار دارد. عمده‌ترین واحدهای سنگی توالی چینه‌شناسی رخنمون یافته در منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی، داسیتی، توفی و سنگهای مارنی ائوسن می‌باشند. در این کانسار بر اساس مطالعات ساخت و بافت و کانی‌شناسی سه رخساره کانه‌دار مشاهده می‌شود: (۱) رخساره پایینی به شکل رگه‌ای- رگچه ای (پهنه استرینگر) درون سنگ‌های آتشفشانی (آندزیتی و داسیتی)، (۲) رخساره میانی به صورت برشی - توده‌ای درون برش‌های آتشفشانی و مارن و (۳) رخساره بالایی به شکل چینه‌سان (لایه‌ای و عدسی شکل) در درون توف برش، پیریت‌ها و مارن‌ها. رخساره چینه‌سان خود به دو بخش غنی از منگنز و غنی از سلسیت قابل تفکیک است، بخش غنی از منگنز درون سنگ‌های ولکانیک برش، پیریت و مارنی بر روی رخساره رگه- رگچه‌ای قرار داشته و بخش غنی از سلسیت در فاصله دورتری در داخل همان سنگهای میزبان مارنی مشاهده می‌شود.

کانی‌شناسی ماده معدنی بر اساس مطالعات پتروگرافی، پراش اشعه ایکس (XRD) و الکترون میکروپروب (EPMA) بطور عمده شامل پیرولوویت، پسیلوملان و سلسیت و به مقدار ناچیز کریپتوملان و هولاندیت می‌باشد. کانیهای باطله غالباً شامل کلریت، سربسیت، ژپیس، باریت و کانیهای رسی می‌باشند. ساخت و بافت ماده معدنی در بخش چینه‌سان غنی از منگنز عمدتاً بصورت نواری، لامینه‌ای، قلوهای و دانه‌پراکنده و در بخش غنی از سلسیت بصورت بافت‌های دیاژنزی شامل شکافه‌پرکن و گورخری (zebra) بوده و در رخساره- های رگه‌ای- رگچه‌ای و برشی - توده‌ای بصورت رگه ای، برشی و شکافه‌پرکن می‌باشد. دگرسانی‌های عمده در این کانسار شامل سربسیتی - آرژیلیتی در مرکز و کلریتی در اطراف می‌باشند.

بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، این کانسار حاوی نسبت‌های بالایی از U/Th, La/Ce, Mn/Fe و Si/Al است و مقادیر نسبت‌های Co/Zn و فلزات کمیاب از جمله Ni و Cu و عناصر نادر خاکی (REE) بویژه Sm و Ce و Eu در مواد معدنی غنی از منگنز پایین می‌باشد. همچنین آنومالی منفی Eu در ماده معدنی در بخش غنی از منگنز نشان می‌دهد که محیط ته نشست ماده معدنی اکسیدان بوده است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ- های آتشفشانی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای ترکیب آندزیت و داسیت و ماهیت کالک آلكالین بوده که نشان‌دهنده محیط جزایر کمانی برای نهشته شدن آنها می‌باشد.

مطالعات سیالات درگیر بر روی سلسیت نشان می‌دهد که درجه همگن‌شدگی و شوری در پهنه استرینگر و در بخش چینه‌سان غنی از سلسیت، بترتیب برابر 290°C و $5/9$ در صد وزنی نمک طعام و برابر 350°C و $6/5$ در صد وزنی نمک طعام می‌باشد.

کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی از جهت محیط تکتونیکی تشکیل، سنگهای میزبان و همراه، شکل هندسی پیکره‌های معدنی، بافت، ساخت، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و پهنه‌بندی دگرسانی شباهت زیادی به کانسارهای آتشفشانی- رسوبی یا برونومی تیپ کوبا دارد، هرچند که در کانسار کوبا استرانسیم کانسار سلسیت ایجاد

نکرده است . با این حال از جهت برخی ویژگیها مثل میزان خیلی زیاد استرانسیم و داشتن سلسیت با تیپ کوبا دارد. قابل ذکر است که از جهت برخی ویژگیها و اقتصادی بودن هر دو قسمت غنی از منگنز و غنی از سلسیت، تاکنون مورد مشابهی از این کانه زایی در ایران و جهان شناسایی نشده است.

کلید واژه‌ها: منگنز، استرانسیم، آتشفشانی-رسوبی، ائوسن، تیپ کوبا، ایران مرکزی، بند قیچی، ربیعی

مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صادقیان، م.، (۱۳۹۲)، " کانه‌زایی منگنز - سلسیتیت برون‌دمی در توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن در منطقه ترود، جنوب شاهرود" پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صادقیان، م.، (۱۳۹۲)، " ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی (REE) و خاستگاه کانسار منگنز - سلسیتیت بندقیچی در جنوب شاهرود " سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فهرست

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۲
- ۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه..... ۳
- ۴-۱- وضعیت معیشتی..... ۴
- ۵-۱- زمین ریخت شناسی..... ۴
- ۶-۱- مطالعات انجام شده قبلی..... ۵
- ۷-۱- طرح مسئله و اهمیت موضوع و هدف از مطالعه..... ۶
- ۸-۱- روش مطالعه..... ۷
- ۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع..... ۷
- ۲-۸-۱- مطالعات صحرایی..... ۷
- ۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی..... ۸
- ۴-۸-۱- مطالعات دفتری..... ۹

فصل دوم : زمین شناسی ناحیه‌ای

- ۱-۲- مقدمه..... ۱۲
- ۲-۲- چینه شناسی عمومی منطقه..... ۱۲
- ۱-۲-۲- پرکامبرین..... ۱۳
- ۲-۲-۲- کامبرین..... ۱۳
- ۳-۲-۲- سیلورین- دونین..... ۱۴
- ۵-۲-۲- تریاس زیرین و میانی..... ۱۴
- ۶-۲-۲- تریاس بالایی - لیاس..... ۱۵
- ۷-۲-۲- دوگر (سازند بادامو و بغمشاه)..... ۱۶
- ۸-۲-۲- کرتاسه تا ترشیری..... ۱۶
- ۹-۲-۲- ترشیر..... ۱۷
- ۳-۲-۳- ماگماتیسم در منطقه..... ۱۹
- ۱-۳-۲- فازهای ماگمایی دوران اول..... ۱۹
- ۲-۳-۲- فازهای ماگماتی دوران دوم..... ۲۰
- ۳-۳-۲- فازهای ماگمایی دوران سوم..... ۲۰
- ۴-۲- تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی..... ۲۲

- ۲۲ ۱-۴-۲ سیستم گسل ها و چین ها.....
- ۲۳ ۲-۴-۲ چین خوردگی ها.....
- ۲۵ ۳-۴-۲ فازهای کوهزایی.....
- ۲۵ ۱-۳-۴-۲ حرکات کالدونین - هرسینین.....
- ۲۵ ۲-۳-۴-۲ حرکات آلپین پیشین.....
- ۲۷ ۳-۳-۴-۲ حرکات ترشیری (فاز لارامید- آلپین میانی، آلپین پسین).....

فصل سوم: زمین شناسی منطقه معدنی و سنگ شناسی

- ۳۰ ۱-۳-۱ مقدمه.....
- ۳۰ ۲-۳-۱ واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه.....
- ۳۰ ۱-۲-۳-۱ ائوسن.....
- ۳۲ ۱-۲-۳-۱-۱ واحد سنگ آتشفشانی (Ev).....
- ۳۶ ۲-۱-۲-۳-۱ دایک های آندزیتی.....
- ۳۷ ۳-۱-۲-۳-۱ واحد برش های آتشفشانی با میان لایه های مارنی (Ebm).....
- ۳۸ ۴-۱-۲-۳-۱ واحد مارن های گچ دار حاوی قطعات برشی و کانی های منگنز (Emb).....
- ۴۰ ۵-۱-۲-۳-۱ واحد مارن های گچ دار حاوی سلسیت و به میزان کم آهک نومولیت دار Em.....
- ۴۳ ۲-۲-۳-۱ Qt : پادگانه های آبرفتی کواترنری.....
- ۴۴ ۳-۳-۱ تکتونیک محدوده معدنی.....
- ۴۶ ۴-۳-۱ ماگماتیسم در منطقه.....

فصل چهارم : کانه زایی و دگرسانی

- ۴۸ ۱-۴-۱ مقدمه.....
- ۴۸ ۲-۴-۱ رخداد کانه زایی منگنز- سلسیت در محدوده معدنی.....
- ۵۱ ۳-۴-۱ رخساره های کانه دار.....
- ۵۱ ۱-۳-۴-۱ رخساره کانسنگ رگه- رگچه ای (Stringer zone).....
- ۵۳ ۲-۳-۴-۱ رخساره کانسنگ برشی- توده ای (Vent complex and massive).....
- ۵۳ ۳-۳-۴-۱ رخساره کانسنگ لایه ای (Bedded ore facies).....
- ۵۷ ۴-۴-۱ تغییرات قائم و جانبی ساخت و بافت و کانی شناسی رخساره های کانه دار.....
- ۵۹ ۵-۴-۱ دگرسانی.....
- ۶۱ ۱-۵-۴-۱ دگرسانی کلریتی.....
- ۶۲ ۲-۵-۴-۱ دگرسانی سریسیتی- آرژیلیتی.....

فصل پنجم: ساخت و بافت، کانی شناسی و توالی پارازنتیک کانی‌ها

۶۸	۱-۵- مقدمه
۶۸	۲-۵- بافت و ساخت کانی‌های محدوده مورد مطالعه
۶۸	۱-۲-۵- ساخت و بافت رگه - رگچه‌ای
۷۰	۲-۲-۵- ساخت و بافت برشی
۷۱	۳-۲-۵- ساخت و بافت توده‌ای
۷۳	۴-۲-۵- بافت لامینه‌ای یا نواری
۷۵	۵-۲-۵- بافت دانه پراکنده
۷۶	۶-۲-۵- بافت جانشینی
۷۶	۳-۵- ساخت نودولی
۷۶	۴-۵- فابریک بودیناژ
۷۷	۵-۵- کانی‌شناسی و پارازنز
۷۹	۶-۵- کانی‌های اصلی در کانسار بندقیچی
۷۹	۱-۶-۵- پیرولولوزیت $\beta\text{-MnO}_2$
۸۱	۲-۶-۵- پسیلوملان (رومنشیت) $(\text{Ba, K, Mn, Co})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}\cdot\text{XH}_2\text{O}$
۸۳	۳-۶-۵- کریپتوملان $\text{K}(\text{Mn, Mn})_8\text{O}_{16}$
۸۴	۴-۶-۵- هولاندیت $\text{Ba}(\text{Mn, Mn})_8\text{O}_{16}$
۸۴	۵-۶-۵- سلسیت SrSO_4
۸۷	۷-۵- کانی‌های فرعی در کانسار بندقیچی
۸۷	۱-۷-۵- تیتانومگنتیت $(\text{Fe}^{+3}, \text{Fe}^{+2}, \text{Ti}^{+4})_2(\text{Fe}^{+2}\text{O}_4)$
۸۷	۲-۷-۵- مگنتیت $(\text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})[\text{Fe}^{+3}\text{O}_4]$
۸۸	۲-۷-۵- هماتیت (Fe_2O_3)
۸۹	۸-۵- کانی‌های غیرفلزی (باطله‌ها)
۸۹	۱-۸-۵- کوارتز SiO_2
۹۰	۲-۸-۵- کلسیت CaCO_3
۹۱	۳-۸-۵- باریت BaSO_4
۹۱	۳-۸-۵- ژیبس CaSO_4
۹۲	۱۳-۵- توالی پارازنتیک کانی‌ها

فصل ششم: ژئوشیمی

۹۶.....	۱-۶-۱- مقدمه.....
۹۷.....	۲-۶-۲- خصوصیات منگنز.....
۹۷.....	۱-۲-۶- ویژگی‌های فیزیکی منگنز.....
۹۷.....	۲-۲-۶- ویژگی‌های ژئوشیمیایی منگنز.....
۱۰۱.....	۳-۶-۳- خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم.....
۱۰۴.....	۱-۳-۶- ژئوشیمی سلسیت و انیدریت.....
۱۰۷.....	۲-۴-۶- روش کار.....
۱۱۰.....	۵-۶-۵- ژئوشیمی سنگهای آذرین.....
۱۱۰.....	۱-۵-۶- طبقه‌بندی و تعیین ترکیب شیمیایی سنگهای آتشفشانی.....
۱۱۵.....	۶-۶-۶- تعیین محیط تکتونیکی سنگهای آذرین.....
۱۱۵.....	۷-۶-۷- طبقه‌بندی و تعیین شیمی کانسنگ و محیط نهشت آن.....
۱۱۶.....	۱-۷-۶-۱- نمودارهای عناصر اصلی (Major element)، فرعی و کمیاب.....
۱۱۶.....	۱-۱-۷-۶- نسبت Mn/Fe.....
۱۱۹.....	۲-۱-۷-۶- نمودار Si/Al.....
۱۲۰.....	۳-۱-۷-۶- نمودار Na به Mg.....
۱۲۱.....	۲-۷-۶-۲- نمودارهای عناصر کمیاب (Trace elements).....
۱۲۲.....	۱-۲-۷-۶- نمودار Pb/Zn.....
۱۲۳.....	۲-۲-۷-۶- نسبت Co/Ni.....
۱۲۳.....	۳-۲-۷-۶- نمودار Co+Zn+Ni.....
۱۲۴.....	۴-۲-۷-۶- نمودار $Mn-Fe - (Ni+Co+Cu)*10$
۱۲۵.....	۵-۲-۷-۶- نمودار $(Ni+Co)-(As+Mo+V+Cu+Pb+Zn)$
۱۲۶.....	۶-۲-۸-۶- نمودار U/Th.....
۱۲۷.....	۸-۶-۸- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی.....
۱۲۹.....	۱-۸-۶- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی.....
۱۲۹.....	۱-۱-۸-۶- نمودار La/Ce.....
۱۳۲.....	۲-۱-۸-۶- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی (REE).....
۱۳۲.....	۲-۸-۶- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در سنگهای آتشفشانی.....
۱۳۷.....	۹-۶-۹- همبستگی عناصر.....

۱۰-۶- منطقه بندی شیمیایی جانبی در رخساره‌های سه گانه کانسار بندقیچی ۱۳۹

فصل هفتم: مطالعات سیالات درگیر

۱-۷- مقدمه	۱۴۶
۲-۷- مطالعات سیالات درگیر.....	۱۴۷
۱-۲-۷- روش انجام مطالعات.....	۱۴۷
۲-۲-۷- مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر.....	۱۴۸
۳-۲-۷- شکل ظاهری سیالات درگیر.....	۱۴۹
۴-۲-۷- اندازه سیالات درگیر.....	۱۵۰
۳-۷- طبقه بندی و پاراژنز سیالات درگیر.....	۱۵۰
۱-۳-۷- سیالات درگیر تک فازی.....	۱۵۱
۲-۳-۷- سیالات درگیر دو فازی.....	۱۵۲
۳-۳-۷- سیالات درگیر سه فازی	۱۵۲
۴-۷- مطالعات داماسنجی سیالات درگیر (میکروتومتری)	۱۵۴
۱-۴-۷- مطالعات سرمایه‌ش	۱۵۶
۲-۴-۷- مطالعات گرمایش.....	۱۵۷
۵-۷- نتیجه‌گیری.....	۱۵۸

فصل هشتم: الگوی تشکیل، تیپ کانه‌زایی، نتیجه گیری و پیشنهادات اکتشافی

۱-۸- مقدمه.....	۱۶۶
۲-۸- شواهد ژنتیکی.....	۱۶۶
۱-۲-۸- شکل هندسی و بافت ماده معدنی	۱۶۶
۲-۲-۸- محیط تشکیل کانسار	۱۶۷
۳-۲-۸- شواهد کانی شناسی	۱۶۷
۴-۲-۸- شواهد فعالیت‌های آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری.....	۱۶۸
۵-۲-۸- شواهد دگرسانی.....	۱۶۸
۶-۲-۸- شواهد حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی	۱۶۸
۶-۲-۸- شواهد حاصل از مطالعه سیالات درگیر.....	۱۶۹
۳-۸- رده بندی نیکولسون.....	۱۷۰
۴-۸- تیپ کانه‌زایی منگنز در کانسارهای آتشفشانی - رسوبی دنیا براساس موسیر و پیچ.....	۱۷۰
۵-۸- مقایسه کانه زایی منگنز-سلسیت بندقیچی (ربیعی) با تیپ کوبا	۱۷۱

- ۱-۵-۸- سنگ درونگیر..... ۱۷۱
- ۲-۵-۸- پاراژنز کانیاپی..... ۱۷۱
- ۳-۵-۸- شکل هندسی و ساخت و بافت..... ۱۷۲
- ۴-۵-۸- محیط زمین‌شناسی ته نشست..... ۱۷۲
- ۵-۵-۸- محیط تکتونیکی ته نشست..... ۱۷۲
- ۶-۵-۸- دگرسانی..... ۱۷۳
- ۷-۵-۸- علائم زمین‌شیمیایی..... ۱۷۳
- ۶-۸- مدل ژنتیکی و شیوه تشکیل کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی..... ۱۷۵
- ۷-۸- کانسنگ‌های آتشفشانی - رسوبی..... ۱۷۹
- ۱-۷-۸- منشأ عناصر کانه‌ساز..... ۱۷۹
- ۲-۷-۸- منشأ سیال کانه‌ساز..... ۱۸۱
- ۸-۸- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی جنوب شرق شاهرود و جایگاه نهشته های منگنز - سلسیت بندقیچی..... ۱۸۱
- ۹-۸- فلززایی منگنز در ایران از نظر زمانی و مکانی..... ۱۸۳
- ۱۰-۸- رده‌بندی ذخایر کانی‌های استرانسیم..... ۱۸۳
- ۱۱-۸- نتیجه‌گیری..... ۱۸۸
- ۱۲-۸- پیشنهادات برای مطالعات و اکتشافات آینده..... ۱۹۰
- منابع..... ۱۹۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی (ربعی) ترود..... ۳
- شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌بندی ایران (آقا نباتی، ۱۳۸۳)..... ۱۳
- شکل ۲-۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه ترود برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی‌پور، ۱۹۷۶)..... ۱۵
- شکل ۳-۲- ستون چینه‌شناسی ناحیه ای از واحدهای سنگی موجود در جنوب شاهرود..... ۱۷
- شکل ۴-۲- نقشه زمین‌شناسی از منطقه ترود در جنوب شاهرود بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود..... ۱۸
- شکل ۵-۲- گسل‌های اصلی ایران (نبوی، ۱۳۵۵) و موقعیت محدوده مورد مطالعه..... ۲۲
- شکل ۶-۲- الف- نقشه شکستگی‌های شمال منطقه ترود - معلمان و جانمایی گسل‌های انجیلو ترود؛ ب- نمایش موقعیت انواع شکستگی‌ها مرتبط با پهنه برشی در اطراف گسل ترود (برگرفته از کی‌نژاد، ۱۳۸۷)..... ۲۴
- شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای براساس موقعیت کانسار منگنز- سلسیت..... ۳۱
- شکل ۲-۳- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی ائوسن در محدوده مورد مطالعه..... ۳۲
- شکل ۳-۳- نمایی کلی از واحدهای موجود در محدوده معدنی (دید به سمت غرب)..... ۳۳

شکل ۳-۴-الف: سنگهای آندزیتی در محدوده معدنی دید به سمت جنوب شرق)، ب- تصویری از حضور فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن در نمونه دستی سنگهای آندزیتی مشاهده می‌شود، ج - تصویر میکروسکوپی از همان گدازه‌های آندزیتی..... ۳۴

شکل ۳-۵-الف- نمای کلی واحد گدازه‌ای که میزبان کانه‌زایی منگنز و سلسیت به شکل رگه-رگچه‌ای می‌باشد و رگه‌های منگنز به وضوح در آن دیده می‌شوند. ب- تصویر نمای نزدیکی تفصیلی از رگه منگیزی که در شکل الف نشان داده شده است. ج- دور نمایی از رگه-رگچه‌های سلسیت به همراه منگنز و ژپس موجود در واحد آندزیتی. د- تصویر نزدیک از شکل (ج)..... ۳۴

شکل ۳-۶-الف- دورنمایی از مخلوط گدازه و مارن جایی که معرف فوران گدازه در درون رسوبات مارنی می‌باشد، ب- نمایی نزدیک از حضور گدازه در درون مارن‌ها..... ۳۵

شکل ۳-۷-الف و ب- نمایی از ساخت پوست پیازی در آندزیت‌ها..... ۳۶

شکل ۳-۸-الف- نمونه دستی از بخش دگرسان شده ب- کوارتز (Qz) وزئولیت (Zeo) به‌عنوان کانی‌های ثانویه..... ۳۶

شکل ۳-۹- نمایی از دایک‌های آندزیتی داخل واحدهای سنگی محدوده معدنی..... ۳۷

شکل ۳-۱۰- نمایی از رخنمون واحد Ebm یا همان برش‌های آتشفشانی(افق اصلی کانه‌دار) و واحدهای آندزیت..... ۳۹

شکل ۳-۱۱- نمایی از واحد Emb که قطعات آتشفشانی در آن به وضوح دیده می‌شوند..... ۴۰

شکل ۳-۱۲-الف- مارن گچ‌دار که میزان گچ در آن بسیار بالاست (ژپس‌ها نسل اولیه می‌باشند). ب- مارن‌هایی که ژپس‌های بلوری نسل دوم (ورقه‌ای شکل) درون آن‌ها دیده می‌شود..... ۴۱

شکل ۳-۱۴-الف- نمایی دور از مارن میزبان سلسیت (دید عکس به جنوب غرب). ب- نمایی نزدیک از محدوده مشخص شده در شکل (الف) که سلسیت‌ها بودینه شده‌اند. ج- نمونه دستی از سلسیت دانه شکری..... ۴۲

شکل ۳-۱۵-الف- نمایی از رخنمون واحد مارنی که نودول‌های سلسیت آغشته به منگنز در داخل آن به وضوح دیده می‌شوند. ب- نمونه دستی از نودول‌های سلسیت که با منگنز پوشیده شده‌اند و در شکل الف نشان داده شده‌اند. ج- نمونه دستی از مارنی که سلسیت درون آن به شکل نودول دیده می‌شود..... ۴۳

شکل ۳-۱۶-الف- نمایی از مارن‌هایی که میزبان کانه‌زایی سلسیت می‌باشند. ب- سلسیت‌هایی که به صورت بلور متبلور شده و به میزان کم حاوی منگنز می‌باشند. ج- تصویر نمونه دستی واضحی از سلسیت بلوری را نشان می‌دهد..... ۴۴

شکل ۳-۱۷- تصویر مقطع میکروسکوپی میکروفسیل‌های موجود در واحد آهک نومولیت‌دار محدوده مورد مطالعه..... ۴۵

شکل ۳-۱۸- نمایی از رسوبات جوان کواترنری (دید عکس به سمت جنوب)..... ۴۶

شکل ۳-۱۹- نمایی از گسل‌های محدوده معدنی بر روی تصویر ماهواره‌ای از محدوده مورد مطالعه که سبب کانه‌زایی شده‌اند..... ۴۷

شکل ۳-۲۰- چین خوردگی‌ها و تشکیل ساخت بودیناژ در لایه سلسیت محدوده معدنی را نشان می‌دهد..... ۴۸

شکل ۴-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه که کانسارها و اندیس‌های منگنز و سلسیت و همچنین سینه‌کارهای (A, B, C, D, E) بر روی آن نشان داده شده است..... ۵۱

شکل ۴-۲- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی ائوسن در محدوده مورد مطالعه در جنوب شاهرود..... ۵۲

شکل ۴-۳- نمایی شماتیک از کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی و رخساره‌های سه‌گانه کانه‌دار آن..... ۵۲

شکل ۴-۴- الف- نمونه دستی از رگه‌های منگنز از پهنه استرینگر، ب - نمونه دستی از رگه‌های سلسیت (سفید) در رخساره رگه-رگچه‌ای، ج- تصویر نمونه دستی از رگه- رگچه‌های ژپس در رخساره رگه- رگچه‌ای سیاه منگنز (Mn) و رگه‌های سفید سلسیت (Cel) و ژپس (Gy) را نشان می‌دهند..... ۵۵
شکل ۴-۶- الف- نمایی از رخساره برشی- توده‌ای. ب- عکس نمونه دستی از همان رخساره کانسنگ برشی- توده‌ای می‌باشد. ج- تصویر میکروسکوپی کانی‌های منگنز به شکل توده‌ای (پیرولوزیت و پسیلوملان همراه هم) دیده می‌شود..... ۵۴
شکل ۴-۷- دورنمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای در محدوده مورد مطالعه..... ۵۵
شکل ۴-۸- الف نمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای را نشان می‌دهد. ب- نمونه دستی از همان پهنه که نزدیک پهنه استرینگر می‌باشد و میزان منگنز بالایی دارد..... ۵۶

شکل ۴-۹- الف- نمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای که از پهنه استرینگر دور است و میزان سلسیت بالایی دارد. ب- نمونه دستی سلسیت شکل (الف) ج - نمونه سلسیت در زیر میکروسکوپ با نور انعکاسی بلورهای خود شکل را نشان می‌دهد، که از خود محدوده‌ای که در شکل الف نشان داده شده برداشت شده است..... ۵۷

شکل ۴-۱۰- نمایی شماتیک از رخساره‌های کانه‌دار منگنز - سلسیت بندقیچی و ساخت و بافت و کانی‌شناسی آن..... ۵۷

شکل ۴-۱۱- دور نمای پهنه‌های دگرسان در محدوده بندقیچی..... ۶۰

شکل ۴-۱۲- مقطع شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار بندقیچی..... ۶۰

شکل ۴-۱۳- دور نمایی از پهنه دگرسانی کلریتی در رخساره برشی- توده‌ای..... ۶۱

شکل ۴-۱۴- تصاویری از دگرسانی کلریتی کانسار بندقیچی الف و ب- کانی پروکسن به کلریت تبدیل شده است. ج- آمفیبول به کلریت تبدیل شده است. د- بیوتیت تبدیل به کلریت شده است..... ۶۱

شکل ۴-۱۵- دورنمایی از پهنه دگرسانی سریسیتی- آرژیلیتی در رخساره رگه‌ای و برشی..... ۶۳

شکل ۴-۱۶- تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های آرژیلیتی (Arg) و سریسیتی (Ser) در کانسار بندقیچی الف و ب - هردو نشان می‌دهند که کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات‌ها دچار دگرسانی سریسیتی و آرژیلیتی شده‌اند. ج- دگرسانی سریسیتی همراه با کانیهای بیوتیت که اکسید شده است و کانی باریت خود شکل و اپیدوت و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. د- دگرسانی‌های سریسیتی و آرژیلیتی که کانی بیوتیت و پروکسن در آن‌ها دیده می‌شود. ه- پلاژیوکلاز خود شکلی که دچار دگرسانی سریسیتی شده است و کانی لوزی شکل هورنبلند که اکسید شده و منگنز داخل آن نشسته است..... ۶۴

شکل ۴-۱۷- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های مسکویت و فلدسپات در آن قابل مشاهده است..... ۶۵

شکل ۴-۱۸- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های رسی در آن قابل مشاهده است..... ۶۵

شکل ۴-۱۹- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های مسکویت و هماتیت در آن قابل مشاهده است..... ۶۶

شکل ۵-۱ الف- تصاویری از بافت رگه- رگچه‌ای در پهنه استرینگر الف- نمونه دستی از آندزیت و جایگزینی رگه- رگچه‌های منگنز در آن ، ب- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه رگچه‌ای (نمونه الف) شامل کانی‌های پسیلوملان (Psy) ، پیرولوزیت (PyT) و کریپتوملان (Cry) ، ج - نمونه دستی از آندزیت و جایگزینی رگه- رگچه‌های سلسیت در آن ، د- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه- رگچه‌ای (نمونه ج) سلسیت (Cel) و پلاژیوکلاز (Pl)..... ۶۹

شکل ۵-۲ الف و ب- تصویر میکروسکوپی از بافت رگه- رگچه‌ای را که در آن اکسیدهای منگنز و اکسیدهای آهن همراه هم می‌باشند را نشان می‌دهد..... ۶۹

شکل ۵-۳- تصاویری از بافت رگه‌ای و برشی الف- نمونه دستی از برشهای آندزیتی و جایگزینی منگنز داخل آن، ب- تصویر میکروسکوپی از رخساره برشی شامل کانی‌های پیرولوزیت (PyT) و هولاندیت (Ho)..... ۷۰

شکل ۵-۴- الف و ب - هر دو تصویر میکروسکوپی از بافت برشی شامل کانی‌های پیرولوژیت (Pyr) ، پسیلوملان (Psy) و تیتانومگنتیت (Tmg)..... ۷۱

شکل ۵-۵- الف- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای منگنز رخساره کانسنگ توده‌ای ب- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای منگنز در رخساره کانسنگ توده‌ای، شامل کانی‌های پسیلوملان (Psy)، پیرولوژیت (Pyr) و مگنتیت (Mt) ج- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای سلسیت در رخساره لایه‌ای د- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای سلسیت در رخساره لایه‌ای شامل کانی‌های سلسیت (Cel) و پیرولوژیت (Pyr)..... ۷۲

شکل ۵-۶- الف - تصویر میکروسکوپی که در آن جانیشینی کانی‌های پسیلوملان، کریپتوملان و پیرولوژیت به‌جای یکدیگر نشان داده شده است. ب- مارتیتی شدن مگنتیت و تبدیل آن از حاشیه‌ها به هماتیت را نشان می‌دهد..... ۷۲

شکل ۵-۷- الف- تصویر نمونه دستی از بافت لامینه‌ای که در آن نوارهای سیاه لامینه‌های منگنز و نوارهای سفید کانیهای سلسیت و ژپیس می‌باشند. ب- تصویر میکروسکوپی نمونه الف (نور انعکاسی)..... ۷۴

شکل ۵-۸- الف تصویر نمونه دستی از بافت لامینه‌ای ماده معدنی سلسیت که نوارهای سفید سلسیت و نوارهای سیاه منگنز می‌باشند. ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف (نور انعکاسی)..... ۷۴

شکل ۵-۹- تصویر نمونه دستی از بافت لامینه‌ای منگنز که غنی از مواد تخریبی و مارن می‌باشد ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف که حاوی دانه‌ای پسیلوملان (Psy) می‌باشد (زیر نور انعکاسی)..... ۷۵

شکل ۵-۱۰- الف تصویر نمونه دستی از بافت دانه پراکنده از رخساره برشی ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف که نقاط ریز سفید رنگ در زیر میکروسکوپ نور انعکاسی کانیهای منگنز می‌باشند..... ۷۵

شکل ۵-۱۱- تصاویری از بافت جانیشینی الف- جانیشینی کانی پیرولوژیت به‌جای پسیلوملان ب- جانیشینی هولاندیت توسط پیرولوژیت..... ۷۶

شکل ۵-۱۲- الف- تصویری از ساخت نودولی در رخساره چینه‌سان محدوده معدنی بندقیچی نودول‌های سفید سلسیت که روی آن را منگنز پوشانده است. ب- تصویر نمونه دستی از محدوده‌ای که در شکل الف نشان داده شده است..... ۷۷

شکل ۵-۱۳- تصویری از فابریک بودیناژ سلسیت را در رخساره چینه‌سان نشان می‌دهد..... ۷۷

شکل ۵-۱۴- الف- تصویر نمونه دستی پیرولوژیت، ب تصویر میکروسکوپی پیرولوژیت (Pyr) همراه پسیلوملان (Psy)..... ۸۰

شکل ۵-۱۵- تصویر میکروسکوپی از پیرولوژیت که در رگه‌ها و حفره‌ها نشسته است..... ۸۰

شکل ۵-۱۶- تصویر میکروسکوپی از تبدیل پسیلوملان به پیرولوژیت به صورت لکه که در شکستگی‌های رخساره برشی-توده‌ای نشان داده شده است..... ۸۱

شکل ۵-۱۷- الف- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای کانسنگ منگنز ب- تصویر میکروسکوپی از بافت گرانولار کانی پسیلوملان با رگه‌های ظریفی از پیرولوژیت در داخل آن، ج- تصویر میکروسکوپی از بافت کلوفرم در کانی پسیلوملان، د- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای کانی پسیلوملان را نشان می‌دهد (تصویر BSE)..... ۸۲

شکل ۵-۱۸- تصویر میکروسکوپی از بافت سوزنی کانی پسیلوملان (Psy) در رخساره توده‌ای..... ۸۲

شکل ۵-۱۹- تصویر میکروسکوپی از کانی کریپتوملان (Cry) در کنار کانی پسیلوملان (Psy) در رخساره توده‌ای..... ۸۳

شکل ۵-۲۰- تصویر میکروسکوپی کانی هولاندیت (Ho) که به صورت لکه‌هایی بر روی پسیلوملان (Psy) دیده می‌شود..... ۸۴

شکل ۵-۲۱- الف- تصویر نمونه دستی از بافت رگه-رگچه‌ای سلسیت، ب- تصویر میکروسکوپی از بافت رگه-رگچه‌ای سلسیت..... ۸۵

شکل ۵-۲۲- الف- تصویر نمونه دستی از سلسیت با بافت توده‌ای دانه ریز، ب- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای دانه ریز سلسیت در کانسار بندقیچی، ج- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای دانه درشت سلسیت و د- تصویر میکروسکوپی از سلسیت‌های بلوری با بافت توده‌ای دانه درشت..... ۸۶

شکل ۵-۲۳- الف- تصویر نمونه دستی از بافت نواری سلسیت در رخساره لایه‌ای و ب- تصویر نمونه دستی از بافت گورخری سلسیت در رخساره لایه‌ای که حاوی کانی‌های سلسیت و ژپس و منگنز می‌باشد..... ۸۷

شکل ۵-۲۴- الف- تصویر (BSE) کانی تیتانومگنتیت ب- تصویر میکروسکوپی کانی تیتانومگنتیت و مگنتیت..... ۸۸

شکل ۵-۲۵- تصویر میکروسکوپی مگنتیت (Mt) که همراه با پیرولوزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy) می‌باشد..... ۸۸

شکل ۵-۲۶- تصویر میکروسکوپی هماتیت (Hm) در حاشیه کانی مگنتیت (Mt)..... ۸۹

شکل ۵-۲۷- تصویر میکروسکوپی کوارتز (Qtz) در رخساره لایه‌ای..... ۹۰

شکل ۵-۲۹- تصویر میکروسکوپی باریت در رخساره..... ۹۰

شکل ۵-۳۰- تصاویری از نمونه‌های ژپس الف- نمونه دستی از بلور ژپس اولیه (Gy) در داخل رگه کانه‌دار غنی از پیرولوزیت (Pyr) در پهنه استرینگر، ب- نمونه دستی بلورهای ژپس آغشته به منگنز، ج- رخنمون صحرایی از بلورهای ژپسی که از نوع دیاژنتیک و اولیه در رخساره لایه‌ای هستند..... ۹۲

شکل ۶-۱ نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز که نشان‌دهنده محدوده وسیع انحلال‌پذیری منگنز در محیط‌های احيایی است (مینارد، ۱۹۸۳)..... ۱۰۰

شکل ۶-۲ نمودار Eh-pH برای اکسیدها و کربنات‌های منگنز، سولفید منگنز (آلباندیت) که در این نمودار نشان داده نشده است (مینارد، ۱۹۸۳)..... ۱۰۰

شکل ۶-۳ نمودار pH-Eh برای اکسیداسترانسیم و هیدوکسید استرانسیم در سیستم (Sr-O-H) و شرایط $Sr=10^{-10}$ ، $\sum 298.15k, 10^5$ (باله و همکاران، ۲۰۰۲)..... ۱۰۳

شکل ۶-۴ قابلیت انحلال تعدادی از کانی‌های سولفات بر اساس دما..... ۱۰۵

شکل ۶-۵ (a) قابلیت انحلال سلسیت بر اساس دما و فشار (هوول و همکاران، ۱۹۹۲) (b) دمای مؤثر بر انحلال سلسیت و (c) فشار مؤثر بر انحلال سلسیت..... ۱۰۶

شکل ۶-۶ (a) قابلیت انحلال انیدریت بر اساس دما و فشار (بلونت و دیکسون، ۱۹۶۹) (b) دمای مؤثر بر انحلال انیدریت (بر اساس مول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد) و (c) فشار مؤثر بر انحلال انیدریت (مول بر کیلوگرم بار)..... ۱۰۶

شکل ۶-۷ نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و موقعیت کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی نشان داده شده است و محل نمونه‌ها (ستاره) بر روی پروفیل‌های پیمایش شده (خط‌های سفید)..... ۱۰۸

شکل ۶-۸ نمودار Y-Zr ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی را نشان می‌دهد (بارت و مک لثان، ۱۹۹۴)..... ۱۱۴

شکل ۶-۹ نمودار Th/Yb ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی (بارت و مک لثان، ۱۹۹۹) در کانسار مورد مطالعه..... ۱۱۴

شکل ۶-۱۰ ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در جنوب تروود در نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y (پیرس، ۱۹۹۶) که نشان‌دهنده ترکیب آندزیتی این سنگ‌ها است..... ۱۱۵

شکل ۶-۱۱ ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودار سه‌تایی Al-Mg-Fe^T+Ti از (جنسن، ۱۹۸۱) که نشان‌دهنده ترکیب آندزیتی و ماهیت کالک آلکالن بودن آنها است..... ۱۱۵

شکل ۶-۱۲ موقعیت نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی توالی محدوده معدنی مورد مطالعه در نمودار نسبت Th/Nb در برابر نسبت Ce/Nb از (ساندرس و تارنی، ۱۹۹۱)..... ۱۱۶

شکل ۶-۱۳- نمودار Al-Si ترکیب کانسنگ برای تفکیک ساده تیپ‌های گرمایی- آیزاد و آواری (کررار و همکاران، ۱۹۸۲) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز مورد مطالعه..... ۱۲۰

شکل ۶-۱۴- نمودار نسبت Na به Mg (نیکولسون، ۱۹۹۲) و محیط ته نشست نمونه‌ها در کانسار بندقیچی (F/W=Fresh water) (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد)..... ۱۲۱

شکل ۶-۱۵- نمودار Pb-Zn و تفکیک محیط دابهیتی از سایر محیط‌ها (نیکولسون، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد)..... ۱۲۳

شکل ۶-۱۶- نمودار سه تایی Ni-Zn-Co (چوئی و هاریا، ۱۹۹۲) نمونه‌های کانسار بندقیچی که همه در محدوده گرمایی زیر دریایی واقع شده‌اند..... ۱۲۴

شکل ۶-۱۷- نمودار سه تایی $10 * (Cu-Ni-Co) - Fe - Mn$ جهت تفکیک تیپ‌های مختلف کانسارهای منگنز (بوناتی، ۱۹۷۵) و توت، (۱۹۸۰) و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز مورد مطالعه..... ۱۲۵

شکل ۶-۱۸- نمودار دوتایی $(Ni+Co) - (As+Mo+V+Cu+Pb+Zn)$ ، (نیکولسون، ۱۹۹۲) نمونه‌های کانسار بندقیچی را در محدوده کانسارهای گرمایی نشان می‌دهد..... ۱۲۷

شکل ۶-۱۹- نمودار U/Th برای تفکیک کانسارهای گرمایی- آیزاد و رسوبات پلاژیک نرمال (ویلسون، ۱۹۸۹)..... ۱۲۷

شکل ۶-۲۰- نمودار تمرکز La در برابر Ce و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز مورد مطالعه (توت، ۱۹۸۰)..... ۱۳۰

شکل ۶-۲۱- الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندرایت در نمونه‌های کانسنگ بندقیچی (ربعی)،..... ۱۳۲

شکل ۶-۲۲- نمودار عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی محدوده معدنی بند قیچی..... ۱۳۴

شکل ۶-۲۳- نمودار عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های آتشفشانی کانسار بند قیچی که به کندریت بهنجار شده- اند..... ۱۳۵

شکل ۶-۲۴- a- الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندرایت در نمونه‌های از کانسنگ (منگنز و سلسیت)، سنگ میزبان (گدازه‌های آتشفشانی و مارن) را نشان می‌دهد. b- نمودار REE محدوده‌های آیزاد (وون استاکلبرگز، ۱۹۹۷) و گرمایی (یوشی و سومیا، ۱۹۹۷) و c- مقایسه نمونه‌های کانسنگ و سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه و تعیین محدوده کانسار بند قیچی (ربعی)، با تطابق بر روی نمودار استاندارد (REE) که بین دو خط سیاه مشخص شده است، نشان می‌دهد این کانسار خاستگاه گرمایی دارد..... ۱۳۶

شکل ۶-۲۵- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی کانسار منگنز بندقیچی که با کانسار منگنز ایمیر ترکیه (ا.کسوز، ۲۰۱۰) مقایسه شده و بر روی نمودار REE استاندارد محدوده‌های آیزاد (وون استاکلبرگز، ۱۹۹۷) و گرمایی (یوشی و سومیا، ۱۹۹۷) نشان داده شده است..... ۱۳۷

شکل ۶-۲۶- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه- ای در کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی..... ۱۴۰

شکل ۶-۲۷- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه- ای در کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی..... ۱۴۱

شکل ۶-۲۸- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه- ای در کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی..... ۱۴۲

شکل ۶-۲۹- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه- ای در کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی..... ۱۴۳

شکل ۷-۱- الف- تصویر نمونه دستی از سلسیت از رخساره رگه‌ای ب- تصویر نمونه دستی از رخساره چینه‌سان..... ۱۴۸

شکل ۷-۲- سیال‌های درگیرهای تک‌فازی مایع و گاز و دوفازی با محتوای فاز غالب مایع (در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی (ربعی)..... ۱۵۲

شکل ۷-۳- سیال‌های درگیر دو فازی (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) (در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی (ربعی)، الف- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب مایع ب- سیال‌های درگیر دوفازی و تک‌فازی با محتوای فاز غالب مایع ج- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب گاز د- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب مای ه- سیال‌های درگیر دو فازی که پدیده باریک‌شدگی (Necking down) و- سیال‌های درگیر دو فازی (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) (ثانویه کاذب (PS: را نشان می‌دهد..... ۱۵۳

شکل ۷-۴- سیال درگیر سه فازی (VLS?) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) و فاز جامد ناشناخته (S?) در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی (ربعی)..... ۱۵۴

شکل ۷-۵- نمودار شوری بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های محدوده معدنی بندقیچی..... ۱۵۶

شکل ۷-۶- مراحل انجماد سیالات درگیر در نمونه‌های منتخب کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی، الف - اولین نقطه انجماد $12/3^{\circ}\text{C}$ ، ب - تشکیل اولین بلور یخ $13/5^{\circ}\text{C}$ ، ج - تشکیل چندین بلور یخ با کاهش تدریجی دما $18/2^{\circ}\text{C}$ ، د - در این مرحله بلورهای هالیت بصورت دانه‌های هیدرو هالیت ظاهر می‌شوند $31/5^{\circ}\text{C}$ ۱۵۸

شکل ۷-۷- خصوصیات دماسنجی سیالات درگیر نوع II در کانسار بندقیچی، الف - نمودار فراوانی شوری سیالات درگیر نوع II ، ب - نمودار فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر نوع II، ج- نمودار فراوانی دمای ذوب‌شدن یخ سیالات درگیر نوع II..... ۱۶۱

شکل ۷-۸- نمودار درجه شوری در برابر همگن شدن سیالات درگیر دو فازی کانسار بندقیچی..... ۱۶۲

شکل ۷-۹ - نمودار درجه شوری در برابر دمای همگن شدن سیالات درگیر دو فازی کانسار منگنز- سلسیت..... ۱۶۲

شکل ۷-۱۰- نمودار دما در برابر فشار و عمق و منحنی‌های نقطه جوشش در برابر عمق، برای سیال آبگین با شوری معادل ۱۰٪ وزنی کلرید سدیم (رودر، ۱۹۸۰) که با شوری سیالات کانه‌ساز بندقیچی مطابقت داده شده اند. در این شکل موقعیت بالاترین دمای همگن شدن سیال‌های درگیر در کانسار بندقیچی 290°C بر روی نمودار مذکور فشار حدود ۶۰ بار و عمق حدوداً ۶۰۰ متر را برای آب دریا تخمین زده می‌شود..... ۱۶۳

شکل ۸-۱- نمایشی شماتیک از چگونگی تشکیل کانسار بندقیچی..... ۱۷۸

شکل ۸-۲- مدل تکتونیک سیر تکاملی پهنه ایران مرکزی..... ۱۸۲

شکل ۸-۳- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی جنوب تروود در شمال ایران مرکزی..... ۱۸۳

شکل ۸-۴- موقعیت تعدادی از کانسارهای آتشفشانی-رسوبی منگنز (دایره) و کانسارهای سلسیت (مربع)..... ۱۸۵

فهرست جداول

جدول ۴-۱- اسامی چند اندیس و کانسار مطالعه شده در منطقه جنوب شاهرود..... ۴۸

جدول ۴-۲- ساخت و بافت و کانی‌شناسی رخساره‌های کانه‌دار محدوده معدنی بندقیچی..... ۵۸

جدول ۵-۱- توالی پاراژنتیک کانی‌ها و بافت ماده معدنی در کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی..... ۹۴

جدول ۶-۱- خصوصیات فیزیکی منگنز..... ۹۷

جدول ۶-۲- خصوصیات سلسیت و استرانسیانیت..... ۱۰۲

جدول ۶-۳- خواص اتمی، فیزیکی و شیمیایی استرانسیم را نشان می‌دهد..... ۱۰۹

جدول ۶-۴ نام نمونه‌ها و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در محدوده معدنی بندقیچی..... ۱۱۱

- جدول ۶-۵- میزان عناصر اصلی و کمیاب حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه به روشهای ICP-MS و ICP-OES..... ۱۱۶-۱۱۵
- جدول ۶-۶- میزان عناصر فرعی و کمیاب حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ محدوده معدنی بندقیچی بروش- های ICP-MS و ICP-OES..... ۱۱۷
- جدول ۶-۷- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ محدوده معدنی بندقیچی به روش (XRF)..... ۱۱۸
- جدول ۶-۸- مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز و در کانسار منگنز منطقه مورد مطالعه..... ۱۱۹
- جدول ۶-۹- نتایج آنالیزهای REE نمونه‌های کانسنگ (منگنز A9, A14, A10, A11, A15, B3, B4, B6, C5, C7 و سلسیتیت) محدودده مورد مطالعه بروش (ICP-MS)..... ۱۳۵
- جدول ۶-۱۰- همبستگی عناصر در نمونه‌های کانسار منگنز- سلسیتیت بندقیچی..... ۱۳۸
- جدول ۷-۱- رده‌بندی انواع سیالات درگیر بر مبنای انواع فازهای موجود در دمای اتاق و محتوای آن‌ها..... ۱۵۱
- جدول ۷-۲- نتایج آنالیز دماسنجی و تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های (B2 و B1) سلسیتیت محدوده معدنی بندقیچی..... ۱۶۰
- جدول ۸-۱- رده‌بندی انواع کانسارهای منگنز بر حسب فرآیندها و محیط تشکیل (نیکولسون، ۱۹۹۲ ب)..... ۱۷۰
- جدول ۸-۲- تیپ کانه زایی کانسار منگنز-سلسیتیت بندقیچی (ربعی) در مقایسه با دیگر کانسارهای آتشفشانی-رسوبی دنیا (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸)..... ۱۷۴
- جدول ۸-۳- اسامی تعدادی از کانسارهای آتشفشانی- رسوبی منگنز ایران..... ۱۸۶
- جدول ۸-۴- رده‌بندی انواع مهم ذخایر سلسیتیت..... ۱۸۷
- جدول ۸-۵- کانسارهای سلسیتیت ایران..... ۱۸۸

فصل اول:

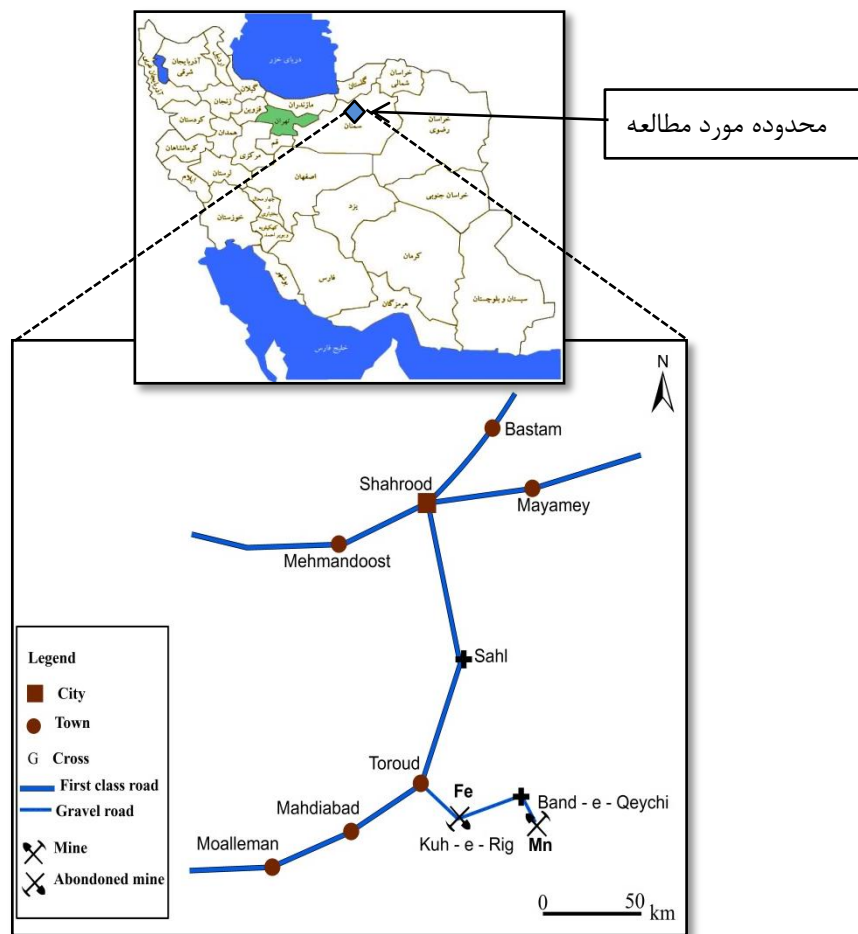
کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به این که منگنز عنصری اساسی در تولید فولاد است اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر آن در داخل کشور امری ضروری می‌باشد. این عنصر اساساً برای کنترل ناخالصی‌هایی مانند اکسیژن و گوگرد در تولید فولاد به کار می‌رود و باعث افزایش پایداری و سختی فولاد می‌شود. سلسلتیت (سولفات استرانسیم) در صنعت مصرف چندانی ندارد، ولی محصول آن به صورت کربنات استرانسیم کاربرد وسیعی از جمله در ساخت لامپ تلویزیون رنگی، صنایع پیرو تکنیک، سرامیک سازی، رنگ سازی، تصفیه فلز روی و ... دارد. در کشور بزرگ ایران با توجه به منابع فراوان، ارزان و بکر منگنز و استرانسیم اکتشاف این ذخایر از اهمیت بالایی برخوردار است. چون بخش عمده‌ای از ایران را مناطق کویری پوشانده است ذخایر موجود در این مناطق مورد مطالعه علمی چندانی قرار نگرفته‌اند. لذا مطالعه و تحقیق کانسار منگنز-سلسلتیت بندقیچی (ربیعی) هم از لحاظ علمی و هم از نظر اکتشافی می‌تواند اهمیت بالایی داشته باشد. زیرا شناخت ویژگی‌های تشکیل و عوامل کنترل کننده تمرکز و اقتصادی شدن این نوع از کانسارها می‌تواند به عنوان الگو، هم در اکتشاف ذخایر مشابه در این پهنه و هم در سایر نقاط ایران، با توجه به گسترش سنگهای آتشفشانی-رسوبی در پهنه‌های آتشفشانی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی $35^{\circ} 15'$ تا $35^{\circ} 30'$ و در طول جغرافیایی $55^{\circ} 15'$ تا $55^{\circ} 45'$ در نزدیکی کوه بند قیچی (ربیعی) در ۵۹ کیلومتری جنوب شرق دهستان ترود و در ۲۰۰ کیلومتری شهرستان شاهرود در استان سمنان واقع شده است. این کانسار قبلاً تحت عنوان کانسار ربیعی (صاحب وقت معدن) معروف بود، ولی بعد از واگذاری معدن نام آن به کانسار بندقیچی (کوه میزبان) تغییر یافت. قابل ذکر است که نام بندقیچی برگرفته از نام گیاه قیج می‌باشد که در منطقه دیده می‌شود.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده کانسار منگنز - سلسیت بند قیچی (ربیعی) ترود.

۱-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه

ناحیه ترود منطقه‌ای است که بیشتر مساحت آن را کویر و زمین‌های پست و هموار پوشانده است. آب و هوای این منطقه اغلب گرم و خشک و کویری است. تابستان گرم و خشک و زمستان سرد و خشک دارد. اختلاف درجه حرارت بین شب و روز در تابستان ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دما در تابستان‌ها ۴۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). تنها ارتفاعات بلند در این منطقه رشته کوه‌های چاه شیرین - ترود می‌باشد که با روند تقریباً شمال شرقی - جنوب غربی این ناحیه را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم کرده‌اند. کویر چاه جم در شمال و کویر مرکزی یا کویر نمک در بخش جنوب این رشته کوه‌ها واقع شده‌اند.

در دامنه‌های شمالی این رشته کوه‌ها به علت وجود چشمه‌ها و چاه‌هایی که تنها منبع تأمین آب منطقه هستند امکان زیست وجود داشته و روستاهای کوچک و بزرگ بنا شده‌اند. شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش و کم بودن زمین‌های قابل کشت همگی باعث شده‌اند که این ناحیه تمرکز جمعیتی پایینی داشته باشد. بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی در بین روستاهای این منطقه دهستان ترود است که جمعیتی در حدود ۳۵۰۰ نفر دارد.

این ناحیه کاملاً کویری است و مثل دیگر مناطق کویری پوشش گیاهی در آن وجود ندارد، در این محدوده تنها در مناطق مرتفع تعدادی درختچه‌های گز و پونه ولی در اطراف روستای ترود تعداد کمی زمین کشاورزی و باغات هم دیده می‌شوند. از حیوانات قابل مشاهده در این منطقه آهو، بزکوهی، گورخر، گرگ، شغال و تعداد کمی پلنگ و از جانوران اهلی بیشتر شتر دیده می‌شود.

۱-۴- وضعیت معیشتی

منبع درآمد و ارتزاق مردم این منطقه از کشت گندم، جو، هویج، شلغم و تولید خرما از نخلستان‌های موجود و همچنین از پرورش شتر و بز تأمین می‌شود. البته طی چند سال اخیر با رونق گرفتن کار معادن مس، آهن و منگنز عده‌ای هم از طریق کار در معادن، امرار معاش می‌کنند.

۱-۵- زمین ریخت شناسی

نمایان‌ترین ویژگی مورفولوژیک در منطقه ترود رشته کوه‌های بلند نوار آتشفشانی آذرین ترود - چاه شیرین و مناطق پست و هموار کویری و مخروط افکنه‌ها و آبرفتها هستند که محدوده معدنی بندقیچی (ربیعی) هم در جنوب این رشته کوه‌ها به شکل تپه‌هایی کم ارتفاع که از رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. آبراهه‌هایی که در این منطقه دیده می‌شوند اغلب شمالی - جنوبی و از نوع فصلی می‌باشند. در ناحیه مورد نظر به دلیل تنوع واحدهای سنگی و مقاومت غیر یکسان

سنگ‌ها در برابر پدیده‌های تکتونیکی و فرسایشی دره‌هایی به شکل‌های مختلف مخصوصاً V شکل ایجاد شده‌اند.

۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

با این‌که دسترسی به منطقه ترود با مشکلات زیادی همراه بوده است ولی با توجه به وجود معادن با ارزش طلا، فیروزه، مس، سرب، روی و کوارتز بنفش که به صورت پراکنده در این منطقه یافت می‌شوند بیشتر مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمیایی، پی‌جویی و اکتشاف منابع معدنی را به خود اختصاص داده است. اولین محققانی که جهت پی‌جویی طلا در این منطقه کار کرده‌اند - (هلمهاکر^۱، ۱۸۹۸) و (هنمک^۲، ۱۸۹۹) بودند که در شمال رشته کوه‌های ترود، در آبرفت طلا دار کوه زر کار کرده‌اند.

- (دیچل^۳، ۱۹۴۴)، درباره ذخایر طلا، عیار و خاستگاه آن مطالعاتی انجام داده است.
- پس از زلزله ترود که در سال ۱۹۵۳ اتفاق افتاد، (هوبر و اشتوکلین^۴، ۱۹۵۶) و (هوبر^۵، ۱۹۵۷) مطالعات زمین‌شناسی مقدماتی در این منطقه را انجام دادند و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود را تهیه کردند که توسط (علوی^۶، ۱۹۷۲) مورد تجدید نظر قرار گرفت.
- موحد اول (۱۹۶۷)، درباره معدن فیروزه باغو در منطقه تحقیقاتی انجام داد و احتمال ارتباط کانه-زایی مس پورفیری را در این ناحیه یادآور شد.
- پورحسینی (۱۹۸۳)، فعالیت‌های ماگمایی منطقه را با همگرایی عربستان و ایران مرتبط دانسته و آن‌ها را نتیجه بعداز برخوردی دو صفحه دانسته است. وی توده‌های نفوذی را با فاز ماگمایی ائوسن-الیگوسن مرتبط دانسته است.

¹ Helmhacker

² Henmacke

³ Dichal

⁴ Huber and Stocklin

⁵ Huber

⁶ Alavi

جعفریان و ولیزاده (۱۳۶۸)، سنگ‌های آتشفشانی منطقه را عمدتاً آندزیتی و توده‌های نفوذی را گرانیت‌های نوع I معرفی کرده‌اند و جایگاه فعالیت‌های ماگمایی را کمان می‌دانند.

- مطالعات برنا، ۱۳۷۰، گزارش اکتشافات مقدماتی منگنز در ناحیه کاشمر بر روی کانسارهای منگنز از کارهای اصلی دیگر که در مطالعات قبلی صورت گرفته در این منطقه تهیه گزارش زمین‌شناسی و متالوژنی کانسارهای سرب و روی ناحیه ترود - خارتوران توسط کریم عادل و همکاران (۱۳۶۹) همچنین گزارش برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه ترود - معلمان توسط علی محمدی جوآبادی و همکاران (۱۳۸۳) صورت گرفته است.

۱-۷- طرح مسئله و اهمیت موضوع و هدف از مطالعه

کانسار مورد مطالعه در نزدیکی کوه بندقیچی در ۵۹ کیلومتری جنوب شرق روستای ترود با فاصله ۲۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود از توابع استان سمنان قرار دارد. این ناحیه در داخل توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱-۲). با توجه به اینکه در مورد این کانسار و اندیس‌های معدنی، مطالعه دقیقی مخصوصاً از نظر کانی‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت و بافت و همچنین چگونگی تشکیل و ژنز صورت نگرفته است، به نظر می‌رسد بررسی‌های پژوهشی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و ارائه مدل تشکیل برای این ذخایر بتواند به عنوان الگو و راهنمای مناسبی در شناسایی و اکتشاف ذخایر مشابه از این نوع کانه‌زایی در منطقه کمک شایانی بنماید.

بنابراین در این پژوهش: ارائه الگوی تشکیل برای کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی (ربیعی) با توجه به زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ساخت و بافت و مشخص کردن تیپ کانه‌زایی در تشکیل کانسار منگنز-سلسیت ربیعی و همچنین معرفی این نوع خاص از کانه‌زایی Mn-Sr به جامعه علمی ایران از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشند.

۱-۸- روش مطالعه

برای انجام این تحقیق مراحل زیر صورت گرفته است.

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع:

اولین مرحله در انجام این تحقیق، گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع بوده که به شرح زیر صورت گرفته است:

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات در زمینه موضوع پایان نامه.

- گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی کوچک مقیاس و مطالعه عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به منظور آگاهی از وضعیت زمین‌شناسی ناحیه‌ای در منطقه مورد مطالعه و نیز بررسی کلیه گزارش‌ها و مقالاتی که به نحوی در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف و نیز کانه‌زایی‌های مشابه در جهان می‌باشند.

- برقراری ارتباط با زمین‌شناسان جهت تهیه و تأمین منابع مورد نیاز و همچنین برقراری ارتباط با شرکت‌ها و آزمایشگاه‌های داخلی و خارجی جهت آنالیز نمونه‌های محدوده کانسار.

پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات پایه از قبیل نقشه‌ها و گزارشات، هدف و ضرورت مطالعه مشخص شد، سپس مطالعات و برداشت‌های صحرایی و بررسی‌های آزمایشگاهی و دفتری آغاز گردید.

۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی در ۵ نوبت انجام شد.

- بازدیدهای مقدماتی به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه و انطباق اطلاعات موجود با مشاهدات صحرایی و بازدیدهای متوالی جهت برداشت نمونه‌های مورد نیاز.

- تهیه نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۵۰۰۰ از کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی (ربیعی).

- آشنایی با زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه و نمونه‌گیری پراکنده از آن جهت کسب اطلاعاتی از موقعیت کانی‌سازی، کانی‌شناسی و بافت‌های مختلف کانه و سنگ میزبان.

- بررسی دقیق افق‌های کانه‌دار، شکل هندسی پیکره‌های ماده معدنی و انواع مواد معدنی و پهنه-های دگرسانی مربوطه در مقیاس‌های رخنمون و نمونه دستی.
- انتخاب ۵ پروفیل سنگ چینه‌ای و نمونه‌برداری منظم در امتداد پروفیل‌ها به منظور تعیین جایگاه احتمالی افق‌های کانه‌دار و ارتباط آن‌ها با سنگ درونگیر در منطقه.
- برداشت نمونه‌های لازم به منظور مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی سیالات درگیر و مطالعات ایزوتوپ‌های پایدار
- مشخص کردن افق‌های منگن‌دار و سلسیت دار و جایگاه آن‌ها در ستون چینه‌شناسی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی

- تهیه و مطالعه ۵۸ عدد مقطع نازک-صیقلی، نازک و صیقلی جهت بررسی کانی‌شناسی، بافت کانه و سنگ درونگیر در مقیاس میکروسکوپی.
- استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD) جهت مطالعه ۴ نمونه و تعیین کانی‌های فرعی کانسنگ و سنگ‌های دگرسان شده.
- آنالیز ۱۹ نمونه از کانسنگ‌ها به روش ICP-MS جهت تعیین مقادیر عناصر فرعی، نادر خاکی و استفاده از نتایج آن‌ها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی و تعیین منشأ کانسار در آزمایشگاه ACME کشور کانادا.
- آنالیز ۱۲ نمونه از سنگ‌های مربوط به توالی چینه‌ای محدوده مورد مطالعه به روش XRF جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی و فرعی و استفاده از نتایج آن‌ها جهت ترسیم ستون‌های لیتوژئوشیمیایی.
- تهیه ۲ نمونه مقطع دوبرصیقلی از رگه‌های سلسیتی برای مطالعه میکروترمومتری سیالات درگیر جهت تعیین شوری و دمای سیالات تشکیل‌دهنده کانسار.
- تهیه ۲۰ نمونه ایزوتوپی پایدار گوگرد جهت تعیین منشأ سیال کانه‌ساز و فلزات مربوطه در دانشگاه تاسمانیا در کشور استرالیا.

- همزمان با انجام کارهای ذکر شده تحقیقات کتابخانه‌ای و اینترنتی جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و تلفیق آن‌ها برای جمع‌بندی پایان‌نامه انجام گرفته است.

۱-۸-۴- مطالعات دفتری

مطالعات پایان‌نامه‌ها و مقالات و کتاب‌های مربوط به موضوع تحقیق .

- ترسیم نقشه‌ها با نرم‌افزارهای ARC GIS .

- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی مانند

SPSS و نرم‌افزارهای آماری مانند IGPET و GCDkit

- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از بررسی صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی جهت تدوین پایان‌نامه.

- تلفیق داده‌های فوق‌الذکر با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتاب‌های مربوطه به‌منظور ارائه

مدل کانه‌سازی در منطقه و نیز مقایسه این کانه‌زایی با نهشته‌های مشابه در جهان.

- نگارش پایان‌نامه.

فصل دوم:

زمین شناسی ناحیه امی

۲-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در محدوده چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی پور^۱، ۱۹۷۶) در استان سمنان است. این منطقه در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شاهرود و همچنین در حاشیه شمالی نوار آتشفشانی-رسوبی پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده است (اشتوکلین و همکاران^۲، ۱۹۷۲) (شکل ۲-۱).

پهنه ایران مرکزی قدیمی ترین پهنه ایران است. این پهنه در پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک خاصیت پلاتفرمی داشته است، ولی در اواخر مزوزوئیک و سنوزوئیک به پهنه کوهزایی بزرگ تبدیل می شود (اشتوکلین، ۱۹۶۸).

در ترشیری در این پهنه فعالیت های ماگمایی بسیار گسترده ای صورت گرفته است که در منطقه ترود بالاترین نمود آن، کمربند آتشفشانی ترود-چاه شیرین در شمالی ترین بخش پهنه ایران مرکزی با روند شمال شرقی-جنوب غربی (به موازات گسل های ترود-انجیلو) را پدید آورده است. در این فصل از تحقیق سعی شده است به ویژگی های مختلف چینه شناسی عمومی منطقه پرداخته شود.

۲-۲- چینه شناسی عمومی منطقه

بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود در محدوده مورد مطالعه قدیمی ترین واحد سنگی و چینه شناسی را به ترتیب واحدهای چینه ای کامبرین و جوان ترین آنها رسوبات عهد حاضر را تشکیل می دهند (شکل-های ۲-۲ تا ۲-۴). سازمان تحقیقات زمین شناسی و معدنی کشور در سال ۱۳۵۷ واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه ترود را از قدیم به جدید این گونه طبقه بندی کرده است.

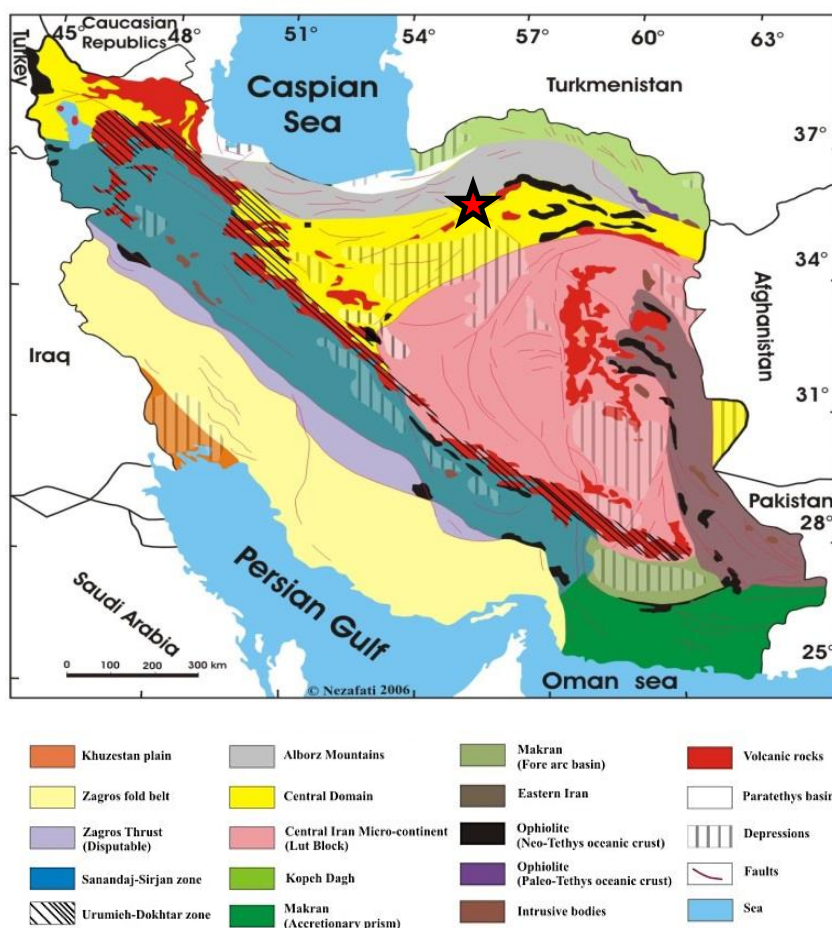
¹ Alavi and Haghypour

۲-۲-۱- پرکامبرین

قدیمی ترین واحدهای سنگی که از نوع دگرگونی (گنیس، شیست و ...) می باشد و در شتر کوه رخنمون دارند (علوی و حقی پور، ۱۹۷۶).

۲-۲-۲- کامبرین

سنگ های دوره کامبرین به صورت محدود در بخش غربی جاده مارکوه رخنمون دارند این واحدها متشکل از دولومیت های سیاه رنگ با لایه ها و گره های سیلیسی و دولومیت های نواری خاکستری - قهوه ای است که با طبقات کمتری از دولومیت های ماسه ای صورتی رنگ و شیل های قرمز رنگ و آهک توده ای در تناوب است (علوی و حقی پور، ۱۹۷۶).



شکل ۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه بندی ایران (آقا نباتی، ۱۳۸۳) با ستاره مشخص شده

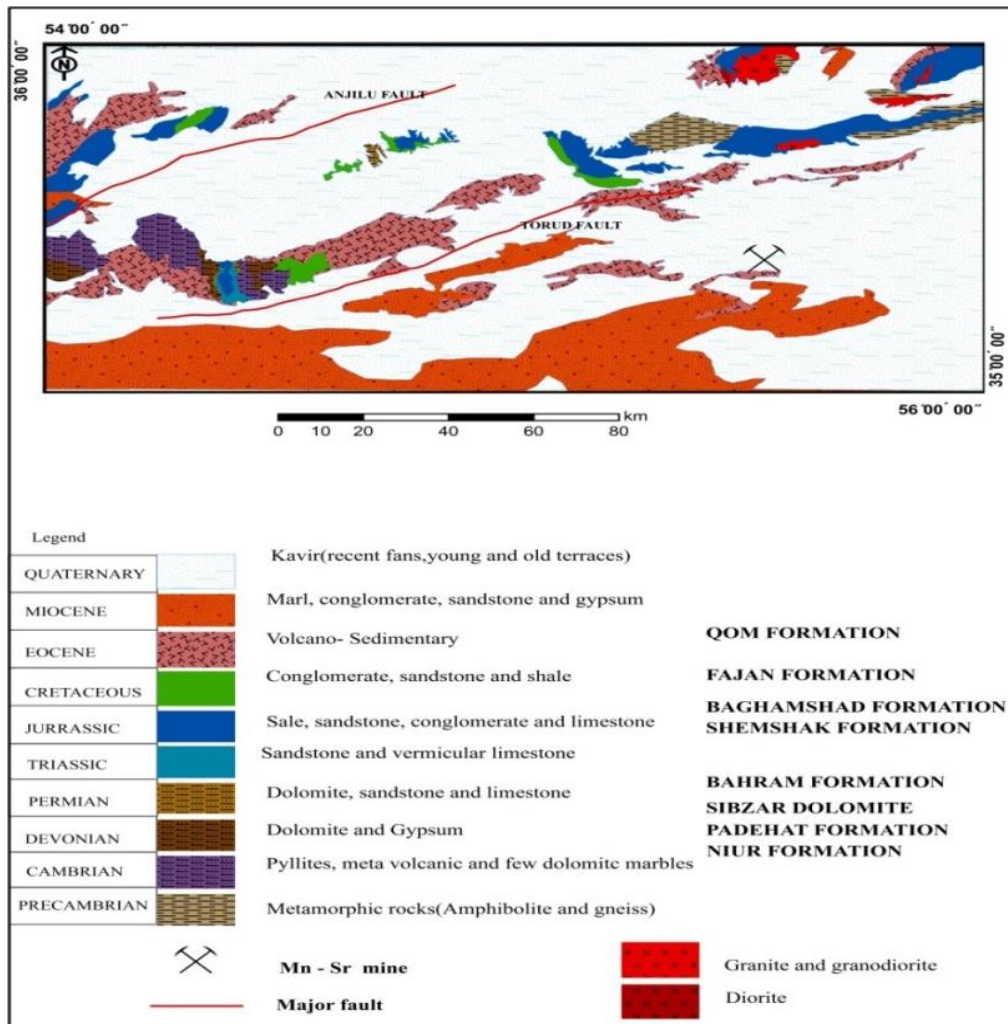
است.

۲-۲-۳- سیلورین - دونین

واحدهای سنگی سیلورین- دونین در شمال گسل انجیلو گسترش وسیعی دارند و این واحدها تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند. سنگ‌های سیلورین شامل سازندهای نیور، پادها، سبزار و بهرام می‌باشند که سازند نیور، سبزار و بهرام را به نام سری بزکوه می‌گویند (علوی و هوشمندزاده، ۱۹۷۶). سری بزکوه از رسوباتی با منشأ آواری و کم عمق از قبیل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل، دولومیت و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند و سازند آهکی بهرام با تداوم آشکار بر روی سازند سبزار قرار گرفته است که تناوبی از لایه‌های ماسه‌سنگ و شیل و گچ و گدازه‌های آتشفشانی را دارد. در اینجا نهشته‌های آواری سازند نیور و پادها تناوبی از سری شیست، ماسه‌سنگ و آهک سیاه‌رنگ همراه یک لایه دولومیتی با شیل‌های قرمز و سبز رنگ و لایه‌های دولومیتی نازک دارند، با تغییر رژیم رسوبگذاری طبقاتی از کربنات، لایه‌های زیرین را می‌پوشاند که شامل سازند سبزار (دولومیت) و لایه بندی خوب آهک خاکستری بر روی آن می‌باشد. در ناحیه ترود در شمال گسله انجیلو رسوبات کربونیفر دیده نمی‌شود و سنگ‌های پرمین مستقیماً بر روی سازند بهرام قرار گرفته‌اند و در این ناحیه سنگ‌های پرمین با یک‌سری رسوبات آواری شروع می‌شود که شباهت بسیار به سازند درود البرز دارد. بر روی این رسوبات آواری تناوبی از لایه‌های آهک فوزولین‌دار و براکیوپوددار و دولومیت خاکستری زرد و روشن دیده می‌شود این واحد کربناتی شبیه سازند جمال است، که در جنوب گسل انجیلو (کوه بیل بن) دچار دگرگونی ناحیه‌ای شده و به شیستهای سبز و مرم‌های خاکستری و تناوبی از کوارتزیت تیره و آهک‌های نازک لایه تبدیل شده‌اند (علوی، ۱۹۷۲) و (خواج‌زاده، ۱۳۸۸).

۲-۲-۵- تریاس زیرین و میانی

این واحد سنگی در شمال گسل انجیلو دچار فرسایش شدید پس از لیاس شده است، لذا گسترش محدودی دارد و شامل ماسه سنگ کوارتزی. شیل قرمز رنگ و دولومیت خاکستری روشن با لایه‌بندی خوب (ضخامت ۱۶۰ متر) که قابل مقایسه با سازند سرخ شیل است.



شکل ۲-۲- نقشه ساده شده زمین شناسی منطقه ترود برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی پور، ۱۹۷۶) نشان دهنده واحدهای سنگی پرکامبرین تا عهد حاضر می باشد.

۲-۲-۶- تریاس بالایی - لیاس

چون در ناحیه ترود رسوبات تریاس بالا بدون قطع شدگی و بدون تغییر به رسوبات لیاس (ژوراسیک پایینی) می پیوندند، لذا به این مجموعه سازند شمشک اطلاق می شود. این سازند با دگرشیبی کمی روی دولومیت های پرموتریاس می نشیند و متشکل از شیل های ذغال دار، ماسه سنگ و شیل های آهکی-رسی می باشد. این واحد سنگی در شمال گسل انجیلو بر عکس تریاس زیرین گسترش خوبی دارد و گسترش محدود آن در کوه بیل بن در جنوب گسل انجیلو دیده می شود (علوی، ۱۹۷۲).

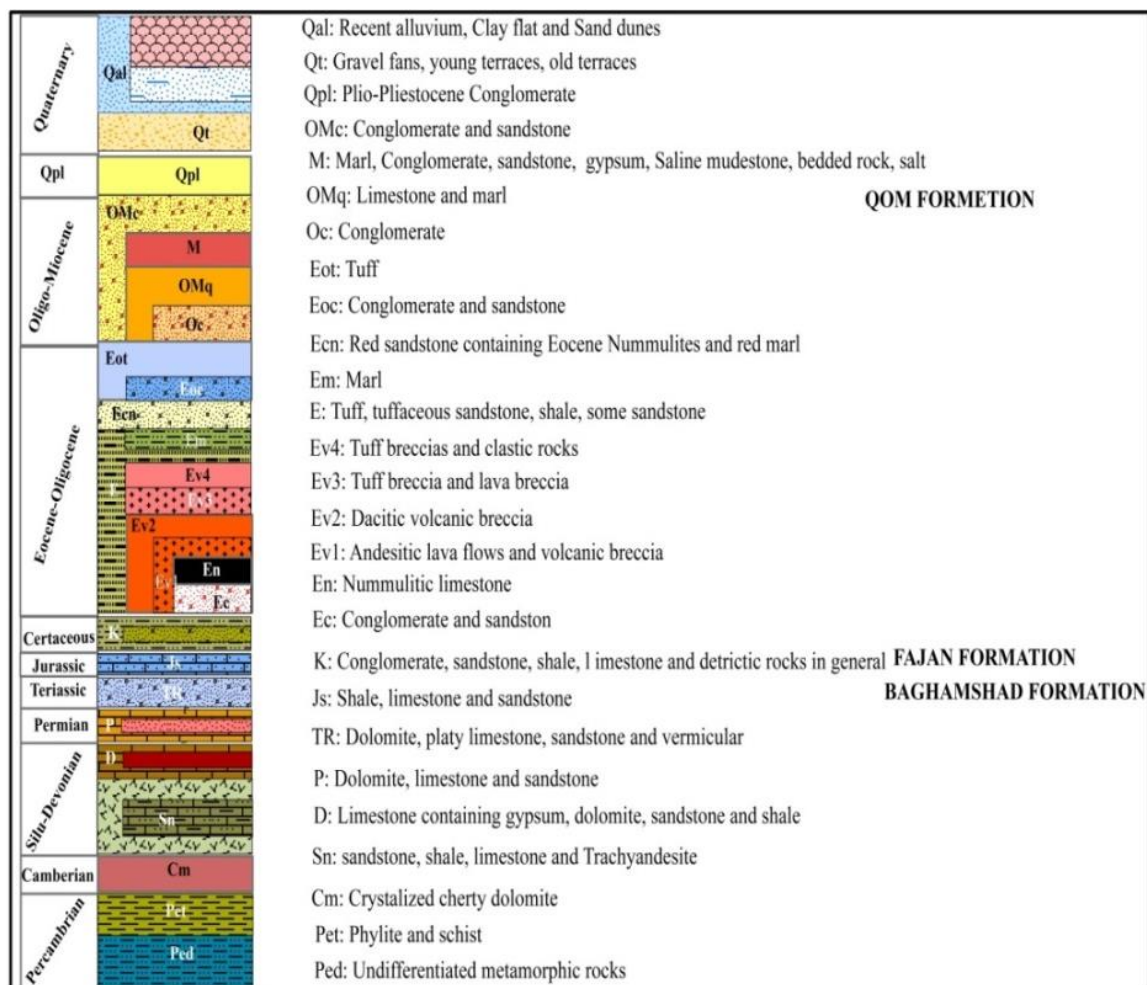
۲-۲-۷- دوگر (سازند بادامو و بغمشاه)

در شمال گسل انجیلو رسوبات خشکی زا^۱ و آواری تشکیل شده است که دلالت بر خروج این ناحیه از آب در اواخر ژوراسیک دارد. در قسمت پایین از آهک‌های ماسه‌ای و کنگلومرایی تشکیل می‌شود که قابل مقایسه با سازند بادامو است. در قسمت بالا تناوبی از شیل‌های آهکی و ماسه‌ای که می‌توانند با سازند بغمشاه در ناحیه طبس مقایسه شوند، وجود دارند. در جنوب گسل انجیلو این دو واحد بادامو و بغمشاه عمدتاً در قسمت‌های شرقی ناحیه مورد مطالعه قرار دارند که تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند.

۲-۲-۸- کرتاسه تا ترشیری

دریای کرتاسه با پیشروی خود رسوب‌های آواری قرمز رنگ را در زیر پدید آورده و با نشست کف آن و تغییر رژیم رسوبگذاری به تناوبی از آهک و شیل تبدیل کرده است. این تناوب در پایین‌ترین بخش خود فسیل‌های مربوط به افسین و در بالاترین قسمت فسیل‌های مربوط به سنونین و احتمالاً تا کامپانین را به دست می‌دهد. سرانجام دریا با پسروری خود دوباره رسوبات آواری قرمز رنگ را به جا می‌گذارد که جزء در غرب معدن سرب خانجار (معدن رشم) فرسایش ترشیر اثری از آن به جای نگذاشته است. از نظر سنگ شناسی و چینه‌شناسی کرتاسه در سراسر ناحیه وضعیت نسبتاً یکسانی دارد و تمام سازندهای پیش از خود را با یک دگرشیبی زاویه‌ای که گاه به ۸۰ درجه می‌رسد (کوه خرگوشی) می‌پوشاند.

¹ Terrigene

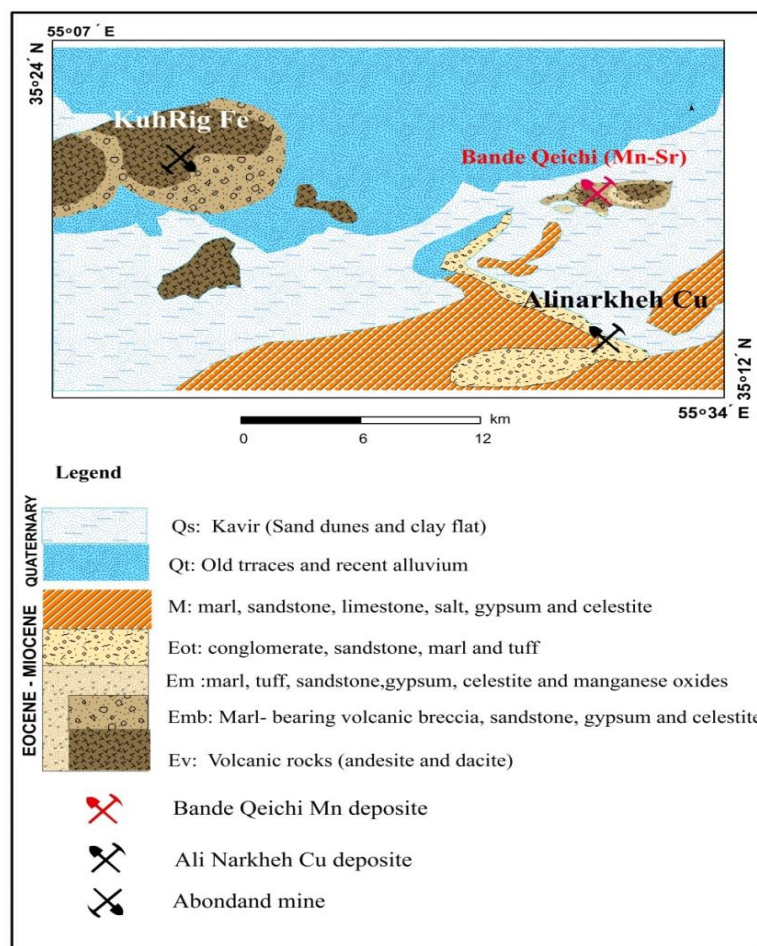


شکل ۲-۳ ستون چینه شناسی ناحیه ای از واحدهای سنگی موجود در جنوب شاهرود، منطقه ترود واحد میزبان کانه‌زایی سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن (Ev2, E, Em) می‌باشد.

۲-۹-۲- ترشیر

ترشیر با فعالیت آتشفشانی آغاز می‌گردد که مربوط به جنبشهای کوهزایی لارامین است که در ائوسن به اوج خود رسیده است. و در ناحیه ترود در رشته کوه‌های ترود - چاه شیرین گسترش زیادی دارند. این رسوبات با ترادف‌های ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی از نوع توف داسیتی و گدازه‌های آندزیتی و کانی‌های عمده آن‌ها پلاژیوکلاز، پیروکسن (اوپتیت) و بیوتیت است. پلاژیوکلازها دگرسان شده به سرپسیت و کانی‌های مافیک به کلریت تبدیل شده‌اند. طبیعت سالم پیروکسن‌ها مبین آن است که این سنگ‌ها در محیطی زیر هوایی (subaerial) و در کنار حوضه‌های رسوبی تشکیل شده است. کنگلومرای قاعده ائوسن ضخامتی متغییر بین ۰-۷۰۰ متر دارد و مارن‌های گچ‌دار در اینجا بیشتر می‌باشد. نشست کف حوضه رسوبی و پیشروی دریا در اواسط ائوسن با یک واحد کنگلومرای آغاز

می‌گردد سپس رسوبات بستر دریایی نومولیت‌دار ائو-الیگوسن که معرف محیط کم عمق هستند در پی کنگلومرا می‌آیند که ضخامتی در حدود ۳۵۰۰ متر ممکن است داشته باشند. بعد از آن با بالا آمدن کف دریا یک رژیم آواری بر سراسر ناحیه حکمفرما شده است و سازند قرمز را به جای گذاشته است. در اواخر الیگوسن با نشست دوباره کف حوضه در مدتی نسبتاً کوتاه باز یک رژیم دریایی مستقر می‌گردد و تناوب آهک و شیل، سازند قم را به وجود می‌آورد. پس از این مدت شرایط دریایی برای همیشه از این ناحیه رخت بر بسته و یک رژیم آواری کولابی حاکم شده است که سازند قرمز بالایی و سازند پلیو- پلیستوسن تا کواترنری محصول آن هستند (علوی و حقی‌پور، ۱۹۷۶).



شکل ۲-۴- نقشه زمین‌شناسی از منطقه ترود در جنوب شاهرود بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی‌پور، ۱۹۷۶) که نشان‌دهنده واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه و موقعیت کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی (ربیعی) می‌باشد.

۲-۳- ماگماتیسزم در منطقه

ناحیه مورد بررسی از قدیمی‌ترین زمان‌های زمین‌شناسی شاهد فعالیت‌های ماگمایی بوده است این فعالیت‌ها در دوران اول و دوم به فراخور حوادث تکتونیکی کم کم آغاز می‌شود و در دوران سوم به اوج خود می‌رسد و از حجم قابل ملاحظه‌ای از سنگ‌های آذرین، در میان توالی‌های این دوران برخوردار است. بستگی فعالیت‌های ماگمایی با تکتونیک منطقه چنان واضح است که جایی برای بحث نمی‌گذارد ولی شدت آن با چه نوع حرکاتی می‌توانسته همراه باشد، مسئله‌ای در خور تأمل است. مثلاً در آغاز دوران اول فعالیت چشمگیر است و دلیل آن نیز حرکات کوهزایی است که این قسمت را از پهنه تکتونیکی البرز جدا می‌کند. ولی پس از آن علی‌رغم وجود این حرکات در طول دوران اول از فعالیت ماگمایی خبری نیست البته شدت و ضعف این حرکات و فعالیت‌های ماگمایی به مکانیسم پیچیده حرکات، خواص فیزیکی کراتون و پوشش روی آن در مارن‌های مختلف، طبیعت مایعات بین آن‌ها و عوامل بسیار دیگری وابسته است.

در این فصل به شرح خلاصه‌ای از فازهای ماگمایی منطقه و رابطه آن‌ها با حرکات دینامیکی حاکم در محدوده‌های مختلف زمانی پرداخته شده است.

۲-۳-۱- فازهای ماگمایی دوران اول

فعالیت‌های اصلی ماگمایی دوران اول با دوره سیلورین آغاز می‌شود. در شمال غرب ناحیه در بزکوه به تناوب‌های مختلف از گدازه‌های آندزیتی بازالتی- تراکی آندزیتی در میان سازند نیور (سیلورین) دست می‌یابیم که حجم قابل ملاحظه‌ای از این سازند را شامل می‌شود. این گدازه‌ها بیشتر بالشی هستند و گاه با گدازه‌های برشی و گاه باتوف برشی همراه است. پس از سیلورین تا پایان دوران اول فعالیت چشم‌گیری دیده نمی‌شود (علوی، ۱۳۵۱).

۲-۳-۲- فازهای ماگمایی دوران دوم

فازهای ماگمایی دوران دوم در ناحیه تروند گسترش چندانی ندارد و بیشتر در قسمت‌های مرکزی و در محدوده بین گسل‌های انجیلو و تروند دیده می‌شود. اولین فاز در اواخر تریاس و در محدوده بین تریاس بالایی و میانی (کیمیرین پیشین) اتفاق افتاده است که به صورت گدازه ضخیم آندزیتی، بین سازند شتری و نایبند مشاهده می‌شود. فاز دیگری که در طول دوران دوم ظهور می‌کند در اواخر ژوراسیک است. در شرق و در شمال غرب روستای سهل در میان تناوب آهک، شیل و ماسه‌سنگ (سازند بادامو) به افق‌های چند متری از گدازه‌های آتشفشانی پیروکسن و آندزیت‌دار بر می‌خوریم که گسترش وسیعی ندارند. این گدازه‌ها اغلب حالت برشی دارند. از آنجا که سن ترادف‌های همراه این گدازه‌ها می‌تواند احتمالاً ژوراسیک میانی باشد می‌نوان این فاز را با حرکات تکتونیکی پس از لیاس مربوط دانست. پس از این فاز تا پایان مزوزوئیک با وجود حرکات مهم اواخر ژوراسیک (کیمیرین پسین)، هیچ فعالیت ماگمایی به چشم نخورده است. شاید آن‌چه در سطح می‌گذرد با آن‌چه در عمق اتفاق می‌افتد هم‌آهنگ نیست.

باید اشاره کرد که توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی واقع در کوه‌های بندهزارچاه و شتر (شمال تا شمال شرق) بر مبنای نقشه زمین شناسی خارتوران مربوط به این رخداد تکتونیکی می‌باشند (علوی، ۱۹۷۲).

۲-۳-۳- فازهای ماگمایی دوران سوم

اگر چه فازهای ماگمایی دوران اول و دوم ضعیف، متفرق و در فواصل کوتاه زمانی اتفاق می‌افتاد در ترشیری هم عوامل زمین‌شناسی تحت تاثیر فعالیت‌های ماگمایی قرار می‌گیرد و محصولات آن سراسر ناحیه را از توف و گدازه و توده‌های مختلف نفوذی (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت) می‌پوشاند و حجم قابل ملاحظه‌ای را از ترادف‌های این دوران به خود اختصاص داده است.

فعالیت ماگمایی سنوزوئیک در ائوسن میانی و در پی آمد آن فاز لارامین آغاز می‌گردد که در اوایل ائوسن پسین متوقف می‌شود سپس در اواخر ائوسن پسین یا الیگوسن پیشین فعالیت دوباره از سر

گرفته شده است که پی‌آمد آن فاز آلپین میانی - پیرنه بوده است ولی شدت آن با مقایسه پریود اول، چندان بالا نبوده است و سریع خاموش شده است. تغییر این پریودها تنها در شمال انجیلو واضح است. در قسمت‌های مرکزی و جنوبی وضع چنان است که چنین قضاوتی را دشوار و یا ناممکن می‌سازد. پس از خاموشی الیگوسن پسین، فعالیت ماگمایی دوباره از سر گرفته شده است، ولی تعیین زمان دقیق آن میسر نیست، چرا که محصولات آن به صورت دایک، سیل و توده‌های نفوذی ظاهر شده‌اند که تمامی ترادف‌ها تا الیگوسن را می‌پیماید.

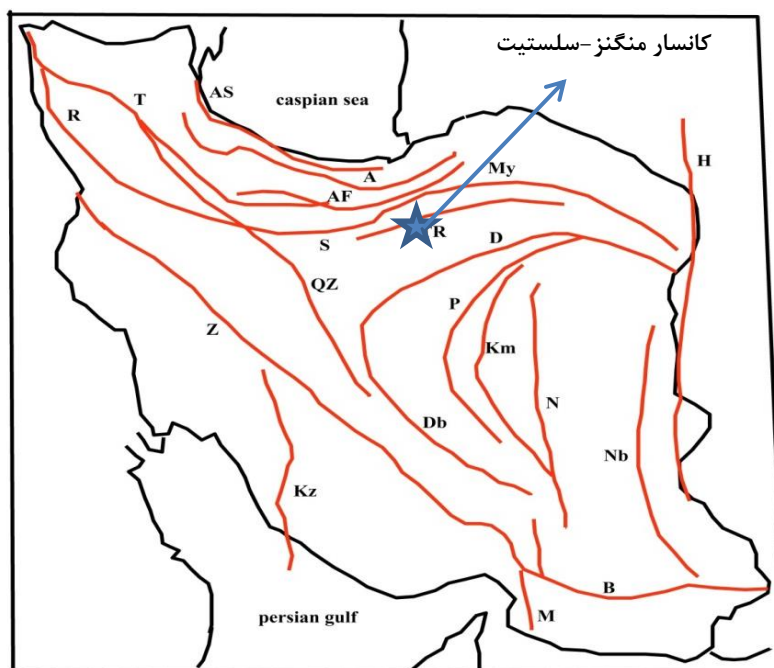
در جنوب گسل ترود، در میان طبقات تحتانی سازند قرمز بالایی، گدازه‌هایی از آندزیت پیروکسن دار در بخش M1 ظهور می‌یابد که با توجه به سن این سازند به میوسن مربوط می‌شوند. در شمال گسل انجیلو فعالیت ماگمایی با تناوب‌هایی از جنس آندزیت پیروکسن دار و توف‌های داسیتی همراه است. بیشترین فعالیت در نوار بین کوه‌های ترود - رشم دیده می‌شود. در این جا فعالیت ماگمایی با خروج گدازه‌های آندزیتی آغاز می‌شود که بیشتر از ۷۰۰ متر ضخامت دارد و سپس به تناوبی از گدازه برشی، توف برشی و مقادیر کمتری توف می‌انجامد. بیشتر حجم (۲۰۰۰ متری) محصولات ماگمایی این قسمت را آندزیت تشکیل می‌دهد، پس از یک زمان طولانی به تناوب اسیدی و بازی می‌شوند. در واقع فعالیت‌های ماگمایی ترشیری در نوارهای معینی انجام شده که توسط گسل‌هایی با جهت N-70-E تعیین می‌شوند. یعنی واکنش‌هایی که ناحیه نسبت به نیروی اصلی وارد بر آن نشان داده است، فضاهای کم انرژی با جهات مختلفی ایجاد کرده است که می‌توانسته میزبان توده‌های نفوذی و یا راه خروجی برای خروج ماگما باشد. چنان‌که دایک‌هایی با جهت N-40-E از ترک‌های کششی حاصل از حرکت چپ‌گرد گسله‌های اصلی و دایک‌هایی با جهت N-40-W از حرکت راست‌گرد بر همین گسله‌ها (به هنگام تاثیر نیروی اصلی کششی) استفاده کرده است و دایک‌های عظیم و طویل با جهت N-70-E از فضاهایی سود برده است که در اثر حرکات قائم قسمت‌هایی از ناحیه در طول گسل‌های اصلی ایجاد شده است (علوی، ۱۹۷۲).

۲-۴- تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی

محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۲-۵)

۲-۴-۱- سیستم گسل‌ها و چین‌ها

یک دسته گسل اصلی از کامبرین به بعد بر ناحیه تاثیر گذاشته‌اند که روند آن‌ها N-60-70-E است و شیبی نزدیک به قائم دارند. از آنجائی که این گسله‌ها در زمان‌های طولانی و به کرات فعال بوده‌اند. تعیین دقیق نوع حرکت آن‌ها ممکن نیست و تنها با شواهد زمین‌شناسی و چین‌خوردگی‌های مربوط به آن می‌توان در مورد آن‌ها قضاوت کرد.



شکل ۲-۵- گسل‌های اصلی ایران (نبوی، ۱۳۵۵) و موقعیت محدوده مورد مطالعه (ستاره)، گسل‌ها (البرز: A، آبیک- فیروزکوه: AF، سمنان: S، تبریز: T، آستارا: AS، ارومیه: R، ترود: TR، میامی: My، درونه: D، قم-زفره: QZ، دهشیر-بافت: Db، پشت بادام: P، کلمرد: Km، هریرود: H، نهبندان: Nb، نایبند: N، بشاگرد: B، زاگرس: Z، کازرون: Kz و میناب: M)

تنها در مورد آخرین حرکات گسله‌های جنوب رشته کوه‌های ترود- چاه شیرین می‌توان با توجه به خراش‌هایی که روی صفحات این گسله‌ها بر جای مانده است قضاوت نمود. به‌طور کلی حرکت این

گسله‌ها به دو صورت افقی و چپ‌گرد که قسمت جنوبی گسله را به سمت شرق می‌راند و دیگری عمودی که این قسمت را به طرف پایین می‌راند.

گسله‌های دامنه جنوبی کوه‌های چاه شیرین که تشکیلات کرتاسه و ائوسن را جابجا کرده‌اند در زمان‌های مختلف حرکات متفاوتی داشته‌اند. گاه ناحیه را در حال کشش و گاه در حال فشارش نشان می‌دهند. محدوده مورد مطالعه روند شمال - جنوب (روند کالدونی) دارد این محدوده بین گسل‌های درونه و میامی-عطاری یا سمنان واقع شده است که قسمت غربی گسل میامی ممکن است به گسل عطاری و یا سمنان پیوسته باشد (شکل ۲-۵).

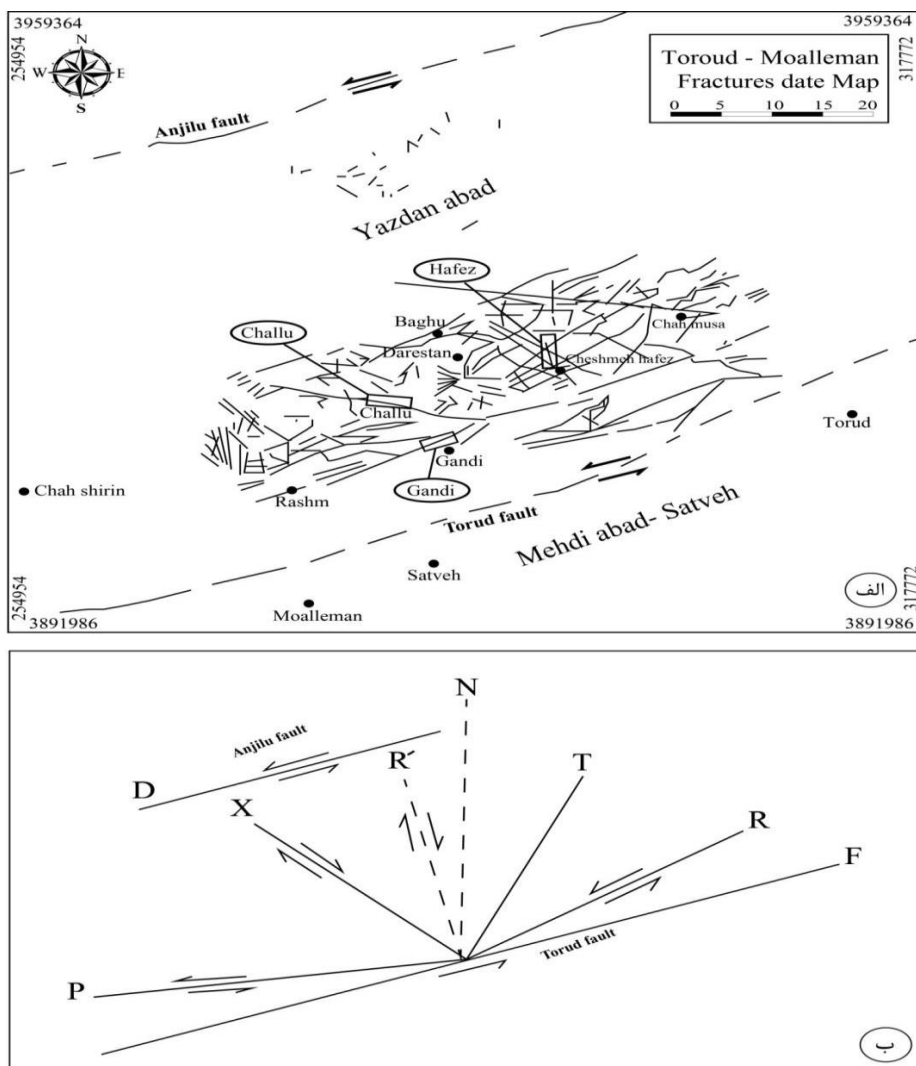
گسل‌های عطاری و سمنان پهنه‌های ایران مرکزی و البرز را از یکدیگر جدا می‌کنند. این دو گسل که نسبت به هم ۱۰ تا ۲۵ کیلومتر فاصله دارند ممکن است در دشت آهوان - قوشه به یکدیگر بپیوندند. به نظر می‌رسد که گسل عطاری و گسل میامی در اصل یکی بوده باشند و در شمال آن‌ها پهنه تدریجی بین ایران مرکزی و البرز قرار گرفته باشد.

۲-۴-۲- چین خوردگی‌ها

روند چین خوردگی‌ها در زمان‌های مختلف متفاوت است روند چین خوردگی مربوط به اواخر تریاس (فاز کیمبرین پیشین) به علت ضعف آن و شدت چین خوردگی‌های بعدی مشخص نیست. چین خوردگی بین ژوراسیک بالایی و کرتاسه زیرین (کیمبرین پسین) در نوارهای بین گسله انجیلو و رشته کوه‌های تروود - چاه شیرین دارای روندی به سمت شمال غرب - جنوب شرق که از N-40-W منتهی - الیه غربی با N-20-W در مرکز و شمال کوه‌های دولتیار و باز تا N-40-W در جنوب شرق تغییر می‌کند و به‌طور کلی حالت مارپیچ مانند می‌دهد.

چین خوردگی‌های پس از کرتاسه و پس از ائوسن (فاز لارامید) تاقدیس و ناودیس ملایمی را در رسوبات کرتاسه در نوار بین گسل انجیلو و تروود نشان می‌دهند. چین خوردگی‌های پس از ائوسن روندهای مختلفی دارند و اکثراً حتی در یک نوار از شمال تا شرق تغییر می‌کند. در ناحیه شمال گسل

انجیلو بیشتر روند آن‌ها حدود N-70-E است. در گسل ترود - انجیلو نبود تشکیلات دوران سوم امکان قضاوتی را در این مورد غیر ممکن می‌سازد. در جنوب گسل ترود روندها مختلف است (شکل ۶-۲) چنانچه بین کوه‌های غار و رشم روند شمالی - جنوبی و در کوه‌های ترود دارای روند N-70-E است. واکنش‌های مختلفی که ناحیه نسبت به نیروی اصلی وارد بر آن نشان می‌دهد فضاها کم انرژی با جهات مختلفی را ایجاد کرده می‌توانسته میزبان توده‌های نفوذی و یا راه خروجی برای خروج ماگما باشد.



شکل ۶-۲ الف- نقشه شکستگی‌های شمال منطقه ترود - معلمان و جانمایی گسل‌های انجیلو ترود؛ ب- نمایش موقعیت انواع شکستگی‌ها مرتبط با پهنه برشی در اطراف گسل ترود (برگرفته از کی‌نژاد، ۱۳۸۷).

۲-۴-۳- فازهای کوهزایی

ناحیه مورد مطالعه فازهای دینامیکی بسیاری از سر گذرانده یا به عبارت دیگر کلیه اشکوبهای زمین ساختی را می‌توان در این پهنه مشاهده کرد در ذیل به شرح آنها می‌پردازیم.

۲-۴-۳-۱- حرکات کالدونین - هرسی‌نین

پس از استحکام حاصل از چین خوردگی پرکامبرین شاهد اولین حرکات در کامبرین می‌شویم که ناحیه را از البرز جدا می‌کند. اولین حرکات محسوس در اواخر اردوئیسین آغاز می‌شود و کف دریای سیلورین را بالا می‌آورد. در واقع حرکات خشکی‌زایی صورت می‌گیرد به طوری که از رسوبات متناوب آهک و شیل کامبرین و اردوئیسین به رسوباتی دست می‌یابیم که بیشتر آواری و نیمه خشکی است (سازند نیور). بالا آمدن دریا در سیلورین متوقف می‌شود و تا آخر دونین پیشین نشست می‌کند. بیشتر از ۱۰۰۰ متر رسوبات آواری-تخریبی از خود بجای می‌گذارد و در اواخر دونین پسین سریع می‌شود و دریای دونین میانی را به عمقی می‌رساند که آهک‌های سازند بهرام را در خود جای می‌دهد. پس از دونین پسین دور حرکات طپشی نسبتاً آرام پایان می‌پذیرد و ناحیه مورد مطالعه ما یکباره در کربونifer از آب خارج می‌شود (هرسی‌نین). پس از این دوره ناحیه به سرعت نشست می‌کند و نهشته‌های آواری پرمین زیرین شکل می‌گیرد (سازند درود) ولی آهنگ نشست چنان سریع است که مهلت زیادی برای تشکیل چنین رسوباتی نمی‌دهد و جای خود را به سرعت به رسوبات کربناتی می‌بخشد. در اواخر پرمین باز دریا بالا می‌آید و برخی از قسمت‌های ناحیه را احتمالاً به کلی از آب خارج می‌نماید (علوی، ۱۹۷۲).

۲-۴-۳-۲- حرکات آلپین پیشین

این زمان با پیشروی دریای تریاس آغاز می‌شود ولی این پیشروی در همه جا یکسان نیست چرا که حرکات پایان پرمین، منطقه را به نواحی و نوارهایی به شرح زیر تقسیم کرده است:

الف- ناحیه شمال گسل انجیلو

ب- نوار بین گسل انجیلو و رشته کوه‌های ترود- چاه شیرین (کوه‌های دولتیار- مارکوه).

ج- نوار کوه‌های شتر - ترود - چاه شیرین که احتمالاً در جنوب گسله ترود محدود می‌شود.

د- ناحیه گسله ترود

علاوه بر اختلاف رسوبات میانی و بالایی در این نوارها که ممکن است به حرکات پس از تریاس میانی (کیمیرین پیشین) ارتباط داشته باشد، لیتولوژی آن‌ها متفاوت است. باید ذکر کنیم که عمده کانسارها و مظاهر معدنی سرب محدوده مورد بررسی در نوار کوه‌های شتر- ترود- چاه شیرین و کمتر در شمال گسل انجیلو قرار دارند. همچنین وضعیت نوار ذکر شده پیچیده‌تر است، چنانچه در قسمت غربی آن رسوبات تریاس میانی و بالایی (سازند سرخ شیل و شتری) به کلی غایب است و سازند شمشک مستقیماً روی سازند جمال می‌نشیند ولی در منتهی‌الیه شرقی و دامنه‌های شترکوه، تریاس به ماسه‌سنگ توده‌ای ختم می‌شود جمعاً حدود ۲۰۰ متر ضخامت نشان می‌دهد. پس از این زمان‌ها تحولات عظیم دینامیکی آغاز می‌شود و حرکات قائم کم کم جای خود را به حرکات افقی می‌دهد و فازهای چین‌خوردگی یکی پس از دیگری آغاز به کار می‌کند ولی واکنش ناحیه در برابر این حرکات یکسان نیست و در طول نوارهای یاد شده اختلاف پیدا می‌کند.

مهمترین حرکات دوران دوم را می‌توان به سه فاز تقسیم نمود:

الف- تریاس میانی و پسین (کیمیرین پیشین)

ب- فاز ژوراسیک پیشین و کرتاسه پسین (کیمیرین پسین)

ج- فازهای کرتاسه

فاز تریاس میانی و پسین (کیمیرین پیشین)

آثار این فاز در ناحیه مورد بررسی چندان محسوس نیست و بیشتر به یک فاز خشکی‌زایی می‌ماند تا فاز کوه‌زایی در شمال گسل انجیلو این فاز با یک دگرشیبی ضعیف سازند نایبند روی سازندهای قدیمی‌تر مشخص می‌شود.

در نوار رشته کوه‌های شتر- ترود - چاه شیرین در قسمت غربی این نوار (کوه‌های رشم - چاه شیرین) سازند شمشک ظاهراً بدون هیچ دگرشیبی مستقیماً روی سازند جمال می‌نشیند (علوی، ۱۹۷۲).

فاز ژوراسیک پسین و کرتاسه پیشین (کیمیرین پسین)

از نظر رخدادهای تکتونیکی این فاز مهم‌ترین فاز تاریخ زمین شناسی ناحیه ترود می‌باشد. در شمال گسل انجیلو رسوبات کرتاسه زیرین با رسوبات ژوراسیک یک دگرشیبی با زاویه‌ای حدوداً ۲۰ درجه می‌سازد و فارق این دو، کنگلومرای سرخ رنگی است که دال بر پیشروی کرتاسه است. در نوار رشته کوه‌های شتر - ترود- چاه شیرین چین خوردگی بسیار شدید و توأم با یک دگرگونی دیناموترمال است (علوی، ۱۹۷۲).

فاز کرتاسه

پس از چین‌خوردگی فاز کیمیرین پسین ناحیه به‌طور عموم و مستقل از نوارهای تکتونیکی که شرح داده شدند شروع به نشست می‌کند و دریای کرتاسه پایینی تقریباً همه جا را فرا می‌گیرد. پس از آن در آلپین پایینی تا اوایل تورونین حرکات به سمت بالا بوده، در تورونین ناحیه دوباره نشست می‌کند و در کنیاسین به بعد بالا می‌آید و در ماستریشتین از آب خارج می‌شود (علوی، ۱۹۷۲).

۲-۴-۳- حرکت ترشیری (فاز لارامید- آلپین میانی، آلپین پسین)

آن حالت یکنواختی که در کرتاسه در ناحیه حکمفرما شده بود در ترشیری به هم می‌خورد و باز بین نوارها اختلاف می‌افتد و جالب آن‌که در طول یک نوار نیز این وضعیت ثابت نمی‌ماند. دوران سوم حالتی بین حرکات کوهزایی و قاره‌زایی دارد یعنی گاه بین دو ترادف پیش و پس از فاز دینامیک اصولاً زاویه‌ای دیده نمی‌شود و یا این زاویه اندک است. در واقع با توجه به آن‌چه شرح داده شد به‌جز فاز کیمیرین پسین هیچ‌کدام از فازهای تکتونیکی یک چین‌خوردگی شدید و عمومی

به دست نمی‌دهد. به نظر می‌رسد اوج حرکت فاز لارامین در پالئوسن بوده که اوایل ائوسن نیز پایان آن و آغاز حرکت بازگشتی می‌باشد. این فاز اثرات مهمی بر ناحیه داشته و آن را برای همیشه به نوارهای متعددی از قبیل نوار شمال گسل انجیلو، نوارهای بین گسل انجیلو و ترود و نوارهای جنوب گسل ترود تقسیم می‌کند. چنان‌که رسوبات دریایی ائوسن تا الیگوسن در پایین شمال گسل انجیلو بیش از ۳۰۰۰ متر ضخامت دارد. در نوار بین گسل انجیلو و گسل ترود که تقریباً فاصله‌ای کمتر از ۱۰ کیلومتر با نوار شمال گسل انجیلو دارد پس از کرتاسه هیچ نوع رسوبی دیده نمی‌شود. در نوار کوه-های شتر- ترود - چاه شیرین که کلاً از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند طبقات کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ نیز وجود دارد و بالاخره در جنوب گسل ترود ضخامت رسوبات دریایی از ۶۰۰ متر تجاوز نمی‌کند. از سوی دیگر فاز لارامین یک چین‌خوردگی نسبتاً ملایم نیز به همراه دارد چنان‌که هر جا ائوسن مستقیماً روی کرتاسه می‌نشینند با یک دگرشیبی زاویه‌ای همراه است.

حرکات تکتونیک پس از ائوسن شدت نسبتاً کمتری داشته است. حرکات آلپین میانی (پیرنه) به صورت عمومی بوده است؛ در حالیکه حرکات اواخر الیگوسن باعث چین‌خوردگی مختصری می‌شود که نشانه آن دگرشیبی زاویه‌ای بین سازند کم عمق قم و سازند قرمز پایینی در شمال گسله انجیلو می‌باشد. اواخر میوسن کم شدن عمق دریا و تشکیل سازند قرمز بالایی، مقدمه حرکاتی است که در اواخر پلیوسن باعث چین‌خوردگی طبقات می‌شود (آلپین پسین)؛ به طوری که نهشته‌های پلیو-پلیستوسن با دگرشیبی زاویه‌ای روی تمام طبقات قدیمی تر خود می‌نشینند.

پس از پلیستوسن باز حرکاتی که باعث چین‌خوردگی می‌شود آغاز به کار می‌کند به طوری که نهشته‌های کواترن و تراس‌های قدیمی روی یک کف چین‌خورده قرار می‌گیرند. این حرکات هرگز از فعالیت باز نمی‌ایستند چنان‌که آبرفت‌های کواترن با یک دگرشیبی آشکار روی تراس‌های قدیمی قرار می‌گیرند (علوی، ۱۹۷۲).

فصل سوم

زمین‌شناسی منطقه معدنی و سنگ‌شناسی

۳-۱- مقدمه

هدف از بررسی زمین‌شناسی این محدوده معدنی مطالعه واحدهای سنگی، روابط آن‌ها، زمین ساخت و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانی‌سازی است. این بررسی‌ها کمک بسیاری زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی و پی‌جویی ماده معدنی در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد. منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی نوار آتشفشانی - رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی بر اساس شرح نقشه زمین‌شناسی منطقه (نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی‌پور^۱، ۱۹۷۶) و مطالعات صحرایی انجام شده، پیکره‌های سنگی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آذرآواری به سن ائوسن میانی تا پایانی، ائوسن - الیگوسن و کواترنری می‌باشند. در این محدوده سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن دیده نمی‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی این منطقه تناوبی از گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری وابسته به میان لایه‌های رسوبی (مارن، ماسه‌سنگ، آهک‌های فسیل‌دار، مارن‌های گچ‌دار و توف) و رسوبات کویری کواترنری می‌باشد. از آنجائی که افق‌های کانه‌دار هم درون همین توالی واقع شده‌اند، لذا سعی شده است با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده کانه‌دار تهیه گردد (شکل ۳-۱). از این توالی ۵ پروفیل عمود بر روند لایه‌بندی نمونه برداری شد و از هر کدام ستون چینه‌ای مختلف رسم گردید که از تلفیق اطلاعات آنها ستون چینه‌شناسی از محدوده مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۳-۲). در این فصل ویژگی‌های واحدهای سنگی محدوده کانسار بندقیچی مورد بررسی قرار گرفته است.

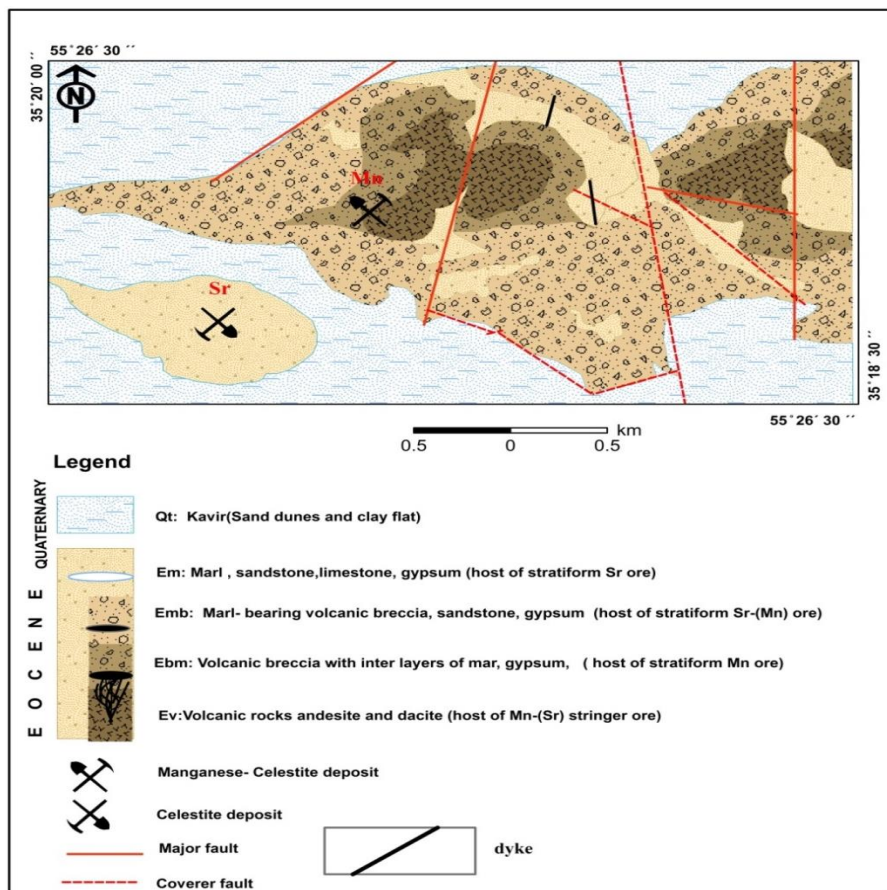
۳-۲- واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه

۳-۲-۱- ائوسن

ائوسن با فعالیت آتشفشانی آغاز می‌گردد که مربوط به جنبشهای کوهزایی لارامید است و در محدوده مورد مطالعه توالی ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب غالب آندزیتی با میان‌لایه‌های رسوبی با

¹ Alavi and Haghypour

ماهیت مارنی رخنمون دارد. پلاژیوکلاز، پیروکسن (اوژیت)، هورنبلند قهوه‌ای و بیوتیت کانیهای بارز سنگهای آندزیتی هستند. پلاژیوکلازها دگرسان شده به سریسیت و کانیهای مافیک به کلریت تبدیل شده‌اند. مارن گچ‌دار در این دوره زیاد می‌باشد. رسوبات کف دریایی نومولیت‌دار ائو-الیگوسن که معرف محیط کم‌عمق هستند. در این فصل به توالی سنگی حاکم بر محدوده معدنی به ترتیب از قدیم به جدید پرداخته خواهد شد (شکل ۳-۳) که عبارتند از: Ev: سنگ‌های آتشفشانی (آندزیتی)، Ebm: برش‌های آتشفشانی با میان لایه‌های مارنی، Emb: مارن‌های گچ‌دار حاوی قطعات برشی و کانی‌های منگنز، Em: مارن‌های گچ‌دار حاوی سلسیت و به میزان کم منگنز و آهک نومولیت دار.

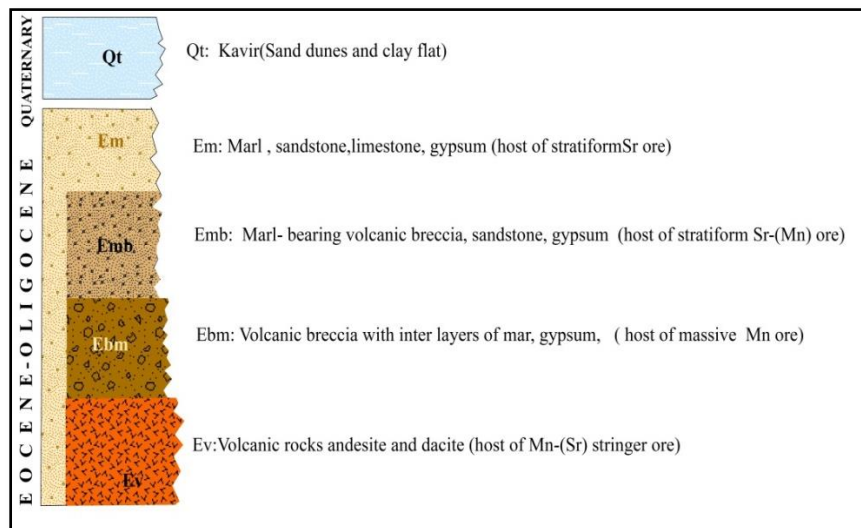


شکل ۳-۱- نقشه زمین شناسی محدوده معدنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای براساس موقعیت کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی تهیه شده است.

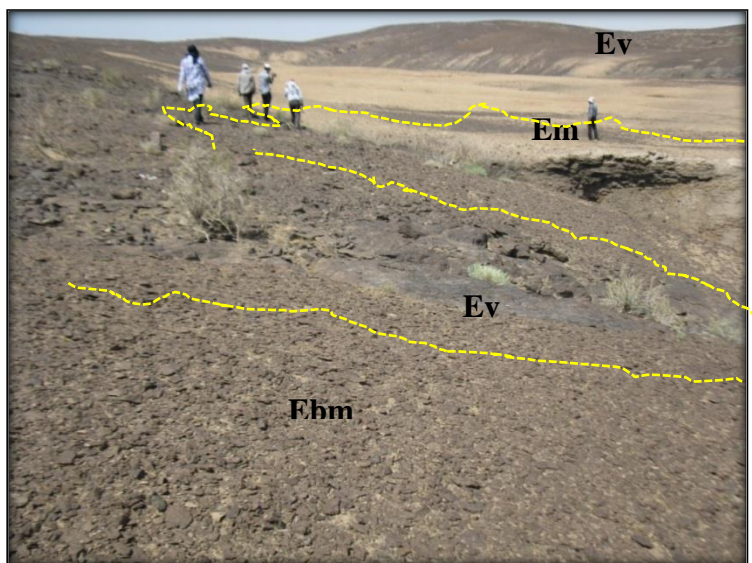
۳-۲-۱-۱-واحد سنگ‌های آتشفشانی (Ev)

واحد گدازه‌های Ev قدیمی‌ترین واحد موجود در منطقه مطالعاتی بوده و عمدتاً از آندزیت بازالیت، آندزیت پیروکسن‌دار و هورنبلنددار تشکیل شده است. ضخامت این واحد را به دلیل مشخص نبودن سطح زیرین نمی‌توان به طور دقیق تعیین کرد. در بین سنگ‌های مختلف این واحد، سنگ‌های آندزیت بازالیتی گسترش زیادی دارند. این سنگ‌ها ساخت جریانی نشان می‌دهند. گدازه‌های آندزیتی مزبور موجب ظهور مورفولوژی خشن در منطقه شده‌اند (شکل الف ۳-۴). این واحدهای آندزیتی به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن، هم‌روند با لایه‌های دیگر در محل کانسار مورد مطالعه رخنمون دارند. در مقیاس نمونه دستی رنگ آن سبز متمایل به قهوه‌ای می‌باشد که به دلیل آغشته شدن با منگنز رنگ سیاه هم نشان می‌دهند (شکل ب ۳-۴).

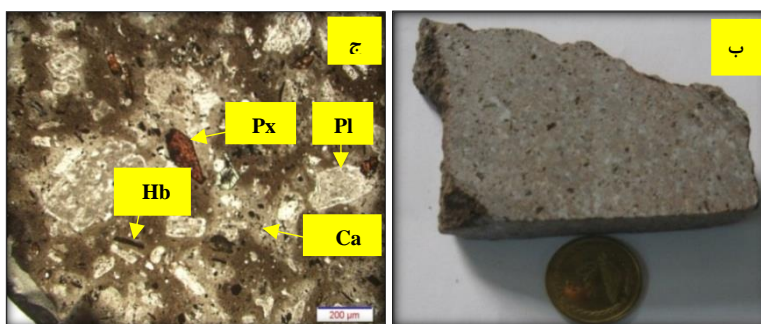
در این نمونه‌ها فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند به میزان فراوان قابل مشاهده‌اند. این سنگ‌ها بافت میکرولیتیک پورفیری و پورفیری دارند. پورفیرهای موجود شامل اوژیت - پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت می‌باشند، فضای بین این کانیها را میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای ریزدانه مافیک و سایر کانی‌های فرعی پرنموده‌اند (شکل ج ۳-۴).



شکل ۳-۲- ستون چینه شناسی عمومی از واحدهای سنگی ائوسن در محدوده مورد مطالعه در جنوب شرق شاهرود (بر اساس تلفیق مقاطع مختلفی که در واحد‌های محدوده پیمایش شده‌اند، رسم شده است).

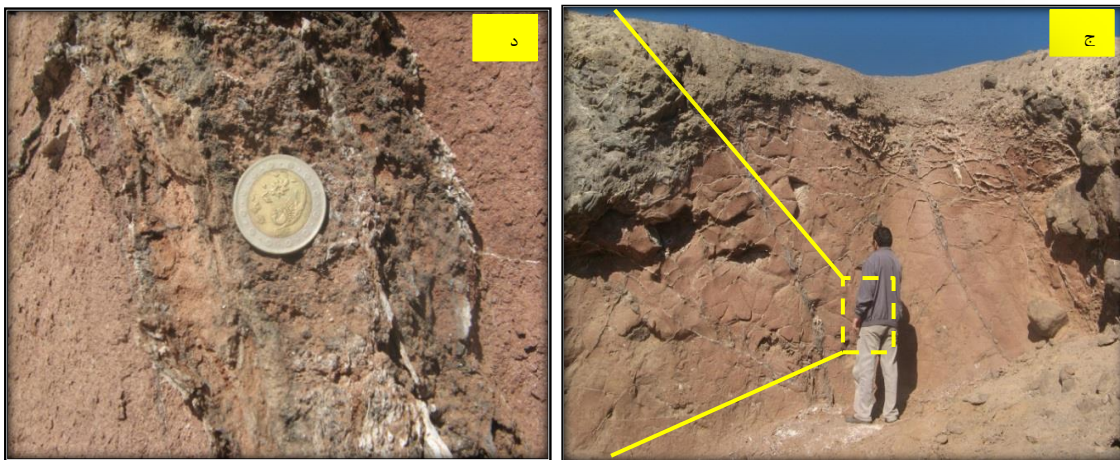
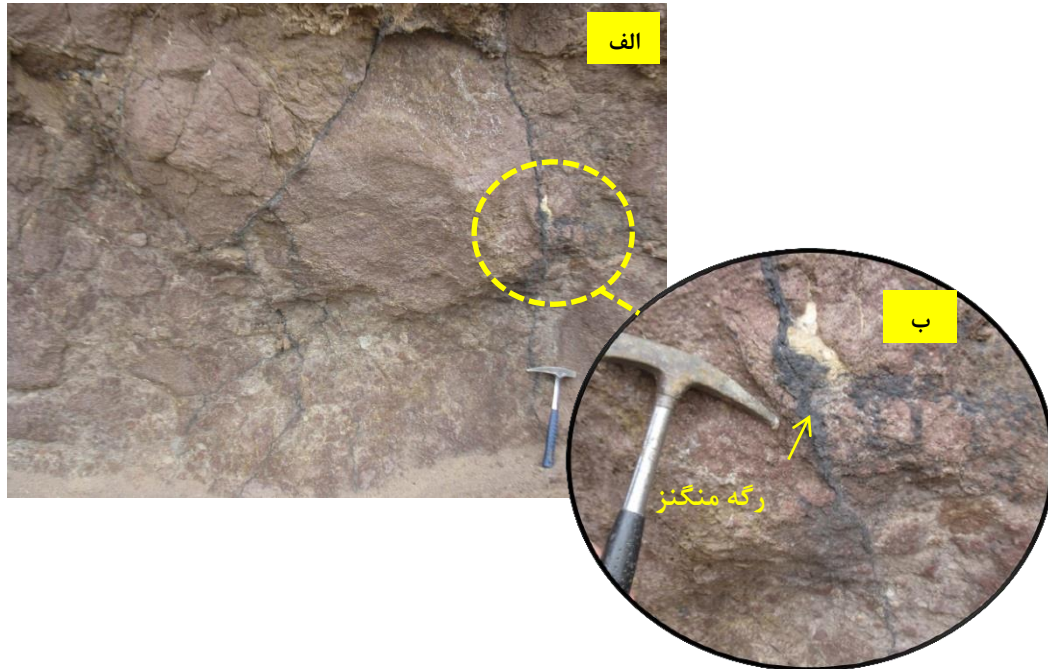


شکل ۳-۳- نمایی کلی از واحدهای موجود در محدوده معدنی (دید به سمت غرب)



شکل ۳-۴- الف: سنگهای آندزیتی در محدوده معدنی دید به سمت جنوب شرق)، ب- تصویری از حضور فنوکریست- های درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن در نمونه دستی سنگهای آندزیتی مشاهده می شود. ج - تصویر میکروسکوپی از همان گدازه های آندزیتی (الف) معرف حضور پیروکسن: (Px) ، پلاژیوکلاز: (Pl) ، هورنبلند: (Hb) و کلسیت: (Ca) در مقطع نازک .

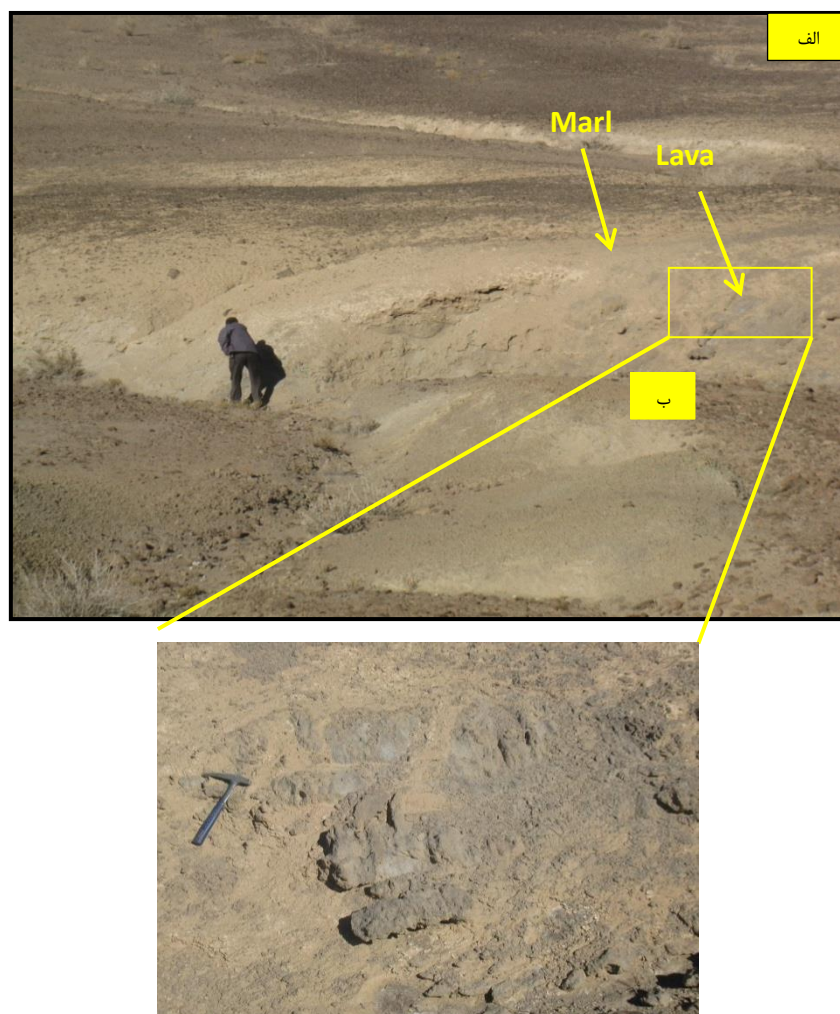
آندزیت‌ها تحت تأثیر تنش‌های کششی و شکستگی‌ها، درزه‌های عمودی و افقی زیادی دارند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- الف- نمای کلی واحد گدازه‌ای که میزبان کانه‌زایی منگنز و سلسیت به شکل رگه-رگچه‌ای می‌باشد و رگه‌های منگنز به وضوح در آن دیده می‌شوند. ب- تصویر نمای نزدیکی تفصیلی از رگه منگیزی که در شکل الف نشان داده شده است. ج- دور نمایی از رگه-رگچه‌های سلسیت به همراه منگنز و ژیپس موجود در واحد آندزیتی. د- تصویر نزدیک از شکل (ج)

با دور شدن از افق معدنی به سمت عمق از تعداد درزه‌های کانه‌دار کاسته می‌شود. تقریباً در محدوده کانسار بندقیچی تمامی درزه‌ها بوسیله کانی‌های منگنز و سلسیت پر شده‌اند. این واحد آندزیتی

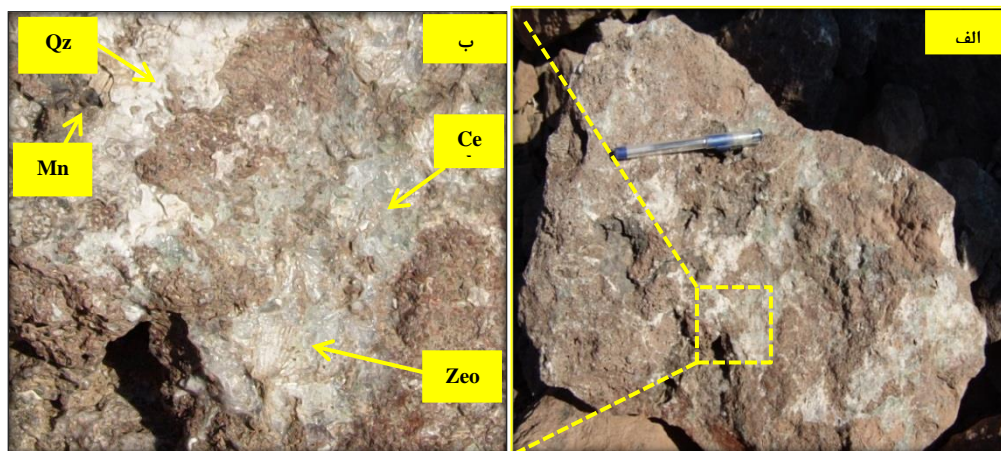
میزبان کانه‌زایی منگنز به شکل رگه - رگچه‌ای است، این واحد نسبت به واحد چینه‌سان برش‌های آتشفشانی حاوی منگنز کمتری است. رگه‌های سلسیتیت همراه کانیهای منگنز این واحد را قطع کرده- اند. در بعضی نقاط، واحد Ev2 به صورت میان لایه‌ای همراه مارن‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳-۶). آندزیت‌ها در نقاط معدودی فرسایش پوست پیازی نشان می‌دهند (شکل ۳-۷). کانی‌های ثانویه حاصل دگرسانی گدازه‌ها بوده و شامل زئولیت، کلسیت و کوارتز می‌باشند. زئولیت‌ها دارای ساخت شعاعی و رنگ سفید در رخساره رگه-رگچه‌ای می‌باشند (شکل ۳-۸)



شکل ۳-۶- الف- دورنمایی از مخلوط گدازه و مارن جایی که معرف فوران گدازه در درون رسوبات مارنی می‌باشد. ب- نمایی نزدیک از حضور گدازه در درون مارن‌ها.



شکل ۳-۷- الف و ب - نمایی از ساخت پوست پیازی در آندزیت‌ها



شکل ۳-۸- الف- نمونه دستی از بخش دگرسان شده ب- کوارتز (Qz) وزئولیت (Zeo) به‌عنوان کانی‌های ثانویه همراه با این نمونه دیده می‌شوند. کانه‌های اصلی منگنز (Mn) و سلسیت (Cel) سازندگان اصلی این نمونه هستند.

۳-۲-۱-۲- دایک‌های آندزیتی:

دایک‌های آندزیتی از نظر سنی همزمان با آندزیت‌های میزبان افق کانه‌دار می‌باشند. این دایک‌ها گسترش چندانی ندارند تنها در چند نقطه رخنمون دارند آنها دارای روند شمالی-جنوبی هستند. این دایک‌ها واحدهای رسوبی مارنی را قطع کرده‌اند. رنگ این دایک‌ها خیلی تیره است و به علت استحکام بیشتر نسبت به سنگ‌های اطراف برجسته‌تر دیده می‌شوند (شکل ۳-۹). ضخامت این دایک‌ها از ۰/۵ تا ۱/۵ متر تغییر می‌کند.

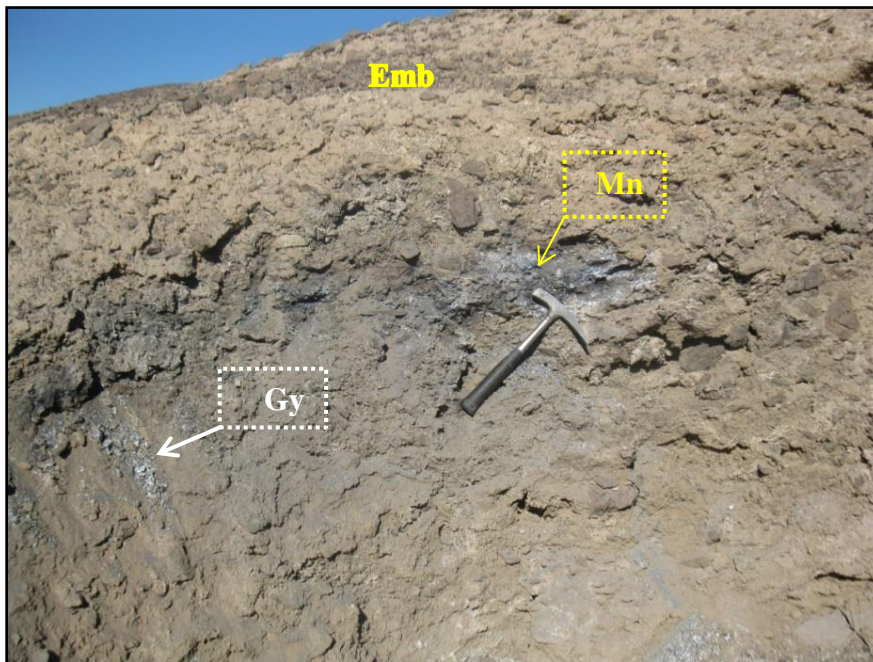
به منظور تشخیص کانه‌زائی احتمالی در دایک‌های مورد نظر، تعدادی مقطع صیقلی تهیه شد و مطالعه گردید و مشخص شد فاقد کانه‌زایی هستند.



شکل ۳-۹- نمایی از دایک‌های آندزیتی داخل واحدهای سنگی محدوده معدنی (دید به سمت شمال).

۳-۱-۲-۳- واحد برشهای آتشفشانی با میان لایه‌های مارنی (Ebm)

گدازه‌های برشی شده یا قطعه قطعه شده توسط خمیره‌ای از جنس کانیهای منگن‌دار و مارن و ماسه سنگ به هم ملحق شده‌اند. این افق میزبان منگنز تا حدودی مارن دارد، اما رفته رفته با کم شدن قطعات برشی کاملاً جای خود را به مارن‌هایی که به میزان زیاد حاوی سلسیت هستند، میدهد. سنگ‌های آتشفشانی (آندزیتی) برشی شده بیشترین میزان منگنز را با عیار بالا در خود جای داده‌اند، چرا که یک محیط مناسب برای ورود سیال کانه‌دار می‌باشند. شکل هندسی کانه‌زایی منگنز در این واحد به شکل برشی و توده‌ای می‌باشد. در واقع افق اصلی کانه‌زایی منگنز با این واحد سنگی مرتبط می‌باشد (شکل ۳-۱۰). در این واحد سلسیت تا حدودی دیده می‌شود اما قابل استحصال نیست.



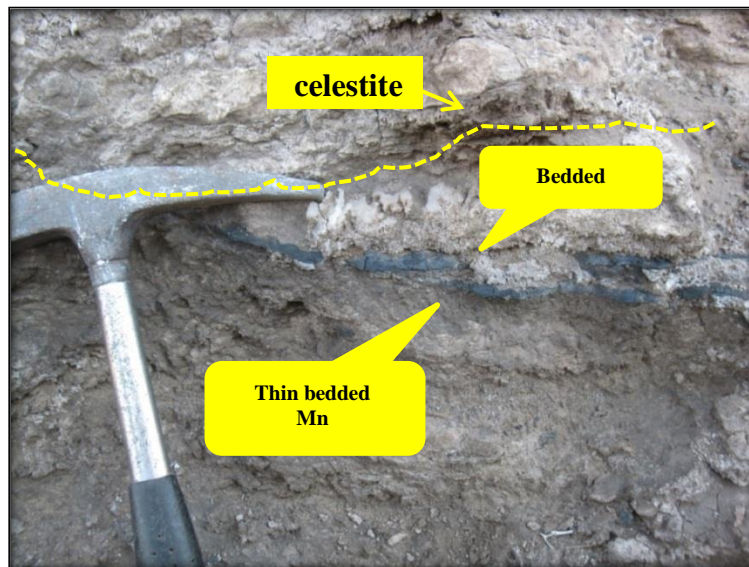
شکل ۳-۱۰- نمایی از واحد Emb که قطعات آتشفشانی در آن به وضوح دیده می‌شوند و منگنز همراه ژئوپس درون مارن‌ها قابل مشاهده‌اند.

۳-۲-۱-۵- واحد مارن‌های گچ‌دار حاوی سلسیت و به میزان کم آهک نومولیت‌دار (Em)

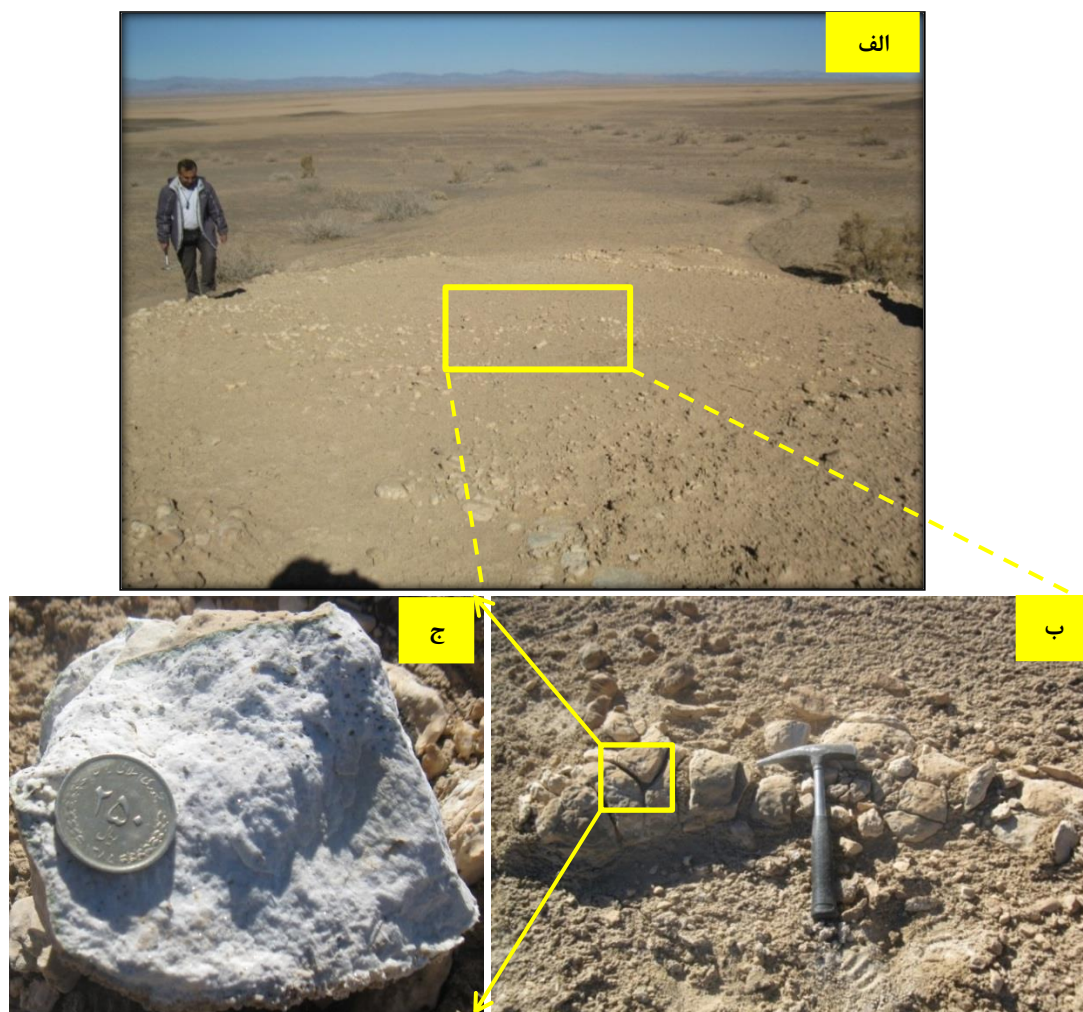
این واحد با رنگ خاکستری تا کرمی روشن به صورت لایه لایه با تناوبی از مارن‌های ژئوپس‌دار، سلسیت و منگنزدار و همچنین مارن‌های حاوی آهک نومولیت‌دار می‌باشد که با مورفولوژی ملایم در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود. در بین مارن‌ها لایه‌های گچی، بلورهایی از گچ، لایه‌های سلسیتی، لایه‌های منگنز و عدسی‌های منگیزی نیز به وفور دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۱). این واحد در بخش نزدیک به کانه‌زایی منگنز، به رنگ خاکستری با میان لایه‌های منگنز زیاد می‌باشد که همان رخساره چینه‌سان غنی از منگنز را تشکیل می‌دهد. این واحد گچ و سلسیت به میزان متوسط دارد (شکل ۳-۱۲) و در بخش‌های دور از کانه‌زایی منگنز و نزدیک به محدوده کانسار سلسیت حاوی عدسی‌های نسبتاً ضخیم سلسیت می‌باشد که تحت تأثیر فشارهای دیاژنزی حالت بودیناژ پیدا کرده‌اند. کانسنگ سلسیت در نمونه دستی به صورت دانه شکری و در زیر میکروسکوپ به صورت بلورهایی خود شکل سلسیت شبیه بلورهایی یخ می‌باشند که بلورهایی سوزنی شکل منگنز در آن به صورت پراکنده دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۳).



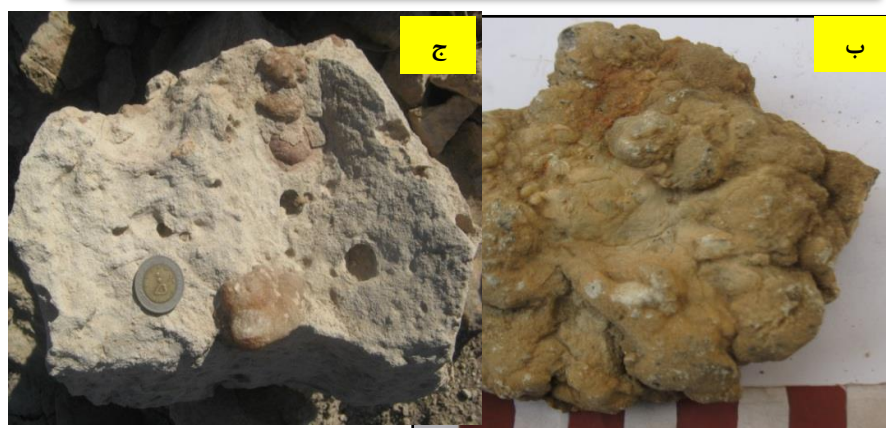
شکل ۳-۱۱- الف- مارن گچ‌دار که میزان گچ در آن بسیار بالاست (ژئپس‌ها نسل اوایه می‌باشند). ب- مارن‌هایی که ژئپس‌های بلوری نسل دوم (ورقه‌ای شکل) درون آن‌ها دیده می‌شود.



شکل ۳-۱۲- نمایی از مارن‌های حاوی لایه‌های نازک منگنز و ژئپس و سلسیت را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۳- الف- نمایی دور از مارن میزبان سلسیت (دید عکس به جنوب غرب). ب- نمایی نزدیک از محدوده مشخص شده در شکل (الف) که سلسیت‌ها بودینه شده‌اند. ج- نمونه دستی از سلسیت دانه شکری در بخش غرب محدوده معدنی این واحد کاملاً میزبان کانسار سلسیت می‌باشد که در آن نودول‌های سلسیت و بلورهای سلسیت درون مارن‌ها و به میزان ناچیزی منگنز دارند (شکل ۳-۱۴ و ۳-۱۵).



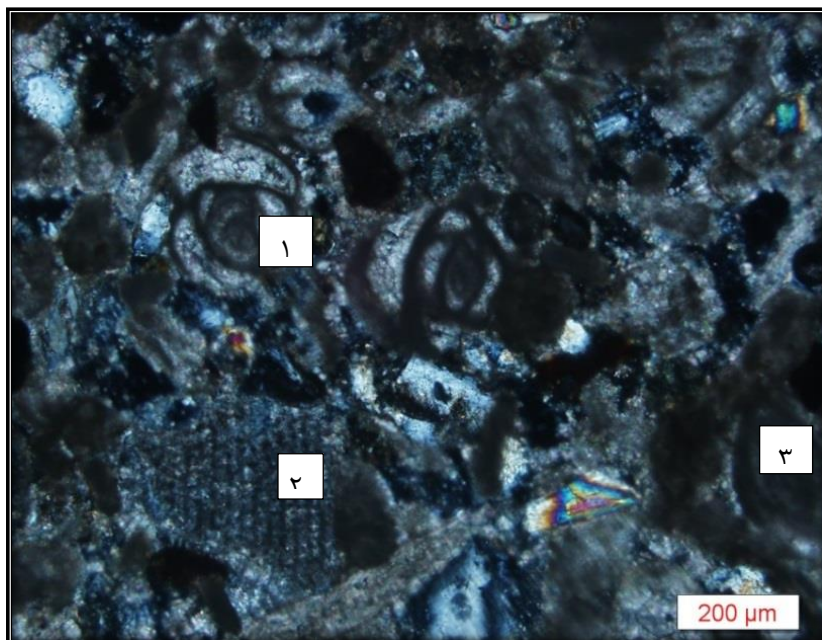
شکل ۳-۱۴- الف نمایی از رخنمون واحد مارنی که نودولهای سلسیتیت آغشته به منگنز در داخل آن به وضوح دیده می‌شوند. ب- نمونه دستی از نودول‌های سلسیتیت که با منگنز پوشیده شده‌اند و در شکل الف نشان داده شده‌اند. ج - نمونه دستی از مارنی که سلسیتیت درون آن به شکل نودول دیده می‌شود.



شکل ۳-۱۵ - الف - نمایی از مارنهایی که میزان کانه‌زایی سلسیت می‌باشند. ب-سلسیت‌هایی که به صورت بلور متبلور شده و به میزان کم حاوی منگنز می‌باشند. ج- تصویر نمونه دستی واضحی از سلسیت بلوری را نشان می‌دهد. این واحد در بخشی که میزان کانسار سلسیت است آهک‌های نومولیت‌دار هم دارد که به رنگ کرم تا خاکستری در بخش غربی منطقه‌ی مورد مطالعه درون مارن‌ها رخنمون دارند و بوسیله‌ی واحدهای آبرفتی کواترنری محدود شده‌اند. این واحد بصورت بین انگشتی با واحد آندزیتی قرار گرفته که نشان

دهنده فوران گدازه در محیط آبی و بر روی مارن‌ها می‌باشد. در این واحد، بقایای روزن‌داران کف‌زی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۶) که عبارتند از

Discocyclina cf *Nummulites*. cf.; *Triloculina* sp.; *Coskinolina* sp; *Alveolina* sp:
حضور فسیل‌های این روزن‌داران حکایت از ته نشست رسوبات در محیط حاشیه‌های دریایی کم عمق می‌باشد (طاهری و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به مطالعه‌ی مقاطع میکروسکوپی و پهنه‌های مشاهده شده در صحرا سن توالی مورد مطالعه به ائوسن میانی نسبت داده می‌شود. این واحد توسط نهشته‌های رسوبی کواترنر پوشیده می‌شود.

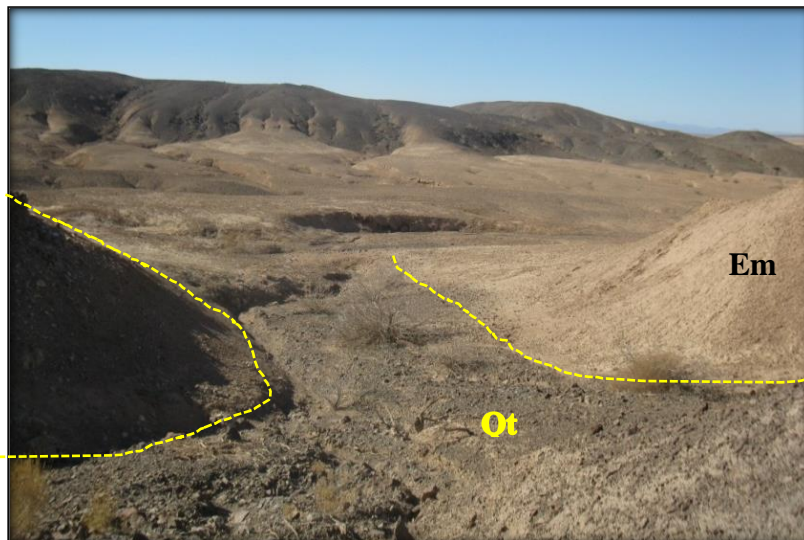


شکل ۳-۱۶- تصویر مقطع میکروسکوپی میکروفسیل‌های موجود در واحد آهک نومولیت‌دار محدوده مورد مطالعه
۱- *Triloculina* sp - ۲ *Coskinolina* sp - ۳ *Discocyclina* cf

۳-۲-۲- واحد Qt: پادگانه‌های آبرفتی کواترنری

این واحدها عمدتاً در اثر تغییر سطح از دریا (بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و یا افزایش دبی رودخانه)، بوجود آمده‌اند. بیشتر در مسیر رودخانه گسترش دارند و اغلب به صورت افقی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۷). پادگانه‌های آبرفتی از رسوبات دانه درشت با جورشدگی ضعیف تشکیل شده‌اند و شامل قلوه

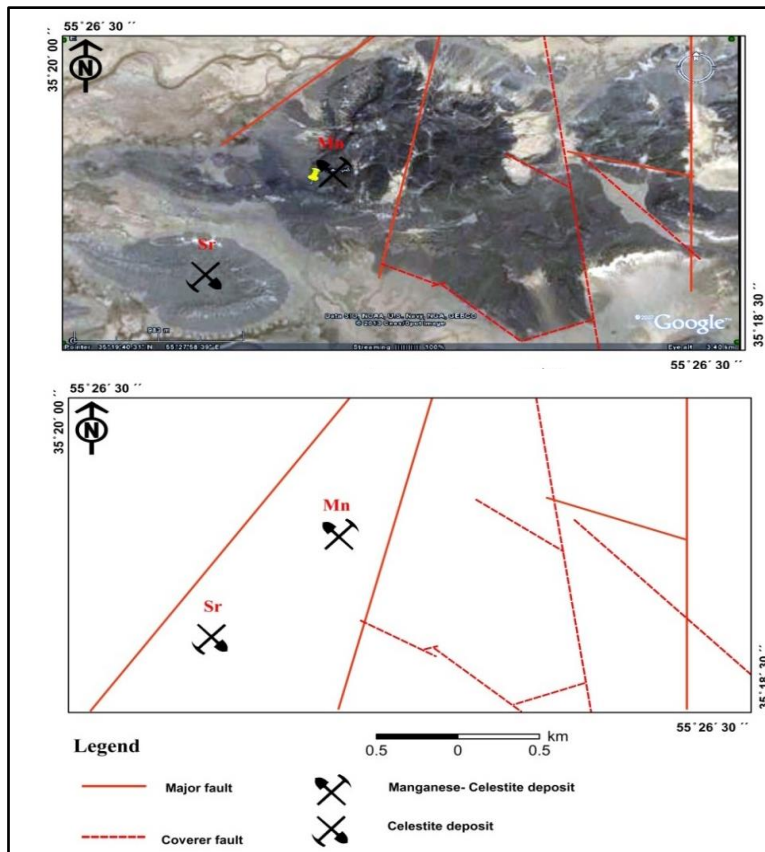
سنگ‌های واحدهای قدیمی‌تر، خاک رس، رسوبات تراس‌های رودخانه‌ای (شامل سنگ‌ریزه، ماسه و رس)، رسوبات آبرفتی جوان (شامل رس و ماسه) و رسوبات بستر دشت‌ها می‌باشند.



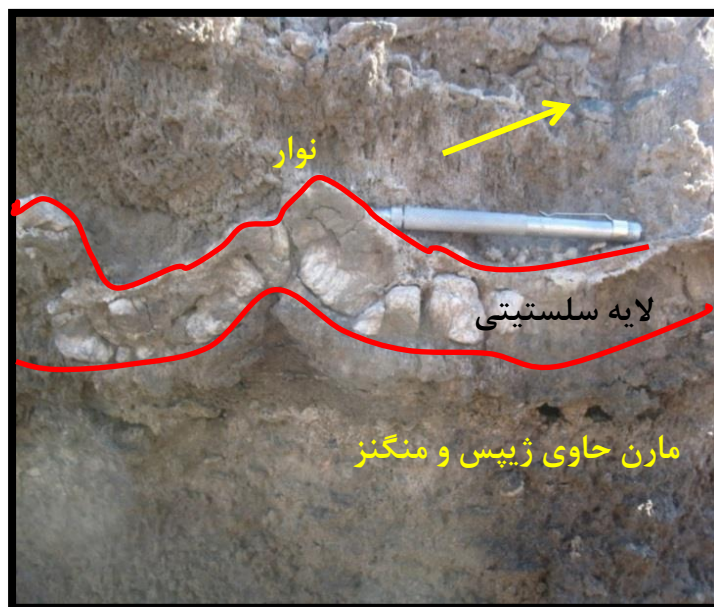
شکل ۳-۱۷- نمایی از رسوبات جوان کواترنری (دید عکس به سمت جنوب)

۳-۳- تکتونیک محدوده معدنی:

گسل‌ها و شکستگی‌ها مهمترین عامل ساختاری در زمین شناسی منطقه هستند که در اثر حرکات زمین ساختی، شکل و زمین ریخت شناسی منطقه را کنترل می‌کنند. روند گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه عموماً نظم مشخصی ندارند. اغلب گسل‌ها در این محدوده مورد مطالعه تقریباً شمالی - جنوبی می‌باشند. این گسل‌ها عمدتاً امتداد لغز چپ‌گرد هستند. در این محدوده گسل‌های مذکور موجب جابجا شدگی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (آندزیتی و داسیتی) و سنگ‌های رسوبی ائوسن - الیگوسن (مارن، سنگ آهک، کنگلومرا و شیل و ماسه سنگ) گردیده است (شکل ۳-۱۸). گسل‌های منطقه ارتباط تنگاتنگی با کانه سازی دارند. در نتیجه‌ی فعالیت‌های تکتونیکی، خروج محلول‌های حاوی منگنز و استرانسیم از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها منجر به کانه زائی منگنز- سلسیت در سنگ‌های آندزیتی و برشهای آتشفشانی شده است. در این محدوده معدنی چین خوردگی‌هایی نیز دیده می‌شوند، که حتی در بعضی نقاط ساخت بودیناژ هم ایجاد کرده است (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹- نمایی از گسل‌های محدوده معدنی بر روی تصویر ماهواره‌ای از محدوده مورد مطالعه



شکل ۳-۲۰- چین خوردگی‌ها و تشکیل ساخت بودیناژ در لایه سلسنتیت محدوده معدنی را نشان می‌دهد.

۳-۴- فعالیت‌های آذرین در منطقه

از شاخص‌ترین پدیده‌های آذرین در محدوده معدنی، فعالیت ماگماتیسم به صورت گدازه‌های آندزی-بازالتی و دایک‌هایی از جنس آندزیت تا بازالت می‌باشد، که در واحدهای توالی آتشفشانی رسوبی و رسوبی ائوسن به‌طور آشکار دیده می‌شود (شکل ۳-۲۱). رنگ این واحد سبز تیره تا خاکستری می‌باشد که در بخش زیرین در اثر شکستگی‌ها به صورت پهنه استرینگر در آمده است و در بخش بالا در اثر افت فشار به صورت قطعات برشی آندزیتی قابل مشاهده‌اند. این واحد دچار دگرسانی کلریتی شده است.

فصل چهارم

کانه زاپی و دگرسانی

۴-۱- مقدمه

پهنه ایران مرکزی کانه‌زایی فلزی و غیرفلزی فراوان دارد که در جدول (۴-۱) به چند مورد در منطقه اطراف شاهرود اشاره شده است. در این میان کانه‌زایی منگنز بسیار قابل توجه است. علی‌رغم این تنوع، کار چندانی در منطقه ترود در جنوب شاهرود صورت نگرفته است. اما در چند سال اخیر فعالیتهای اکتشافی و استخراجی ضعیفی شروع شده است که امید است نتایج این فعالیتهای در آینده نزدیک راه‌گشای پی‌جویی‌های بعدی باشد.

در این فصل سعی شده است در مورد رخساره‌های کانه‌زایی و دگرسانی که در این محدوده معدنی رخنمون دارند توضیح داده شود.

جدول ۴-۱- اسامی چند اندیس و کانسار مطالعه شده در منطقه جنوب شاهرود

نام کانسار	تیپ کانی‌سازی	نویسندگان
طلا (مس) رگه‌ای (باغو)	اپی ترمال	راستاد و همکاران، ۱۳۷۹
طلا- فلزات پایه (گندی)	اپی ترمال	فرد و همکاران، ۱۳۸۵
مس رگه‌ای، سرب و روی (چاه موسی)	گرمابی	امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷
سرب - نقره (روی) خانجار	دره می سی سی پی	مهری و همکاران، ۱۳۸۷
مس علی نرخه	رسوبی	شاهوردی، ۱۳۸۹
پلی متال (چشمه حافظ)	اپی ترمال حدواسط	مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹
آهن لجنه جنوب شرق شاهرود	اسکارن	تاتاری و همکاران، ۱۳۹۱

۴-۲- رخداد کانه‌زایی منگنز - سلسیت در محدوده معدنی

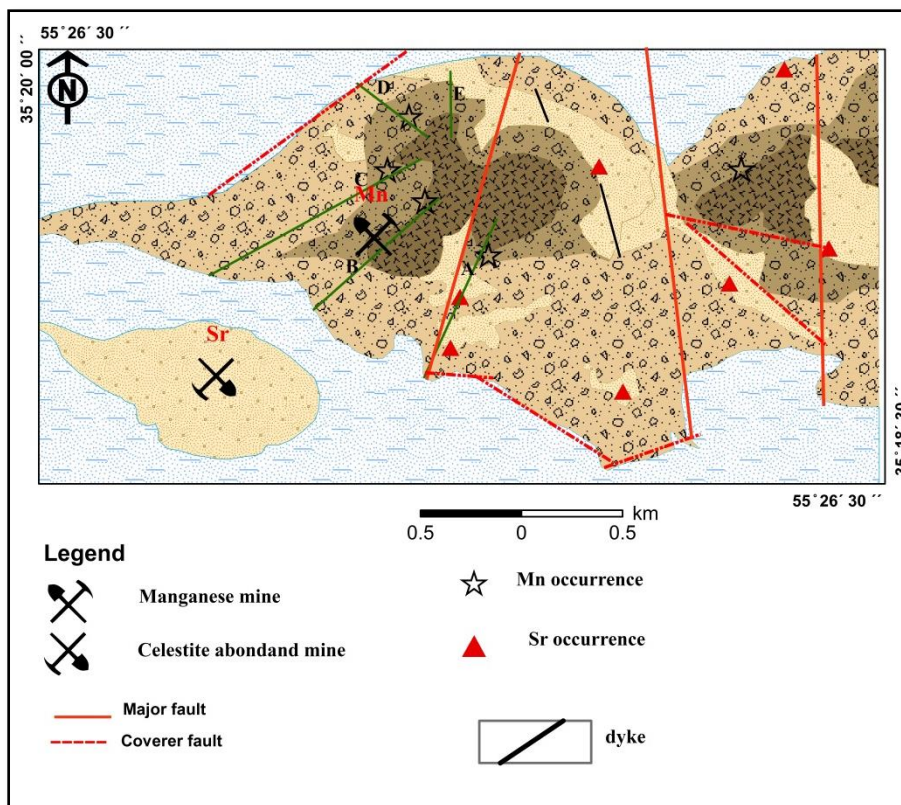
کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی واقع در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن در سنگ میزبان‌های متفاوت رخ داده است که بر اساس موقعیت چینه‌شناسی و به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از :

۱- کانسنگ منگنز- سلسیت با سنگ میزبان آندزیتی

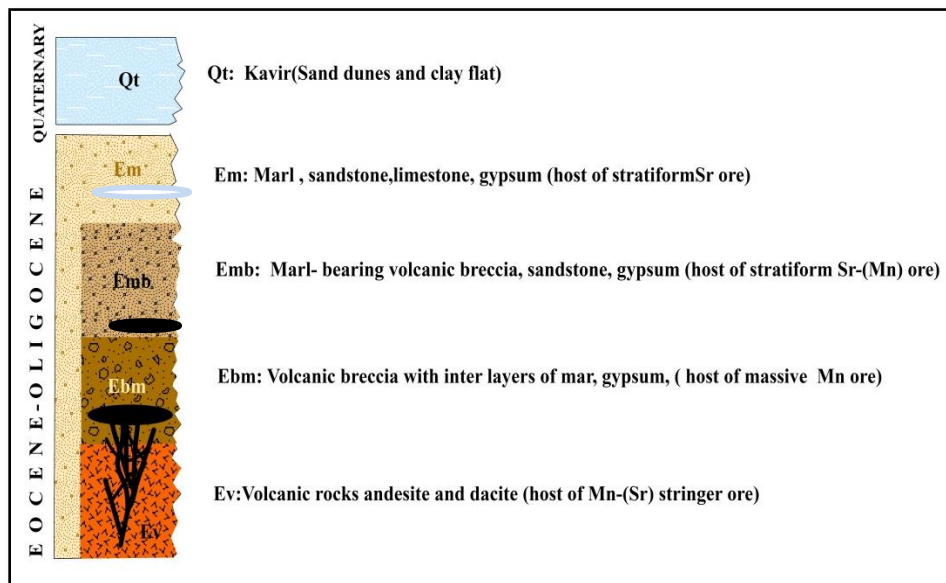
۲- کانسنگ منگنز با سنگ میزبان برشهای آندزیتی و مارن‌ها

۳- کانسنگ سلسیت- منگنز با سنگ میزبان مارن و ژپس

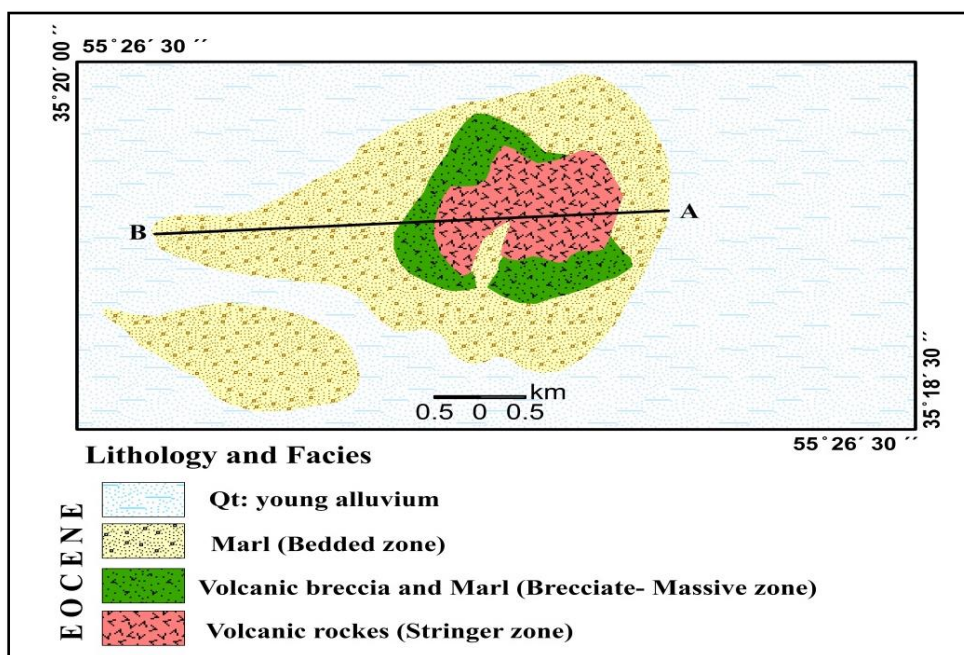
بر اساس پیمایش‌های انجام شده در محدوده معدنی و حفاری‌های صورت گرفته سه افق کانسنگی فوق تشخیص داده شد. در افق زیرین هم منگنز و هم سلسیت درون سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی دیده شدند. در بخش سنگ‌های آتشفشانی برشی شده میران منگنز بسیار بالاست که در آن منگنز به صورت برشی- توده‌ای و لایه‌ای ته‌نشست کرده است و افق اصلی کانه‌زایی محسوب می‌شود. با دور شدن از منشأ کانه‌زایی منگنز درون مارن‌ها اندیس‌های زیادی از سلسیت مشاهده می‌شوند که در یک فاصله کم کانسار سلسیت را پدید آورده‌اند (اشکال ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴).



شکل ۴-۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه که کانسارها و اندیس‌های منگنز و سلسیت و همچنین سینه- کارهای (A, B, C, D, E) بر روی آن نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی ائوسن در محدوده مورد مطالعه در جنوب شاهرود، این ستون بر اساس تلفیق مقاطع مختلف زمین شناسی که پیمایش شده است، رسم گردیده است. کانه‌زایی منگنز و سلسیت در سه افق نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- نمایی شماتیک از کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی و رخساره‌های سه‌گانه کانه‌دار آن فعالیت‌های معدنکاری در کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی بصورت ترانسه عمود بر امتداد روند واحدهای سنگی محدوده صورت گرفته است. کانه‌زایی در همه توالی‌های سنگی با ژئومتری‌های مختلف و عیار متفاوت دیده می‌شود که در ادامه این ویژگی‌ها به تفصیل شرح داده خواهد شد.

کانه‌زایی اکسیدی و سولفاتی در محدوده معدنی بندقیچی با شکل هندسی رگه-رگچه‌ای^۱ در زیر و برشی- توده‌ای^۲ در حاشیه و همچنین لایه‌ای^۳ که همروند با لایه‌بندی محدوده است، در بالا قرار دارد. گسترش طولی این کانسار تقریباً ۶ کیلومتر و عرض آن بطور تقریبی ۱/۷ کیلومتر می‌باشد. بخش رگه- رگچه‌ای و افق برش- توده‌ای ظاهری چینه‌کران دارند ولی افق چینه‌سان (لایه‌ای) به صورت همروند با لایه‌بندی سنگ درونگیر می‌باشد. در افق چینه‌سان لایه‌های کانه‌دار گاهی ممتد و گاهی منقطع به شکل عدسی‌های همروند با لایه‌های سنگ درونگیر می‌باشد.

۳-۴- رخساره‌های کانه‌دار

این کانسار بر اساس بافت ماده معدنی و عیار و همچنین شکل و کانی‌شناسی آن به سه رخساره متفاوت قابل تقسیم است.

۱- رخساره رگه-رگچه‌ای

۲- رخساره برشی و توده‌ای

۳- رخساره لایه‌ای

۳-۴-۱- رخساره کانسنگ رگه- رگچه‌ای^۴

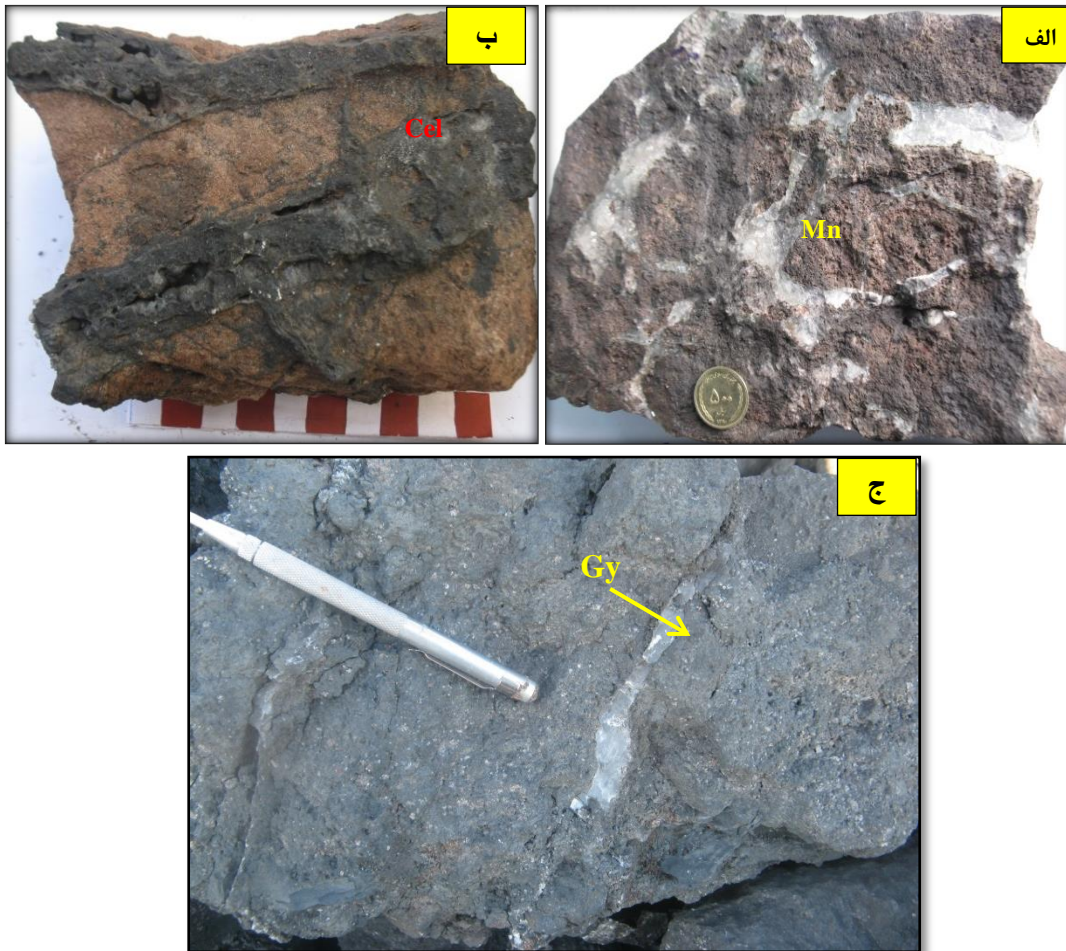
رخساره رگه- رگچه‌ای در کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی میزبانی سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی گسترش محدودی دارد و در زیر رخساره برشی - توده‌ای قرار دارند در این رخساره هم رگه‌های منگنز و هم رگه‌های سلسیتی را می‌توان مشاهده کرد. رگه‌های منگنز را رگه‌های اکسیدی و رگه‌های سلسیتی را رگه‌های سولفاتی می‌توان در نظر گرفت که لامیناسیون سنگ میزبان را قطع کرده‌اند. این رگه-رگچه‌ها نظم ندارند و حاوی کانه‌های پیرولوویت، پسیلوملان و سلسیت می‌باشند رگه‌های ظریف در اطراف و درون رگه‌های اصلی دیده می‌شوند (شکل ۴-۴).

¹ stringer zone

² Brecciated and massive

³ Bedded

⁴ Stringer zone



شکل ۴-۴. الف- نمونه دستی از رگه‌های منگنز از پهنه استرینگر، ب - نمونه دستی از رگه‌های سلسیت (سفید) در رخساره رگه-رگچه‌ای، ج- تصویر نمونه دستی از رگه-رگچه‌های ژیپس در رخساره رگه-رگچه‌ای سیاه منگنز (Mn) و رگه‌های سفید سلسیت (Cel) و ژیپس (Gy) را نشان می‌دهند.

در این رخساره براساس پاراژنز می‌توان سه زیر رخساره شناسایی کرد:

الف- رگه-رگچه‌های غنی از منگنز

ب- رگه-رگچه‌های غنی از سلسیت

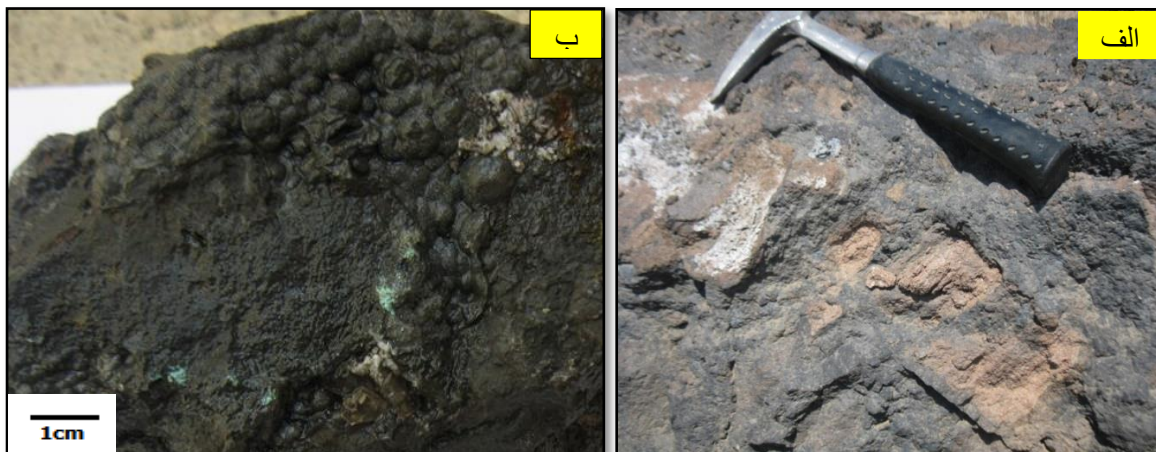
ج- رگه-رگچه‌های غنی از ژیپس

رگه-رگچه‌های غنی از منگنز که کانی‌های منگنز (پیرولوزیت و پسیلوملان) و دیگر کانه‌های منگنز را در خود دارد. زیر رخساره دیگر رگه-رگچه‌هایی که ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها سولفات استرانسیم یا همان سلسیت است. زیر رخساره ژیپس که ذکر آن رفت همراه رگه‌های منگنز و سلسیت در پهنه

استرینگر مشاهده می‌شود. این هم‌رشدی نشان می‌دهد که هردو عنصر منگنز و استرانسیم از آندزیت-ها شسته شده و از شکستگی‌های گسلی به وسیله سیالات گرمابی بالا آمده‌اند. در این رخساره پیرولوژیت و مگنتیت بصورت هم‌رشدی با هم دیده می‌شوند. این هم‌رشدی نشان می‌دهد مگنتیت در این رخساره به شکل اولیه ته‌نشست کرده است.

۴-۳-۲- رخساره کانسنگ برشی - توده‌ای

فرایند برشی شدن در بالا و اطراف رگه-رگچه‌های اکسیدی و سولفاتی منگنز - سلسیت بخوبی دیده می‌شود که در آن کانی‌های منگنز اطراف این قطعات قرار گرفته‌اند. کانی‌های منگنز بصورت شکافه پرکن و سیمانی همراه با قطعات آندزیتی در این رخساره دیده می‌شوند. در بالای بخش برشی این رخساره بخش ضخیم توده‌ای و عیار بالای کانسنگ منگنز قرار دارد (شکل ۴-۵). در این رخساره عیار منگنز بسیار بالاست، در حالیکه میزان سلسیت بسیار پایین است. در این رخساره فقط ماده معدنی منگنز در حال استخراج می‌باشد.

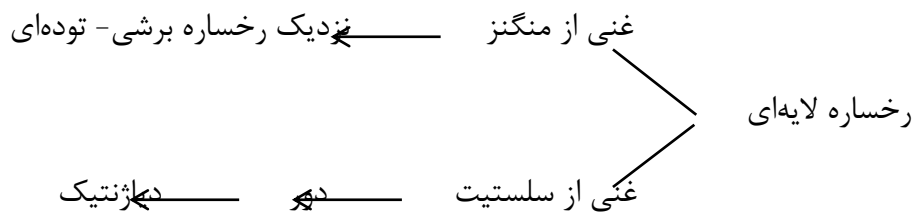


شکل ۴-۵- الف- نمایی از رخساره برشی- توده‌ای. ب- عکس نمونه دستی از همان رخساره کانسنگ برشی -توده‌ای می‌باشد. ج- تصویر میکروسکوپی کانی‌های منگنز به شکل توده‌ای (پیرولوژیت و پسیلوملان همراه هم) دیده می‌شود.

۴-۳-۳- رخساره کانسنگ لایه‌ای^۱

این رخساره در کانسار بندقیچی شامل دو زیر رخساره می‌باشد (شکل ۴-۶)

¹ Bedded ore facies



شکل ۴-۶- دورنمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای در محدوده مورد مطالعه

این رخساره در کانسار بندقیچی نسبت به رخساره کانسنگ برشی- توده‌ای ضخامت بیشتری دارد، ولی ضخامت کانسنگ منگنز در این رخساره کمتر است. کانسنگ منگنز در این رخساره لایه‌های نازک و عدسی‌های کوچک دارد (شکل ۴-۷).

در واقع میزان منگنز در این رخساره نسبت به رخساره برشی- توده‌ای پایین است در عوض در این رخساره با دور شدن از رخساره رگه-رگچه‌ای میزان سلسیت زیادتر شده به طوری که در اثر دیپلانتیک به صورت فابریک توده‌ای و نودولی با بافت شکری در آمده است (شکل ۴-۸) و کمی دورتر به شکل بلورهای سلسیت قابل مشاهده است.

رخساره کانسنگ لایه‌ای از مرکز به سمت حاشیه پس از کانسنگ برشی- توده‌ای در مقطع طولی کانسار به وضوح دیده می‌شود. جهت اکتشاف در این کانسار حفاری‌هایی در چند نقطه به شکل ترانشه انجام شده است (شکل ۴-۹).

ضخامت این رخساره با دور شدن از منشأ تشکیل کانسار یا پهنه استرینگر افزایش پیدا می‌کند، ولی میزان منگنز کاهش می‌یابد. این کاهش ضخامت کانسنگ به دلیل کاهش میزان کانی‌های گرمابی نسبت به کانی‌های تشکیل دهنده سنگ میزبان می‌باشد. در این رخساره کانی‌ها به صورت لامینه، نواری، دانه‌پراکنده و ... همراه با دیگر کانی‌های سنگ میزبان تشکیل شده‌اند. بافت‌های فوق‌الذکر سیمایی رسوبی به کانسنگ این رخساره داده است. در واقع مارن‌هایی که میزبان کانسنگ در این رخساره هستند به‌طور متناوب از لامینه‌های کانسنگ منگنز، سلسیت و لامینه‌های گانگ و مارن می‌باشند که این پدیده شرایط رسوبی در هنگام تشکیل این لامینه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- الف نمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای را نشان می‌دهد. ب- نمونه دستی از همان پهنه که نزدیک پهنه استرینگر می‌باشد و میزان منگنز بالایی دارد.



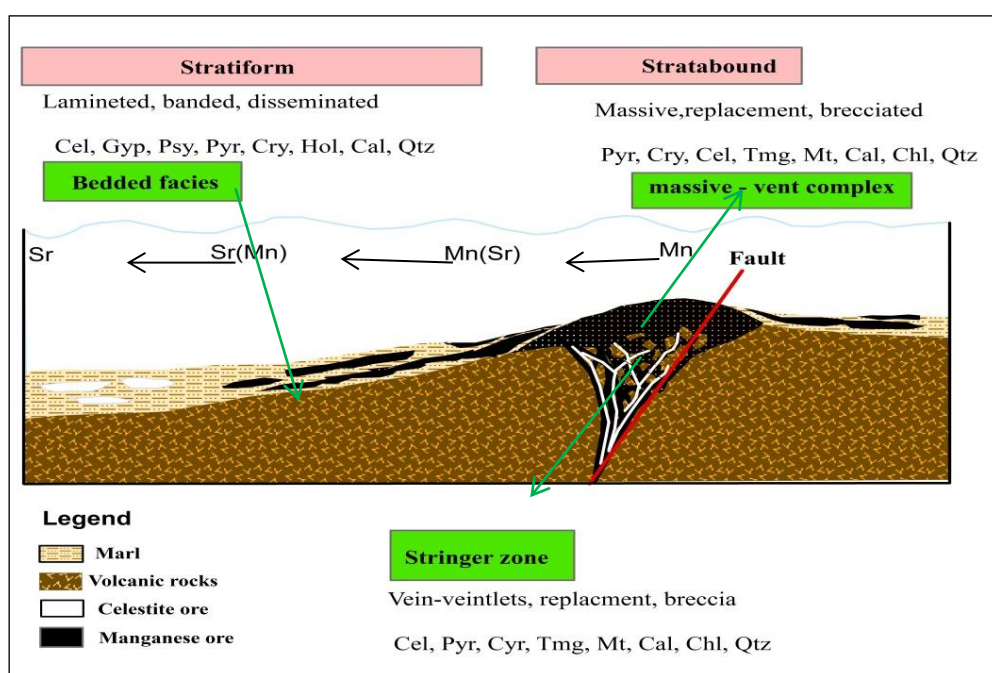
شکل ۴-۸-الف- نمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای که از پهنه استرینگر دور است و میزان سلسیت بالایی دارد. ب- نمونه دستی سلسیت شکل(الف)



شکل ۴-۹- حفاری‌هایی که جهت اکتشاف در رخساره لایه‌ای ایجاد شده است. در این عکس نوارهای روشن تناوبی از مارن، ژپس و سلسیت می‌باشند و نوارهای سیاه منگنز را نشان می‌دهد.

۴-۴- تغییرات قائم و جانبی ساخت و بافت و کانی‌شناسی رخساره‌های کانه‌دار

تغییرات کانی‌شناسی و نحوه کانی‌سازی، بافت و ساخت، همراهی نزدیکی با تغییرات و میزان و نوع عناصر فلزی و غیرفلزی (فصل ژئوشیمی) در کانسار بندقیچی را نشان می‌دهد. این منطقه بندی بیشتر به صورت تغییرات جانبی است که با دور شدن از رخساره رگه- رگچه‌ای و کانسنگ برشی- توده‌ای دیده می‌شود. این تغییرات در رخساره‌ها را با تغییرات بافتی در محدوده معدنی می‌توان شرح داد. در مرکز کانسار، بافت رگه- رگچه‌ای شامل رگه‌های عریض منگنز و سلسیت در عمق می‌باشد و به طرف بالا رگه- رگچه‌های نازک که تعدادشان زیادتر می‌شود، دیده می‌شوند شکل (۴-۱۰) و جدول (۴-۲).



شکل ۴-۱۰- نمایی شماتیک از رخساره‌های کانه‌دار منگنز - سلسیت بندقیچی و ساخت و بافت و کانی‌شناسی آن (پیرولوزیت: Pyr، پسیلوملان: Psy، هولاندیت: Hol، کریپتوملان: Cry، تیتانومگنتیت: Tmg، مگنتیت: Mt، سلسیت: Cel، کلسیت: Cal، کوارتز: Qtz، کلریت: Chl)

جدول ۴-۲- ساخت و بافت و کانی‌شناسی رخساره‌های کانه‌دار محدوده معدنی بندقیچی

دگرسانی	ساخت و بافت	کانی‌شناسی	رخساره
—————	لامینه‌ای، نواری و دانه‌پراکنده	پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، کریپتوملان، سلسیت، کلسیت، کوارتز	لایه‌ای
کلریتی و سربستی-آرژیلیتی	توده‌ای، برشی و جانیشینی	پیرولوزیت، پسیلوملان، مگنتیت، تیتانومگنتیت، سلسیت، کلسیت، کلریت، کوارتز	توده‌ای- برشی
کلریتی، سربستی-آرژیلیتی	رگه-رگچه‌ای، برشی و جانیشینی	پیرولوزیت، پسیلوملان، مگنتیت، تیتانومگنتیت، سلسیت، کلسیت، کلریت، سربست، کوارتز	رگه-رگچه‌ای

در این رخساره جایگیری منگنز و سلسیت در رگه‌ها باعث برشی شدن سنگ میزبان گردیده است و ایجاد بافت (Vent complex) کرده است. در بخش فوقانی رخساره رگه-رگچه‌ای و بافت برشی، برخورد رگه‌ها درون سنگ میزبان آندزیتی باعث بهم‌ریختگی و ناهمگون شدن سیمای کانه‌زایی شده و میزان کانی‌سازی به شدت بالا رفته که در واقع رخساره توده‌ای پدید آمده است. در رخساره توده‌ای بافت‌های جانیشینی - برشی به صورت متراکم و غیر متراکم به وضوح دیده می‌شود.

واکنش مکرر سیالات کانه‌ساز با کانی‌های تشکیل شده قبلی در مراحل کانه‌زایی و نیز کانی‌های تشکیل دهنده سنگ درونگیر کانسار باعث ضخیم شدن رخساره کانسنگ توده‌ای و بالا رفتن عیار ماده معدنی در آن شده است. قابل ذکر است که بافت برشی فقط به افق کانه‌دار محدود می‌شود. رخساره رگه-رگچه‌ای و رخساره توده‌ای شکل چینه‌کران به کانسار می‌دهند. با دور شدن از منشأ کانه‌زایی بافت‌های رسوبی مثل لامینه و نواری و دانه پراکنده غالب می‌گردند که سنگ درونگیر کانسار، کانسنگ لایه‌ای با سیمایی چینه‌سان و هم‌رند با لایه‌بندی را تشکیل می‌دهند. ضخامت کانسنگ لایه‌ای در این رخساره به شدت کاهش نشان می‌دهد. با توجه به همراهی آهن و منگنز در حین تشکیل کانسنگ بیشترین میزان مگنتیت در رخساره توده‌ای قابل مشاهده است. با دور شدن از این رخساره از میزان مگنتیت کاسته می‌شود ولی به نظر می‌رسد میزان هماتیت افزایش پیدا می‌کند.

۴-۵- دگرسانی

دگرسانی به طور شاخص یک شستشوی پایه می‌باشد که توسط نسبت کانی‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود. اگر نسبت فلزهای قلیایی به یون هیدروژن در محلول پایین باشد، فلدسپات‌ها و سایر سیلیکات‌ها ناپایدار شده و فرآیند هیدرولیز روی می‌دهد که منجر به خروج کاتیون‌ها شده و سیستم گرمایی به سوی تعادل پیش می‌رود. عوامل اصلی کنترل کننده دگرسانی، فشار، فراوانی ترکیب و رفتار دینامیکی سیال و میزان واکنش‌پذیری سنگ درونگیر می‌باشد (مک میلان و پانتلیه^۱، ۱۹۹۰). شناخت محصولات و فرایندهای دگرسانی که معمولاً همراه با کانه‌زایی هستند، یکی از پایه‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است که در اکتشاف کانسارها نیز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (لنتز^۲، ۱۹۹۸). نوع دگرسانی‌های سنگ دیواره و میزان بر حسب نوع سنگ و شرایط فیزیکوشیمیایی و ترکیب سیال و محیط متفاوت است (فرانکلین^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). میزان دگرسانی بر حسب مقدار فاصله با افق معدنی متفاوت می‌باشد. در کانسار بندقیچی بیشترین دگرسانی در اطراف پهنه استرینگر بوده و به سمت داخل از میزان آن کاسته می‌شود. حضور سنگهای آتشفشانی در میان لایه‌هایی از واحدهای رسوبی حاکی از رخداد آتشفشانی در محیط زیردریایی است (گالی^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به رویداد کانه‌زایی در محیط زیردریایی، عمده‌ترین دگرسانی در محدوده مورد مطالعه دگرسانی کلریتی می‌باشد که همراه با این دگرسانی، دگرسانی‌های سریسیتی - آرژیلیتی هم دیده می‌شود، که توضیح آن‌ها در پی خواهد آمد (اشکال ۴-۱۱ و ۴-۱۲).

¹ McMillan and panteleyev

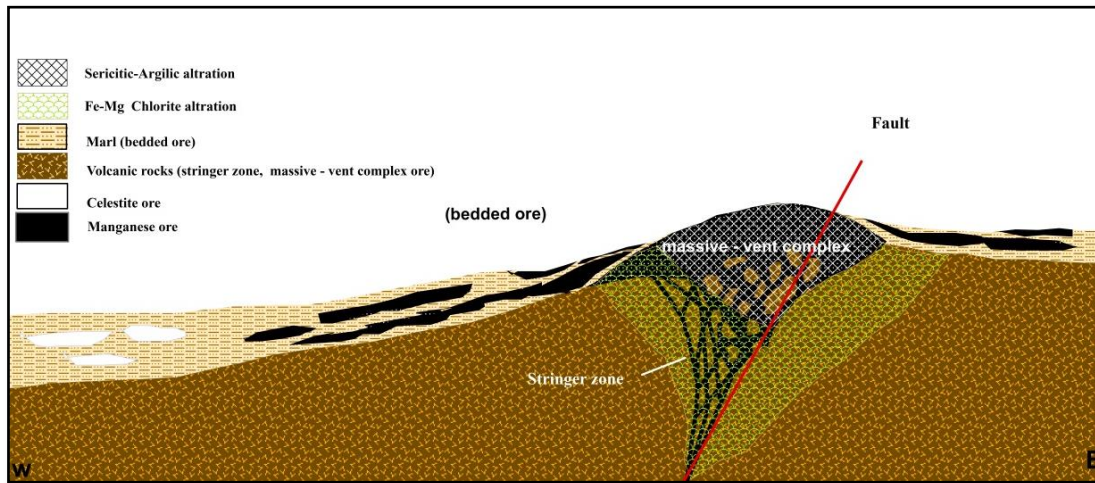
² Lentz

³ Franklin

⁴ Galley



شکل ۴-۱۱- دور نمای پهنه‌های دگرسان در محدوده بندقیچی



شکل ۴-۱۲- مقطع شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار بندقیچی

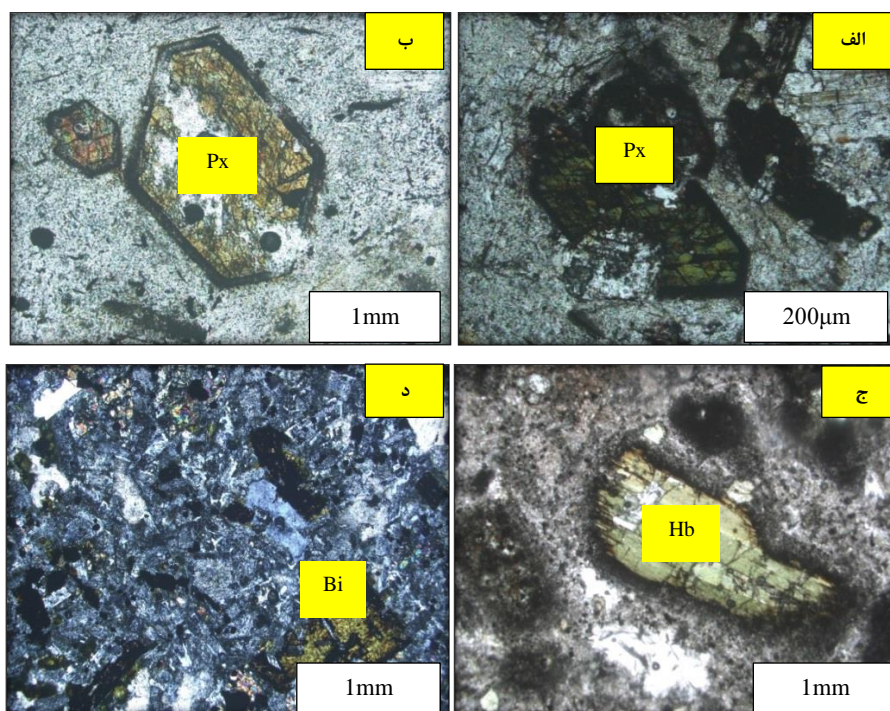
۴-۵-۱- دگرسانی کلریتی

این دگرسانی عمده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار بندقیچی بوده که بیشتر با رخساره رگه- رگچه‌ای و توده‌ای همراه می‌باشد. سنگ‌های حاشیه پهنه استرینگر و میزبان ماده معدنی به شدت دچار دگرسانی کلریتی شده (شکل ۴-۱۳) و به رنگ سبز و قرمز مایل به قهوه‌ای می‌باشند.



شکل ۴-۱۳- دور نمایی از پهنه دگرسانی کلریتی در رخساره برشی -توده‌ای

در واقع در نمونه‌های برداشت شده از رخساره برشی - توده‌ای که در زیر میکروسکوپ مطالعه شده‌اند، نشان داده‌اند که کانی‌های مافیک مانند پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت در حال تبدیل شدن به کلریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند (شکل ۴-۱۴). طبق نظر گالی کلریتی شدن یکی از مهمترین دگرسانی‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Mg و Fe ایجاد می‌شود و در اثر این فرایند رنگ سنگ به سبز گرایش پیدا می‌کند.



شکل ۴-۱۴- تصاویری از دگرسانی کلریتی کانسار بندقیچی الف و ب - کانی پیروکسن به کلریت تبدیل شده است. ج- آمفیبول به کلریت تبدیل شده است. د- بیوتیت تبدیل به کلریت شده است. پیروکسن : (Px) هورنبلند : (Hb) بیوتیت: (Bi)

۴-۵-۲- دگرسانی سریسیتی - آرژیلیتی

این دگرسانی‌ها اغلب در کانسارهای رگه‌ای و برشی دیده می‌شوند و در محدوده کانسار بندقیچی گسترش زیادی ندارند (شکل ۴-۱۵). در پهنه استرینگر وقتی مواد مذاب وارد کف دریا می‌شوند، آب دریا از طریق گسل‌ها به طرف پایین رفته و گرم می‌شود و عناصری مثل منگنز و استرانسیم را از آندزیت‌ها شسته و وارد آب دریا می‌کند. آن قسمت‌هایی که زیر دریا هستند به صورت رگه-رگچه‌ای ته‌نشین می‌شوند. این دگرسانی محصول برخورد سیالات گرمابی بر سنگ‌های غنی از کانی‌های سیلیکاته و آلومینیم‌دار می‌باشد که با انحلال کامل و خارج شدن کاتیون‌های Ca, Mg و Na در سیستم پدید می‌آید. در طی فرایند سریسیتی شدن فلدسپات‌های اولیه و پلاژیوکلازها در سنگ به کانی سریسیت تبدیل می‌شوند که بلورهای ریزدانه و پراکنده سریسیت بر روی بلورهای درشت فلدسپات تشکیل می‌شود. در دگرسانی آرژیلیتی سیلیکات آلومینیم‌دار در محیط اسیدی هیدرولیز شده و کانی‌های رسی از جمله کائولینیت را تشکیل می‌دهند (کوکس^۱ و همکاران، ۱۹۷۹). دگرسانی آرژیلیتی در شرایط اسیدی و با حضور آب فراوان در محیط تشکیل می‌شود (تیتلی و بیئن^۲، ۱۹۸۱). این دگرسانی زمانی توسعه پیدا می‌کند که شرایط pH محیط برای تحرک Al چندان مناسب نباشد. در سنگ‌های محدوده مورد مطالعه این نوع دگرسانی‌ها بیشتر در فلدسپات‌های پتاسیم‌دار و پلاژیوکلازها دیده می‌شود، که کانی‌های رسی (به‌طور عمده ایلیت) جانشین کانی‌های مذکور شده‌اند (شکل ۴-۱۶). در این کانسار در پهنه دگرسانی سریسیتی- آرژیلیتی میزان باریت و سلسیت زیاد است، در این پهنه با توجه به نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس (XRD) در نمونه‌های برداشت شده کانی‌های هالیت، سریسیت، کوارتز، ژیپس، کائولینیت و ایلیت را می‌توان مشاهده کرد (اشکال ۴-۱۷،

¹ Cox

² Titley and Bean

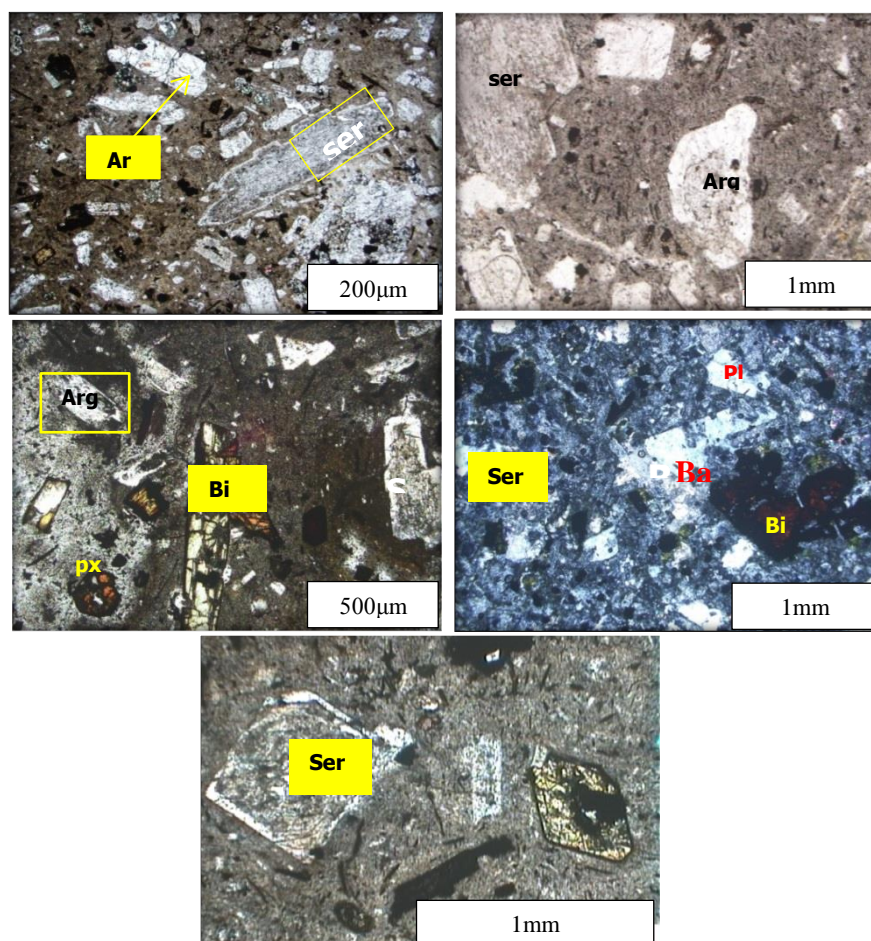
۱۸-۴ و ۱۹-۴) (کارنی^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). البته کانی هالیت به نظر می‌رسد ثانویه بوده و در اثر

فرایند هوازدگی بعدی تشکیل شده باشد.

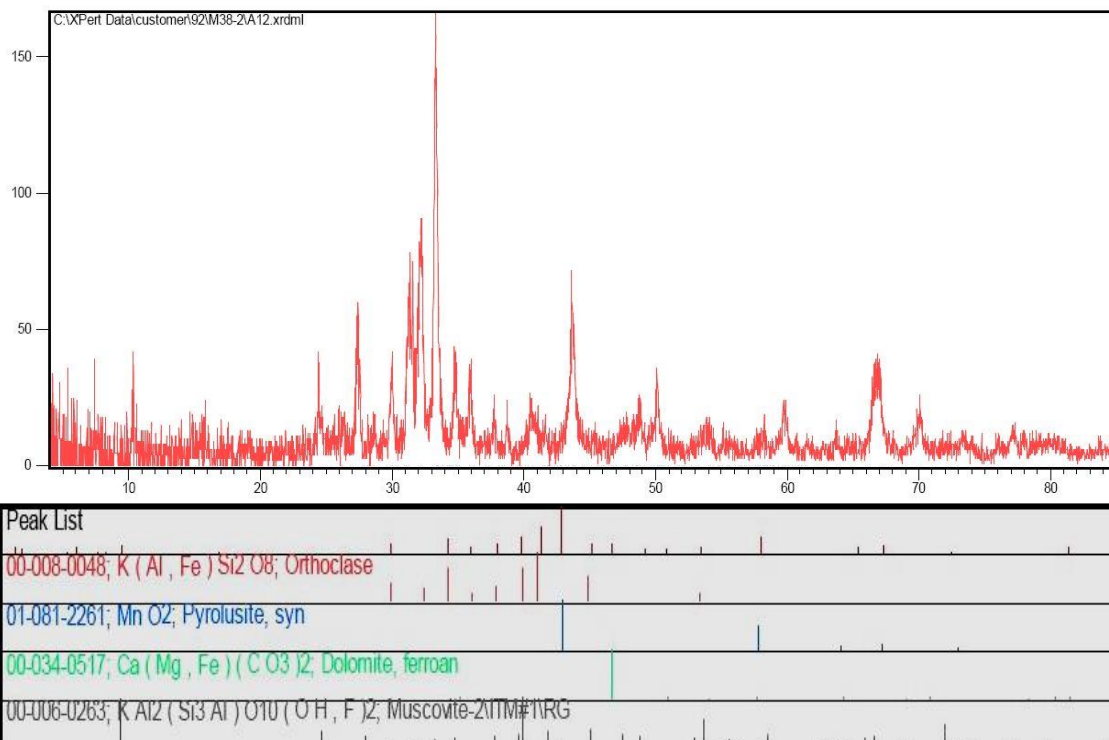


شکل ۴-۱۵- دورنمایی از پهنه دگرسانی سرسیتی- آرژیلیتی در رخساره رگه‌ای و برشی

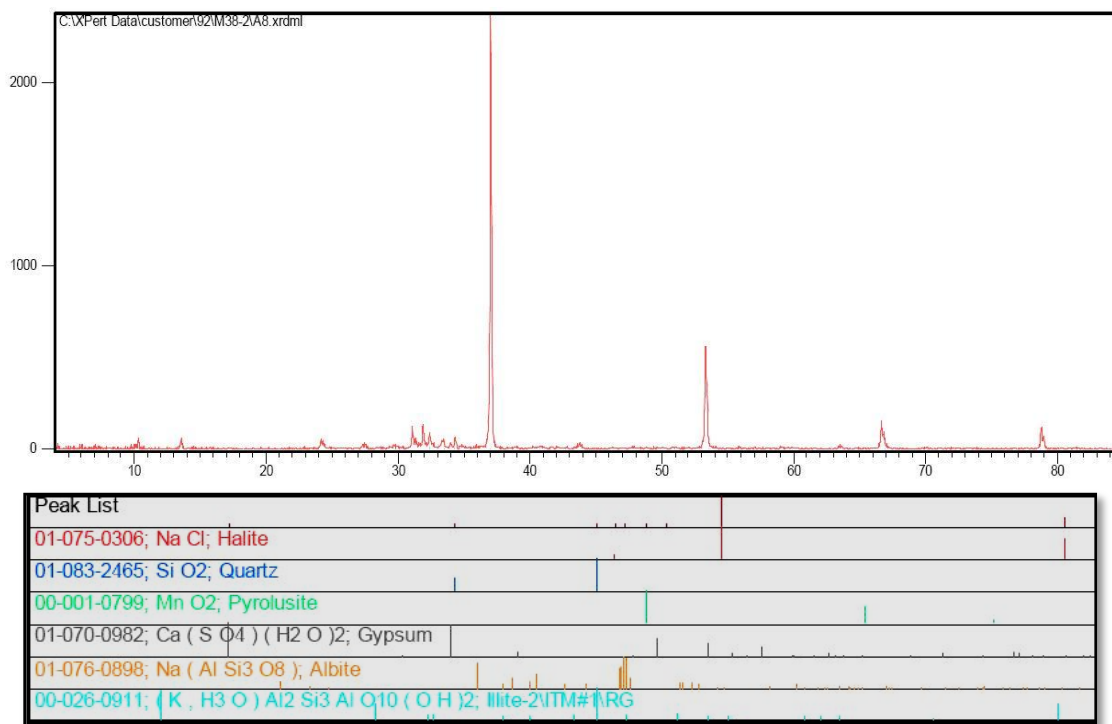
¹ Kearney



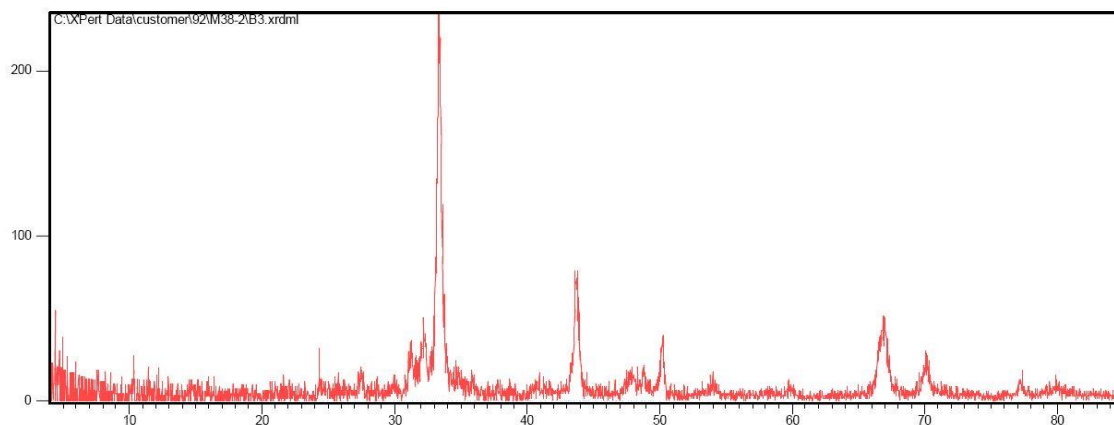
شکل ۴-۱۶ تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های آرژیلیتی (Arg) و سرسییتی (Ser) در کانسار بندقیچی الف و ب - هر دو نشان می‌دهند که کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات‌ها دچار دگرسانی سرسییتی و آرژیلیتی شده‌اند. ج- دگرسانی سرسییتی همراه با کانیهای بیوتیت که اکسید شده است و کانی باریت خود شکل و اپیدوت و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. د- دگرسانی‌های سرسییتی و آرژیلیتی که کانی بیوتیت و پیروکسن در آن‌ها دیده می‌شود. ه- پلاژیوکلاز خود شکلی که دچار دگرسانی سرسییتی شده است و کانی لوزی شکل هورنبلند که اکسید شده و منگنز داخل آن نشسته است.



شکل ۴-۱۷- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های مسکویت و فلدسپات در آن قابل مشاهده است. (نمونه از رخساره چینه‌سان) A12



شکل ۴-۱۸- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های رسی در آن قابل مشاهده است. (نمونه A8 از رخساره استرینگر)



Peak List
00-001-0799; Mn O ₂ ; Pyrolusite
01-083-2468; Si O ₂ ; Quartz, syn
01-083-1613; Na (Al Si ₃ O ₈); Albite high
00-007-0042; (K , Na) (Al , Mg , Fe) ₂ (Si _{3.1} Al _{0.9}) O ₁₀ (O H) ₂ ; Muscovite-3\ITTRG

شکل ۴-۱۹- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های مسکویت و هماتیت در آن قابل مشاهده است. (نمونه B3 از رخساره برشی توده‌ای)

فصل پنجم

ساخت، بافت، کانی شناسی

وتوالی پارازیتیک کانیها

۵-۱- مقدمه

مطالعه ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنز و توالی پاراژنتیکی کانی‌ها مجموعه اطلاعات ارزشمندی از ژنز نهشته‌های کانساری و تعیین رابطه بین کانه‌های معدنی و سنگ درونگیر آن‌ها به دست می‌دهد. علاوه بر آن، آگاهی از بافت‌های ماده معدنی و اندازه ذرات به بحث کانه آرایی ماده معدنی کمک می‌کند. هم‌روند بودن ماده معدنی با سنگ میزبان و لایه‌بندی آن‌ها در فهم و درک زایشی کانسارهای سین‌ژنتیک و اپی ژنتیک بسیار مؤثر است و حتی در تصمیم‌گیری و طراحی شیوه استخراج نقش اساسی دارد. کانه‌زایی در منطقه بندقیچی ترود (جنوب شاهرود)، به صورت چینه‌کران در رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی-توده‌ای و به شکل چینه‌سان، هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان در رخساره لایه‌ای رخ داده است (فصل ۴). بدین منظور در منطقه مورد مطالعه، از رخساره‌های مختلف کانه‌زایی و سنگ دربرگیرنده آن‌ها تعداد ۵۸ عدد مقطع نازک صیقلی و صیقلی، بررسی و مطالعه گردید. در این فصل ابتدا به انواع بافت و ساخت‌های ماده معدنی و ارتباط آنها با کانی‌های سنگ درونگیر اشاره شده و سپس به بررسی کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک کانی‌ها پرداخته خواهد شد.

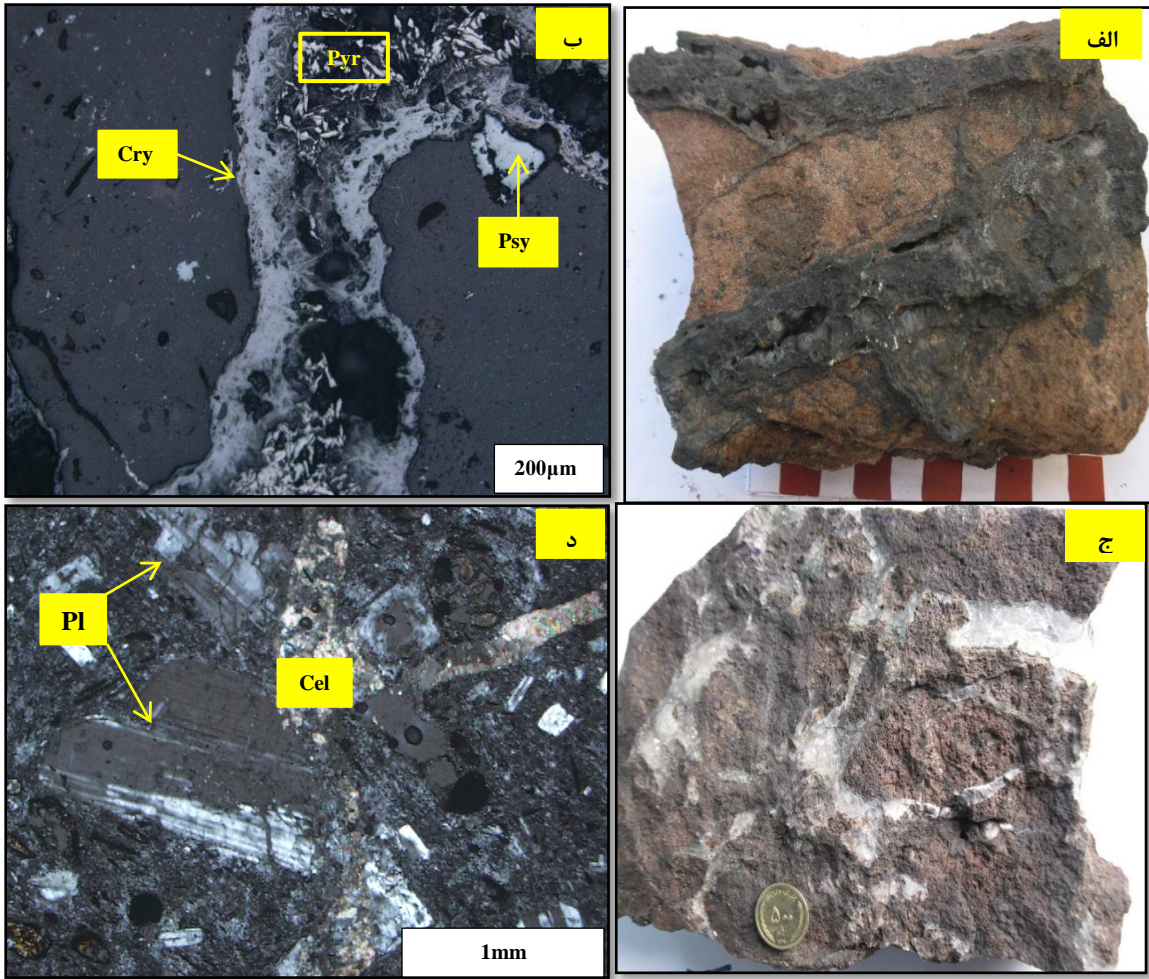
۵-۲- بافت و ساخت کانی‌های محدوده مورد مطالعه

۵-۲-۱- ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای

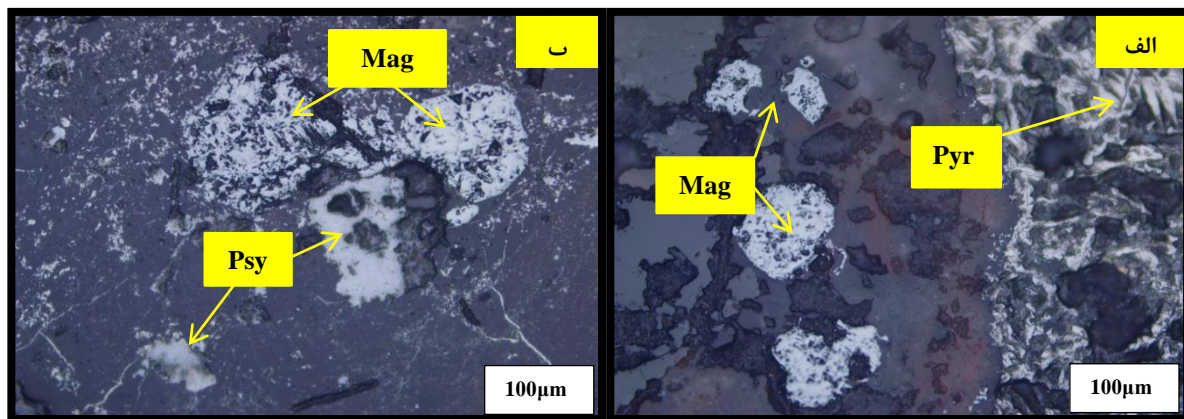
این بافت اغلب در رخساره رگه-رگچه‌ای به میزبانی سنگ‌های آتشفشانی به ویژه آندزی-بازالت‌ها که در آن رگه-رگچه‌های منگیزی و سلسیتیتی سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع کرده‌اند، دیده می‌شود. کانی‌های غالب در این رخساره با بافت رگه-رگچه‌ای، پسیلوملان، هولاندیت، تیتانومگنتیت و سلسیتیت به همراه ژیپس در این رگه‌ها دیده می‌شود (اشکال ۵-۱ و ۵-۲).

غنی از منگنز
غنی از سلسیتیت
غنی از ژیپس، منگنز و سلسیتیت

بافت رگه-رگچه‌ای



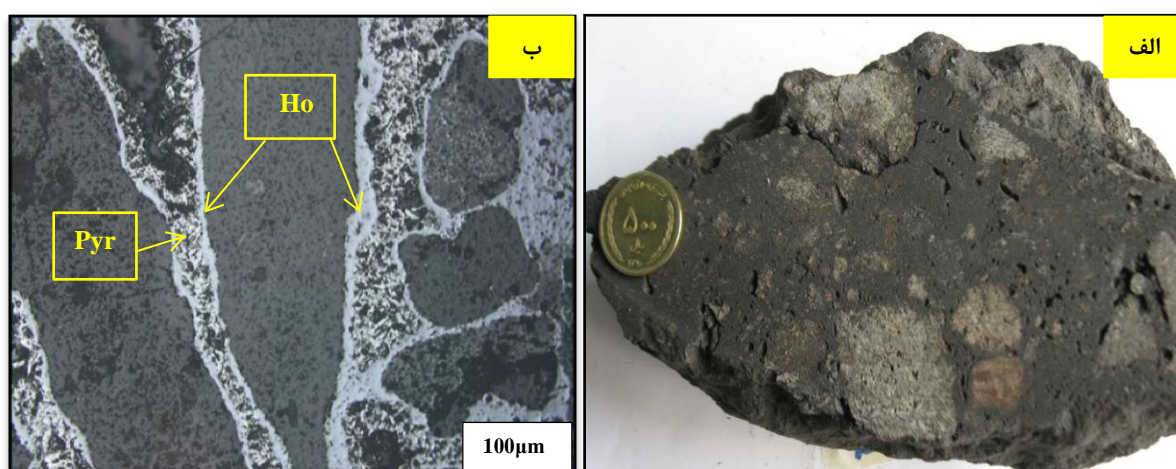
شکل ۵-۱ الف- تصاویری از بافت رگه- رگچه‌ای در پهنه استرینگر - الف- نمونه دستی از آندزیت و جایگزینی رگه- رگچه‌های منگنز در آن ، ب- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه رگچه‌ای (نمونه الف) شامل کانی‌های پسیلوملان (Psy) ، پیرولولزیت (Pyr) و کریپتوملان (Cry) ، ج - نمونه دستی از آندزیت و جایگزینی رگه- رگچه‌های سلسیت در آن ، د- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه- رگچه‌ای (نمونه ج) سلسیت (Cel) و پلاژیوکلاز (Pl)



شکل ۵-۲ الف و ب- تصویر میکروسکوپی از بافت رگه- رگچه‌ای را که در آن اکسیدهای منگنز و اکسیدهای آهن همراه هم می‌باشند را نشان می‌دهد.

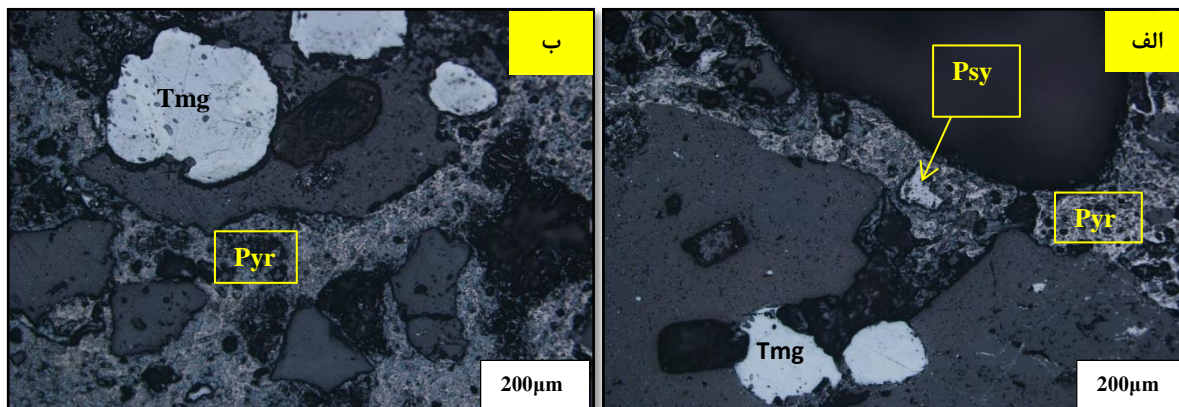
۵-۲-۲- ساخت و بافت برشی

این بافت به‌طور خاص در رخساره کانسنگ توده‌ای و رخساره رگه-رگچه‌ای (پهنه استرینگر) قابل مشاهده است. در این بافت اکسیدهای منگنز قطعات مختلف سنگ درونگیر را در بر گرفته و موجب تشکیل این بافت گردیده‌اند. گاهی تجمع کانی‌های منگنز در بین قطعات ولکانیکی به قدری زیاد است که چهره این قطعات، سیاه رنگ و به شکل توده‌های اکسیدی منگنز در می‌آید. بافت برشی در این رخساره هم در مقیاس ماکروسکوپی و هم در مقیاس میکروسکوپی قابل مشاهده‌اند (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۳- تصاویری از بافت رگه‌ای و برشی الف- نمونه دستی از برشهای آندزیتی و جایگزینی منگنز داخل آن، ب- تصویر میکروسکوپی از رخساره برشی شامل کانی‌های پیرولوزیت (Pyr) و هولاندیت (Ho).

این اکسیدهای منگنز اغلب با اکسیدهای آهن همراه می‌باشند، لذا تیتانو مگنتیت همراه و درون کانی‌های منگنز دیده می‌شوند که باعث تشکیل بافت کاتاکلاستیکی شده‌اند (شکل ۵-۴). تشکیل این بافت در ارتباط با خروج سیالات کانه‌ساز از محل دهانه گرمابی- برون‌دمی طی فرایند پالایش پهنه‌ای که همراه با لرزش ناشی از گسل‌های هم‌زمان با رسوبگذاری، به داخل حوضه راه پیدا کرده‌اند.

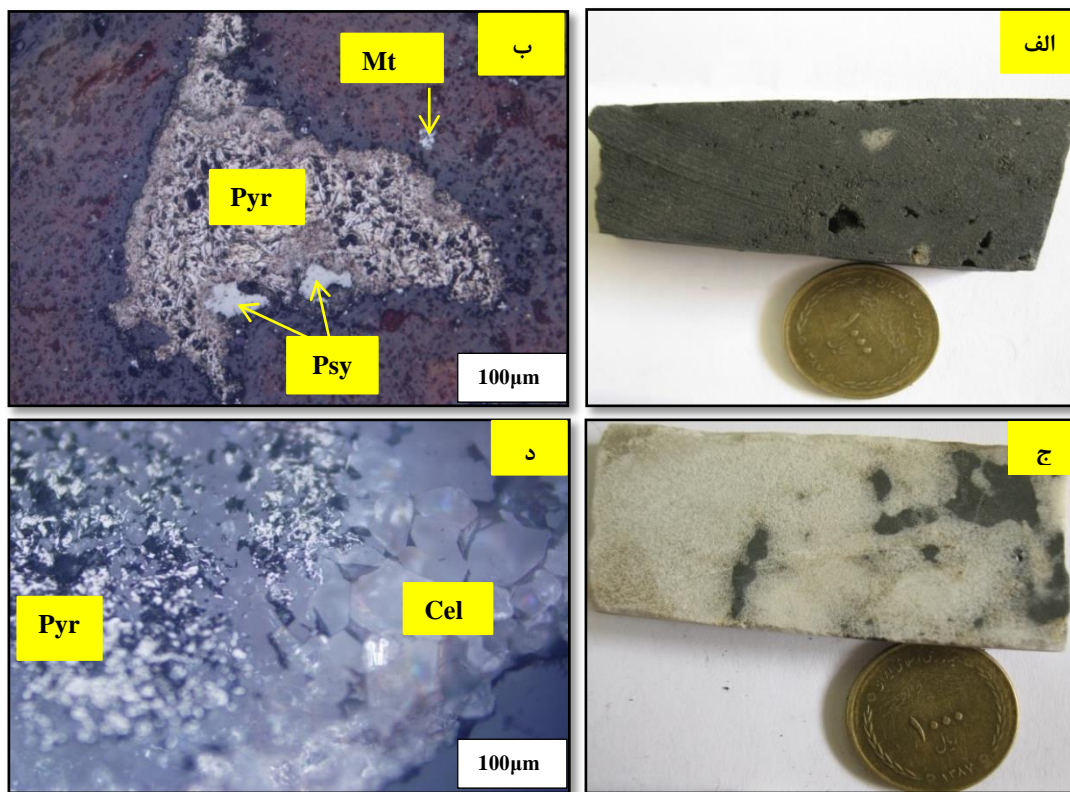


شکل ۵-۴ الف و ب - هر دو تصویر میکروسکوپی از بافت برشی شامل کانی‌های پیرولوزیت (Pyr)، پسیلوملان (Psy) و تیتانومگنتیت (Tmg)

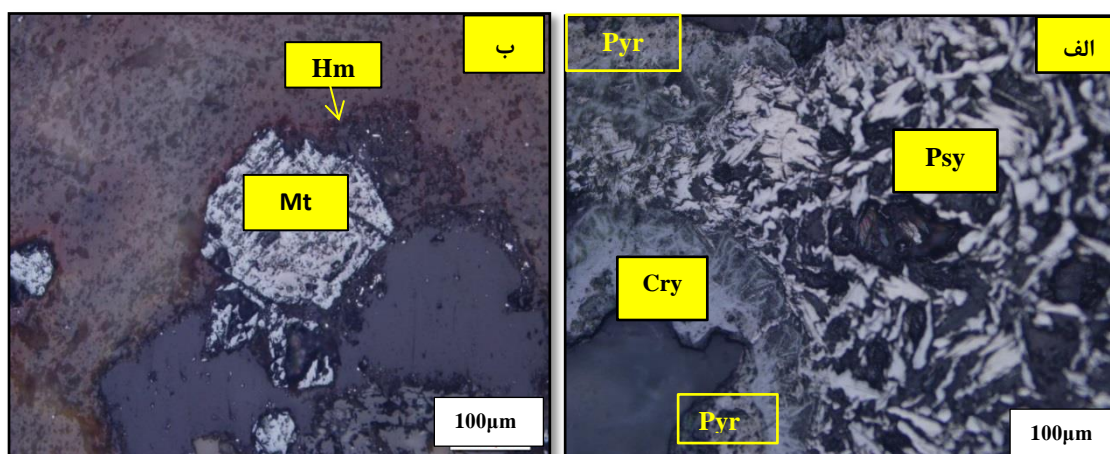
۵-۲-۳- ساخت و بافت توده‌ای

این بافت در رخساره کانسنگ توده‌ای دیده می‌شود. کانی‌های این رخساره به‌طور غالب پیرولوزیت، پسیلوملان، سلسیت و مگنتیت می‌باشد. ماده معدنی این بافت ماهیت سخت و فشرده دارد. بافت توده‌ای موجود در این رخساره، در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی، در واقع ترکیبی از بافت توده‌ای، جانشینی و رگه‌ای است (شکل ۵-۵). به عبارت دیگر در بخش پالایش پهنه‌ای سیالات گرمایی- برونمی در نوبت‌های مختلف که از طریق معبرهای پهنه استرینگر بالا می‌آیند در بخش دهانه به‌صورت توده‌ای جانشین ذرات تشکیل‌دهنده کانسنگ اولیه می‌گردند، در نتیجه بافت توده‌ای مجموعه‌ای از بافت‌های جانشینی و رگه-رگچه‌ای است که از اکسیدها و دیگر کانی‌های گرمایی (سیلیس و ...) تشکیل می‌یابند.

کانی‌های پسیلوملان، پیرولوزیت، کریپتوملان و هولاندیت جانشین همدیگر می‌شوند. مگنتیت‌ها از اطراف دچار فرآیند مارتیتی شده و تبدیل به هماتیت شده‌اند (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۵-الف- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای منگنز رخساره کانسنگ توده‌ای ب- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای منگنز در رخساره کانسنگ توده‌ای، شامل کانی‌های پسیلوملان (Psy)، پیرولوژیت (Pyr) و مگنتیت (Mt) ج- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای سلسیت در رخساره لایه‌ای د- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای سلسیت در رخساره لایه‌ای شامل کانی‌های سلسیت (Cel) و پیرولوژیت (Pyr)



شکل ۵-۶-الف - تصویر میکروسکوپی که در آن جانمایی کانی‌های پسیلوملان، کریپتوملان و پیرولوژیت به جای یکدیگر نشان داده شده است. ب- مارتیتی شدن مگنتیت و تبدیل آن از حاشیه‌ها به هماتیت را نشان می‌دهد.

۵-۲-۴- بافت لامینه‌ای یا نواری

یکی از بافت‌های شاخص در کانسار بندقیچی در رخساره کانسنگ لایه‌ای، وجود لامینه‌ها و نوارهای اکسیدی منگنز و سولفاتی سلسیت موازی لایه‌بندی سنگ میزبان است که سیمایی رسوبی به این رخساره می‌دهد. تغییر در ترکیبات لامینه‌ها باعث ایجاد لامینه‌های متفاوت در رخساره لایه‌ای می‌گردد. بر اساس تغییر در ترکیب کانی‌شناسی لامینه‌ها می‌توان سه نوع لامینه را در این رخساره از محدوده معدنی تشخیص داد.

- لامینه‌های غنی از اکسیدها

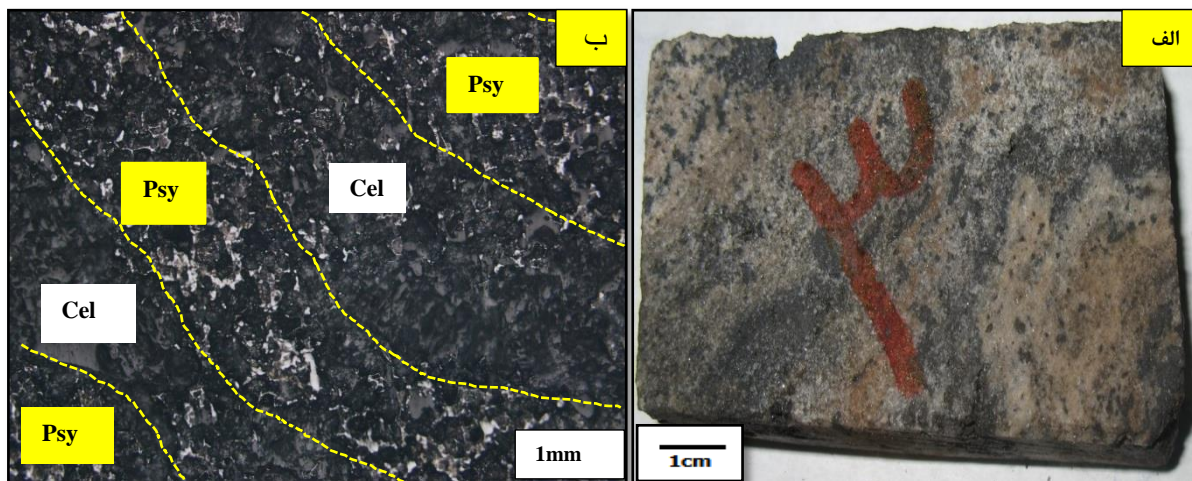
- لامینه‌های غنی از سولفات‌ها

- لامینه‌های متشکل از مواد آواری و مارن

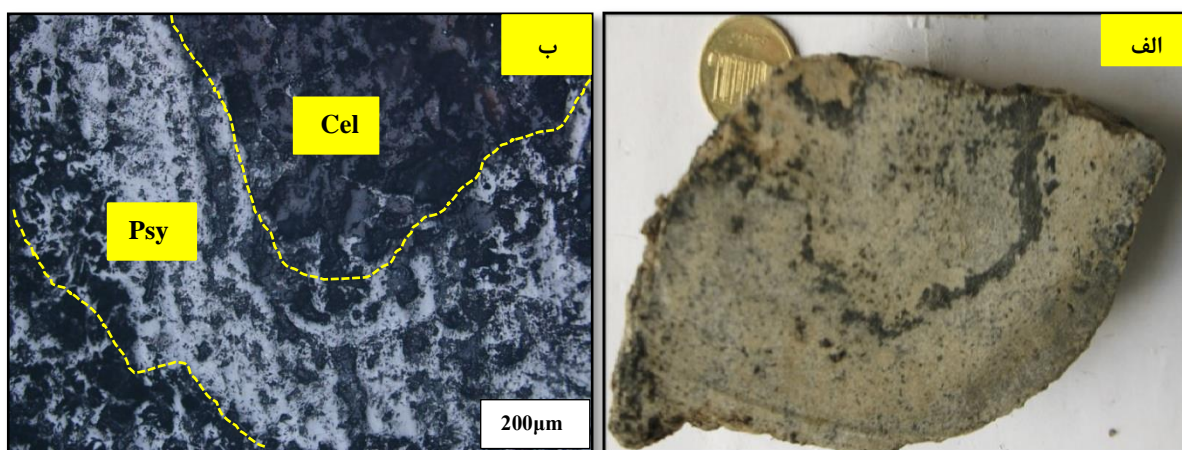
لامینه‌های اکسیدی ترکیبی از کانی‌های اکسیدی و هیدرکسیدی منگنز و آهن می‌باشند. وجود این-گونه لامینه‌ها نشان‌دهنده رابطه بافتی نزدیک بین ذرات آن‌ها می‌باشد (شکل ۵-۷). یکی از ویژگی‌های رخساره کانسنگ لایه‌ای، ته‌نشست اکسیدها به صورت دانه‌پراکنده در کنار هم و تشکیل لایه‌ای غنی از منگنز می‌باشد که نشان از افزایش شرایط رسوبگذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست آن‌ها می‌باشد.

ضخامت لامینه‌ها در بافت لامینه‌ای مختلف متغیر بوده و از میلی‌متر تا سانتی‌متر تغییر می‌کند. گاهی این لامینه‌ها کاملاً ممتد نیستند.

لامینه‌های سولفاتی و کلریدی ترکیبی از کانی‌های سلسیت، ژیپس، هالیت و سیلویت می‌باشند. در مقیاس رخنمون این لامینه‌ها هم‌روند با لایه بندی بوده و در بخش‌های کم عیار ماده معدنی مشاهده می‌شوند (شکل ۵-۸).

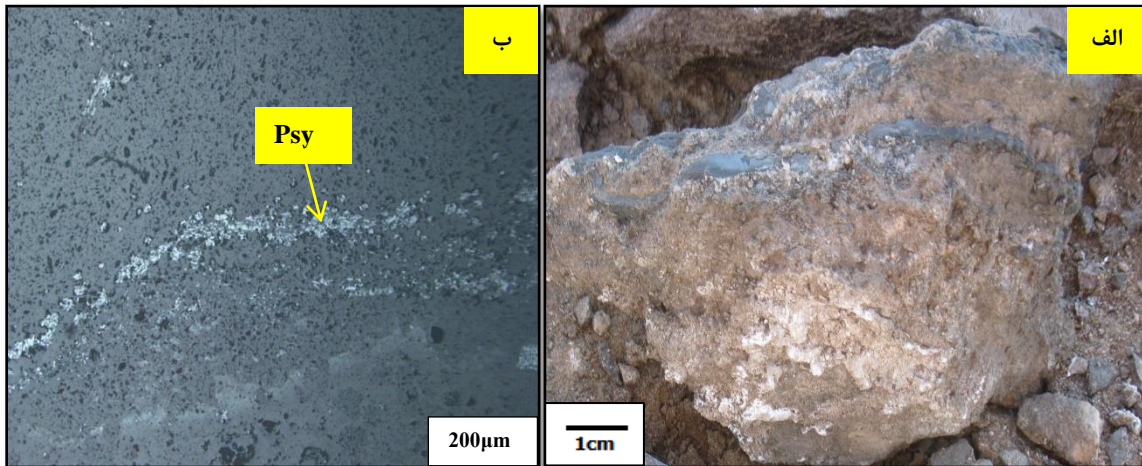


شکل ۵-۷- الف- تصویر نمونه دستی از بافت لامینه ای که در آن نوارهای سیاه لامینه‌های منگنز و نوارهای سفید کانیهای سلسیت و ژیپس می‌باشند. ب- تصویر میکروسکوپی نمونه الف (نور انعکاسی).



شکل ۵-۸- الف تصویر نمونه دستی از بافت لامینه‌ای ماده معدنی سلسیت که نوارهای سفید سلسیت و نوارهای سیاه منگنز می‌باشند. ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف (نور انعکاسی)

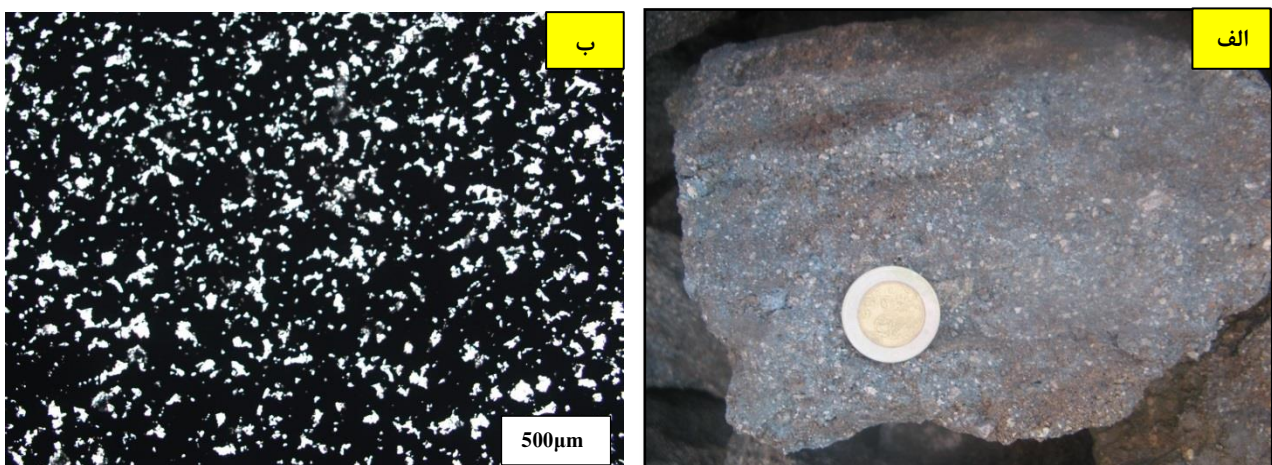
این لامینه‌ها که شامل ذرات تخریبی تشکیل‌دهنده سنگ میزبان هستند، دارای ضخامت در حد میلی‌متر تا سانتی‌متر می‌باشند. ذرات تشکیل‌دهنده این بافت ذرات رس و مارن می‌باشند (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹ - تصویر نمونه دستی از بافت لامینه‌ای منگنز که غنی از مواد تخریبی و مارن می‌باشد ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف که حاوی دانه‌های پسیلوملان (Psy) می‌باشد (زیر نور انعکاسی).

۵-۲-۵- بافت دانه پراکنده

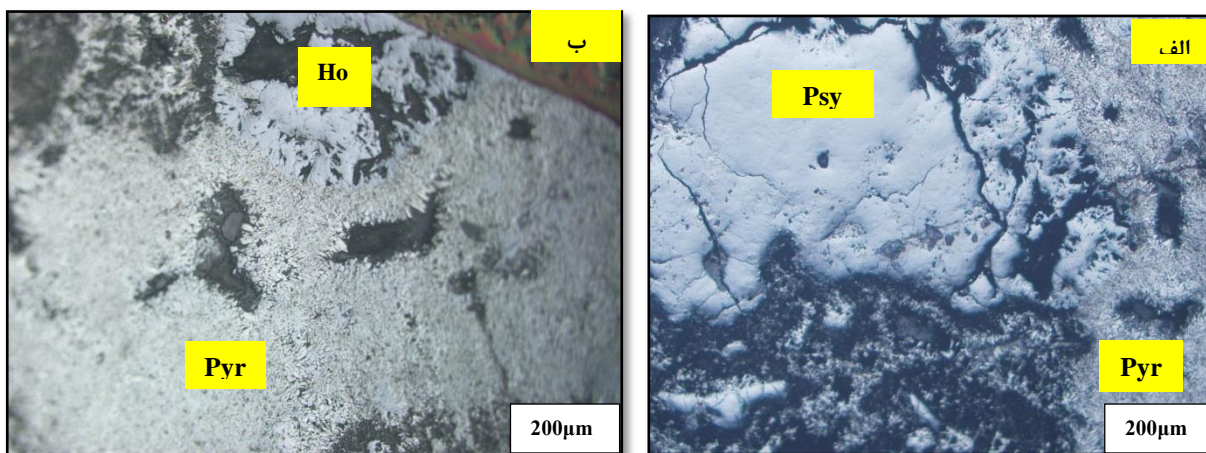
این بافت از جمله بافت‌های مهمی است که شواهد زایشی بسیار ارزشمندی در اختیار می‌گذارد. اولین نتیجه حضور مواد معدنی در این شکل نهشت اولیه ماده معدنی در حین رسوب‌گذاری و همراه با دیگر ذرات و تشکیل دهنده سنگ می‌باشد. این بافت تقریباً در تمامی بخش‌ها و افق‌های کانه‌دار کانسار بندقیچی مشاهده می‌شود (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- الف تصویر نمونه دستی از بافت دانه پراکنده از رخساره برشی ب- تصویر میکروسکوپی از نمونه الف که نقاط ریز سفید رنگ در زیر میکروسکوپ نور انعکاسی کانیهای منگنز می‌باشند

۵-۲-۶- بافت جانشینی

بافت جانشینی از جمله بافت‌های شاخص در رخساره‌های توده‌ای و رگه-رگچه‌ای کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی می‌باشد. در این بافت کانی‌های اکسید منگنز مانند پسیلوملان و هولاندیت در حال تبدیل شدن به پیرولوزیت می‌باشد (شکل ۵-۱۱).



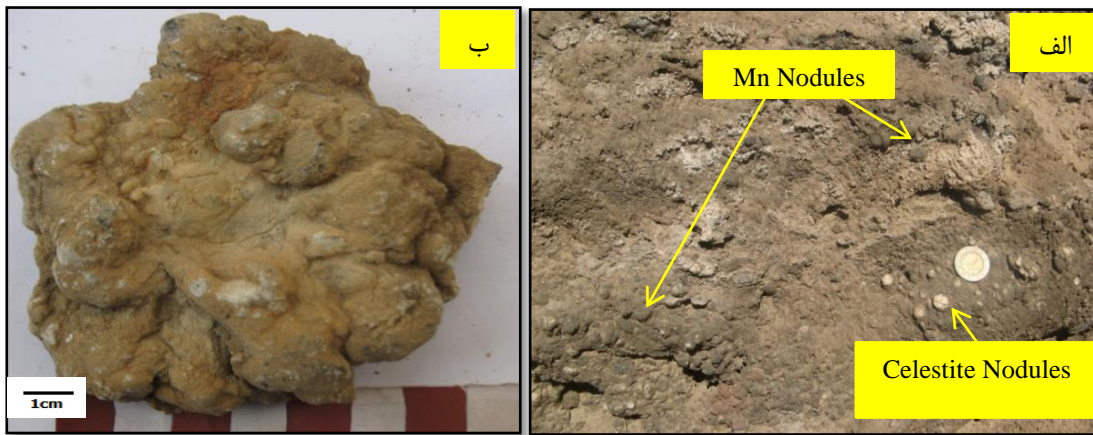
شکل ۵-۱۱- تصاویری از بافت جانشینی الف- جانشینی کانی پیرولوزیت به جای پسیلوملان ب- جانشینی هولاندیت توسط پیرولوزیت

۵-۳- ساخت نودولی

این ساخت در بخش‌های کم عیار ماده معدنی در رخساره کانسنگ لایه‌ای در مقیاس میکروسکوپی با حداکثر قطر ۵ سانتی‌متر و بر اثر تجمع و دیانز ذرات اکسید منگنز و سولفات استرانسیم تشکیل شده است. کانی‌شناسی آن‌ها شامل پسیلوملان، پیرولوزیت، سلسیت، ژیپس و کلسیت می‌باشد (شکل ۵-۱۲).

۵-۴- فابریک بودیناژ

این فابریک بیشتر در بافت‌های نواری قابل مشاهده است. در رخساره چینه‌سان قطعات سلسیت به علت چین‌خوردگی و فشارهای وارده در اثر دگرشکلی به‌علت شکننده بودن این کانی، دچار فابریک بودیناژ شده‌اند (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۲- الف- تصویری از ساخت نودولی در رخساره چینه‌سان محدوده معدنی بندقیچی نودول‌های سفید سلسیت که روی آن را منگنز پوشانده است. ب- تصویر نمونه دستی از محدوده‌ای که در شکل الف نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۳- تصویری از فابریک بودیناژ سلسیت را در رخساره چینه‌سان نشان می‌دهد.

۵-۵- کانی‌شناسی و پاراژنز

کانی‌شناسی و تشخیص پاراژنز کانه یکی از مهمترین پارامترهای ارزشمند شناسایی ویژگی‌های محیط تشکیل هر کانسار است. این مطلب در مورد کانسارهای منگنز هم صادق است، و کانی‌شناسی این کانسارها اطلاعات سودمندی در مورد محیط و فرایند تشکیل آنها در اختیار می‌گذارد.

عنصر منگنز در طبیعت به صورت خالص یافت نمی‌شود. رایجترین ترکیبات منگنز اکسیدها، هیدروکسیدها، سیلیکات‌ها و کربنات‌های منگنز می‌باشند. علاوه بر این سولفیدها، بورات‌ها، فسفات‌ها، آرسنات‌ها و سایر ترکیبات منگنز به میزان اندکی در طبیعت یافت می‌شوند.

شناسایی کانی‌های منگنز پیچیده و مشکل می‌باشد و به دلیل وجود تشابه زیاد ترکیبات مختلف با یکدیگر، تشخیص این ترکیبات به سختی صورت می‌پذیرد. همچنین فراوانی بالای کانی‌های منگنز تبلور ضعیف، ریزدانه بودن، تشابه خواص نوری و رشد تداخلی^۱ آن‌ها شناسایی آن‌ها از یکدیگر کار بسیار مشکلی می‌باشد (مینارد^۲، ۱۹۸۳) به همین دلیل برای شناسایی این ترکیبات، علاوه بر استفاده از تکنیک‌های نوری و میکروسکوپی از پراش اشعه X و همچنین میکروپروپ باید استفاده گردد.

نیکولسون^۳، (۱۹۹۲، الف) استفاده از دو پارامتر کانی‌شناسی و ژئوشیمی را جهت شناسایی نهشته‌های اکسیدی منگنز تأیید می‌کند، این موضوع اهمیت مقوله کانی‌شناسی را نشان می‌دهد.

در مطالعه به روش XRD که تعداد ۴ نمونه جهت شناسایی کانی‌های نمونه‌های برداشت شده از کانسنگ در رخساره‌های کانهدار انتخاب شده بودند، کانی‌های پیرولوویت و هماتیت و کانی‌های باطله کوارتز، ایلیت، ارتوکلاز و مسکویت شناسایی شده‌اند. در مطالعه زیر میکروسکوپ پلاریزان با توجه به مشخصات کانی‌های منگنز، پیرولوویت، پسیلوملان، مگنتیت، تیتانومگنتیت و سلسیت شناسایی شده تأیید گردیده‌اند.

با استفاده از تکنیک‌های فوق و همچنین نتایج حاصل از داده‌های تجزیه دستگاه الکترون میکروپروپ که بر روی ۳ عدد از نمونه‌های برداشته شده از کانسنگ صورت گرفته، کانه‌های زیر تشخیص داده شده است:

– پیرولوویت $\beta\text{-MnO}_2$

¹ Intergrowth

² Maynard

³ Nicholson

- پسیلوملان $(\text{Ba, K, Mn, Co})_2 \text{Mn}_5\text{O}_{10} \cdot \text{XH}_2\text{O}$

- کریپتوملان $\text{K}(\text{Mn, Mn})_8\text{O}_{16}$

- هولاندیت $\text{Ba}(\text{Mn, Mn})_8\text{O}_{16}$

- سلسیت SrSO_4

- تیتانومگنتیت $(\text{Fe}_{+3}, \text{Fe}_{+2}, \text{Ti}_{+4})_2(\text{Fe}+2\text{O}_4)$

- مگنتیت Fe_3O_4

- هماتیت Fe_2O_3

باریت نیز در مواردی همراه با کانی‌های منگنز و سلسیت مشاهده می‌شود، اما کانیهای باطله اصلی کانسار، کوارتز و کلسیت است. در اینجا، انواع کانیها به صورت سه دسته کانه‌های اصلی، فرعی و کانیهای باطله شرح داده می‌شوند.

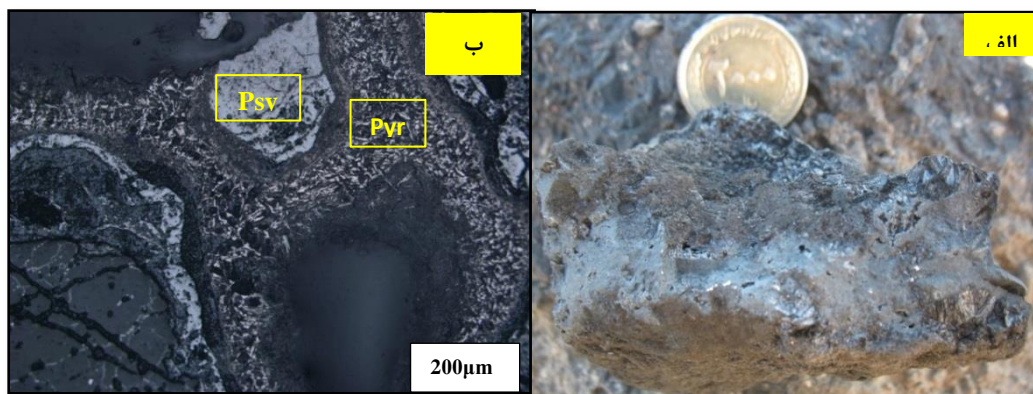
۵-۶- کانه‌های اصلی در کانسار بندقیچی

۵-۶-۱- پیرولولوزیت

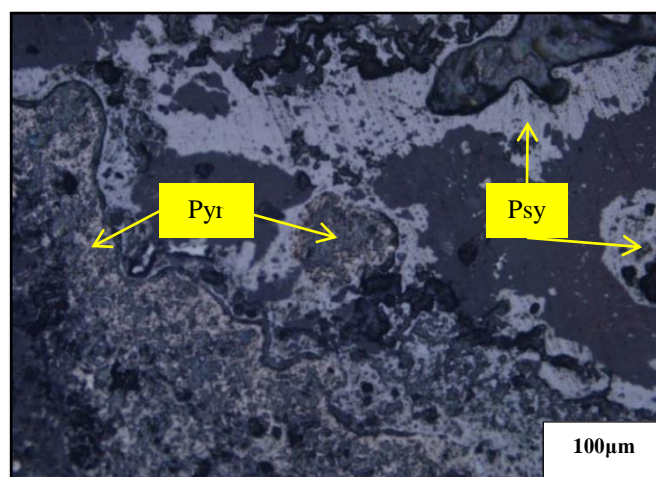
کانی‌های اکسیدی منگنز با فرمول شیمیایی بالا را تحت عنوان اکسیدهای منگنز خالص هم می‌شناسند، که شامل پلی‌مورف‌های مختلفی می‌باشند. در این بین پیرولولوزیت از نظر ترمودینامیکی پایدارترین فاز آن می‌باشد. این کانی اغلب عاری از کاتیون‌های دیگر است و به مقدار زیاد در کانسارهای دما پایین مخصوصاً در کانسارهای رسوبی یافت می‌شود. کانی پیرولولوزیت از لحاظ فراوانی اولین کانی موجود در محدوده معدنی مورد مطالعه است. پیرولولوزیت‌ها اغلب از تبدیل پسیلوملان و هولاندیت به وجود آمده‌اند (استوالد^۱، ۱۹۸۸) که در نمونه‌های کانسار مورد مطالعه هم دیده شده است. این کانی دارای ساختمان لایه‌ای است که از تجمعات سوزنی (شعاعی) شاخصی تشکیل شده‌اند. این کانی با رنگ زرد متمایل به خاکستری تا زرد متمایل به کرمی، با داشتن کلیواژهای نامنظم تا

¹ Ostwald

کمی منظم، پلی کروئیسیم ضعیف و آنیزوتروپی بسیار قوی از سایر کانی‌های منگنز براحی تشخیص داده می‌شود (شکل ۵-۱۴). از لحاظ پاراژنتیکی در اغلب موارد پیرولولوزیت بعد پسیلوملان به وجود می‌آید، اما گاهی نیز تشکیل آن بر پسیلوملان مقدم است. به نظر می‌رسد در کانسار بندقیچی نیز چنین بوده است، گواه این ادعا وجود پیرولولوزیت و پر کردن شکستگی‌ها توسط آن و قرار گرفتن پسیلوملان در حاشیه‌ها می‌باشد (شکل ۵-۱۴). در بسیاری از موارد کانی پیرولولوزیت به صورت ریزبلور و شکل‌دار در شکستگی‌های کانی‌های قدیمی‌تر از جمله منگانیت و پسیلوملان به صورت لکه‌ها و جزیره‌های پراکنده و نامنظم و پرکننده فضاهای خالی دیده می‌شود و معمولاً در رگه‌ها دیده می‌شود (شکل ۵-۱۵).



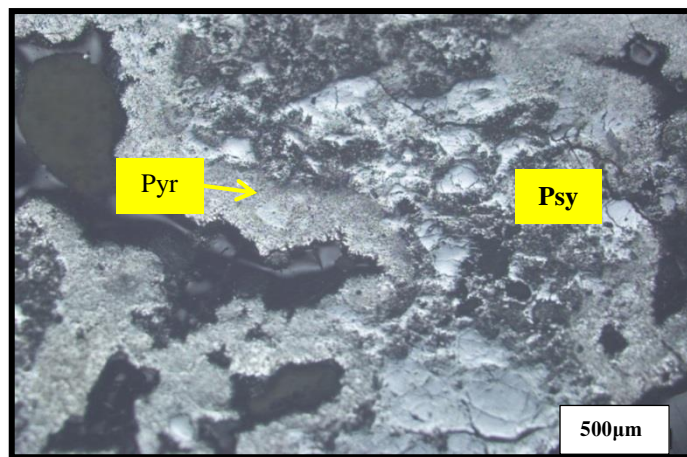
شکل ۵-۱۴- الف- تصویر نمونه دستی پیرولولوزیت، ب تصویر میکروسکوپی پیرولولوزیت (Pyr) همراه پسیلوملان (Psy)



شکل ۵-۱۵- تصویر میکروسکوپی از پیرولولوزیت که در رگه‌ها و حفره‌ها نشسته است.

۵-۶-۲- پسیلوملان (رومنشیت)

پسیلوملان از رایج‌ترین اکسیدهای منگنز می‌باشد و در محدوده مورد مطالعه فقط پیرولولزیت از این کانی فراوانتر است. این کانی جزو اولین کانی‌های تشکیل شده در کانسار بندقیچی می‌باشد. در برخی از نمونه‌های مطالعه شده پسیلوملان در اثر دیاژنز به صورت لکه‌ای و پراکنده در راستای شکستگی‌ها به پیرولولزیت تبدیل شده است (شکل ۵-۱۶). کانی پسیلوملان با داشتن BaO بالا در ترکیب شیمیایی خود به اکسیدهای سخت و توده‌ای منگنز با بافت بوتروئیدال اتلاق می‌شود (روی^۱، ۱۹۸۱). نسبت Mn^{+4}/Mn^{+2} این کانی به مراتب پایین‌تر از هولاندیت و کریپتوملان است. با استفاده از میکروسکوپ نوری انعکاسی در تعداد زیادی از نمونه‌های برداشت شده، این کانی مشاهده شده است. رنگ سفید، پلی‌کروئیسیم و آنیزوتروپی قوی از مشخصات بارز این کانی است. بافت این کانی عمدتاً توده‌ای^۲، گل‌کلمی^۳ و دانه‌ای^۴ می‌باشد (شکل ۵-۱۷). تجمعات آن گاهاً سوزنی می‌باشد (شکل ۵-۱۸). طول این سوزن‌ها معمولاً بین ۲۰ تا ۵۰ و حتی ۱۰۰ میکرون است. بافت‌های فوق به وسیله میکروسکوپ با نور انعکاسی به راحتی قابل تشخیص می‌باشند.



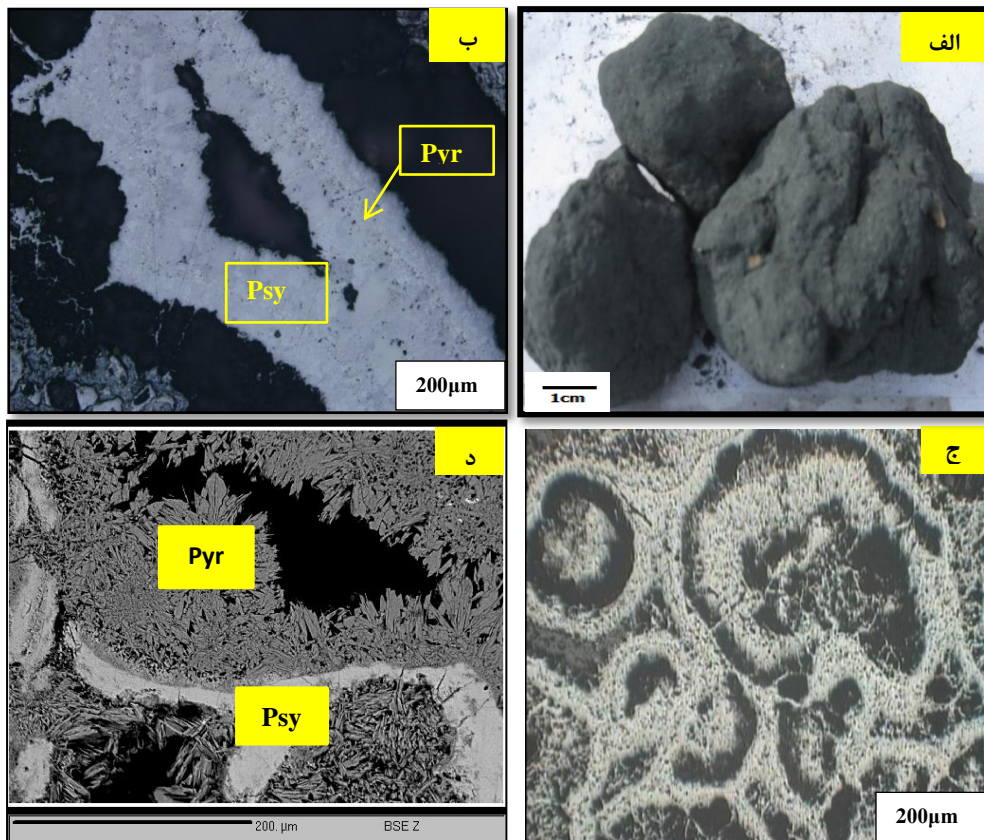
شکل ۵-۱۶- تصویر میکروسکوپی از تبدیل پسیلوملان به پیرولولزیت به صورت لکه که در شکستگی‌های رخساره برشی-توده‌ای نشان داده شده است.

¹ Roy

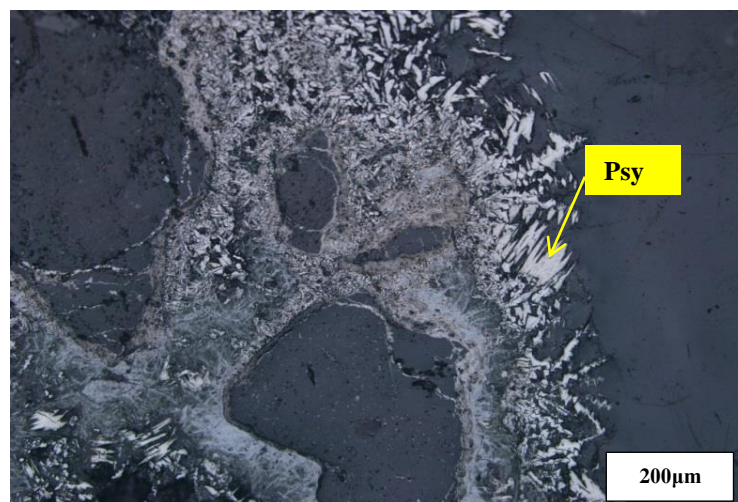
² Massive

³ Colloform

⁴ Granular



شکل ۵-۱۷- الف- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای کانستگ منگنز ب- تصویر میکروسکوپی از بافت گرانولار کانی پسیلوملان با رگه‌های ظریفی از پیرولوزیت در داخل آن، ج- تصویر میکروسکوپی از بافت کلوفرم در کانی پسیلوملان و د- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای کانی پسیلوملان را نشان می‌دهد (تصویر BSE).

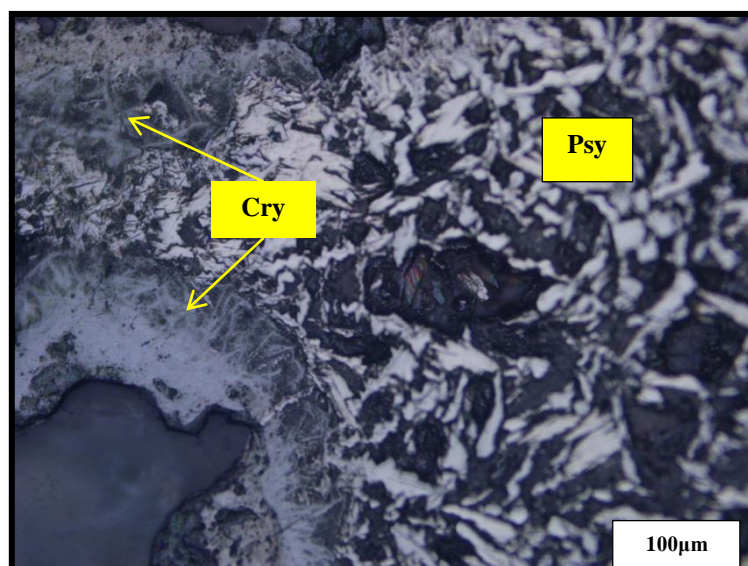


شکل ۵-۱۸- تصویر میکروسکوپی از بافت سوزنی کانی پسیلوملان (Psy) در رخساره توده‌ای

۵-۶-۳- کریپتوملان

این کانی در ترکیب خود مقادیر قابل توجهی پتاسیم دارد به طوری که نسبت K_2O/BaO همیشه بیشتر از ۱ می باشد (استوالد^۱، ۱۹۸۸). در زیر میکروسکوپ ویژگی‌های نوری کریپتوملان و پسیلوملان مشابهت زیادی باهم دارند و تنها در مورد انعکاس داخلی می توان پسیلوملان را به خاطر داشتن انعکاس داخلی بسیار ضعیفی از کریپتوملان متمایز نمود (شکل ۵-۱۹).

البته تشخیص این فاکتور هم بسیار مشکل است. لذا به کمک تکنیک‌های نوری تشخیص قطعی این کانی میسر نمی باشد. راه دیگر شناسایی این کانی استفاده از دستگاه الکترون میکروپروب است. به کمک این تکنیک، وجود کریپتوملان به طور قطع اثبات گردیده است. برای تشخیص این کانی، نقاط مشکوک بین پسیلوملان و کریپتوملان برای عناصر باریوم و پتاسیم مورد تجزیه قرار گرفتند که در مواردی معدود بر روی نقاط مذکور تمرکز پتاسیم بالا بوده در حالیکه در این نقاط باریوم تمرکز خاصی نشان نمی دهد. در واقع عامل اصلی تشخیص کریپتوملان از پسیلوملان در صد بالای K_2O/BaO می باشد.

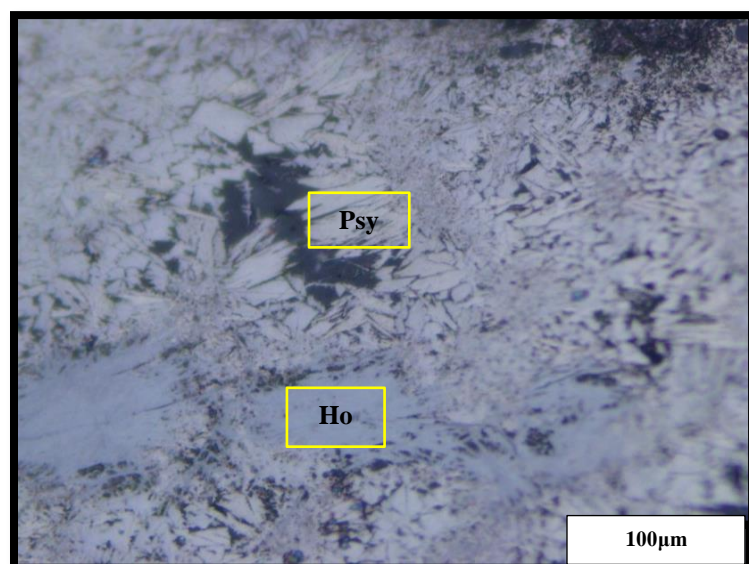


شکل ۵-۱۹- تصویر میکروسکوپی از کانی کریپتوملان (Cry) در کنار کانی پسیلوملان (Psy) در رخساره توده‌ای

¹ Ostwald

۵-۶-۴- هولاندیت

این کانی بعد از پسیلوملان بیشترین میزان BaO را دارد و از لحاظ شناسایی رنگ این کانی در نمونه‌های مطالعه شده طوسی متمایل به آبی تا سفید متمایل به خاکستری می‌باشد. تشخیص این کانی از پسیلوملان، کرونادیت و کریپتوملان مشکل است. هولاندیت جزو کانی‌های تشکیل شده در کانسار بندقیچی می‌باشد که به صورت هم‌رشدی با پسیلوملان و پیرولولوزیت دیده شده است. این کانی به صورت لکه‌ای و توده‌ای می‌باشد (شکل ۵-۲۰). این کانی در افق‌های توده‌ای به میزبانی آندزیت‌ها با استفاده از روش‌های نوری و سپس تجزیه دستگاهی الکترون میکروپروب تشخیص داده شد.



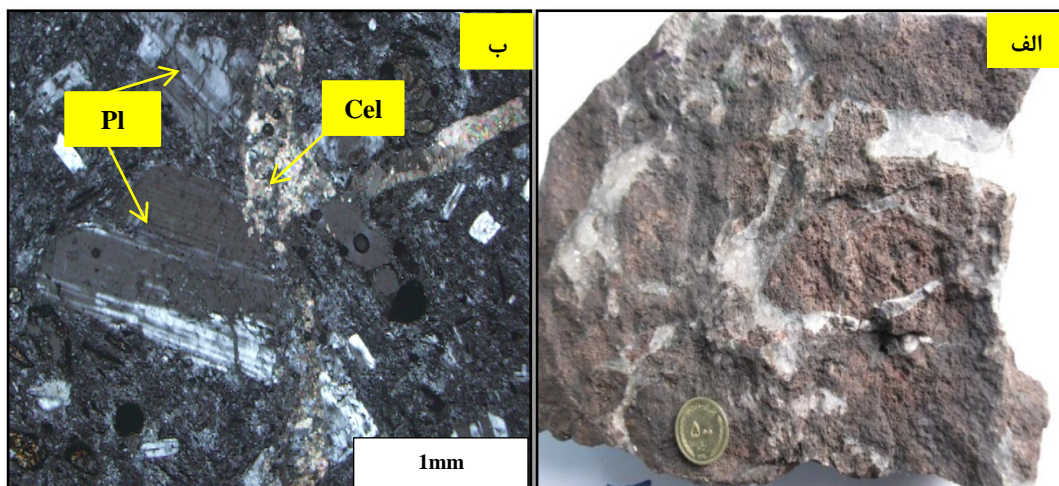
شکل ۵-۲۰- تصویر میکروسکوپی کانی هولاندیت (Ho) که به صورت لکه‌هایی بر روی پسیلوملان (Psy) دیده می‌شود.

۵-۶-۵- سلسیت

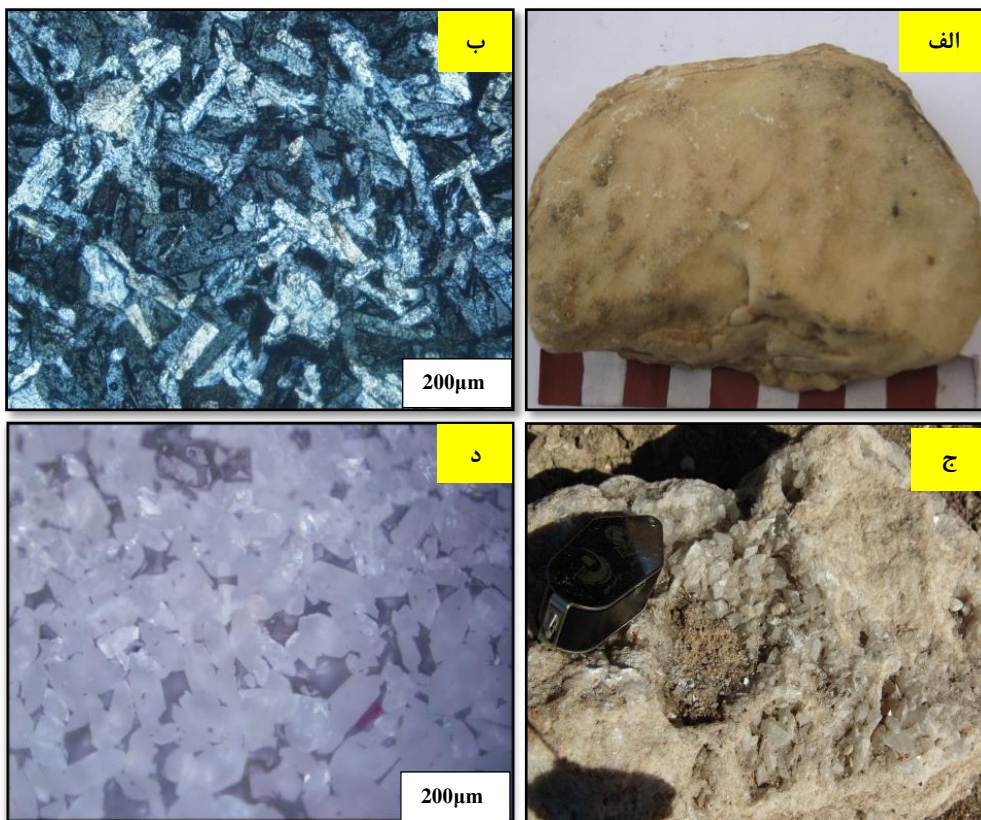
وجود کانی سلسیت همراه کانی‌های منگنز در کانسار بندقیچی محرز شده است. نمونه‌ای که در زیر میکروسکوپ با نور عبوری به راحتی قابل تشخیص است. بلورهای منشوری و خودشکل سلسیت به صورت بلورهای نبات دیده می‌شوند و در زیر نور پلاریزه شبیه بلورهای کوارتز ولی پلی کروئیسیم بالایی نسبت به کوارتز دارند.

بافت‌های سلسیتیت در کانسار بندقیچی عبارتند از :

- بافت رگه-رگچه‌ای و همچنین پر کننده فضاهای خالی که معمولاً در رخساره استرینگر به وضوح قابل مشاهده‌اند (شکل ۵-۲۱).
- بافت توده‌ای دانه‌ریز که در رخساره لایه‌ای نزدیک منشأ کانه‌زایی مشاهده شده است که در نمونه دستی به شکل تجمع دانه‌های ریز شکر دیده می‌شوند (شکل الف و ب، ۵-۲۲).
- بافت توده‌ای دانه درشت که با فاصله زیادی از رخساره توده‌ای دیده می‌شود جایی که سلسیتیت‌ها به شکل بلورهای خود شکل می‌باشند و در واقع کانسار سلسیتیت در این نقطه قابل برداشت است (شکل ج و د، ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۱-الف- تصویر نمونه دستی از بافت رگه-رگچه‌ای سلسیتیت، ب- تصویر میکروسکوپی از بافت رگه-رگچه‌ای سلسیتیت



- شکل ۵-۲۲-الف- تصویر نمونه دستی از سلسیت با بافت توده‌ای دانه ریز، ب- تصویر میکروسکوپی از بافت توده‌ای دانه ریز سلسیت در کانسار بندقیجی، ج- تصویر نمونه دستی از بافت توده‌ای دانه درشت سلسیت و د- تصویر میکروسکوپی از سلسیت‌های بلوری با بافت توده‌ای دانه درشت
- بافت نواری این بافت در رخساره لایه‌ای به صورت تناوبی از نوارهای سلسیت و منگنز و ژیپس می‌باشند (شکل ۵-۲۳، الف).
 - بافت گورخری^۱ در رخساره لایه‌ای به صورت لامینه‌هایی از سلسیت و منگنز و ژیپس دیده می‌شوند که کانیهای منگنز درون سلسیت‌های ثانویه نشسته است (شکل ۵-۲۳، ب).

¹ Zebra



شکل ۵-۲۳-الف- تصویر نمونه دستی از بافت نواری سلسیت در رخساره لایه‌ای و ب- تصویر نمونه دستی از بافت گورخری سلسیت در رخساره لایه‌ای که حاوی کانی‌های سلسیت و ژیپس و منگنز می‌باشد.

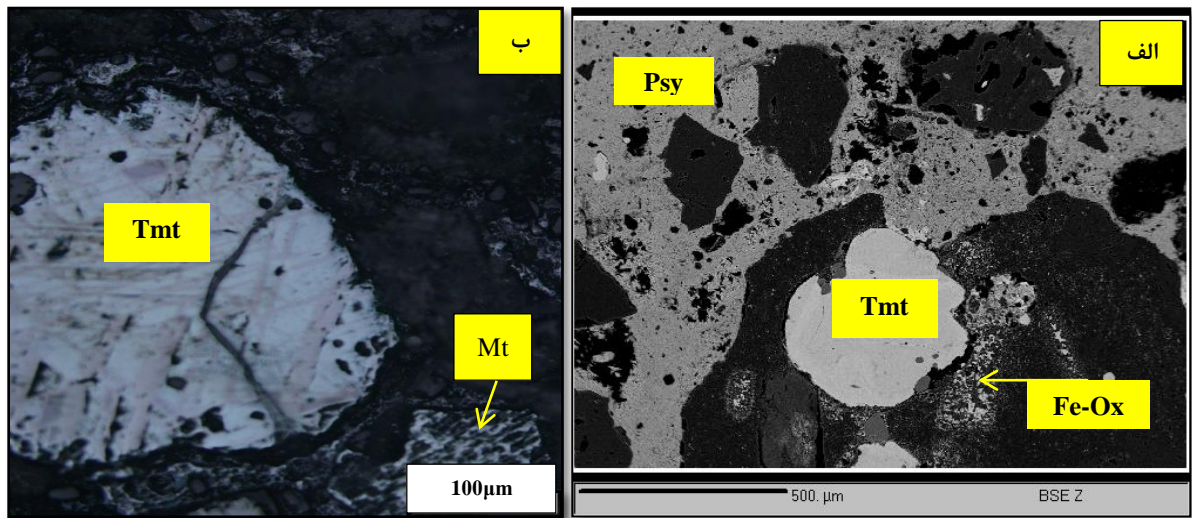
۵-۷- کانه‌های فرعی در کانسار بندقیچی

۵-۷-۱- تیتانومگنتیت

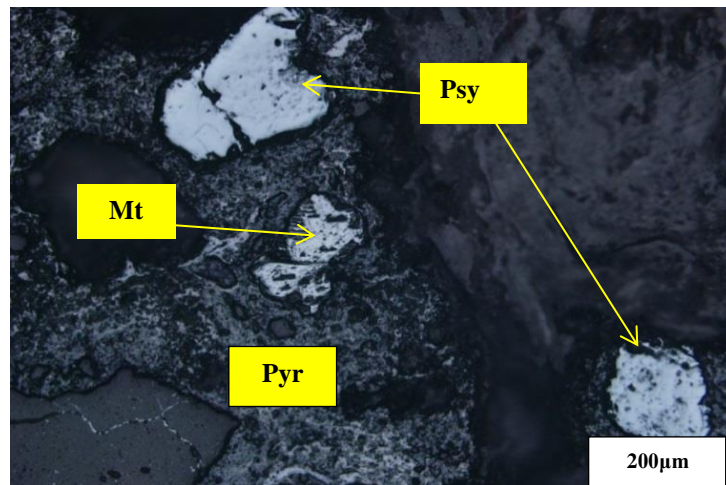
تیتانومگنتیت یکی از کانی‌های فرعی در کانسار بندقیچی است. شکل آن تقریباً اتومورف است. این کانی در واحد برشی کانه‌دار همراه با پسیلوملان و پیرولولزیت مشاهده می‌شود و از لحاظ پاراژنتیکی نمی‌توان بین آن و کانی‌های ذکر شده تقدم و تأخری قائل شد. بافت این کانی شکل داربستی دارد (شکل ۵-۲۴).

۵-۷-۲- مگنتیت

یکی دیگر از کانی‌های فرعی که در محدوده کانسار در رخساره برشی - توده‌ای مشاهده می‌شود، کانی مگنتیت است. این کانی در برخی نقاط مارتیتی شده و از اطراف تبدیل به هماتیت شده است. اکثراً با پیرولولزیت همراه می‌باشد. این کانی به شکل بافت توده‌ای و گاهی حالت منطقه‌بندی نشان می‌دهد (شکل ۵-۲۵).



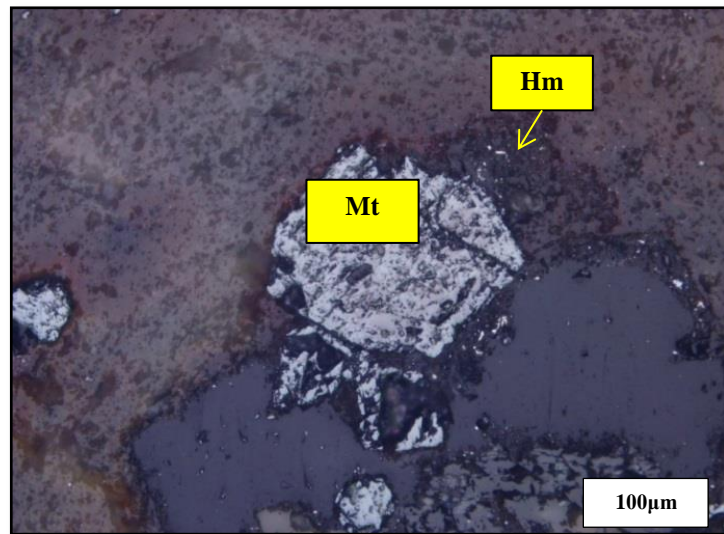
شکل ۵-۲۴-الف- تصویر (BSE) کانی تیتانومگنتیت ب- تصویر میکروسکوپی کانی تیتانومگنتیت و مگنتیت.



شکل ۵-۲۵- تصویر میکروسکوپی مگنتیت (Mt) که همراه با پیرولوزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy) می‌باشد.

۵-۷-۳- هماتیت

این کانی در مقیاس ماکروسکوپی در محدوده معدنی مشاهده نشده است اما در رخساره لایه‌ای رنگ قرمز مارن‌ها حکایت از وجود هماتیت در ترکیب آن‌ها دارد. هماتیت در زیر میکروسکوپ به شکل محصول دگرسانی دیده شده است. در اثر دگرسانی کلریتی در رخساره توده‌ای مگنتیت از حاشیه‌ها دگرسان شده و تبدیل به هماتیت می‌شود (شکل ۵-۲۶).

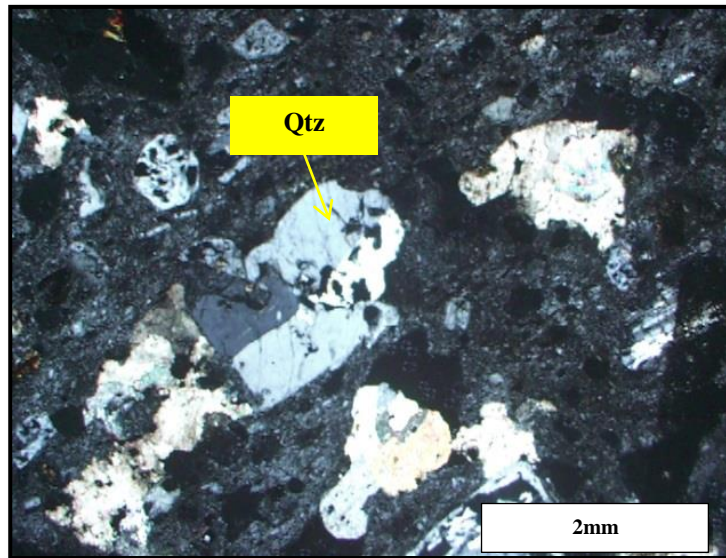


شکل ۵-۲۶- تصویر میکروسکوپی هماتیت (Hm) در حاشیه کانی مگنتیت (Mt)

۵-۸- کانی‌های غیرفلزی (باطله‌ها)

۵-۸-۱- کوارتز

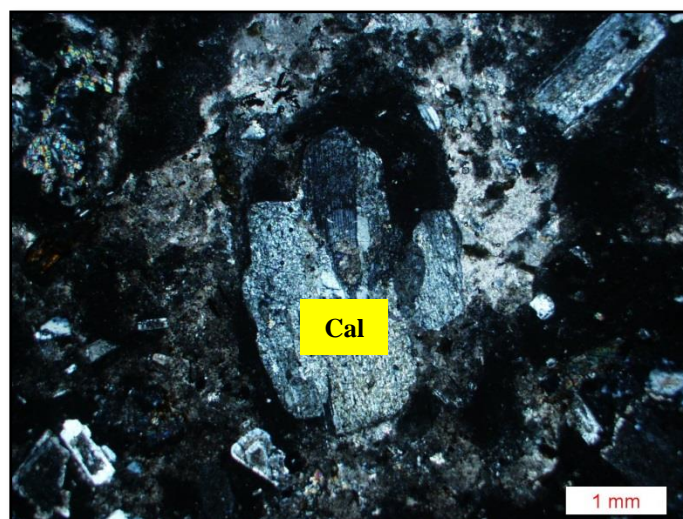
کوارتز مهمترین باطله‌ای می‌باشد که در ماده معدنی کانسار بندقیچی بر اساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی و در مطالعات میکروسکوپی دیده شده است (شکل ۵-۲۷). به طوری که در کانسنگ مورد مطالعه گاهی میزان آن به بیش از ۳۰٪ هم رسیده است. در این کانسار، بخش اعظم ماده معدنی به میزبانی سنگ‌های آتشفشانی است و این سنگ‌ها در ترکیب خود تا حدودی سیلیس دارند لذا وجود این مقدار سیلیس در کانسنگ به دور از انتظار نیست. اما بیشترین میزان سیلیس در کانی‌های رسی و مارنی رخساره چینه‌سان دیده می‌شود که میزبان کانسنگ در این رخساره هستند. وجود سیلیس به عنوان یک باطله مضر قلمداد می‌شود که افزایش آن از ارزش کانسنگ می‌کاهد.



شکل ۵-۲۷- تصویر میکروسکوپی کوارتز (Qtz) در رخساره لایه‌ای

۵-۸-۲- کلسیت

کلسیت به عنوان یکی از باطله‌های کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی محسوب می‌شود. این کانی نیز به مانند کوارتز در رخساره کانسنگ لایه‌ای بیشتر از رخساره رگه- رگچه‌ای و توده‌ای دیده می‌شود. اما میزان آن چندان بالا نیست (شکل ۵-۲۸).

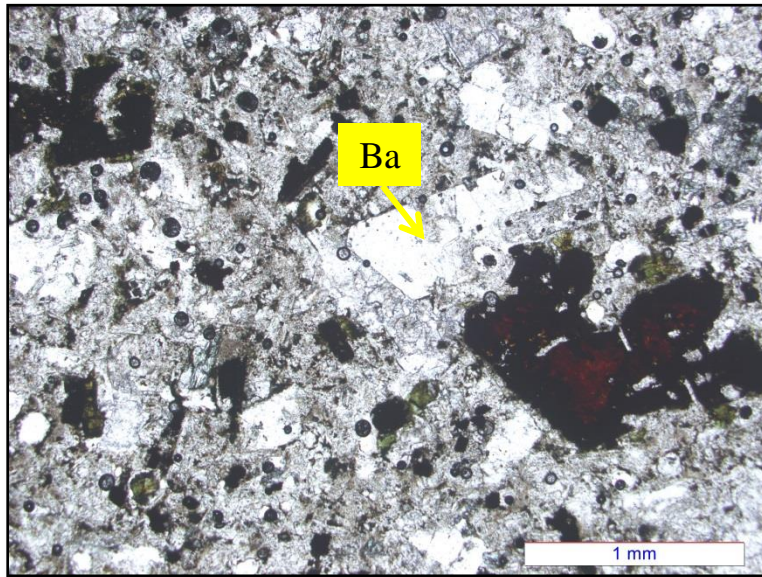


شکل ۵-۲۸- تصویر میکروسکوپی کلسیت در رخساره لایه‌ای

۵-۸-۳- باریت

کانی باریت یکی از کانی های باطله از گروه کانیهای سولفات می باشد که در هر سه رخساره کانسار

بند قیچی همراه کانی های سلسیت و منگنز دیده می شود (شکل ۵-۲۹).



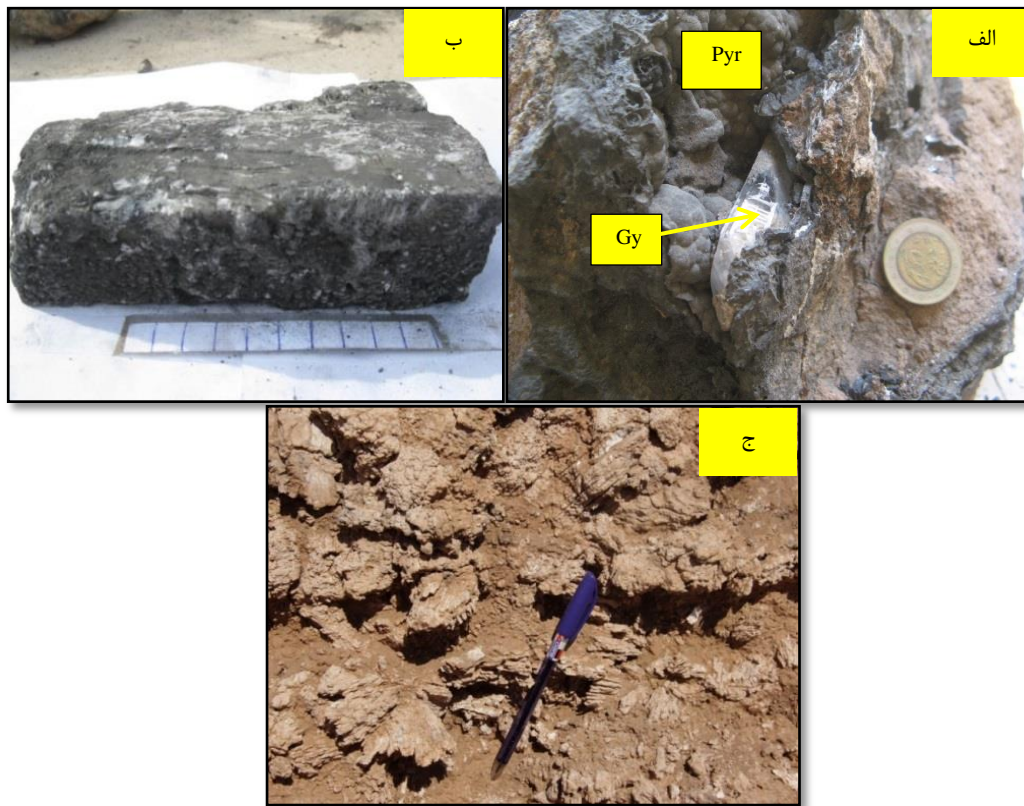
شکل ۵-۲۹- تصویر میکروسکوپی باریت در رخساره برشی

۵-۸-۴- ژپس

ژپس هم در کانسار بند قیچی یکی از باطله ها به شمار می رود که هم همراه کانه زایی منگنز و هم به همراه کانه زایی سلسیت دیده می شود. این کانی در کانسار بند قیچی به سه صورت دیده می شود در پهنه استرینگر به صورت گرمابی دیده می شود. در پهنه چینه سان به صورت دیاژنتیک (نودولی) و در بخش هوازده قطع کننده است و در همه سنگهای محدوده معدن دیده می شود (شکل ۵-۳۰).

دیگر کانی های باطله که در کانسار بند قیچی مشاهده می شوند می توان به کلریت و سربیسیت اشاره

کرد که در فصل ۴ (کانه زایی و دگرسانی) به آن پرداخته شده است



شکل ۵-۳۰- تصاویری از نمونه‌های ژئوپس الف- نمونه دستی از بلور ژئوپس اولیه (Gy) در داخل رگه کانه‌دار غنی از پیرولولوزیت (Pyr) در پهنه استرینگر، ب- نمونه دستی بلورهای ژئوپس آغشته به منگنز، ج- رخنمون صحرایی از بلورهای ژئوپسی که از نوع دیاژنتیک و اولیه در رخساره لایه‌ای هستند.

۵-۹- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

بر اساس مطالعات انجام شده از قبیل مطالعات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و همچنین نتایج داده‌های ژئوشیمی و تجزیه توسط دستگاه الکترون میکروپروپ می‌توان دو مرحله کانه‌زایی را برای تشکیل کانی‌های موجود در واحدهای کانه‌دار کانسار بندقیچی تشخیص داد. لذا می‌توان جدول توالی زیر را برای تشکیل کانی‌های موجود در محدوده معدنی از نظر زمانی و مکانی و بافت آن‌ها در نظر گرفت (جدول ۵-۱):

۱- مرحله آتشفشانی- برون‌دمی و دیاژنز

در این مرحله نسل اول کانی‌های پسیلوملان، پیرولولوزیت، سلسیت، تیتانومگنتیت و مگنتیت تشکیل می‌شوند که در مسیر تحولات کانسار به وجود آمده‌اند. تهنسست مواد معدنی در قالب بافت توده‌ای، برشی، رگه- رگچه‌ای و دانه‌پراکنده و در مرحله دیاژنز به- صورت بافت نواری و لامینه‌ای نیز قابل مشاهده می‌باشند. دگرسانی‌ها در این مرحله شامل کلریتی و سریسیتی- آرژیلیتی می‌باشند. پیرولولوزیت در محدوده وسیعتری از تحولات کانسار تشکیل شده است. هرچند تقدم تشکیل با پسیلوملان است ولی گاهی این کانی به همراه پسیلوملان و بطور هم‌زمان با هم بین قطعات برشی و رگه‌ها مشاهده می‌شود. حتی در این کانسار تحول پسیلوملان به پیرولولوزیت یکی از پدیده‌های فراوان و قابل توجه است که در اثر دیاژنز آب ترکیب پسیلوملان گرفته می‌شود و پیرولولوزیت تشکیل می‌شود. در مرحله دیاژنز در رخساره برشی- توده‌ای و لایه‌ای هولاندیت و کریپتوملان نیز تشکیل شده‌اند.

۲- مرحله هوازگی

بعد از بالآمدگی منطقه در مراحل پایانی مجموعه کانی‌های معدنی و سنگ‌ساز تحت تأثیر فرایندهای هوازگی قرار گرفته کانه‌ها و نسل بعدی کانی‌های سنگ‌ساز از قبیل کریپتوملان، هولاندیت و همچنین نسل دوم پیرولولوزیت، ژیپس، کلسیت و کانی‌های رسی را تشکیل می‌دهند.

جدول ۵-۱- توالی پاراژنتیک کانی‌ها و بافت ماده معدنی در کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی

Minerals		Volcanic - Exhalative and diagenesis			Weathering
		Stringer ore	Brecciated - massive ore	Bedded ore	
Pyrolusite		██████████	██████████	██████████	██████████
Psylomelane		██████████	██████████	██████████	██████████
Cryptomelane			██████████	██████████	██████████
Hollandite				██████████	
Celestite		██████████	██████████	██████████	
Titanomagnetite		██████████	██████████		
Magnetite		██████████	██████████		
Hematite			██████████	██████████	
Barite		██████████	██████████	██████████	
Gypsum		██████████	██████████	██████████	
Calcite		██████████	██████████	██████████	
Chlorite		██████████	██████████	██████████	
Quartz		██████████	██████████	██████████	
Clay minerals		██████████	██████████		██████████
Texture and structure	Banded			██████████	
	Laminated			██████████	
	Disseminated	██████████		██████████	██████████
	Vein and veinlets	██████████			
	Brecciated	██████████	██████████		

فصل ششم:

مطالعات ژئوسمپاتی

۶-۱- مقدمه

مطالعات ژئوشیمیایی کانسارهای منگنز از قدیم مورد توجه متخصصین زیادی از جمله (پیرسی)^۱، (۲۰۰۱؛ نیکولسون)^۲، (۱۹۹۲ الف، ب؛ فلور)^۳، (۱۹۹۲؛ فریبرگ)^۴، (۱۹۸۳؛ زنتوپ)^۵، (۱۹۷۸) و دیگران بوده است. 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. با استفاده از این روابط تا حدودی می‌توان به محیط و فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار و همچنین جهت اکتشاف ذخایر مشابه پی برد (بارنز^۶، ۱۹۷۹).

اهدافی که از مطالعه ژئوشیمیایی در این فصل از پایان‌نامه مد نظر می‌باشد: شامل بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین و رسوبی توالی میزبان کانی‌زایی، تعیین محیط تکتونیکی و ماهیت ماگمایی سنگ‌های آذرین و طبقه‌بندی آن‌ها، پی‌بردن به روابط موجود بین عناصر مختلف، توزیع آن‌ها در واحدهای سنگی موجود و اطلاع از چگونگی تمرکز آن‌ها در کانسنگ منگنز-سلسیت بندقیچی (ریعی) می‌باشد. جهت این مطالعات در ابتدا نمونه‌گیری لیتوژئوشیمیایی از سنگ‌های میزبان و همراه و مواد معدنی انجام گرفته است. سپس نمونه‌ها به روشهای ICP-MS، ICP-OES و XRF آنالیز گردیده و نتایج داده‌های آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. قبل از هر چیز، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عناصر منگنز و استرانسیم و کلیاتی از ژئوشیمی این عناصر در زیر اشاره می‌شود.

¹ Piercey

² Nicolson

³ Flohr

⁴ Freiberg

⁵ Zantop

⁶ Barnes

۲-۶ خصوصیات منگنز

۱-۲-۶ ویژگی‌های فیزیکی منگنز

فلز منگنز با این که فلزی سخت است، اما آن قدر شکننده است که اگر به صورت آلیاژ درنیاید به هیچ وجه قابل استفاده نخواهد بود. خصوصیات فیزیکی عنصر منگنز به صورت جدول ۱-۶ ارائه شده است.

جدول ۱-۶- خصوصیات فیزیکی منگنز (اسنل و ایتز،^۱ ۱۹۷۲)

نقطه ذوب	۱۲۴۵
نقطه جوش	۲۱۵۰
وزن مخصوص در 20°C (gr/cm^3)	۷/۴۳
گرمای ویژه در 25°C (cal/gr)	۰/۱۱۵
گرمای نهان ذوب (cal/gr)	۶۳/۷
سختی در مقیاس موس	۵

۲-۲-۶ ویژگی‌های ژئوشیمیایی منگنز

منگنز از نظر فراوانی در پوسته زمین دوازدهمین عنصر می‌باشد و در بین فلزات هشتمین مقام را دارد. این عنصر دارای یک ایزوتوپ پایدار Mn^{55}_{25} با عدد اتمی ۲۵ و وزن اتمی ۵۴/۹۳۸ می‌باشد (روی^۲، ۱۹۸۱؛ اسنل و ایتز، ۱۹۷۲)، در جدول تناوبی عناصر، مکان نخست گروه هفتم عناصر واسطه را دارد. منگنز دو ظرفیتی Mn^{+2} معمولاً در ترکیبات ساده آبدار شرکت می‌کند، در صورتی که منگنز سه ظرفیتی Mn^{+3} بیشتر در کمپلکس‌ها وارد می‌شود.

¹ Snell and Etre

² Roy

منگنز از جمله عناصر نسبتاً فراوان پوسته زمین است و لذا تمرکز آن در پوسته امری عادی است. از نظر ژئوشیمیایی منگنز عنصری شدیداً لیتوفیل است. ولی در عین حال خاصیت کالکوفیلی کمی نیز از خود نشان می‌دهد. در پوسته فوقانی این عنصر خاصیت اکسی‌فیلی دارد (روی، ۱۹۸۱).

اگر مقدار منگنز در شهابسنگ‌ها (در فاز فلزی) برابر ۱ (یک) فرض شود، این مقدار در فاز سولفیدی برابر ۱۰ (ده) و در فاز سیلیکاته برابر ۲۶ اندازه‌گیری شده است که حاکی از آن است این عنصر تمایلات لیتوفیلی شدید به همراه مقداری رفتار کالکوفیلی دارد (روی، ۱۹۸۱).

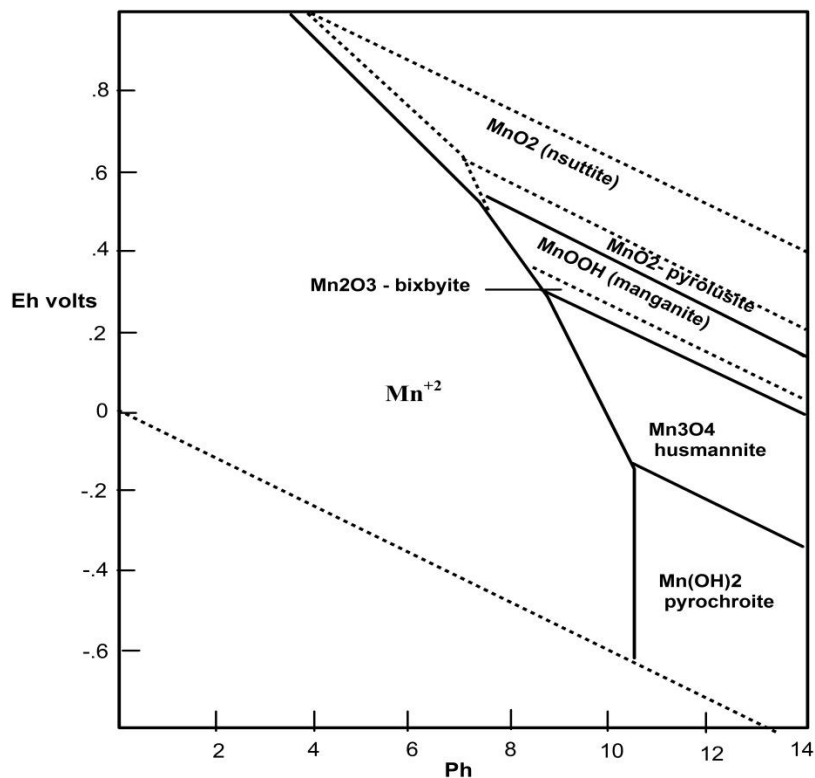
خواص منگنز بوسیله حالت اکسیداسیون محیط کنترل می‌شود. در آزمایشگاه حالت‌های اکسیدی زیادی برای منگنز شناخته شده است، اما در طبیعت دو حالت Mn^{+2} و Mn^{+4} بیشتر مشاهده شده‌اند. هر چند خواص ژئوشیمیایی منگنز خیلی شبیه به آهن است اما به دلیل تحرک ژئوشیمیایی بالای منگنز نسبت به آهن خصوصاً در محیط‌های رسوبی جدایش این دو عنصر از یکدیگر امکان‌پذیر می‌شود. در Eh و PH پایین یونهای دو ظرفیتی آهن و منگنز هر دو بصورت پایدار در محلول باقی می‌مانند ولی در شرایط سطحی هر دو یون اکسیدهای نامحلول تولید کرده و بصورت جامد از محلول جدا می‌شوند. حلالیت کمتر آهن نسبت به منگنز سبب تقدم رسوب‌گذاری آهن در مقایسه با منگنز می‌شود. و در نتیجه باعث تفریق و جدایی حالت اکسیداسیون و ظرفیت منگنز به Eh و pH آب‌های زیر زمینی و سیالات گرمابی و محیط تشکیل بستگی دارد. در محیط‌های سوپرژن که سطحی‌ترند و ویژگی اکسیدکنندگی شدیدتری دارند، منگنز دارای ظرفیت +۴ می‌باشد، در حالی که در محیط‌های احیایی ظرفیت آن +۲ می‌باشد. ولی اغلب اوقات هر دو حالت Mn^{+2} و Mn^{+4} در محیط‌های سوپرژن یافت می‌شوند (کیم^۱، ۱۹۸۴). همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد منگنز دوازدهمین عنصر در پوسته زمین است، اما مقدار آن ۵۰ مرتبه کمتر از آهن است. فراوانی این عنصر در سنگ‌های آذرین بازیگ بیشتر از سنگ‌های آذرین اسیدی است، اما نسبت Mn/Fe در انواع این سنگ‌ها تقریباً ثابت است، به همین دلیل فرایندهای ماگمایی در جدایش این دو عنصر از هم تاثیر چندانی ندارند ولی در سنگ‌های

¹ Kim

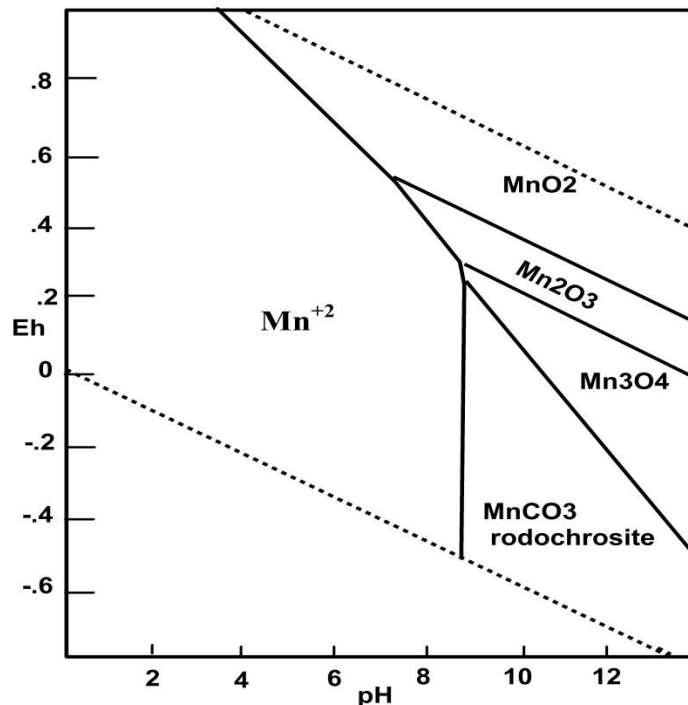
رسوبی تغییرات نسبت Mn/Fe به دلیل تحرک بالای منگنز قابل توجه است. مقدار منگنز در شیل‌ها یک الگوی بسیار جالب توجهی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که شیل‌های غنی از مواد آلی میزان منگنز ناچیزی دارند و نسبت Mn/Fe در آن‌ها بسیار پایین است. در حالی که میزان دیگر فلزات در این شیل‌ها بالاست و این به علت تحرک و انحلال‌پذیری بالای منگنز نسبت به دیگر عناصر فلزی در محیط احيایی است. خواص ژئوشیمیایی منگنز در محیط‌های رسوبی تابع شرایط اکسیداسیون و احياء می‌باشد. نمودارهای Eh-pH محدوده وسیع انحلال‌پذیری منگنز (Mn^{+2}) را نشان می‌دهند. منگنز در مقادیر pH مختلف مثل آب دریا (pH=8) و یا آب‌های شیرین سطحی (pH=5-7) محلول است مگر اینکه محیط شدیداً اکسیدکننده باشد (شکل ۶-۱). افزایش گوگرد به سیستم تغییر چندانی در محدوده پایداری فازها به وجود نمی‌آورد در غیر این صورت تنها در محدوده خیلی کم سولفید منگنز پایدار (آلاباندیت MnS) تشکیل می‌شود در حالی که ورود کربنات‌ها سبب ایجاد منطقه وسیعی از نمونه‌های پایدار و جامد منگنز (رودوکروزیت) در شرایط احياء می‌شود (شکل ۶-۲). رودوکروزیت در آب دریا در صورت وجود منگنز به راحتی تشکیل می‌شود چرا که pH آب دریا با افزایش ناچیز $(CO_3)^{-2}$ بالا می‌رود در حالی که آب‌های سطحی pH خیلی پایینی نسبت به آب دریا دارند. کانی رودوکروزیت در شرایط Eh پایین دریا با نرخ رسوبگذاری متفاوت در اعماق مختلف آب دریا تشکیل می‌شود (پدرسن و پرایس^۱، ۱۹۸۲. ساس^۲، ۱۹۸۲). از این رو ویژگی منگنز در محیط‌های احيایی Eh پایین توسط کربنات‌ها و ویژگی‌های آهن توسط سولفیدها کنترل می‌شود.

¹ Pedersen and Price

² Suess



شکل ۱-۶ نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز که نشان دهنده محدوده وسیع انحلال پذیری منگنز در محیط‌های احيایی است (مینارد^۱، ۱۹۸۳) (1983).



شکل ۲-۶ نمودار Eh-pH برای اکسیدها و کربناتهای منگنز، سولفید منگنز (آلاباندیت) که در این نمودار نشان داده نشده است (مینارد، ۱۹۸۳).

¹ Maynard

۶-۳- خواص فیزیکی و شیمیایی استرانسیم

استرانسیم از نظر شیمیایی از عناصر فلزیایی خاکی است و در طبیعت به طور آزاد وجود ندارد و با عناصر غیر فلزی مانند اکسیژن پیوندهای یونی‌ای دارد که پدید آورنده ترکیبات متنوع است. استرانسیم از نظر ژئوشیمیایی به شدت لیتوفیل است اما در لیتوسفر بالایی به شدت اکسی فیل (مانند کلسیم و باریوم) می‌شود. اندازه یون استرانسیم نشان می‌دهد که می‌تواند به جای کلسیم یا پتاسیم قرار گیرد یعنی استرانسیم به وسیله کانی‌های کلسیم پذیرفته (به خاطر شعاع بزرگتر) و به وسیله کانی‌های پتاسیم تسخیر می‌شود (به خاطر بار زیادتر) (مر و شرفی، ۱۳۸۳). داده‌های به دست آمده نشان می‌دهند که استرانسیم در سنگهای آذرین، اغلب در پلاژیوکلازها و فلدسپات پتاسیم وجود دارد و تمرکز آن در برخی کانی‌های خاص با پیشرفت تبلور افزایش می‌یابد. فراوانی آن در سنگهای آذرین معمولاً در بازالت‌ها بیشتر از گرانیت‌ها است. پذیرش آن به جای کلسیم، فرایند عمده بیرون رفتن استرانسیم از ماگماست. با توجه به ویژگی‌های شیمیایی مشترک بین استرانسیم، کلسیم و باریوم ارتباط تنگاتنگ گروهی آنها در رخدادهای طبیعی، امری عادی است. استرانسیم در کانیهای سلسیت و استرونسیانیت یافت می‌شود که در جدول (۶-۲) خصوصیات این دو کانی به اختصار شرح داده شده است. خواص ژئوشیمیایی و محدوده پایداری استرانسیم در نمودار (۶-۳) ارائه شده است. فلز استرانسیم از الکترولیز مخلوط کلر گداخته همراه با کلرید پتاسیم حاصل میشود، یا از احیا اکسید استرانسیم با آلومینیم در شرایط خلأ و در دمایی که استرانسیم تقطیر میشود، بدست می‌آید. سه شکل آلوتروپی این فلز وجود دارد که نقطه انتقال آنها ۲۳۵ و ۵۴۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. استرانسیم از کلسیم نرمتر است و در آب به شدت تجزیه میشود. استرانسیم، در دماهای زیر ۳۸۰ درجه سانتیگراد، نیتروژن را جذب نمی‌کند. برای جلوگیری از اکسید شدن استرانسیم این عنصر باید در نفت سفید نگهداری شود. مقطع جدید استرانسیم، ظاهری نقره‌ای دارد، اما به سرعت به رنگ زرد با ساختار اکسیدی در می‌آید. فلز نهایی در هوا می‌سوزد. نمکهای فرار استرانسیم رنگ قرمز زیبایی

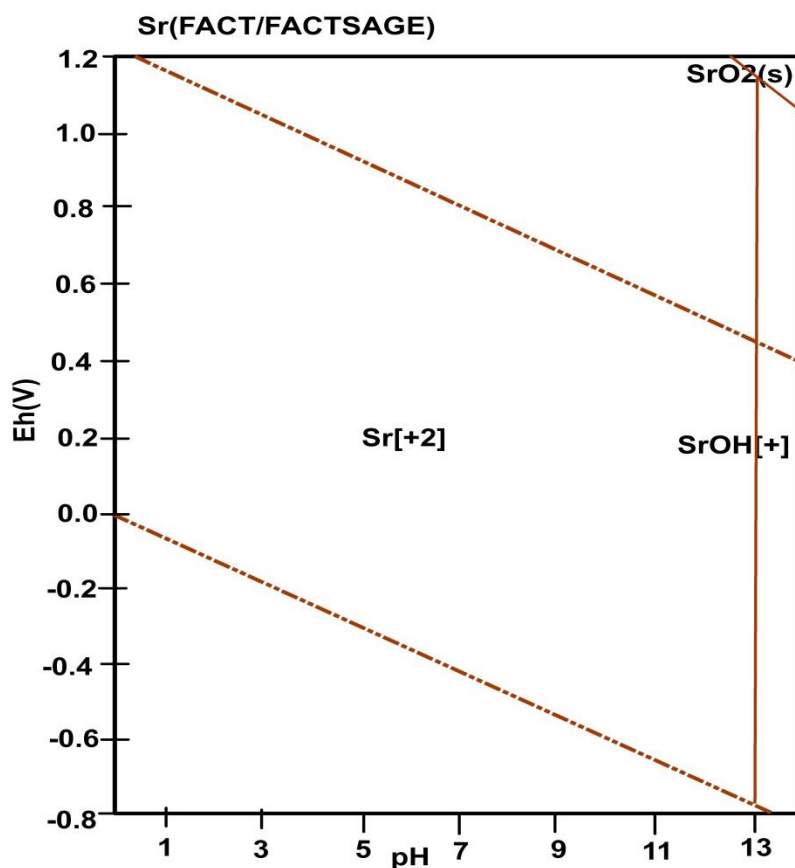
دارند. این نمکها در فشفشه ها و مواد آتشزا کاربرد دارند. استرانسیم طبیعی از مخلوط چهار ایزوتوپ پایدار تشکیل شده است.

شانزده ایزوتوپ ناپایدار دیگر از استرانسیم وجود دارد. یکی از مهمترین ایزوتوپهای ناپایدار استرانسیم Sr^{90} است که نیمه عمر آن ۲۹ سال می باشد. Sr^{90} محصول ریزشهای هسته‌ای است و مشکلاتی در سلامت انسان ایجاد می کند. این ایزوتوپ یکی از ایزوتوپهای با عمر طولانی است که اشعه بتا از خود متصاعد می کند و در دستگاههای SNAP (سیستم برای قدرت کمکی هسته‌ای) به کار می رود. این دستگاهها برای ساختن فضاپیماها، ایستگاههای هواشناسی و جاهایی که منابع قدرت هسته ای-الکتریکی، دراز مدت، سبک وزن نیاز است، به کار می روند. در حال حاضر مهمترین کاربرد استرانسیم برای تولید شیشه‌های رنگی تلویزیون است. همچنین از استرانسیم برای تولید آهن ربا و تصفیه روی استفاده می شود. تیتانیت استرانسیم ماده نوری جالبی است که دارای شاخص انکسار بسیار بالایی است و پراکندگی نوری بالاتری نسبت به الماس دارد. استرانسیم به عنوان جواهر نیز به کار می رود، اما خیلی نرم است. خصوصیات عنصر استرانسیم در جدول (۳-۶) آورده شده است.

جدول ۶-۲- خصوصیات سلسیت و استرانسیانیت (هاربن^۱، ۱۹۹۹)

خواص اصلی سلسیت و استرانسیانیت		
استرانسیانیت	سلسیت	کانی
کربنات استرانسیم ($SrCO_3$)	سولفات استرانسیم ($SrSO_4$)	فرمول
سفید، سبز، زرد مایل به قهوه‌ای و قرمز	سفید، بنفش متمایل به آبی	رنگ
۳/۸	۴	وزن مخصوص
۳/۵	۳-۳/۵	سختی
منشوری و سوزنی	صفحه‌ای، میله‌ای و منشوری	شکل

¹ Harben



شکل ۶-۳- نمودار pH-Eh برای اکسیداسترانسیم و هیدروکسید استرانسیم در سیستم (Sr-O-H) و شرایط $\sum Sr=10^{-10}$, 298.15k, 10^5 (باله^۱ و همکاران، ۲۰۰۲)

جدول ۶-۳- خواص اتمی، فیزیکی و شیمیایی استرانسیم را نشان می‌دهد.

خواص اتمی، فیزیکی و شیمیایی استرانسیم	
عدد اتمی	۳۸
جرم اتمی	۸۷/۶۲
نقطه ذوب	۷۶۹°C
نقطه جوش	۱۳۸۴°C
رنگ	سفید نقره ای
حالت استاندارد	جامد
الکترونگاتیوی	۱
حالت اکسیداسیون	۲
چگالی	۲/۶ gr/cm ³
گرمای تبخیر	۱۳۶/۹ kJ/mol
گرمای فروپاشی	۸/۳ kJ/mol

¹ Bale

۶-۳-۱- ژئوشیمی سلسیت و انیدریت

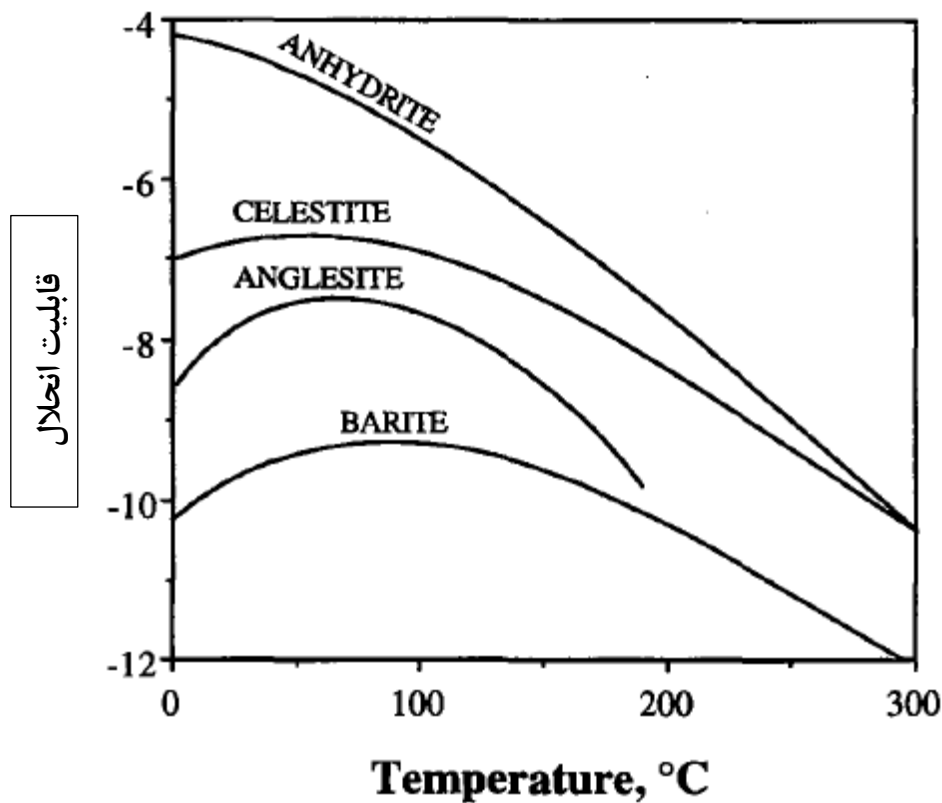
از آنجا که سلسیت و ژیپس (انیدریت) و باریت از کانیهای سولفاتی موجود در کانسار بندقیچی می‌باشند، ابتدا به رفتار ژئوشیمیایی کانی‌های سولفاتی پرداخته می‌شود سپس بر اساس آن شرایط تهنشست سلسیت و انیدریت بررسی می‌شود. رفتار انحلالی کانی‌های سولفاتی خیلی ساده است. تحت شرایط گرمایی انحلال کانی‌های سولفاتی با افزایش فشار و شوری و کاهش دما بالا می‌رود. لذا کانی‌های سولفاتی با بالا رفتن دما و افت فشار و کم شدن میزان شوری تهنشست می‌کنند. برای مثال در شکستگی‌های عمیق و نقاطی که فشار نزدیک به سطح لیتواستاتیک تا هیدرواستاتیک است، رسوب می‌کنند. با بالا رفتن pH و Eh میزان قابلیت انحلال کاسته می‌شود. سولفات و سولفید انواع غالب ناشی از حضور گوگرد در محلول‌های گرمایی هستند، که در دمای بالای 200°C به سرعت به حالت تعادل می‌رسند. در زیر این دما گوگرد در شرایط اکسیدی بلافاصله اکسید می‌شود و به سولفات تبدیل می‌شود در حالیکه در شرایط احیاء در همین دما سولفات به میزان ناچیزی تبدیل به سولفید می‌شود. تمرکز سولفات در سیالات گرمایی در اثر تجمع کانی‌های سولفیدی و اکسیدی از قبیل پیریت، پیروتیت، مگنتیت و هماتیت کنترل می‌شود. افزایش pH محلول گرمایی بیوسولفات را به سولفات تبدیل می‌کند و باعث تهنشست کانی‌های سولفات می‌گردد. سرعت تهنشست کانی‌های سولفات به مراتب کمتر از کانی‌های کربناته است. بیشترین انحلال پذیری سلسیت در دمای 20°C است. با پایین آمدن دما سلسیت شروع به تهنشست می‌کند. بر مبنای پژوهش (مولر^۱، ۱۹۶۲). فوچبایور و مولر^۲، ۱۹۷۷) در محیط‌های تبخیری گرم و حاره، با تبخیر آب دریاها و دریاچه‌ها و در نتیجه افزایش غلظت نمک‌های حل شده در آنها ابتدا کربنات کلسیم و سپس با تبخیر بیشتر و کاهش نسبت حجم آب به ۱:۵ حجم اولیه سولفات استرانسیم تهنشست می‌کند. بعد از تهنشست شدن سلسیت، انیدریت به حالت تعادل می‌رسد و تهنشست می‌شود. تهنشست کانی‌های سولفات در محیط

¹ Muller

² Fuchtbauer and Muller

اکسیدی و قلیایی می‌باشد، اما عوامل مهم دیگری که در این فرایند تأثیر بالاتری دارند فشار، شوری و دمای محلول گرمابی می‌باشد.

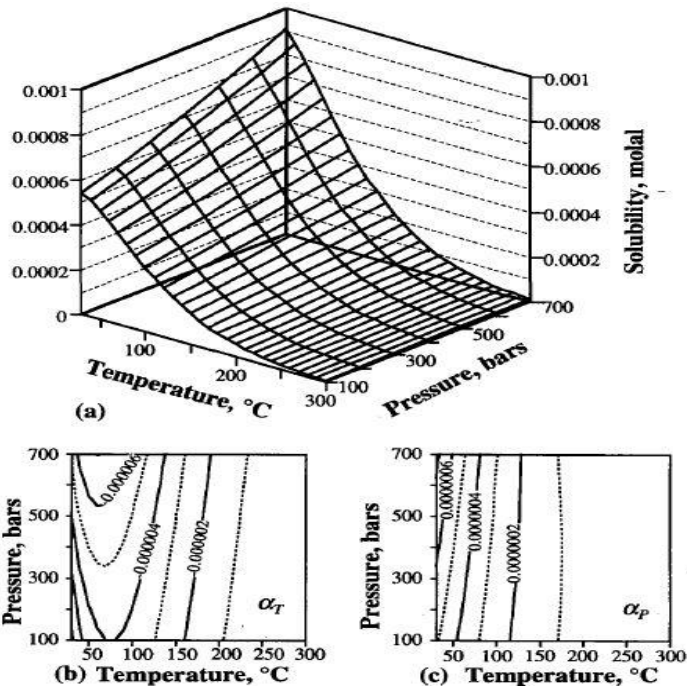
در نمودار (۴-۶) که از کتاب ژئوشیمی ذخایر گرمابی از بارنز^۱ اقتباس شده است، محدوده پایداری و قابلیت انحلال چند تا از کانی‌های سولفات‌ها نشان داده شده است. در نمودار (۵-۶) و (۶-۶) به ترتیب قابلیت انحلال سلسیت و انیدریت بر حسب تغییرات دما و فشار مورد بررسی قرار گرفته است. میزان حلالت سلسیت و انیدریت و باریت با افزایش دما کاهش می‌یابد (شکل ۴-۶) و در دمای پایین با افزایش فشار میزان حلالت افزایش می‌یابد.



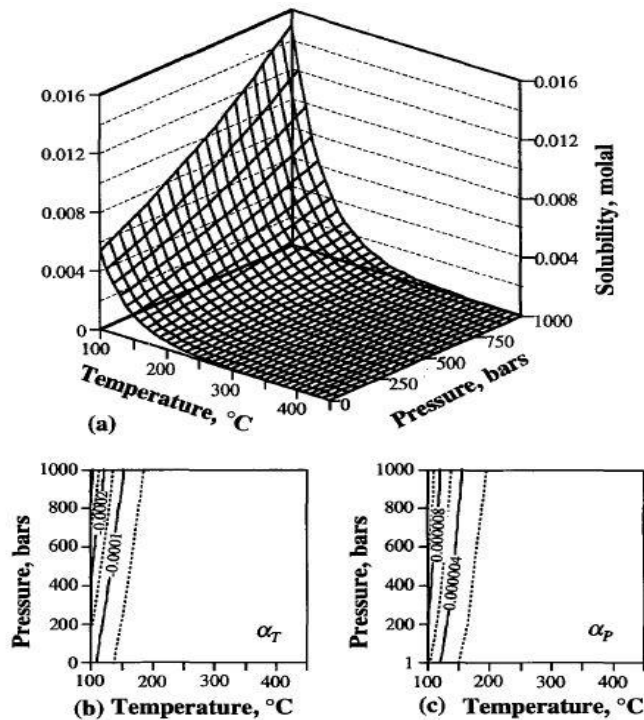
شکل ۴-۶- قابلیت انحلال تعدادی از کانی‌های سولفات‌ها بر اساس دما (نمو^۲ و همکاران، ۱۹۷۴)

¹ Barnes

² Naumov



شکل ۵-۶-۵ (a) قابلیت انحلال سلسیت بر اساس دما و فشار (هوول^۱ و همکاران، ۱۹۹۲) (b) دمای مؤثر بر انحلال سلسیت (بر اساس مول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد) و (c) - فشار مؤثر بر انحلال سلسیت (مول بر کیلوگرم بار)



شکل ۶-۶-۶ (a) قابلیت انحلال انیدریت بر اساس دما و فشار (بلونت و دیکسون^۲، ۱۹۶۹) (b) - دمای مؤثر بر انحلال انیدریت (بر اساس مول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد) و (c) - فشار مؤثر بر انحلال انیدریت (مول بر کیلوگرم بار)

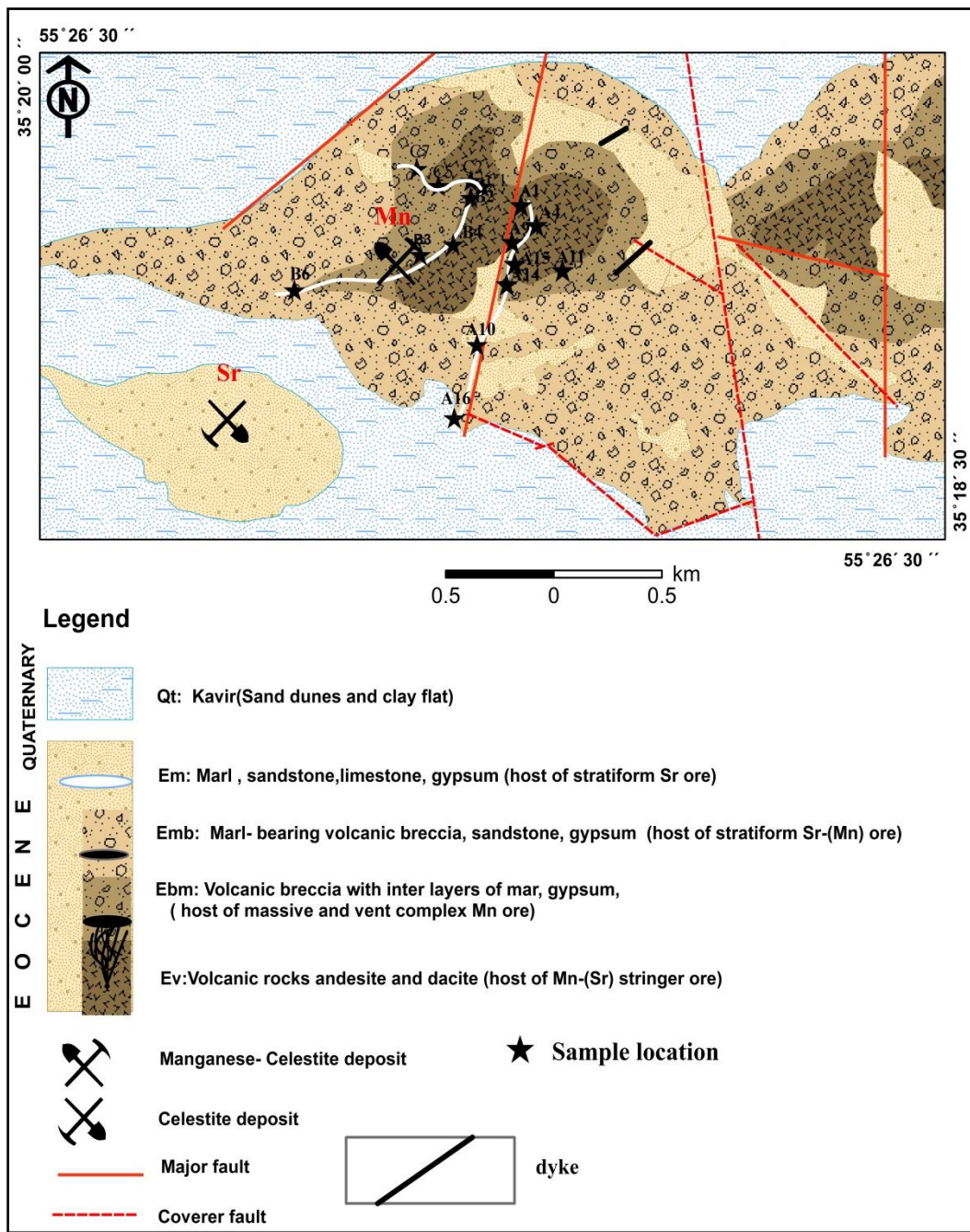
¹ Howell

² Blount and Dickson

۴-۶- روش کار

پس از بررسی‌های صحرائی و انجام مطالعات میکروسکوپی بر روی واحدهای سنگی و بویژه سنگ‌های توالی میزبان و رخساره‌های کانه‌دار، جهت مطالعات ژئوشیمیایی کانسار منگنز-سلسیت بند قیچی تعداد ۳۵ نمونه از کانسنگ و سنگ‌های میزبان جمع‌آوری شد که از این تعداد ۱۲ نمونه جهت بررسی اکسیدهای اصلی کانسنگ منگنز برای آنالیز XRF و تعداد ۴ نمونه هم جهت تشخیص کانی‌های این کانسار در آزمایشگاه XRD مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه قرار گرفتند. تعداد ۱۹ نمونه با حمایت سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران ایمیدرو^۱ به روش ICP-MS و ICP-OES جهت بررسی میزان عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و عناصر نادر خاکی (REE) در شرکت Acme کشور کانادا آنالیز شدند. داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی، عناصر فرعی، کمیاب و نادر خاکی توسط نرم‌افزارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج بدست آمده در ادامه توضیح داده شده است. در ابتدا قبل از اینکه به بحث درباره نتایج شیمیایی نمونه‌های برداشت شده پرداخته شود، سعی شده است مکان برداشت نمونه‌ها بر روی نقشه تهیه شده از محدوده معدنی نشان داده شود (شکل ۶-۷) و نام نمونه‌ها و موقعیت جغرافیایی آنها به اختصار در جدولی ارائه شود (جدول ۴-۶).

¹ IMIDRO



شکل ۶-۷- نقشه زمین شناسی محدوده معدنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و موقعیت کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی نشان داده شده است و محل نمونه‌ها (ستاره) بر روی پروفیل‌های پیمایش شده (خط‌های سفید)

جدول ۴-۶ نام نمونه‌ها و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در محدوده معدنی بندقیچی

ردیف	کد آزمایشگاهی	کد صحرایی	نام سنگ	بافت	محل برداشت نمونه	موقعیت جغرافیایی
۱	M160	A1	آندزیت		پهنه استرینگر	35°19' 52"N 55°28' 03"E
۲	M161	A4	آندزیت		پهنه استرینگر	35°19' 55"N 55°27' 48"E
۳	M162	A9	سلسیت	توده‌ای	رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 50"N 55°28' 05"E
۴	M163	A10	کانسنگ منگنز	لایه‌ای	رخساره لایه‌ای	35°19' 36"N 55°27' 49"E
۵	M164	A11	کانسنگ منگنز	توده‌ای و برشی	رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 50"N 55°28' 00"E
۶	M165	A14	سلسیت	نواری	پهنه استرینگر	35°19' 42"N 55°27' 55"E
۷	M166	A15	کانسنگ منگنز	توده‌ای و برشی	رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 54"N 55°28' 01"E
۸	M167	A16	سلسیت	توده‌ای	پهنه استرینگر	35°19' 32"N 55°28' 05"E
۹	M168	B2	آندزیت		رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 50"N 55°28' 05"E
۱۰	M169	B3	کانسنگ منگنز	توده‌ای و برشی	رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 43"N 55°27' 35"E
۱۱	M170	B4	کانسنگ منگنز	رگه - رگچه‌ای	پهنه استرینگر	35°19' 44"N 55°27' 32"E
۱۲	M171	B6	کانسنگ منگنز	لایه‌ای	رخساره لایه‌ای	35°19' 42"N 55°27' 30"E
۱۳	M172	B10	آندزیت		پهنه استرینگر	35°19' 50"N 55°28' 00"E
۱۴	M173	C1	آندزیت		پهنه استرینگر	35°19' 50"N 55°28' 05"E
۱۵	M174	C2	آندزیت آتره شده		پهنه استرینگر	35°19' 50"N 55°28' 05"E
۱۶	M175	C5	کانسنگ منگنز	رگه - رگچه‌ای	پهنه استرینگر	35°19' 50"N 55°27' 46"E
۱۷	M176	C6	مارن		رخساره لایه‌ای	35°19' 50"N 55°28' 05"E
۱۸	M177	C7	کانسنگ منگنز	توده‌ای و برشی	رخساره توده‌ای و برشی	35°19' 49"N 55°27' 39"E
۱۹	M178	D2	آندزیت		پهنه استرینگر	35°19' 50"N 55°28' 05"E

۵-۶- ژئوشیمی سنگهای آذرین

سنگهای آذرین، در منطقه معدنی بندقیچی به صورت گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب‌های متفاوت و توده‌های نفوذی نیمه عمیق و رسوبی قابل مشاهده‌اند. با توجه به اینکه سنگهای میزبان کانی‌زایی در منطقه سنگ‌های آتشفشانی حد واسط و رسوبی می‌باشند، لذا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگها اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگهای منطقه در اختیار قرار خواهد داد. قبل از پرداختن به ترسیم نمودارها جدول نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی برداشت شده از محدوده آورده شده‌اند (جدول ۵-۶).

۵-۶-۱- طبقه‌بندی و تعیین ترکیب شیمیایی سنگهای آتشفشانی

از عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگهای آذرین و تعیین محیط تکتونیکی آنها استفاده گردیده است. بنابراین در این تحقیق برای طبقه‌بندی سری ماگمایی سنگهای آذرین منطقه معدنی از نمودارهای Zr/Y (بارت و مک لئان، ۱۹۹۴)، (بارت و مک لئان، ۱۹۹۹) Th/Yb نمودار دوتایی Zr/Ti و Nb/Y (پیرس و همکاران، ۱۹۹۶) و نمودار سه تایی $Al-Mg-FeT+Ti$ (جنسن، ۱۹۷۶) استفاده شده است.

سری ماگمایی و ترکیب شیمیایی سنگ‌های منطقه در نمودار نسبت Y در مقابل Zr توسط (بارت و مک لئان^۱، ۱۹۹۴) نشان داده شده است که اگر نسبت Zr/Y بیشتر از ۷ باشد سنگهای آتشفشانی جزو سری کالک‌آلکان ولی اگر این نسبت بین (۲ تا ۴/۵) باشد سری تولییتی نامگذاری می‌شوند. در کانسار مورد مطالعه با توجه به اینکه نسبت (Zr/Y) بالای ۷ می‌باشد، لذا سنگ‌های آتشفشانی میزبان، ماهیت سری کالک‌آلکان را نشان می‌دهند (شکل ۶-۸).

¹ Barrett and MacLean

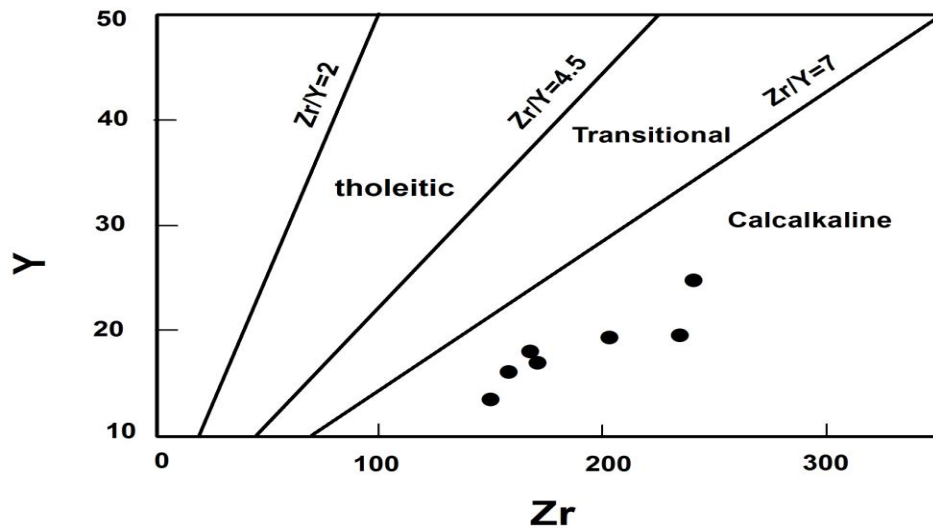
جدول ۶-۵- میزان عناصر اصلی و کمیاب حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه به روشهای ICP-MS و ICP-OES

	واحد	ppm	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Sample	نام سنگ	Mn	Fe	Al	Mg	Ba	Sr	Na	K	Pb	Zn	Ti	Cr	Zr	U	Th	Cd	Sb	P	Hf	Rb	Ta	Nb	Cs
A1	آندزیت	1299	3.39	7.91	0.44	1505	1138	1.216	5.4	27.73	65.2	0.326	154	171.9	4.6	18.3	0.4	3.83	0.1	4.9	202.2	0.8	11.9	6.7
A4	آندزیت	871	3.47	7.28	1.13	656	481	4.409	5.63	31.67	60.9	0.34	36	194.7	4.7	15.9	0.17	1.86	0.106	5.35	265.4	0.7	9.33	46.2
B2	آندزیت	835	3.66	8.13	0.46	923	3062	1.404	7.87	38.58	69.9	0.37	103	184.1	4.8	20.1	0.39	3.14	0.107	5.08	357.6	0.9	13.34	23.3
B10	آندزیت	758	3.67	7.83	0.37	1716	2031	1.265	8.02	86.8	86.8	0.342	119	185	4.7	19.2	1.93	3.6	0.102	5.22	293.4	0.8	11.3	10.3
C1	آندزیت	2158	3.81	8.4	0.67	1086	530	2.028	5.92	39.42	102	0.391	134	228.9	6.7	25	0.13	2.85	0.103	6.56	302.9	1.1	15.42	17.8
C2	آندزیت آلتیره شده	907	3.18	7.82	0.73	2213	258	1.155	5.07	45	70	0.357	103	223.9	6.3	22.6	0.55	1.94	0.105	6.06	188.4	1	13.97	11.3
D2	آندزیت	2867	3.02	6.61	0.36	593	298	2.037	4.84	34.92	40.6	0.265	92	157.8	4	13.7	0.26	3.98	0.076	4.16	174.6	0.7	10.23	9.1

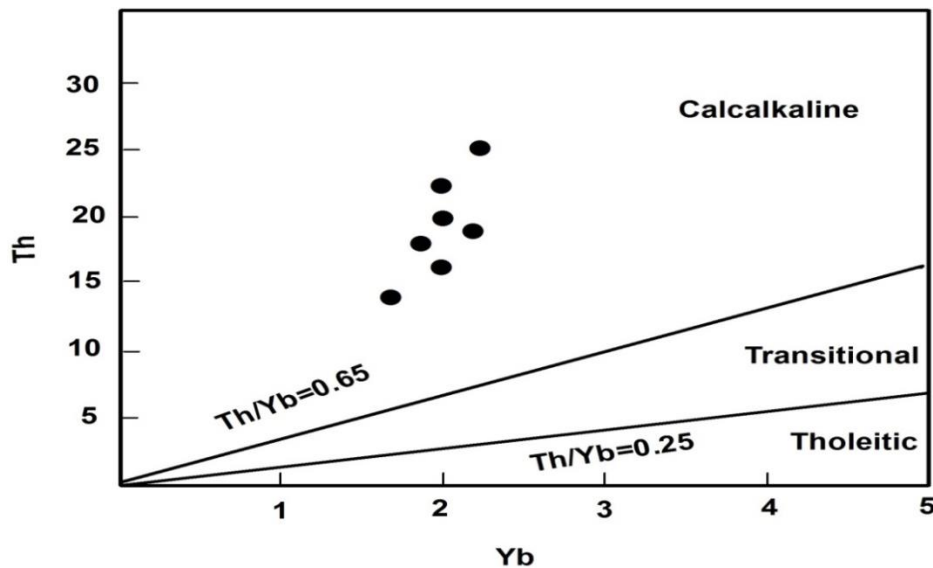
ادامه جدول ۵-۶

		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Sample	Name- Rock	La	Y	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
A1	Andesite	21.1	18.3	46.24	5.6	21.6	4.3	0.9	3.9	0.6	3.6	0.7	2.2	0.3	2.3	0.4
A4	Andesite	24.9	19	58.77	6.3	24.5	4.8	1.3	4.3	0.6	3.3	0.7	2	0.3	2	0.3
B2	Andesite	23.9	18.7	53.2	6.2	23.4	4.7	1	4.5	0.6	3.8	0.7	2.1	0.3	2.3	0.3
B10	Andesite	23.1	19.3	50.39	6	23.7	4.7	0.9	3.9	0.7	3.7	0.8	2.2	0.3	2.5	0.4
C1	Andesite	30	21.5	65.11	7.3	27.1	5.5	1	4.3	0.8	4.1	0.8	2.2	0.4	2.3	0.4
C2	Andesite	22.7	18.7	55.3	6.4	23.7	5	0.7	4.2	0.6	3.6	0.7	2.3	0.3	2.3	0.3
D2	Andesite	17.1	14.6	37.92	4.2	15.9	3.2	0.7	3	0.5	2.7	0.6	1.7	0.3	1.8	0.3

همچنین بر اساس نمودار (Th/Yb) سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه ماهیت کالک‌آلکالن را نشان می‌دهند (شکل ۶-۹). در نمودار دو تایی Zr/Ti در مقابل Nb/Y (پیرس و همکاران^۱، ۱۹۹۶) و نیز نمودار سه تایی Al-Mg-Fe+Ti (جنسن^۲، ۱۹۸۱) سنگ‌های آتشفشانی ترکیب آندزیتی نشان می‌دهند و در مرز بین دو محدوده آندزیت و تراکی آندزیت واقع می‌شوند (شکل ۶-۱۰ و ۶-۱۱).



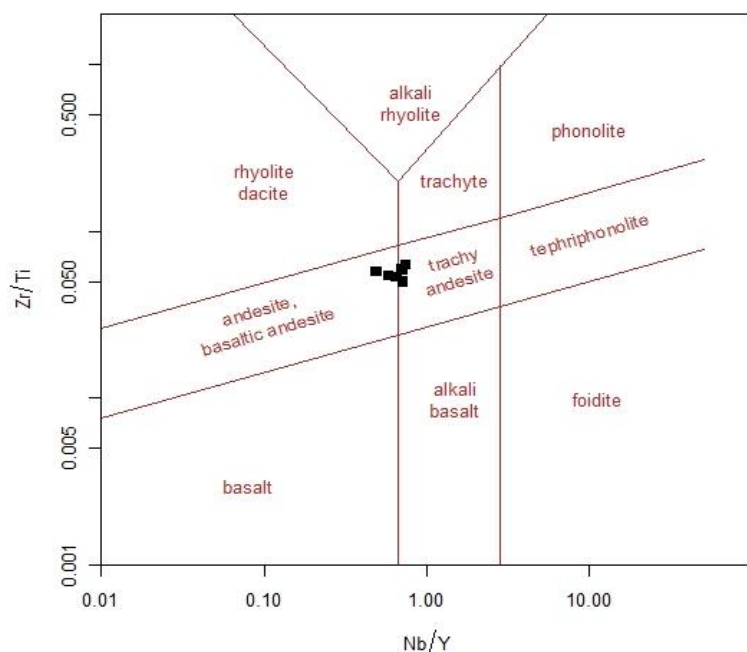
شکل ۶-۸- نمودار Y-Zr ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی را نشان می‌دهد (بارت و مک لئان، ۱۹۹۴).



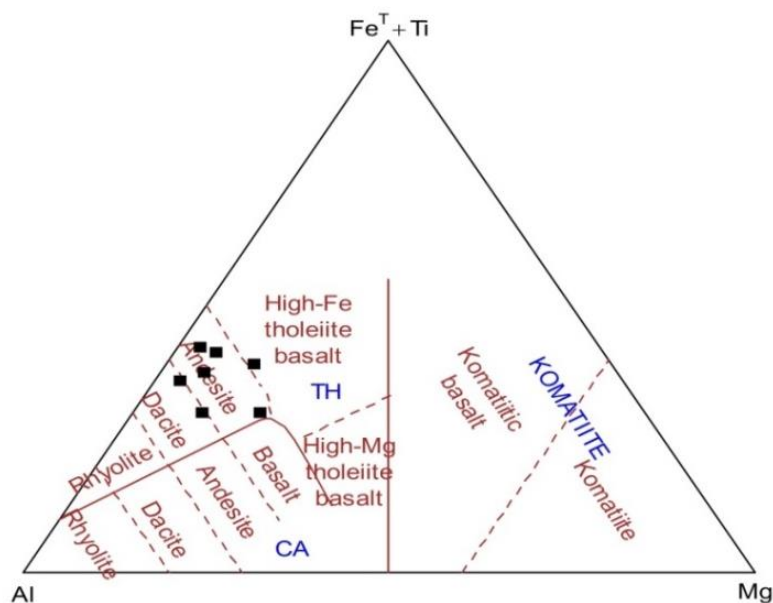
شکل ۶-۹- نمودار Th/Yb ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی (بارت و مک لئان، ۱۹۹۹) در کانسار مورد مطالعه.

¹ Pearce
² Jensen

Nb/Y – Zr/Ti plot (modified by Pearce 1996)



شکل ۶-۱۰ ترکیب شیمیایی سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در جنوب ترود در نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y از (پیرس^۱، ۱۹۹۶) که نشان دهنده ترکیب آندزیتی این سنگها است.



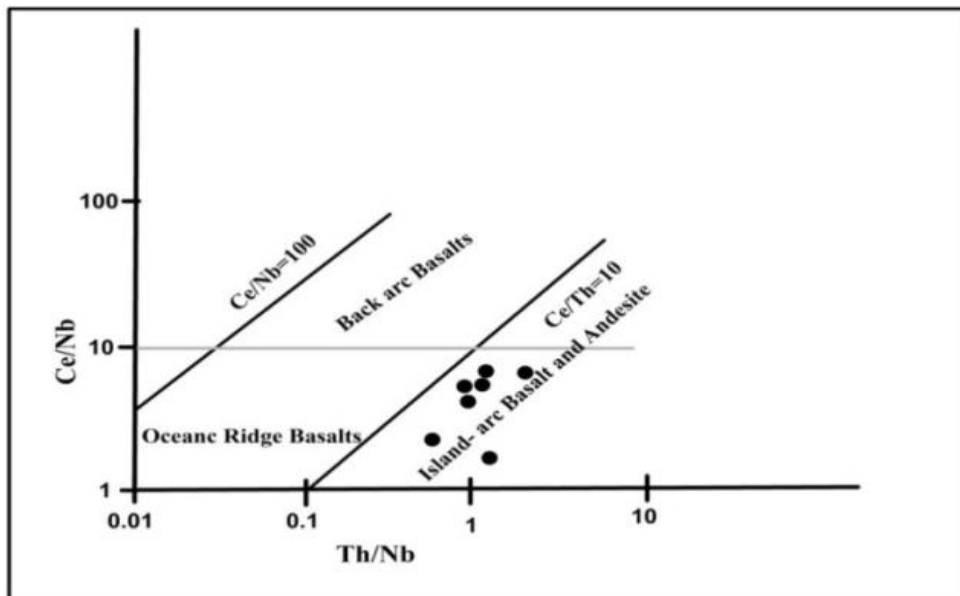
شکل ۶-۱۱ ترکیب شیمیایی سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودار سه تایی Al-Mg-Fe^T+Ti از (جنسن، ۱۹۸۱) که نشان دهنده ترکیب آندزیتی و ماهیت کالک آلكالن بودن آنها است.

¹ Pearce

۶-۶- تعیین محیط تکتونیکی سنگهای آذرین

از آنجایی که ارتباط ویژه‌ای بین شیمی عناصر اصلی و نادر خاکی با محیط تکتونوماگمایی سنگ-ها وجود دارد، امروزه از نمودارهای ژئوشیمیایی برای تعیین محیط تکتونیکی سنگهای آتشفشانی استفاده می‌شود. چنان‌که قبلاً ذکر شد سنگهای آتشفشانی این منطقه اغلب ترکیب حدواسط دارند لذا بیشتر حجم سنگها را در این منطقه آندزیت‌ها به خود اختصاص داده‌اند.

نمودار دوتایی نسبت Th/Nb در برابر نسبت Ce/Nb از ساندرس و تارنی^۲ (۱۹۹۱)، نمونه سنگ-های آذرین این محدوده را نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها در محیط تکتونیکی جزایر کمانی واقع شده‌اند (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲- موقعیت نمونه‌های سنگهای آتشفشانی توالی محدوده معدنی مورد مطالعه در نمودار نسبت Th/Nb در برابر نسبت Ce/Nb از (ساندرس و تارنی، ۱۹۹۱)

۶-۷- طبقه‌بندی و تعیین شیمی کانسنگ و محیط نهشت آن:

نمودارهای دو تایی $Mn-Fe$ ، دوتایی $Si-Al$ ، دو تایی Mg/Na ، دو تایی $Pb-Zn$ ، سه تایی $(Zn-Ni-Co)$ ، $(Zn-Ni-Co) * 10$ ، $Mn-Fe-(Ni+Co+Cu)$ ، $Ni+Co+As+Mo+V+Cu+Pb+Zn$ و دو تایی $U-Th$ استفاده شده است.

² Saunders and Tarney

۶-۷-۱- نمودارهای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب

نمودارهای عناصر فرعی و کمیاب با استفاده از داده‌های جدول (۶-۶) حاصل از نتایج شیمیایی نمونه‌های محدوده معدنی بندقیچی به روش ICP-MS و ICP-OES همچنین برخی از اکسیدهای عناصر اصلی به روش XRF (جدول ۶-۷) نشان داده شده است..

۶-۷-۱-۱- نسبت Mn/Fe

از نسبت Mn/Fe بعنوان بهترین شاخص برای تشخیص خاستگاه نهشته‌های منگنز استفاده می‌شود. چنانچه نسبت Mn/Fe کمتر از ۱ باشد محیط تشکیل کانسار، دریاچه‌ای است و اگر مساوی ۱ باشد کانسار آزاد و اگر $Mn/Fe < 10$ باشد گرمابی است (ناگاراجان^۳، ۲۰۰۷). قابل ذکر است که منظور از کانسارهای گرمابی در واقع کانسارهای گرمابی-بروندمی و زیردریایی می‌باشد علت تغییر نسبت Mn/Fe در کانسارهای مختلف، هم به‌وسیله نسبت اولیه عناصر در سیال و هم به‌وسیله فاصله محل نهشت کانسار از کانون فوران کنترل می‌شود (هین و همکاران، ۱۹۹۷). به طوری که منگنز نسبت به آهن در دماهای پایین و محدوده وسیعی از Eh و pH می‌تواند محلول باشد. به عبارتی تحرک ژئوشیمیایی منگنز در محیط‌های رسوبی نسبت به آهن بیشتر است، لذا تا مسافت‌های دورتر حمل و نقل یافته، آنگاه رسوب می‌کند (روی، ۱۹۹۳). همچنین نسبت بالای Mn/Fe نمایانگر خروج سیالات با حرارت کمتر و نرخ فوران پایین است (هین، ۱۹۹۷؛ روی، ۱۹۸۰). تخلیه این سیالات در رسوبات و تثبیت آهن در فازهای دیگر همچنین می‌تواند بر روی نسبت Mn/Fe مؤثر باشد (روی، ۱۹۹۲). به عبارت دیگر مقادیر بالای Mn/Fe و یا مقادیر پایین این نسبت نشانگر تفریق و جدایش شدید این دو عنصر در محیط‌های رسوبی می‌باشد و بعنوان

³ - Nagarajan

شاخص‌های نهشته‌های آبراد زیردریایی مورد توجه‌اند (بوناتی^۴، ۱۹۷۵؛ بوناتی و همکاران، ۱۹۷۶؛

کن^۵ و همکاران، ۱۹۷۷). همچنین هین و همکاران

^۴ Bonatti
^۵ Cann

جدول ۶-۶- میزان عناصر فرعی و کمیاب حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ محدوده معدنی بندقیچی بروش‌های ICP-MS و ICP-OES

Sample	A9	A10	A11	A14	A15	A16	B3	B4	B6	C5	C7
نام سنگ	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn
Mn(ppm)	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	43	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000
Fe(%)	0.03	1.84	0.27	0.05	2.36	<0.02	1.93	2.18	4.77	1.41	0.45
As(ppm)	2.7	77.3	292.2	4	197.3	1.2	887.1	824.8	265.7	829	225.2
Sr(ppm)	>10000	6131	6965	>10000	3399	>10000	3859	2146	1357	>10000	2348
Al(%)	0.09	4.78	0.48	0.08	3.92	0.02	2.54	2.26	6.6	1.26	0.77
Ca(%)	0.06	4.54	1.8	0.07	0.9	0.09	0.58	0.49	1.67	0.75	5.51
Mg(%)	0.02	0.29	0.13	0.02	0.34	0.02	0.21	0.3	1.25	0.19	0.16
Ba(ppm)	4	63	160	8	4492	61	10000	4788	3440	106	67
K(%)	0.06	4.71	0.41	0.02	3.88	0.02	2.92	1.59	3.53	0.83	0.41
Na(%)	0.015	1.704	0.514	0.04	1.07	0.003	0.681	0.99	4.531	0.531	1.096
Mo(ppm)	1.92	23.03	61.13	2.5	48.55	<0.05	65.5	50.04	14.76	43.81	46.93
Cu(ppm)	20.65	1306.85	5909.61	48.17	2995.99	0.06	3930.19	1317.51	688.07	1614.53	2494.76
Pb(ppm)	5.74	560.4	6908.77	54.4	3587.96	0.58	3187	1024.92	943.22	385.82	313.11
Zn(ppm)	12.3	157.9	251.9	9.7	265.2	0.6	151.1	177.4	111.3	166.6	95.3
Ni(ppm)	2.4	18.5	38.9	3.6	24.4	<0.1	6.6	7.8	16.4	7.3	29.4
Co(ppm)	0.2	8.6	28.1	1.3	13.6	<0.2	20.1	16.1	22	12.6	9.5
U(ppm)	0.3	9.1	11.5	0.2	15.1	<0.1	12.4	2.9	4.1	2.9	6.2
Au(ppm)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th(ppm)	<0.1	12.3	0.7	<0.1	10.6	<0.1	5.9	1.4	9.3	0.7	1
V(ppm)	3	78	57	5	136	1	76	110	206	71	66
P(%)	0.001	0.062	0.01	0.001	0.058	0.001	0.035	0.038	0.084	0.024	0.014
Cr(ppm)	3	36	181	5	155	2	148	192	127	109	148
Ti(%)	0.003	0.202	0.022	0.003	0.235	0.001	0.148	0.154	0.47	0.089	0.042
Zr(ppm)	1.5	118.1	9.3	0.5	97.2	0.2	60.4	25.5	109.3	14.9	13.7
S(%)	1.96	3.53	0.72	1.88	0.1	1.9	0.08	0.15	0.04	1.34	4.6
Rb(ppm)	2.3	190.7	12.1	1.2	153	0.3	112.8	87.6	146.5	44	18.5

جدول ۶-۷- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ محدوده معدنی بندقیچی به روش (XRF) بر حسب درصد

Sample No.	A9	A10	A11	A14	A15	A16	B3	B4	B6	C5	C7
Element oxide	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn
Mgo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	8.39	1.17	0.21	8.17	0.00	5.79	7.70	10.56	3.95	4.77
SiO ₂	0.62	28.08	3.96	0.71	27.06	0.00	20.63	22.34	35.02	14.51	15.52
P ₂ O ₅	0.00	0.20	0.00	0.00	0.19	0.00	0.15	0.11	0.24	0.00	0.00
SO ₃	42.46	0.20	0.00	39.81	0.19	41.95	0.15	0.11	0.24	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	4.69	0.41	0.00	4.60	0.00	3.73	2.67	3.31	1.29	1.58
CaO	0.00	10.42	3.70	0.21	1.82	0.34	1.11	0.83	2.17	1.63	5.19
TiO ₂	0.00	0.30	0.00	0.00	0.39	0.00	0.37	0.00	0.85	0.00	0.00
MnO	1.33	22.74	78.18	2.54	46.22	0.00	60.88	59.28	7.96	63.92	58.33
Fe ₂ O ₃	0.00	2.71	0.74	0.00	3.69	0.00	2.77	2.78	6.49	2.10	2.49
As ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.25	0.16	0.06	0.00	0.00
SrO	54.92	1.12	1.13	55.27	0.61	55.45	0.58	0.29	0.16	4.80	0.34
BaO	0.00	0.00	3.14	0.94	1.51	1.99	1.97	0.73	0.52	1.09	0.80
Cl	0.00	1.33	0.49	0.00	0.67	0.00	0.40	0.35	11.41	0.00	1.02
Na ₂ O	0.00	3.41	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	2.16	18.51	1.40	2.19
CuO	0.00	0.20	0.85	0.00	0.42	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO ₂	0.00	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PbO	0.00	0.00	1.06	0.00	0.61	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00

(۲۰۰۰) نسبت‌های Mn/Fe در گستره ۰/۸ تا ۲/۵ را نشانه نهشتگی در فرآیند آیزاد دانسته‌اند. نسبت Mn/Fe در نمونه‌های نمونه‌های بررسی شده از کانسار منگنز بندقیچی (ربیعی) بین ۱/۲۹ تا ۲۲۴ تغییر کرده و میانگین آن ۵۳/۹۲ است. لذا با توجه به میانگین این نسبت می‌توان گفت، کانسار مورد مطالعه در محدوده رسوبی - آتشفشانی واقع شده است. در این تحقیق نسبت Mn/Fe در کانسار منگنز بندقیچی با چند کانسار منگنز مقایسه شده است (جدول ۶-۸).

جدول ۶-۸- مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز و در کانسار منگنز منطقه مورد مطالعه

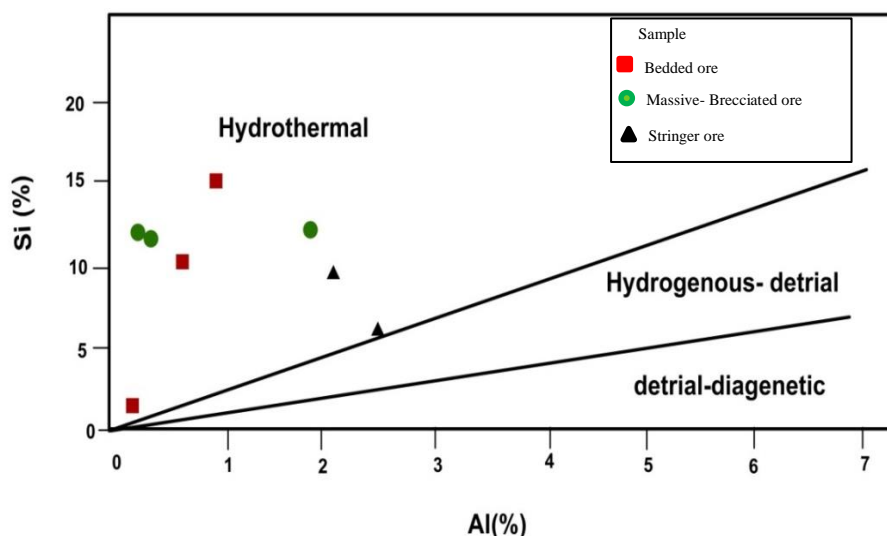
ناحیه	دامنه تغییرات Mn/Fe	میانگین	مرجع
آیزاد	۰/۸- ۲/۵	۱	(ناگاراگان ، ۲۰۰۷؛ هین و همکاران، ۲۰۰۰)
دریاچه‌ای	-	۱>	(ناگاراگان ، ۲۰۰۷)
گرمابی	۰/۱-۱۰		(ناگاراگان ، ۲۰۰۷؛ نیکلسون و همکاران، ۱۹۹۷)
بندقیچی (ربیعی)	۱/۲۹- ۲۲۴	۲۱/۵۲	این تحقیق
تیرنه	۳/۲-۳۹		(دکو ^۱ ، ۲۰۰۴)
صفو (چالدران)	۱/۳۵- ۳۱/۷	۸	(امامعلی‌پور، ۱۳۸۸)
بافت (کرمان)	۱/۲۱- ۳۷/۷	۷/۸۶	(حشمت بهزادی و شهاب‌پور، ۲۰۱۰)

۶-۷-۱-۲- نمودار Si-Al

از نسبت Si-Al می‌توان بعنوان ابزار ساده جهت تشخیص نهشته‌های گرمابی، آیزاد و خاکزاد و همچنین وسیله‌ای برای تعیین منشأ تأمین کننده مواد این نهشته‌ها استفاده کرد (بوناتی، ۱۹۷۵). در کانسارهای گرمابی برون‌دمی که بوسیله فرایندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل شده‌اند، درصد وزنی Si به Al معرف درصد بالای SiO₂ در طی فعالیت‌های برون‌دمی

¹ - Dekov

می‌باشد. نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های معدنی مورد مطالعه، میانگین نسبت Si/Al را برابر ۳/۵ نشان داده‌اند که شباهت بسیاری با همین نسبت که برابر ۴/۵ در کانسارهای گرمایی است، دارند. در کانسارهای با منشأ تخریبی بر عکس کانسارهای گرمایی Al نسبت به Si از در صد بالاتری برخوردار می‌باشد و این امر ناشی از تخریب و تجزیه فلدسپاتها در طی فرایند حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد. با توجه به این نتایج، نمودار Si/Al (کررار^۱ و همکاران، ۱۹۸۲) که به سه بخش تقسیم شده است بخش اول کانسارهایی با منشأ تخریبی-دیاژنتیکی، بخش دوم کانسارهایی با منشأ رسوبی- تخریبی و بخش سوم کانسارهایی با منشأ گرمایی می‌باشند که نمونه‌های محدوده مورد مطالعه در بخش کانسارهای با منشأ گرمایی واقع شده‌اند (شکل ۶-۱۳).



شکل ۶-۱۳- نمودار Si-Al ترکیب کانسنگ برای تفکیک ساده تیپ‌های گرمایی- آبراز و آواری (کررار و همکاران^۱، ۱۹۸۲) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز مورد مطالعه

۶-۷-۱-۳- نمودار Mg / Na

نمودار دوتایی Na در برابر Mg را (نیکولسون^۳، ۱۹۹۲) جهت تشخیص کانسارهای نهشته شده در محیط‌های آب شیرین، دریایی کم عمق و عمیق پیشنهاد کرده است. کانسارهای تشکیل شده در

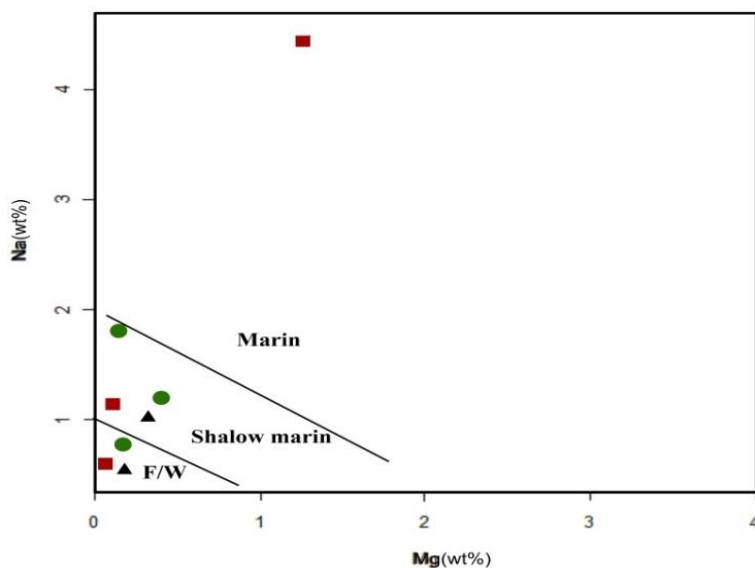
¹ Crerar

² Crerar

³ Nicholson

محیط‌های عمیق نسبت به دو محیط دیگر در عناصر Sr, Mg, K, Na, Sr, Mg, K, Na و Ca غنی -
شدگی نشان می‌دهند.

نمونه‌های کانسار بندقیچی از این لحاظ شباهت بسیاری با نمونه‌های کانسار منگنز رباط کریم دارد چرا
که هر دو در محیط آب شیرین و دریایی کم عمق قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۱۴).



شکل ۶-۱۴- نمودار نسبت Na به Mg (نیکولسون، ۱۹۹۲) و محیط ته نشست نمونه‌ها در کانسار بندقیچی
(F/W=Fresh water) (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

۶-۷-۲- نمودارهای عناصر کمیاب^۱

در دهه ۶۰ میلادی هووت و فلشیر^۲ از عناصر کمیاب در شناسایی تیپ‌های مختلف کانسارهای منگنز
استفاده کرده‌اند. آنها خاطرنشان کرده‌اند که کانسارهای گرمابی منگنز هم در جایگاه خشکی و هم در
جایگاه دریایی از عناصر As, B, Ba, Ge, Pb, Sr, Ti, W غنی شدگی نشان می‌دهند. کارهای بعدی
تایید کردند که در نهایت بعضی از این عناصر همراه با عناصر Zn, V, Li, Cd, Mo همواره در
اکسیدها غنی شدگی نشان می‌دهند، که این اکسیدها از سیالات گرمابی از دو محیط دریایی و خشکی

^۱ Trace elements

^۲ Hewett and Fleisher

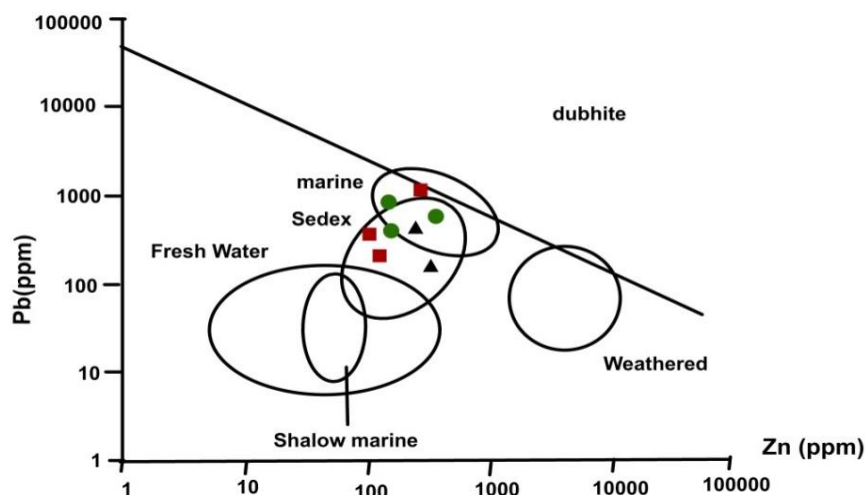
مشتق شده‌اند. مؤلفین زیادی تلاش کردند با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب، کانسارهای رسوبی دریایی را از کانسارهای گرمابی مشخص کنند (بوناتی^۱، ۱۹۷۵).

۶-۷-۲-۱- نمودار Pb/Zn

از نمودار نسبت سرب و روی برای تشخیص تیپ ژنتیکی دابهیت از غیر دابهیت کانسار استفاده می‌شود. دابهیت‌ها اکسیدهای منگنز مشتق از هوازدگی توالی‌های کانی سازی شده قبلی هستند. از ویژگی‌های آن‌ها افزایش نسبی سرب و روی در این اکسیدهاست. بطوریکه میانگین سرب در سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی به ترتیب برابر ۹/۴۵ ، ۱۶/۴ و ۳۹ پی‌پی‌ام و میانگین روی در همین محیط‌ها به ترتیب برابر ۶۵/۲ ، ۸۹ و ۱۱۵ پی‌پی‌ام می‌باشد (مینارد^۲، ۱۹۸۳) این در حالیست که این میزان در محیط دابهیت‌ها برابر ۱ درصد می‌باشد که نشانگر غنی شدگی شدید از این عناصر است (نیکولسون، ۱۹۹۲). در مقایسه با دابهیت‌ها، دیگر کانسارهای منگنز نظیر کانسارهای تشکیل شده در محیط دریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از هوازدگی دارای نسبت پایین‌تری از سرب و روی می‌باشند و حتی ممکن است، هنگامی که داده‌های آن‌ها بر روی نمودار رسم شده قرار گیرند باهم همپوشانی داشته باشند (نیکولسون، ۱۹۹۲). در شکل (۶-۱۵) موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز-سلسیت بندقیچی نشان داده شده که همه نمونه‌ها در محدوده غیر دابهیتی واقع شده‌اند، همانند نمونه‌های کانسار تربت حیدریه که یک هم‌پوشانی خوب با کانسارهای تیپ سدکس و کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های دریایی کم عمق را نشان داده‌ند (احمدی، ۱۳۸۵).

¹ Bonatti

² Maynard



شکل ۶-۱۵- نمودار Pb-Zn و تفکیک محیط دابهیتی از سایر محیطها (نیکولسون، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

۶-۷-۲-۲- نسبت Co/Ni

از این نسبت (تو^۱، ۱۹۸۰) برای تشخیص کانه‌زایی منشأ گرمایی از آبرزاد استفاده کرده است، بطوریکه این نسبت برای کانسارهای گرمایی دارای میانگینی در حدود ۰/۱۵ و برای کانه‌زایی آبرزاد ۲/۵ می‌باشد. این نسبت در کانسار مورد مطالعه ۰/۱ است که تشابه بیشتری با کانسارهای گرمایی دارد.

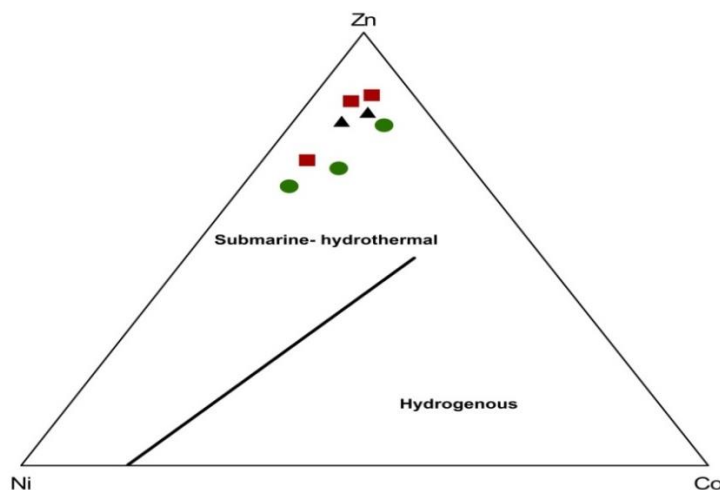
۶-۷-۲-۳- نمودار Ni+Zn+Co

از نمودار سه تایی Ni+Zn+Co جهت تشخیص کانسارهای گرمایی زیردریایی از کانسارهای آبرزاد منگنز (نودولهای منگنز در دریاها عمیق) استفاده می‌شود (چوئی و هاریا^۲، ۱۹۹۲). بر اساس بررسیهای انجام شده، غلظت‌های پایین عناصر (Co(2-75) ، Cu(8-450) ، Ni(22-900) و Zn(18- 1070) پی‌پی‌ام مشخصه کانسارهای گرمایی زیردریایی می‌باشند. در کانسار منگنز بندقیچی غلظت‌های

¹ Toth

² Choi and Hariya

عناصر (Co(0.2-28) ، Ni(0.1-54) و Zn(0.6-265) می‌باشند. بر این اساس کانسارهای محدوده مورد مطالعه ضمن غنی بودن از Zn خاستگاه گرمابی را نشان می‌دهد (شکل ۶-۱۶).



شکل ۶-۱۶- نمودار سه تایی Ni-Zn-Co (چوئی و هاریا، ۱۹۹۲) نمونه‌های کانسار بندقیچی که همه در محدوده گرمابی زیر دریایی واقع شده‌اند (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

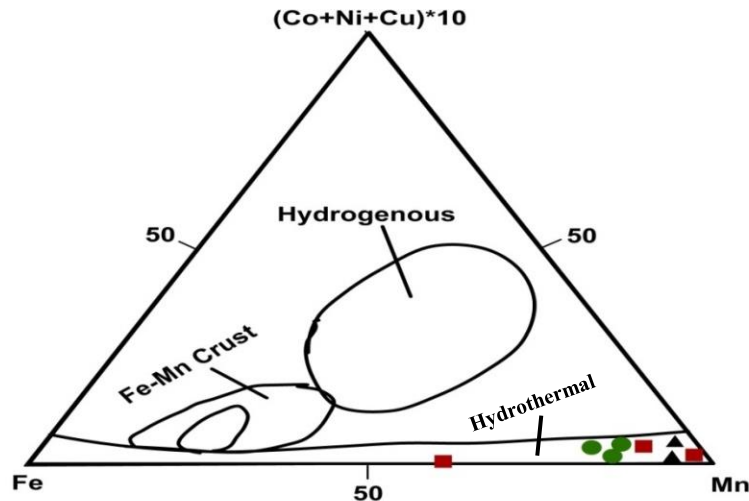
۶-۷-۲-۴- نمودار $Mn-Fe - (Ni+Co+Cu)*10$

با استفاده از نمودار $Mn-Fe - (Ni+Co+Cu)*10$ در نهشته‌های منگن‌دار، از غلظت عناصر کمیاب مثل Ni، Cu و Co بعنوان بهترین شاخص جهت تشخیص انواع این نهشته‌ها می‌توان استفاده نمود. این عناصر در نهشته‌های گرمابی فراوان‌تر از نهشته‌های پلاژیک حاوی منگنز می‌باشد. ولی در نهشته‌های آبراد حاوی منگنز، بیشتر از نهشته‌های گرمابی منگن‌دار است (توٹ^۱، ۱۹۸۰).

(بوناتی، ۱۹۷۵ و توٹ، ۱۹۸۰) موفق شدند در یک نمودار مثلی $Mn-Fe - (Ni+Co+Cu)*10$ بر اساس اطلاعات موجود در مورد نهشته‌های مختلف گرمابی و آبراد محدوده آن‌ها را مشخص کنند. این نمودار یکی از معروفترین نمودارهای تفکیک کننده انواع نهشته‌های منگنز می‌باشد که توسط محققین زمین‌شناس مورد استفاده قرار گرفته است. در این نمودار موقعیت نمونه‌های کانسنگ

¹Toth

منگنز-سلسیتیت بند قیچی نشان داده شده است که کاملاً در محدوده گرمابی واقع شده‌اند (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۷ - نمودار سه‌تایی $(Co-Ni-Cu) * 10$ - $Mn-Fe$ جهت تفکیک تیپ‌های مختلف کانسارهای منگنز (بوناتی، ۱۹۷۵ و تو، ۱۹۸۰) و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

۶-۷-۲-۵ - نمودار $(Ni+Co)-(As+Mo+V+Cu+Pb+Zn)$

استفاده از ژئوشیمی جهت تفکیک کانه‌زایی گرمابی در ابتدا به وسیله (هووت و همکاران، ۱۹۶۴؛ هووت و فلیشر، ۱۹۶۳) مورد توجه قرار گرفته است. این محققین خاطر نشان نموده‌اند که کانسارهای گرمابی منگنز از عناصر $As, B, Ba, Ge, Pb, Sb, Sr, Ti$ و غنی‌شدگی نشان می‌دهند در ادامه محققین دیگر از جمله (زنتوپ^۱، ۱۹۷۸؛ موربی^۲ و همکاران، ۱۹۸۴؛ وارناواس^۳ و همکاران، ۱۹۸۸؛ سیلیتو^۴، ۱۹۷۵؛ آسا، ۱۹۷۰؛ بوستروم و والدس^۵، ۱۹۶۹) غنی‌شدگی حداقل بعضی از این عناصر به همراه Li, V, Zn, Cd, Mo در کانسارهای اکسیدی منگیزی را ناشی از سیالات گرمابی در خشکی و دریایی دانسته‌اند.

¹ Zantop

² Moorby

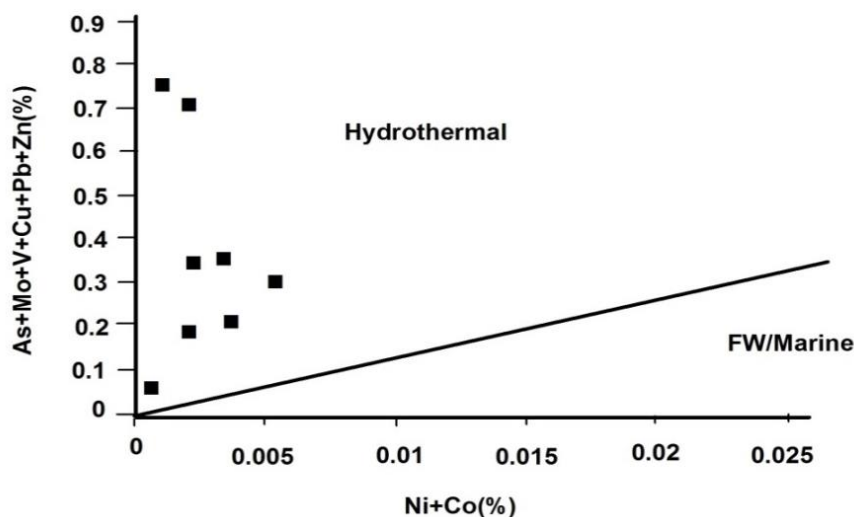
³ Varnavas

⁴ Sillitoe

⁵ Bostrom and Valdes

نیکولسون ، ۱۹۹۲ مجموعه عناصر As و Ba, Cu, Li, Mo, Pb, Sb, Sr, V, Zn را نشانه گرمایی دیاژنتیکی دانسته است. چنانچه پیش تر گفته شد کانسارهای گرمایی منگنز نسبت به کانسارهای آبراد منگنز، مقدار کمتری Ni, Cu, Zn و Co دارند.

بر این اساس نمودار (Ni+Co)-(As+Mo+V+Cu+Pb+Zn) برای تفکیک کانسارهای گرمایی ارائه شده است، که در آن نمونه‌های کانسار بند قیچی نشان داده شده‌اند (شکل ۶-۱۸). در این نمودار نشان داده شده است که کانسار منگنز بند قیچی از عناصر Ni و Co فقیر است.



شکل ۶-۱۸- نمودار دوتایی (Ni+Co)-(As+Mo+V+Cu+Pb+Zn) ، (نیکولسون ، ۱۹۹۲) نمونه‌های کانسار بندقیچی را در محدوده کانسارهای گرمایی نشان می‌دهد.

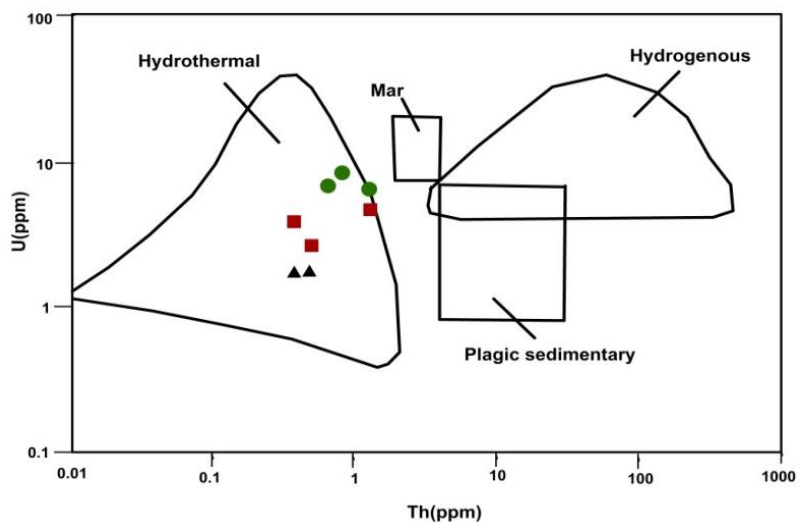
۶-۷-۲-۶- نمودار U/Th

غلظت اورانیم در آب دریا تقریباً ثابت و در حدود $10 \times 3/38$ گرم بر لیتر می‌باشد. غلظت اورانیم در آب دریا تقریباً ثابت و در حدود $10 \times 3/38$ گرم بر لیتر می‌باشد (بوناتی و همکاران^۱، ۱۹۷۶). ولی توریم به دلیل حلالیت بسیار کم و زمان اقامت خیلی کوتاه، در آب دریا حضور ندارد. غلظت توریم در سطح آبهای اقیانوس‌ها کمتر از $10^{11} \times 7$ گرم در لیتر گزارش شده‌اند (کوفمن^۲، ۱۹۶۹). در نهشته‌های گرمایی میزان اورانیم بیشتر از رسوبات پلاژیک معمولی است و نسبت U/Th نهشته‌های گرمایی چند

¹ Bonatti

² Kaufman

برابر بیشتر از نهشته‌های آیزاد است (کررار، ۱۹۸۲؛ بوناتی و همکاران، ۱۹۷۶؛ بوناتی، ۱۹۷۵). شاید سرعت رسوبگذاری بالا در نهشته‌های گرمابی سبب عدم جذب توریم از آب دریا شده باشد و در نتیجه نهشته‌های گرمابی غنی از اورانیم شوند (بوناتی، ۱۹۷۵). نمودار نسبت U/Th (ویلسون^۱، ۱۹۸۹) برای تفکیک کانسارهای گرمابی، آیزاد و رسوبات پلاژیک نرمال در نظر گرفته شده است که اگر نسبت U/Th بیش از یک (> ۱) باشد کانسار گرمابی و اگر کمتر از یک (< ۱) باشد آیزاد می‌باشد. در کانسار منگنز-سلسیتیت بند قیچی (ربیعی) میانگین این نسبت برابر با ۲/۴۵ است. در واقع در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه هم میزان توریم در مقایسه با نهشته‌های آیزاد بسیار اندک است که حاکی از ته نشست سریع آن‌ها بوسیله سیالات با منشأ گرمابی است. بنابراین این کانسار در رده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱۹).



شکل ۶-۱۹- نمودار U/Th برای تفکیک کانسارهای گرمابی-آیزاد و رسوبات پلاژیک نرمال (ویلسون، ۱۹۸۹) (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

۶-۸- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

بررسی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های میزبان برای تکمیل نتایج تکتونیکی و مطالعه ژنز کانسار و پتروژنز نهشته‌ها کاربرد زیادی دارد (اگزو و سانگ^۲، ۱۹۹۵).

¹ Wilson

² Xu and Song

یکی از تفاوت‌های آشکار در کانسارهای گرمابی و آیزاد در میزان غنی‌شدگی آنها از REE می‌باشد که در کانسارهای آیزاد چندین برابر کانسارهای گرمابی می‌باشد. بطوریکه این عناصر اگر در کانسارهای گرمابی ۱۰۰ باشد در کانسارهای آیزاد نزدیک ۱۰۰۰ می‌باشد.

عدد اتمی عناصر نادر خاکی از ۵۷-۷۱ می‌باشد. این عناصر در مطالعه سنگ‌شناسی آذرین، رسوبی و دگرگونی نقش بسیار بالایی دارد (لوترموسر^۱، ۱۹۹۲).

عناصر نادر خاکی خود به دو گروه سبک و سنگین تقسیم می‌شوند: عناصر نادر خاکی سبک (LREE) شامل (Sm, Nd, Pr, Ce, La, Eu) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) شامل (Gd, Yb, Tm, Er, Lu, Tb, Dy, Ho, Y) می‌باشند. این دو گروه عناصر نادر خاکی خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه دارند. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE مشخصه کانسارهای گرمابی است (میلز و الدی فایلد^۲، ۱۹۹۵). در کانسار مورد مطالعه میانگین نسبت LREE/HREE برابر با ۹/۷۵ است که نشان دهنده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE است. تفکیک عناصر نادر خاکی بین کانی و سیال کانه‌ساز همراه آن، علاوه بر شعاع یونی و بار الکتریکی به عواملی چون فشار و درجه حرارت و ترکیب شیمیایی بستگی دارد (هندرسون^۳، ۱۹۹۴). غلظت‌های عناصر نادر خاکی معمولاً به یک مرجع استاندارد مشترک بهنجار می‌شوند و این استاندارد معمولاً شهاب‌سنگ‌های کندریتی است (رولینسون^۴، ۱۹۹۳). برای مطالعه تغییرات عناصر نادر خاکی نمونه‌های از کانسنگ (منگنز و سلسیت) و سنگ میزبان (گدازه‌های آتشفشانی و مارن) برداشت شد و مورد تجزیه قرار گرفت و سپس نتایج آن‌ها با کانسار منگنز ایمیر ترکیه که در چرت‌های رادیولاریتی کرتاسه بالایی درون واحدهای افیولیتی در شمال شرق شهر Yozgat رخنمون دارند، مقایسه شده‌اند.

¹ Lottermoser

² Mills and Eldefield

³ Henderson

⁴ Rollinson

خود کانسار ایمیر (اُکسوز و همکاران^۱، ۲۰۱۰) با کانسارهای مختلف دنیا از جمله وزیرستان^۲ و هزارا^۳ در پاکستان (شاه و مون^۴، ۲۰۰۷)، بیبی بار^۵ در شمال شرق اقیانوس آرام (فیتزگراالد و گیل^۶، ۲۰۰۶) (واکاسا^۷، ۲۰۰۶) در ژاپن (چوئی و هاریا^۸، ۱۹۹۲) و بینکیلیک^۹ (گولتکین^{۱۰}، ۱۹۹۸)؛ کاظم آقا^{۱۱} (کاراگوز^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۰) و کایرلی^{۱۳} (کوک^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۰) در ترکیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۶-۸-۱- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی

برای تفسیر چگونگی تشکیل کانسار، الگوی عناصر نادر خاکی (REE) بهترین کاربرد را دارد (لوترموسر^{۱۵}، ۱۹۹۲) برای مطالعه ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی تعداد ۸ نمونه از ماده معدنی منگنز و ۳ نمونه از ماده معدنی سلسیت مورد تجزیه قرار گرفته‌اند (جدول ۶-۹).

۶-۸-۱-۱- نمودار La/Ce

نسبت La به Ce (تو^{۱۶}، ۱۹۸۰) در کانسارهای گرمایی مشابه آب دریا و در حدود ۲/۸ می‌باشد، اما سایر کانسارها نسبت به آب دریا در Ce غنی‌شدگی نشان می‌دهند و نسبت La به Ce در این کانسارها برابر ۰/۲۵ است. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه با نسبت میانگین La/Ce ذخیره منگنز ایمیر درکشور ترکیه (اوکسوز، ۲۰۱۰) مقایسه شده‌اند که برابر با ۲/۳ می‌باشد، این نسبت در نمونه‌های

¹ Oksuz

² Waziristan

³ Hazara

⁴ Shah and Moon

⁵ BabyBare

⁶ Fitzgerald and Gill

⁷ Wakasa

⁸ Choi and Hariya

⁹ Binkilic

¹⁰ Gultekin

¹¹ Kasimaga

¹² Karakaus

¹³ Kayirli

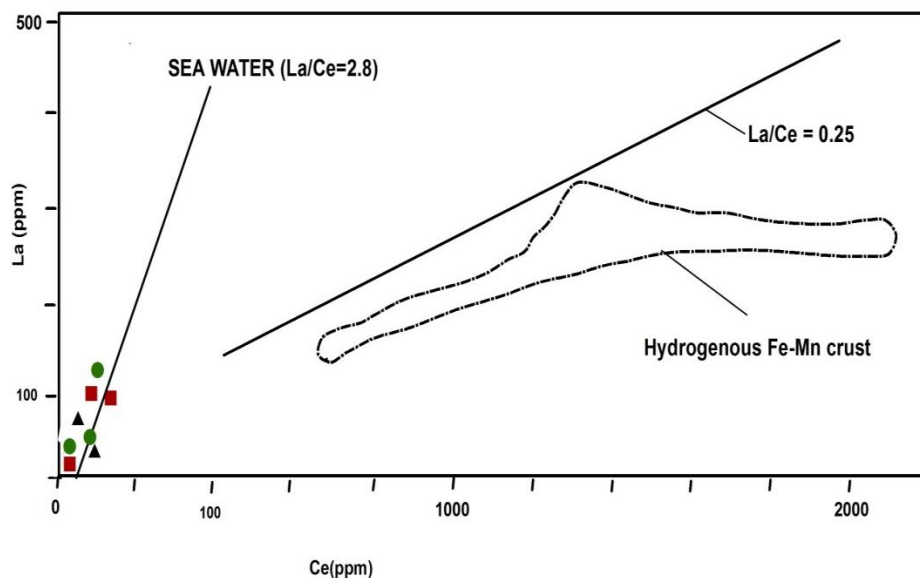
¹⁴ Koc

¹⁵ Lottermoser

¹⁶ Toth

کانسار مورد مطالعه بین ۰/۶ تا ۱/۵ تغییر می‌کند (شکل ۶-۲۰) که مشابه کانسارهای گرمابی می‌باشد.

نسبت‌های La/Nd که در سیالات گرمابی از ۳-۷/۴ (میانگین ۴/۵) و نسبت Dy/Yb از ۰/۶-۱/۲ (میانگین ۱/۲) را نشان می‌دهند، در حالیکه در پوسته حاوی اکسید منگنز بترتیب از ۲/۷-۴/۳ و ۰/۴-۱/۲ (میانگین ۱/۲) فیتزگرالد و گیلز، ۲۰۰۶). در کانسار منگنز ایمیر ترکیه که (اوکسوز، ۲۰۱۰) بررسی کرده است نسبت La/Nd و Dy/Yb بترتیب از ۱/۵۳-۲/۴۶ (میانگین ۲) و ۰/۷۳-۱/۳۹ (میانگین ۱/۱۶) می‌باشند. این نسبت‌ها در کانسار بندقیچی برای La/Nd از ۳/۲-۰/۹۵ با میانگین ۱/۹ و Dy/Yb از ۱/۹-۱/۵۵ با میانگین ۱/۶۶ می‌باشد که در هر دو این کانسارها نشان‌دهنده منشأ گرمابی می‌باشد.



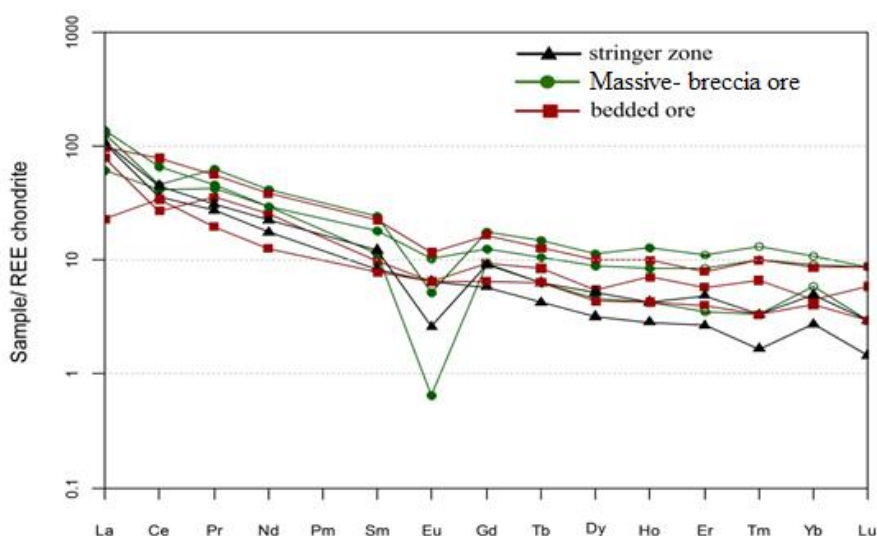
شکل ۶-۲۰- نمودار تمرکز La در برابر Ce و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز مورد مطالعه (توت، ۱۹۸۰) (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

جدول ۶-۹- نتایج آنالیزهای REE نمونه‌های کانسنگ (منگنز A9, A14, A16 و سلسیتیت A10, A11, A15, B3, B4, B6, C5, C7) محدوده مورد مطالعه بروش (ICP-MS)

Sample	A9	A10	A11	A14	A15	A16	B3	B4	B6	C5	C7
Name-Rock	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Sr	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn	Ore-Mn
La(ppm)	0.5	20.2	26.2	0.3	42.8	0.1	46.2	35.7	32.3	35	7.6
Ce(ppm)	0.63	35.84	23.38	0.76	39.46	0.07	57.13	38.93	68.17	30.93	29.63
Pr(ppm)	0.1	4.8	4	0.1	7.1	0.1	5.2	3.5	6.3	3.1	2.2
Nd(ppm)	0.5	18.5	16	0.4	26.2	0.1	18.5	14.2	24.3	11.1	8
Sm(ppm)	0.1	3.7	2	0.2	5	0.1	2.3	2.5	4.6	1.7	1.6
Eu(ppm)	0.1	0.8	0.5	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.9	0.5	0.5
Gd(ppm)	0.1	3.5	2.6	0.1	4.9	0.1	2.6	2.5	4.6	1.6	1.8
Tb(ppm)	1	0.5	0.4	0.1	0.7	0.1	0.3	0.3	0.6	0.2	0.3
Dy(ppm)	0.1	3.1	1.9	0.1	3.9	0.1	1.6	1.8	3.5	1.1	1.5
Ho(ppm)	0.1	0.6	0.5	0.1	0.9	0.1	0.3	0.3	0.7	0.2	0.3
Er(ppm)	0.1	1.9	1.3	0.1	2.5	0.1	0.8	1.1	1.8	0.6	0.9
Tm(ppm)	0.1	0.3	0.2	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
Yb(ppm)	0.1	2	1	0.1	2.4	0.1	1.3	1.1	1.9	0.6	0.9
Lu(ppm)	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1

۶-۸-۱-۲- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی (REE)

چنانچه در نمودارهای REE رسم شده برای ماده معدنی کانسار بند قیچی مشاهده می‌شود، نمودار یک روند نزولی را از طرف عناصر نادر سبک به سمت عناصر نادر سنگین نشان می‌دهد و در آن آنومالی منفی Eu دیده می‌شود که حکایت از آن دارد که محیط ته نشست ماده معدنی اکسیدان بوده است (شکل ۶-۲۱).



شکل ۶-۲۱- الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندرایت در نمونه‌های کانسنگ بندقیچی (ریعی)

(ناکامورا^۱، ۱۹۷۴)

۶-۸-۲- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفشانی

الگوی عناصر نادر خاکی مربوط به سنگ‌های آتشفشانی دارای شیب یکنواخت با آنومالی منفی Nb, Rb و Ti و آنومالی مثبت Sr, Pb و K می‌باشد (شکل ۶-۲۲).

تهی شدگی این عناصر (Nb, Ti, Rb) نشان‌دهنده تولید ماگما با درجه ذوب‌شدگی کم MORB می‌باشد. این تهی شدگی مبین تشکیل سنگ‌های آتشفشانی مذکور در نزدیکی کمان آتشفشانی است

¹ Nakamura

)

پیتر^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). بر اساس نمودار ۶-۲۲ و مقایسه کانسار بندقیچی با موارد مشابه در دنیا، بعثت بالا بودن میزان Sr در کانسار مورد مطالعه این کانسار می‌تواند در ردیف کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی تیپ کوبا (موسیر و پیچ^۲، ۱۹۸۸) قرار گیرد. زیرا میزان Sr در کانسارهای تیپ کوبا هم بالا بوده که ناشی از شستشوی این عنصر از فلدسپارهای قلیایی سنگ‌های آتشفشانی، توسط سیالات گرمایی و نتیجتاً تشکیل کانسار سلسیت می‌باشد (استوالد^۳، ۱۹۸۸).

آنومالی منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و ممکن است نشان دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (رولینسون، ۱۹۹۳).

در نمودار عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی محدوده معدنی بند قیچی که بر اساس (سان و مک‌دونوف^۴، ۱۹۸۹) به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند کاملاً گفته‌های بالا را تأیید می‌کنند شکل (۶-۲۲). لذا طبق این نمودار محیط تشکیل کانسار بند قیچی در جزایر کمانی واقع شده است.

همچنین نمودار عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های آتشفشانی کانسار بند قیچی که به کندریت بهنجار شده‌اند (ناکامورا، ۱۹۷۴)، آنومالی منفی Eu را نشان می‌دهند (شکل ۶-۲۳). این آنومالی منفی Eu در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه بیان از خروج Eu از مذاب بدلیل تبلور پلاژیوکلاز و حتی کلینوپیروکسن در سنگ‌های مافیک منطقه باشد (پیتر و همکاران، ۱۹۹۹) و نشان‌دهنده اکسیدان بودن محیط تشکیل کانسار می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های بارز بین کانسارهای گرمایی و آبزاد، تفاوت الگوی آنومالی Ce در این دو نوع کانسارها می‌باشد. الگوی آنومالی Ce در کانسارهای گرمایی منفی و در کانسارهای آبزاد مثبت است (هین و همکاران، ۲۰۰۰؛ ۱۹۸۸؛ گلدبرگ^۵ و همکاران، ۱۹۷۳؛ بستروم^۶، ۱۹۷۴؛ بناتی، ۱۹۷۵) دلیل آنومالی مثبت Ce در کانسارهای آبزاد مدت زمان اقامت

¹ Peter

² Mosier and Page

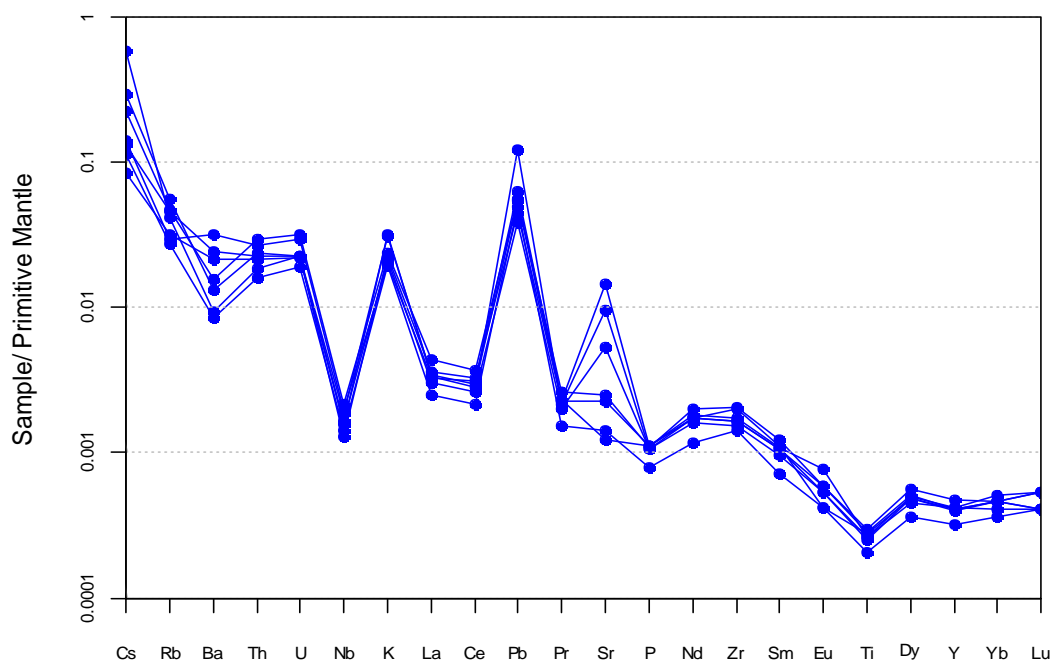
³ Ostwald

⁴ Sun and MC Donough

⁵ - Goldberg

⁶ - Bostrom

بیشتر یون Mn و Fe در آب و جذب Ce^{+4} توسط آن هاست. هرچند که (هین و همکاران، ۱۹۹۷) معتقد است که آنومالی Ce در کانسارهای گرمابی بسته به نرخ ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا دارای گستره‌ای از حالت منفی قوی تا حالت بدون آنومالی می‌باشد. آنومالی Ce به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمابی، شرایط احیا و مقدار آلودگی یا آلیش هیدروژنتیک بستگی دارد. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه آنومالی منفی Ce را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های نهشته‌های منگنز با خاستگاه گرمابی-بروندمی بوده و نشانه ته‌نشست مواد معدنی در محیط دریایی است (اسپری^۱ و همکاران، ۲۰۰۰). پس از بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی بر روی نمونه‌های معدنی کانسنگ و سنگ میزبان محدوده مطالعاتی بند قیچی لازم بود، نمودار عناصر نادر خاکی تمام نمونه‌ها یک‌جا ترسیم می‌شد تا بتوان آنها را بر اساس نمودار استاندارد (REE) محدوده آبراد (وون استاکلبرگ^۲، ۱۹۹۷) و محدوده گرمابی (یوشی و سومیا^۳، ۱۹۹۷) مقایسه کرد.

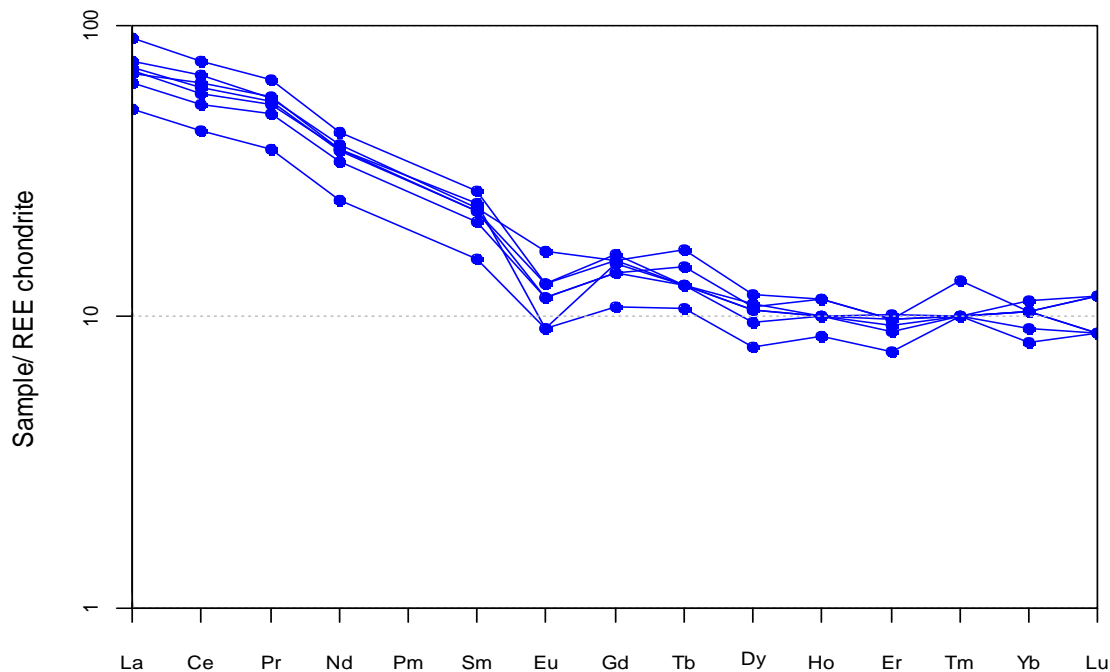


¹ Spry

² Von stakelberg

³ Usui and Someya

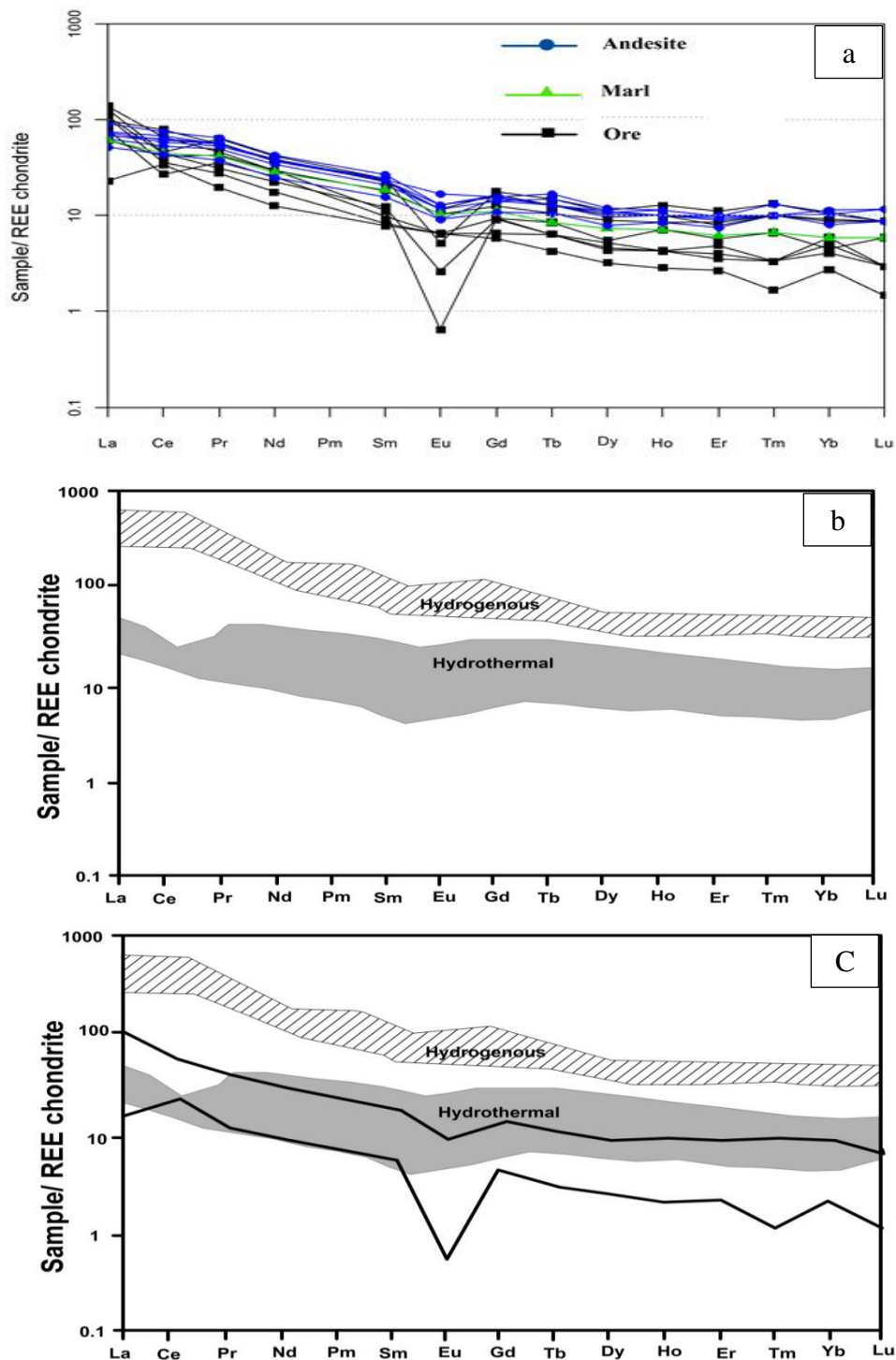
شکل ۶-۲۲- نمودار عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی محدوده معدنی بند قیچی که بر اساس (سان و مک‌دونوف^۱، ۱۹۸۹) به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند.



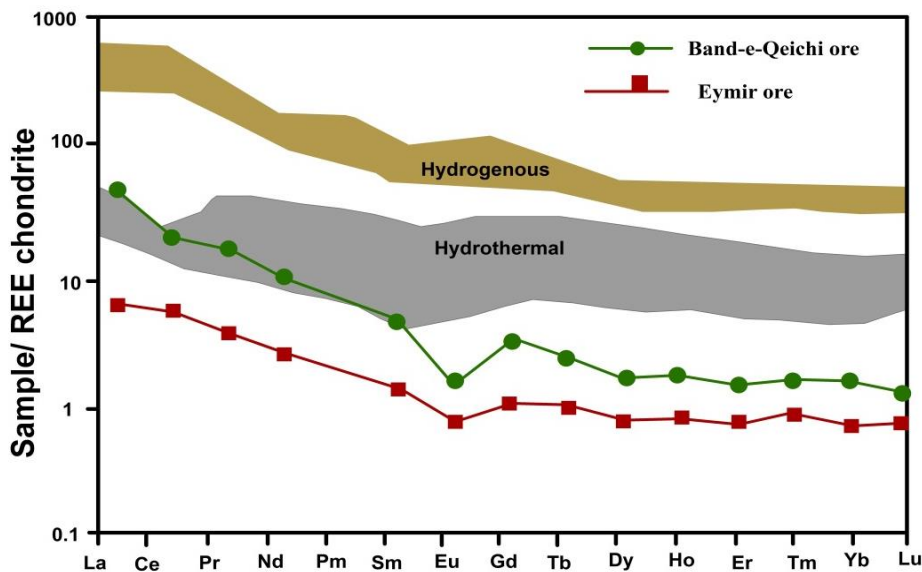
شکل ۶-۲۳- نمودار عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های آتشفشانی کانسار بند قیچی که به کندریت بهنجار شده‌اند (ناکامورا، ۱۹۷۴).

در این نمودار دیده شد که محدوده کانسارهای آزاد بالای ۱۰۰ و محدوده کانسارهای گرمایی زیر ۱۰۰ واقع شده‌اند. لذا نتیجه‌ای که از این مقایسه و مقایسه‌ای که با کانسار منگنز ایمیر ترکیه (اوکسوز، ۲۰۱۰) به دست آمده نشان داد که کانسار بند قیچی خاستگاه گرمایی دارد (شکل ۶-۲۴ و ۶-۲۵).

¹ Sun and MC Donough



شکل ۶-۲۴-ا- الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندرایت در نمونه‌های از کانسنگ (منگنز و سلسیت)، سنگ میزبان (گدازه‌های آتشفشانی و مارن) را نشان می‌دهد. **b**- نمودار REE محدوده‌های آزاد (وون استاکلبرگز، ۱۹۹۷) و گرمایی (یوشی و سومیا، ۱۹۹۷) و **c**- مقایسه نمونه‌های کانسنگ و سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه و تعیین محدوده کانسار بند قیچی (ربیی)، با تطابق بر روی نمودار استاندارد (REE) که بین دو خط سیاه مشخص شده است، نشان می‌دهد این کانسار خاستگاه گرمایی دارد.



شکل ۶-۲۵- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی کانسارمنگنز بندقیچی که با کانسار منگنز ایمیر ترکیه (ا.کسوز، ۲۰۱۰) مقایسه شده و بر روی نمودار REE استاندارد محدوده‌های آزاد (وون استاکلبرگز، ۱۹۹۷) و گرمایی (یوشی و سومیا، ۱۹۹۷) نشان داده شده است.

۹-۶- همبستگی عناصر

بررسی همبستگی عناصر در توالی سنگی و مطالعه شیمی چینه‌شناسی اهمیت زیادی در مطالعه توالی‌های آتشفشانی- رسوبی دارد. این مطالعات تغییرات ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب را در مقطع زمین‌شناسی نشان می‌دهد (لنتز و همکاران^۱، ۱۹۹۷؛ اسکاتر^۲، ۲۰۰۷).

هدف از این کار بررسی تغییرات شیمیایی و همبستگی عناصر در افق‌های مختلف کانه‌دار می‌باشد، تا از این طریق به محیط و فرایندهای تشکیل کانسار پی برد (بارنز^۳، ۱۹۷۴). بدین منظور نمونه‌برداری از محدود معدنی انجام گرفت و نتایج ژئوشیمی حاصل از نمونه‌های برداشت شده نشان دادند که میزان منگنز در رخساره استرینگر که ماده معدنی بصورت رگه‌ای است و در واقع منشأ کانه‌زایی می‌باشد به ۴۰٪ می‌رسد اما در قسمت بالایی و جانبی که کانسنگ بصورت توده‌ای و برشی است به بالاترین میزان خود یعنی بالای ۶۰٪ می‌رسد.

¹ Lentz
² Schatter
³ Barnes

مطالعه توزیع و پراکندگی و محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از نرم‌افزار SPSS بر روی داده‌های نمونه‌های معدنی کانسار بند قیچی (جدول ۶-۹) نشان می‌دهد که منگنز با Fe، Al، Mg، Na، K و Ti همبستگی منفی و با فلزات پایه از قبیل Cu، Zn و Pb به همراه Co و تا حدودی As همبستگی مثبت دارد. این همبستگی مثبت منگنز با عناصر مذکور را (نیکولسون^۱، ۱۹۹۲) بعنوان مجموعه عناصر شاخص کانسارهای گرمایی - برون‌دمی منگنز ارزیابی کرده است.

در جدول (۶-۱۰) مقادیر همبستگی عناصر اصلی و فرعی با یکدیگر نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۰ همبستگی عناصر در نمونه‌های کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Co	Fe	Sr	Mg	Ba	Ti	Al	Na	K
Mo	1	.774	.593	.440	.106	.911	.302	-.652	.029	-.732	.455	-.731	-.778	-.825	-.524
Cu		1	.910	.571	.580	.696	.579	-.614	-.122	-.522	.224	-.581	-.582	-.562	-.379
Pb			1	.752	.568	.487	.746	-.320	-.212	-.253	.176	-.283	-.300	-.332	-.166
Zn				1	.350	.403	.325	-.249	.042	-.350	-.063	-.231	-.193	-.457	.033
Ni					1	.183	.251	-.442	-.324	-.151	-.494	-.286	-.256	-.067	-.258
Mn						1	.225	-.807	.292	-.805	.105	-.887	-.949	-.879	-.773
Co							1	.124	-.195	.255	.261	.095	-.054	.138	-.219
Fe								1	-.226	.916	.205	.978	.897	.851	.637
Sr									1	-.262	-.263	-.301	-.337	-.328	-.344
Mg										1	-.020	.935	.819	.972	.438
Ba											1	.114	.088	-.111	.256
Ti												1	.953	.904	.707
Al													1	.836	.869
Na														1	.473
K															1

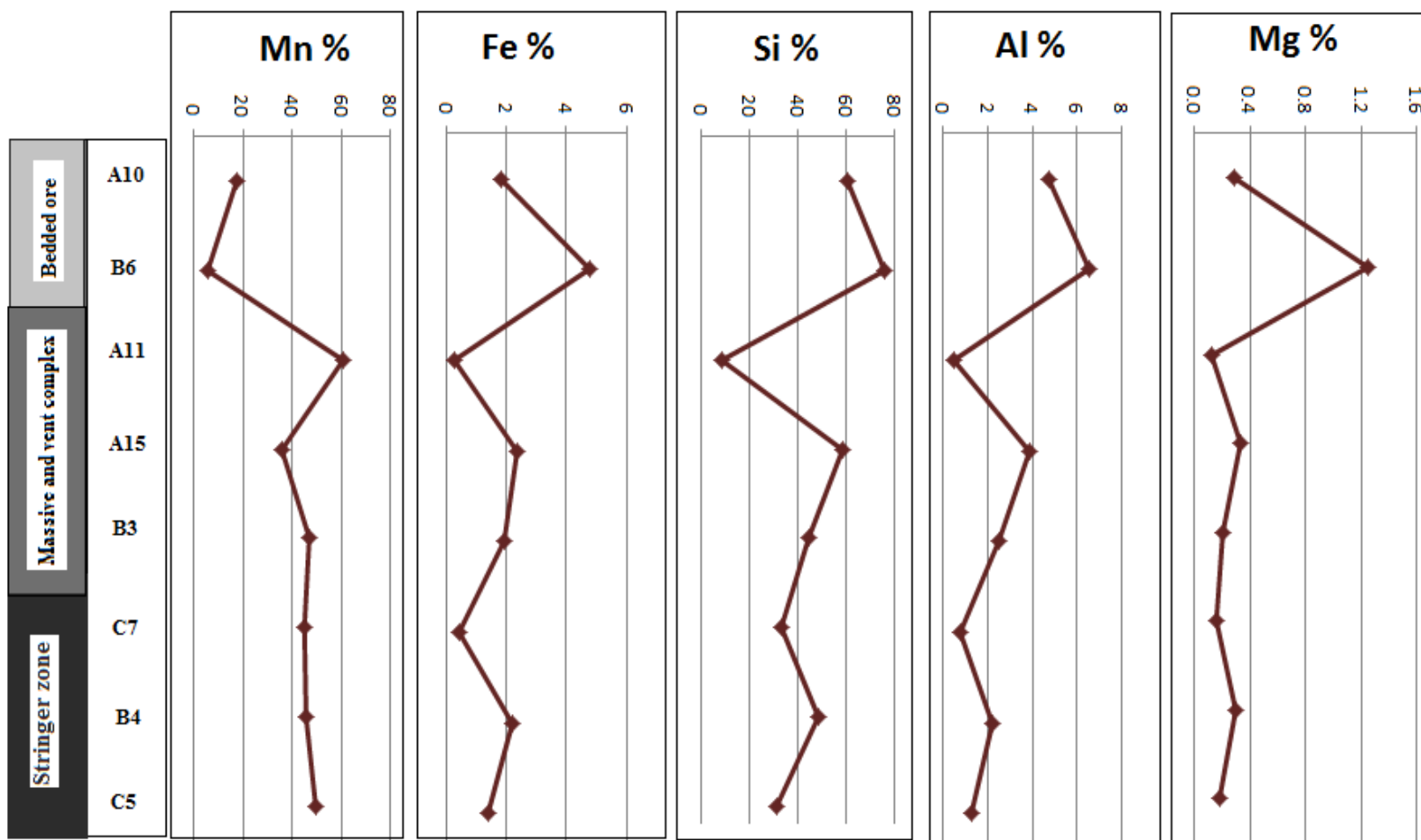
¹ Nicholson

۶-۱۰- منطقه بندی شیمیایی جانبی در رخساره‌های سه گانه کانسار بندقیچی

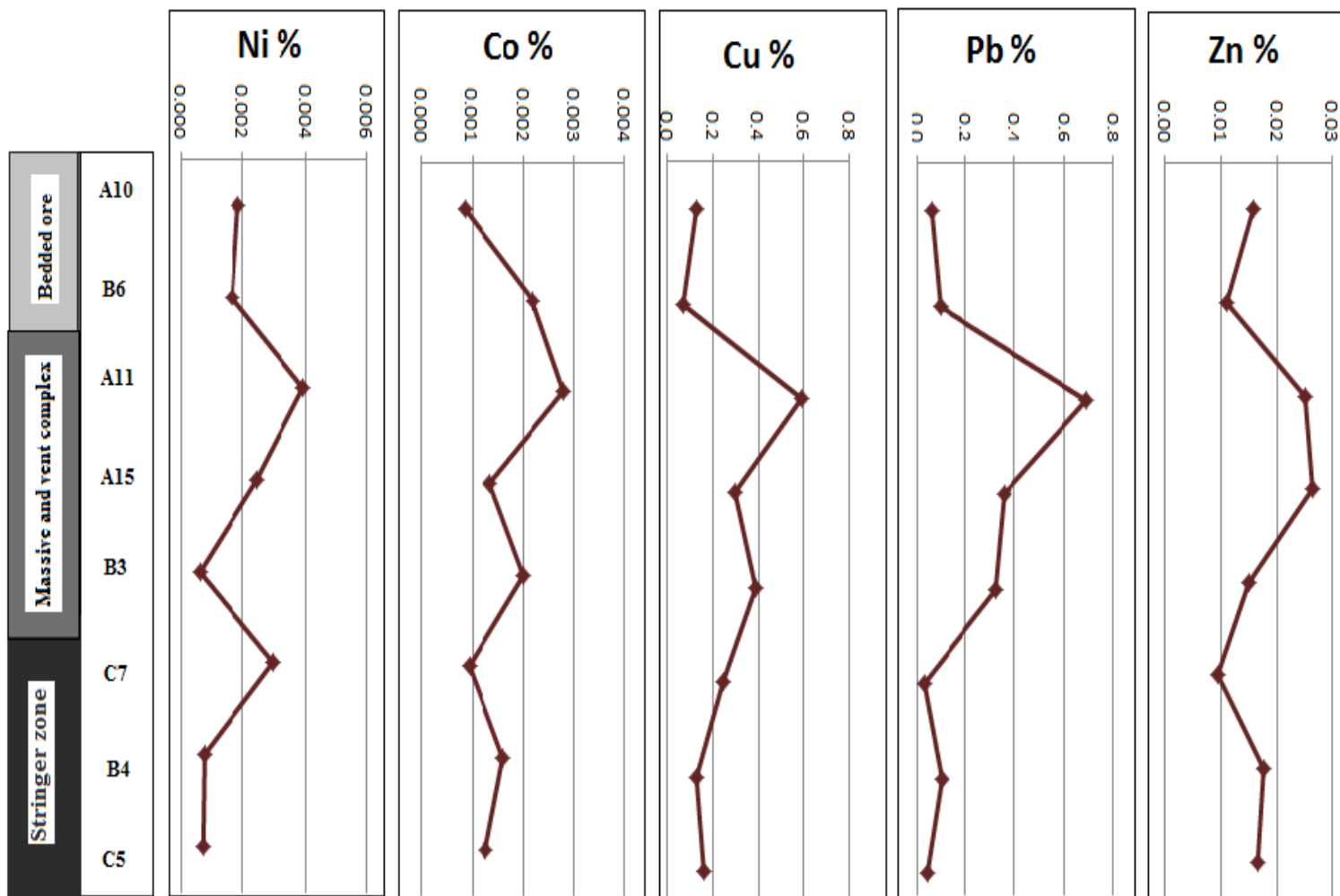
بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های تجزیه شده به روش ICP-MS و XRF نشان دهنده تغییر ترکیب شیمیایی موجود در کانسار بندقیچی در جنوب شاهرود از سمت رخساره استرینگر (رگه- رگچه- ای) در مرکز تا رخساره لایه‌ای در حاشیه غربی کانسار می‌باشد که البته این رخساره‌ها حالت منطقه‌بندی دارند، بگونه‌ای که به طرف داخل رخساره استرینگر (به میزبانی سنگ‌های آندزیتی) و سپس در اثر ترک-هایی که در رخساره استرینگر ایجاد شده در بخش بالایی و جانبی آن، رخساره توده‌ای و برشی کانسار (به میزبانی سنگ‌های آندزیتی و مارنی) که در واقع افق اصلی کانه‌زایی می‌باشد، قرار گرفته است و سپس رخساره بیرونی (به میزبانی مارن و ژپس) که در آن کانسنگ به شکل لایه‌ای و نواری دیده می‌شود. همانطور که در بالا ذکر شده است بخش پرعیار ماده معدنی در بخش توده‌ای و برشی آن منطبق است. حداکثر عیار منگنز در این افق برابر ۶۰٪ می‌باشد. میزان منگنز در رخساره رگه-رگچه‌ای (Stringer zone) کانسار بیشتر از رخساره لایه‌ای است (شکل ۶-۲۶). بیشترین مقدار منگنز به ترتیب در رخساره توده‌ای و برشی، پهنه استرینگر و لایه‌ای می‌باشد (شکل ۶-۲۶).

در رخساره توده‌ای و برشی آهن، آلومنیوم، سیلیس، سدیم، منیزیم، فسفر، تیتان و وانادیم کاملاً رفتاری برعکس با منگنز دارند. هر جا که میزان منگنز افزایش دارد میزان این عناصر به شدت کاهش نشان می‌دهد، تا جایی که در رخساره لایه‌ای که درون مارن‌ها واقع شده‌اند، بر میزان آهن و دیگر عناصر مذکور افزوده می‌شود در حالیکه میزان منگنز کاملاً کم می‌شود و میزان استرانسیم در این رخساره به بیشترین حد خود می‌رسد. در افق اصلی کانه‌زایی میزان فلزات پایه (مس و سرب و روی) به همراه کبالت و تاحدودی آرسنیک افزایش نشان می‌دهند که با رخداد کانه‌زایی و فعالیتهای گرمابی هماهنگ می‌باشد. لذا این عناصر هم با یکدیگر و هم با منگنز همبستگی مثبت نشان می‌دهند (اشکال ۶-۲۶ تا ۶-۲۹).

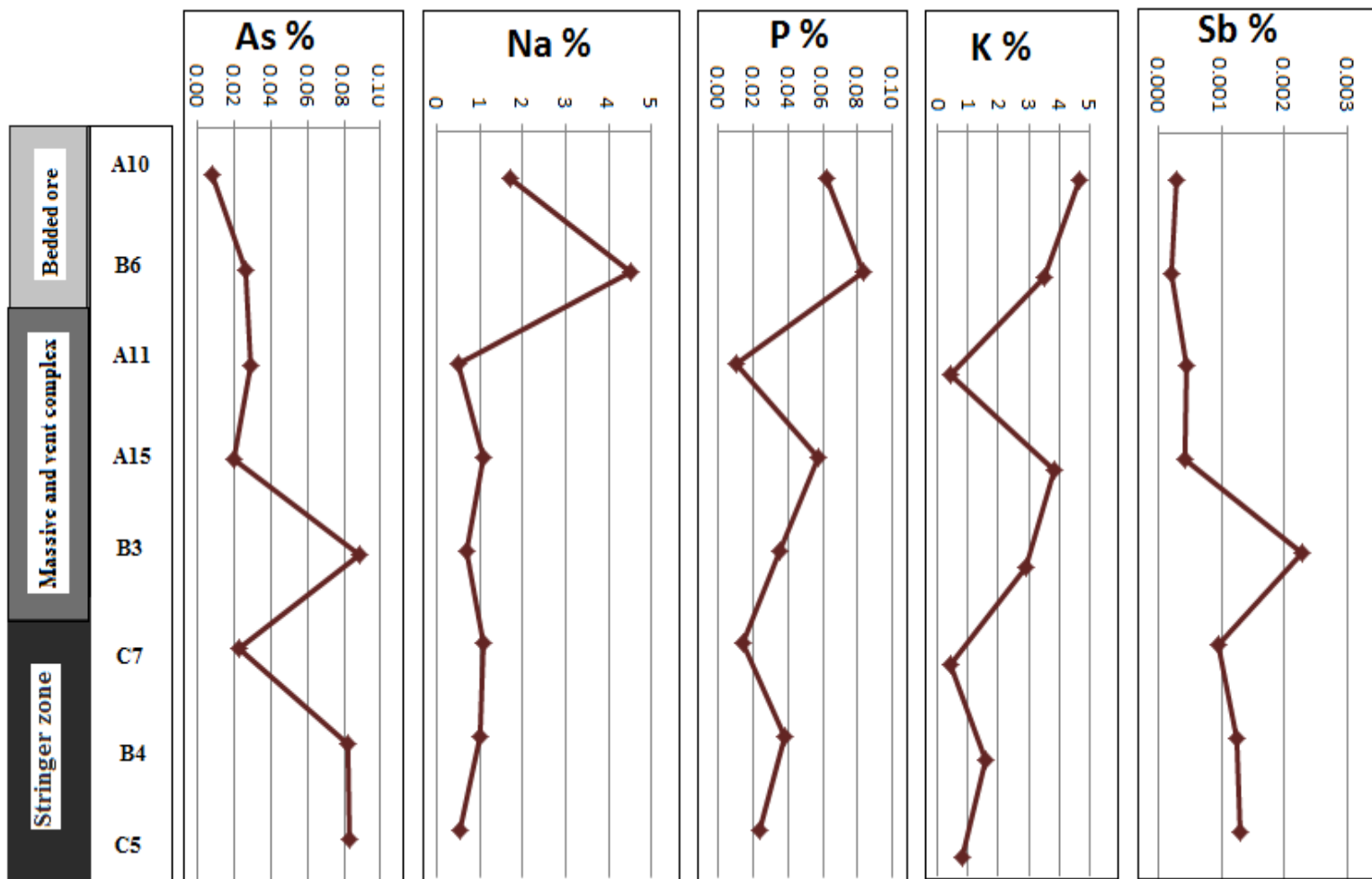
میران باریم در افق اصلی کانه‌زایی بسیار بالا است که نشان می‌دهد محیط کاملاً اکسیدان بوده است.



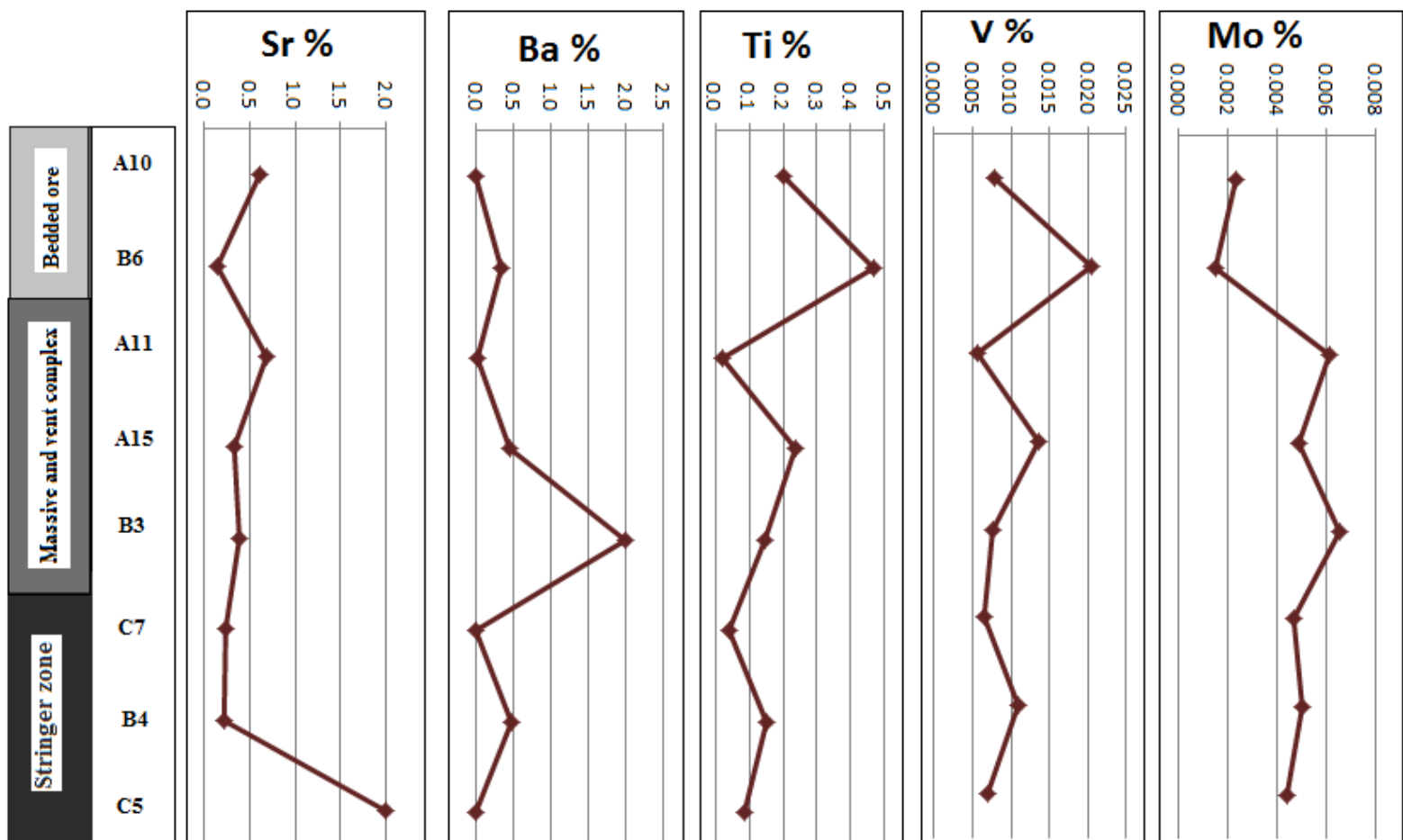
شکل ۶-۲۶- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی



شکل ۶-۲۷- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی



شکل ۶-۲۸- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه- رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی



شکل ۶-۲۹- میزان تغییرات عناصر اصلی، پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه-رگچه‌ای، توده‌ای-برشی و رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی

فصل، مضموم:

مطالعات سیالات در کمر

۷-۱- مقدمه

مطالعات سیالات درگیر به ویژه در زمینه ژنز کانسنگ از اهمیت بالایی برخوردارند و نقش مهمی در درک کنونی ما از چگونگی حمل و ته نشست کانسنگ‌ها داشته‌اند (رودر^۱، ۱۹۸۱). همچنین در بعد پترولوژیکی هم کمک شایانی در فهم فرایندهای پترولوژیکی کرده‌اند. چنانکه می‌دانیم سیالات درگیر در کانی‌ها معرف بخش‌هایی از مایعات، گازها و مذاب‌های بدام افتاده‌ای هستند که بلور از آن‌ها رشد کرده است و لذا از آن‌ها می‌توان برای بازسازی محیطی که در آن سنگ یا کانی تشکیل شده، استفاده کرد.

کانسارها در شرایط فیزیکی و شیمیایی مختلف و در تیپ‌های متفاوت تشکیل می‌شوند. این شرایط شامل Eh و pH، عمق، حرارت و فشار محیط تشکیل پارائز کانیایی خاصی می‌باشد که همین امر باعث اختلاف در نوع و ترکیب کانی‌شناسی و نهایتاً به وجود آمدن دگرسانی‌ها و بخش بندی‌های گوناگون در کانسارهای مختلف می‌گردد (پیتر^۲ و همکاران، ۱۹۹۹).

آگاهی از درجه حرارت تشکیل کانسار نه تنها از جهت تعیین منشأ حائز اهمیت می‌باشد بلکه برای اهداف اکتشافی نیز ضروری می‌باشد. دمای سیال کانه‌دار را از روش‌های مطالعات سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار می‌توان مشخص نمود. از بین این دو، روش دماسنجی سیالات درگیر از اطمینان ویژه‌ای برخوردار است. دمای سیالات کانه‌دار بستگی به منشأ سیال دارد. اگر منشأ سیال ماگمایی باشد دمای زیادی داشته که با دور شدن از توده‌های نفوذی و مخلوط شدن با آب دریا به شدت کاهش می‌یابد. اگر سیال کانه‌دار داغ باشد و سرد شدن آن تدریجی باشد گسترش قائم توده معدنی حاصل، بیشتر از حالتی خواهد بود که سیالات گرمایی سریع سرد شده باشند.

هرساله با پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای 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-

¹ Roedder

² Peter

عنوان ابزاری برای اکتشاف، مفید و ضروری نشان می‌دهد. با توجه به این که سیالات درگیر، باقی‌مانده و فسیل سیالات گرمایی کانه‌دار هستند لذا می‌توانند اطلاعات سودمندی درباره شیمی سیالات درگیر و فرایندهای ته‌نشست آن‌ها در اختیار محققین بگذارند. در این تحقیق سعی بر آن شده است که از طریق مطالعه سیالات درگیر، ترکیب و ارتباط سیالات گرمایی را در چگونگی تشکیل کانسار منگنز-سلستیت بند قیچی (ربعی) بررسی کرده و ارتباط و شرایط دما، شوری و فشار این سیالات و فرایندهای نهشت کانسنگ را به منظور تعیین ژنز کانسار مذکور بررسی کرد.

۲-۷- مطالعات سیالات درگیر

در این فصل مطالعات سیالات درگیر به صورت مطالعات پتروگرافی، پاراژنز، طبقه بندی و میکروترمومتری بحث خواهد شد.

۱-۲-۷- روش انجام مطالعات

برای مطالعه سیالات درگیر کانسار منگنز-سلستیت بند قیچی دو نمونه که یکی را از رگه‌های سلستیتی بخش استرینگر در ضلع شرقی (نمونه B1) و دیگری از بلورهای سلستیت بخش چینه‌سان در ضلع غربی (نمونه B2) کانسار انتخاب شده و جهت تهیه مقاطع دوبرصیقلی به دانشگاه تربیت مدرس فرستاده شد (شکل ۱-۷). مطالعات سیالات درگیر بر روی نمونه‌های دوبرصیقل^۱ صورت پذیرفت. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران به کمک Stage:THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ 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.

¹Doubly Polished Thin Sections

حجت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده گردید:

کالیبراسیون دستگاه دارای تلورانس زیر می باشد:

Heating : ± 0.6 , Freezing: ± 0.2

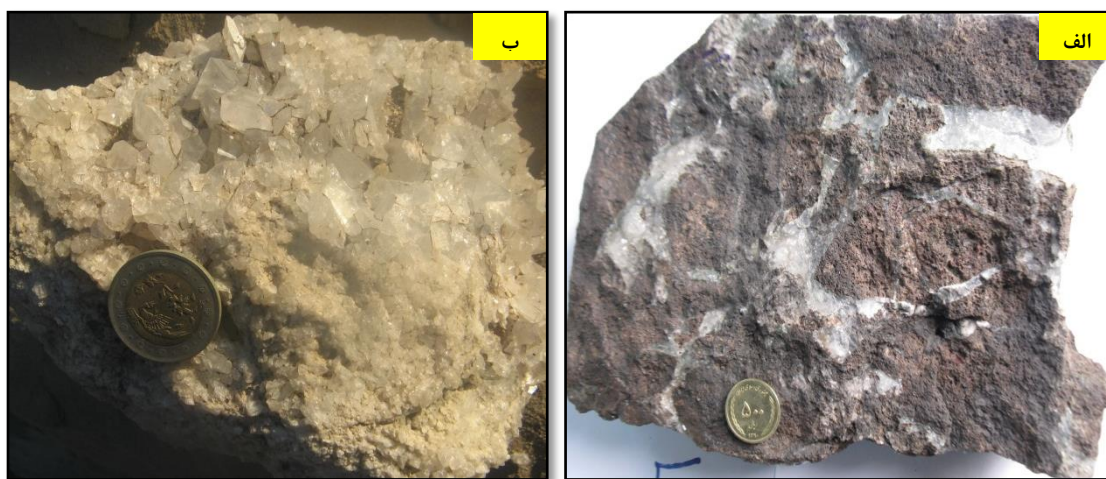
Heating: Cesium nitrate, melting point: $+414^{\circ}\text{C}$

Freezing: n-Hexane, melting point: -94.3°C

کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت ± 0.6 درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) با نقطه ذوب

414 درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد n-Hexane) با

نقطه ذوب 94.3 - درجه سانتیگراد انجام گرفت.



شکل ۱-۷-الف تصویر نمونه دستی از سلسیت از رخساره رگه‌ای (B1) ب- تصویر نمونه دستی از رخساره چینه‌سان (B2)

۷-۲-۲- مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر

مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر اهمیت بسیاری دارند چرا که در این مرحله علاوه بر تعیین انواع این سیالات و مشخصات هر یک از آنها، انواع مناسب آنها از نظر اندازه و اولیه و ثانویه بودن برای مطالعات مراحل بعدی انتخاب می‌شوند. در واقع بدون انجام مطالعات پتروگرافی نمی‌توان به داده‌های حاصل از تجزیه سیالات درگیر اعتماد کرد. همچنین، با دقت و مطالعه دقیق در این مرحله می‌توان اطلاعات مهمی در رابطه با ویژگی سیال کانه‌دار سیر تکاملی آنها و نیز فرآیند ژئوشیمیایی مؤثر در نهشت سیالات درگیر مانند

پدیده‌های جوشش، اختلاط و جدایش فازی را تا حدودی شناسایی کرد (یوانو^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه سیال درگیر، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)، محتویات سیال‌های درگیر (L+V+S) نسبت V/L، نوع کانی‌های دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، پدیده‌هایی مانند نشت^۲ و دم‌بریدگی^۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد. یادآوری می‌شود که سیالات درگیر با اشکال غیر عادی مانند بلورهای منفی، سیالات کشیده شده و یا دارای اشکال متقارن جهت انجام مطالعات دماسنجی مناسب نیستند (کلاگل^۴، ۲۰۰۸).

برخی پدیده‌ها مانند دم‌بریدگی و نشت باعث می‌شوند تا داده‌ها و نتایج سیال‌های درگیر قابل اعتماد نگردد، لذا از مطالعه حرارت‌سنجی آن‌ها صرف‌نظر شده است.

مطالعات پتروگرافی سیال‌های درگیر با بزرگنمایی‌های ۵۰۰، ۶۲۵ و ۸۰۰ انجام گرفته است.

۷-۲-۳- شکل ظاهری سیالات درگیر

شکل سیالات درگیر کاملاً متفاوت می‌باشد و تا حدودی توسط ساختمان بلوری کانی میزبان کنترل می‌شوند. این سیالات ممکن است شکل بلورین منفی کانی میزبان و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (شلتون و مک منامی^۵، ۲۰۰۴). با توجه به پارامترهای تعیین شده (شفرد^۶ و همکاران، ۱۹۸۵؛ رودر، ۱۹۸۴) و از لحاظ شکل ظاهری سیالات درگیر کانه‌ساز در نمونه‌های کانسار بند قیچی (ربعی) را می‌توان به ترتیب فراوانی به صورت زیر تقسیم کرد:

- سیالات درگیر با اشکال چندوجهی

- اشکال کشیده

¹ Ioannou

² Leakage

³ Necking down

⁴ Klugel

⁵ Shelton and Mcmenamy

⁶ Shepherd

۷-۲-۴ - اندازه سیالات درگیر

اندازه سیالات درگیر معمولاً از یک میکرون تا چند سانتی‌متر می‌باشند و لیکن آن‌هایی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند، اندازه‌شان از ۱۰ میکرون بیشتر است. عموماً سیالات درگیر در نمونه‌های کانسار مورد مطالعه فراوانند و در ابعاد بزرگ و به طور پراکنده در نمونه‌ها مشاهده می‌شوند.

۷-۳ - طبقه بندی و پارائز سیالات درگیر

به منظور رده‌بندی سیالات درگیر از نظر منشأ و نیز نوع آن‌ها بر مبنای محتوای سیال یا به عبارتی ترکیب فازهای مشاهده شده در دمای اتاق از روش (شفرد، ۱۹۸۵) استفاده شده است (جدول ۷-۱). در این طبقه‌بندی سیال‌های درگیر تشکیل شده در طی رشد اولیه کانی (نوع اولیه یا P) از سیال‌های درگیری که در طی فرایند بعدی، پس از شکل‌گیری بلور طی پرشدگی شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند (نوع ثانویه یا S) متمایز می‌شوند. سیالات درگیر اولیه معمولاً به صورت منفرد یا گروه‌های سه بعدی، موازی با سطوح رشد بلوری و یا به صورت تصادفی در داخل میزبان مشاهده می‌شوند و سیالات درگیر ثانویه حاشیه بلورهای میزبان را قطع می‌کنند.

برخی مؤلفین (رودر، ۱۹۷۶) یک گروه ژنتیکی دیگر را نیز تعریف کرده‌اند که حد واسط بین سیال‌های درگیر اولیه و ثانویه بوده و در طی پرشدگی شکستگی‌ها اما قبل از اتمام رشد بلور میزبان تشکیل می‌شوند (نوع ثانویه کاذب یا PS). بر اساس مطالعات پتروگرافی سه نوع سیال درگیر در نمونه‌های مطالعه شده محدود به معدنی بند قیچی شناسایی شده‌اند (جدول ۷-۱):

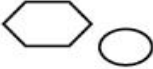





I. تک فاز مایع (Liquid) L و تک فاز گاز (Gas)

II. دو فازی مایع-گاز (Liquid rich) L+V

III. دو فازی گاز - مایع (Vapour rich) V + L

IV. سه فازی مایع-گاز-فاز جامد ناشناخته L+V+S?

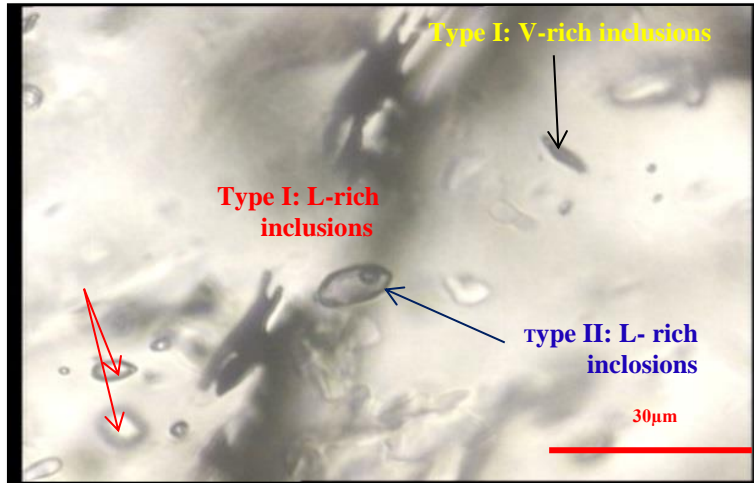
جدول ۷-۱- رده‌بندی انواع سیالات درگیر بر مبنای انواع فازهای موجود در دمای اتاق و محتوای آنها (شفرد، ۱۹۸۵)

Inclusion type	Abbreviation	Appearance	Essential phases
Monophase liquid	L		L = 100%
Monophase vapor	V		V = 100%
Liquid-rich, two-phase	L + V		L > 50%
Vapor-rich, two-phase	V + L		V = 50-80%
Multiphase solid	S + L ± V		L, S
Immiscible liquid	L ₁ + L ₂ ± V		L ₁ , L ₂

۷-۳-۱- سیالات درگیر نوع I تک فازی (L) یا (V)

این نوع از سیالات درگیر تک فازی غنی از H₂O و یا CO₂ هستند که در کانسار بندقیچی در نمونه‌های مطالعه شده سیال غنی از مایع دارای فراوانی زیاد و غنی از گاز بسیار کم می‌باشد. این سیالات درگیر با اشکال مختلف به صورت منفرد در داخل کانی میزبان سلسیت مشاهده می‌شوند. این سیالات درگیر با پراکندگی تصادفی در بخش‌های داخلی کانی سلسیت رشد کرده‌اند (شکل ۷-۲) تشکیل این سیالات درگیر در بخش‌های رشدی بلورهای نمونه‌های مطالعه شده می‌تواند نشان دهنده منشأ اولیه تشکیل آنها باشد (جونس^۱، ۲۰۰۶). درجه پرشدگی این نوع سیالات از ۷۰٪ تا ۹۰٪ متغیر می‌باشد (جدول ۷-۲).

¹ Jones



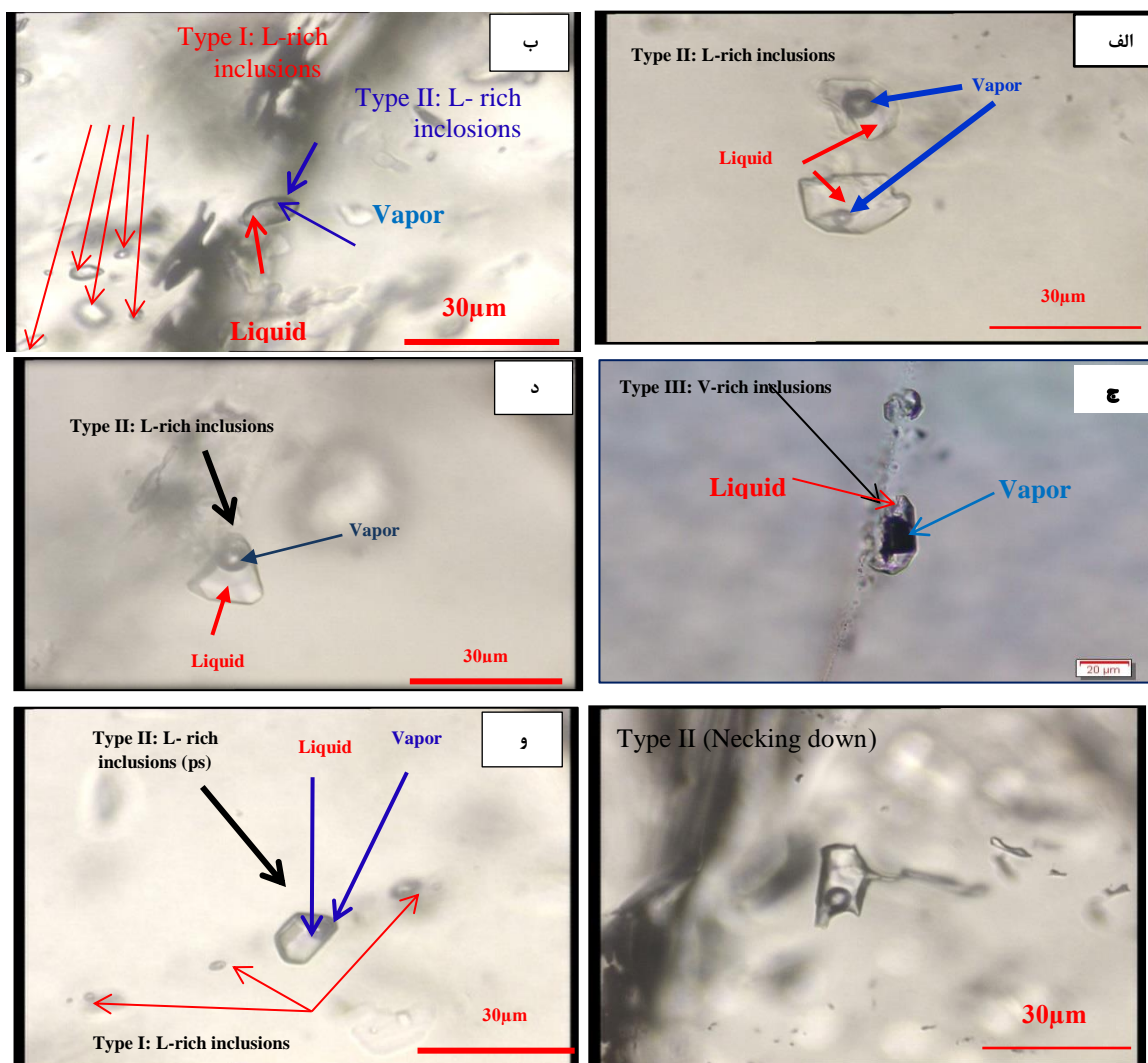
شکل ۷-۲- سیال‌های درگیرهای تک‌فازی مایع و گاز و دوفازی با محتوای فاز غالب مایع (در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی (ربیعی))

۳-۲- سیالات درگیر دو فازی نوع II و نوع III (L+V)

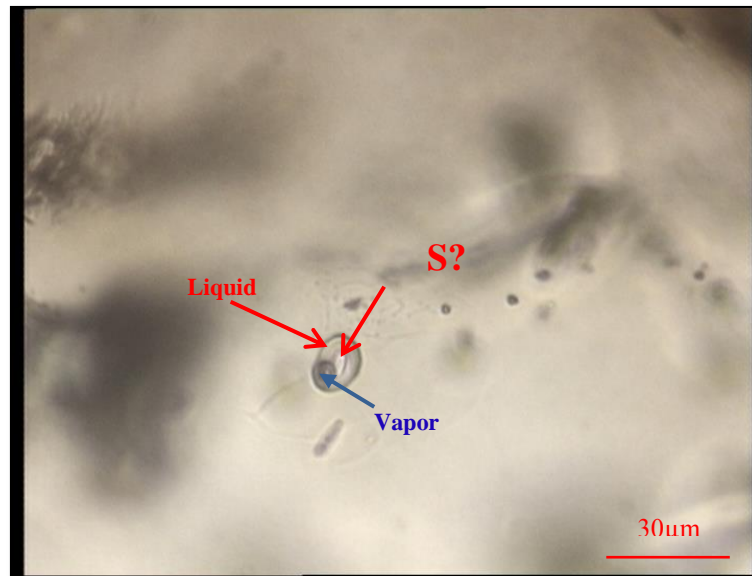
سیالات درگیر نوع II در کانسار بندقیچی شامل دو فاز (مایع + گاز) یا (گاز + مایع) با درجه پرشدگی بین ۲۰٪ تا ۵۵٪ هستند که بر اساس نوع فاز غالب به دودسته دو فازی غنی از مایع یا غنی از گاز تقسیم‌بندی می‌شوند. این سیالات به صورت دوفازی بوده یا به عبارت دیگر متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند. حباب بخار حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد حجم سیال درگیر را اشغال کرده است. در واقع درجه پرشدگی این نوع از سیال‌های درگیر در حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد است. این سیال‌های درگیر نسبت به انواع دیگر فراوان‌تر بوده و به اشکال چندوجهی تقریباً منظم و کشیده مشاهده می‌شوند. در سیال‌های III درگیر که دو فازی غنی از گاز می‌باشند، با فراوانی کمتری مشاهده می‌شوند. حباب بخار حجمی در حدود ۸۰ الی ۹۵ درصد سیال درگیر را اشغال کرده است این سیال‌های درگیر تا دمای ۵۰۰ درجه همگن نشده و احتمالاً تا ۶۰۰ الی ۷۰۰ درجه همگن شوند (احتمالاً به فاز بخار؟). این سیالات درگیر در این نمونه‌ها اغلب با سیالات درگیر تک‌فازی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده منشأ اولیه آن‌ها می‌باشد (شکل ۷-۳).

۷-۳-۳- سیالات درگیر نوع IV : سیالات درگیر سه فازی

این سیالات کمترین نوع سیالات درگیر بوده و به جزء دریک مورد (مشکوک) مشاهده شده است (شکل ۷-۴) که تا دمای ۴۳۸ درجه سانتی‌گراد این فاز ناشناخته حل نشد و در این دما سیال منهدم گردید ($T_d=438$) (احتمالاً فاز جامد از خانواده سولفات؟ باشد). به نظر می‌رسد که این سیالات درگیر باتوجه به نوع رخداد و همراهی با سیالات درگیر نوع I و II دارای منشأ اولیه باشند. در نمونه‌های مطالعه شده از کانسار منگنز-سلستیت بند قیچی به ترتیب فراوانی سیالات درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب بودند اما به دلیل اینکه سیالات درگیر ثانویه و ثانویه کاذب چندان اهمیتی در مقایسه با نوع اولیه ندارند، همچنین به دلیل ریز بودن بیش از حد آن‌ها و به منظور اجتناب از هرگونه خطا در تشخیص این نوع سیالات درگیر از مطالعه آن‌ها صرف‌نظر شده است. بیشتر سیالات درگیر اولیه مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل ۷-۳- سیال‌های درگیر دو فاز (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) (در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی (ربیعی)، الف- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب مایع ب- سیال‌های درگیر دوفازی و تک‌فازی با محتوای فاز غالب مایع ج- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب گاز د- سیال‌های درگیر دوفازی با محتوای فاز غالب مای ه- سیال‌های درگیر دو فاز که پدیده باریک‌شدگی (Necking down) و- سیال‌های درگیر دو فاز (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) (ثانویه کاذب: PS) را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۴- سیال درگیر سه فاز (VLS?) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) و فاز جامد ناشناخته (S?) در نمونه‌های سیالات درگیر کانسار منگنز-سلستیت بندقیچی (ربیعی)

۷-۴- مطالعات دماسنجی سیالات درگیر (میکروترمومتری)

مطالعات حرارت‌سنجی شامل:

ابتدا عملیات سرمایش و سپس گرمایش بر روی سیال‌های درگیر دوفازی است:

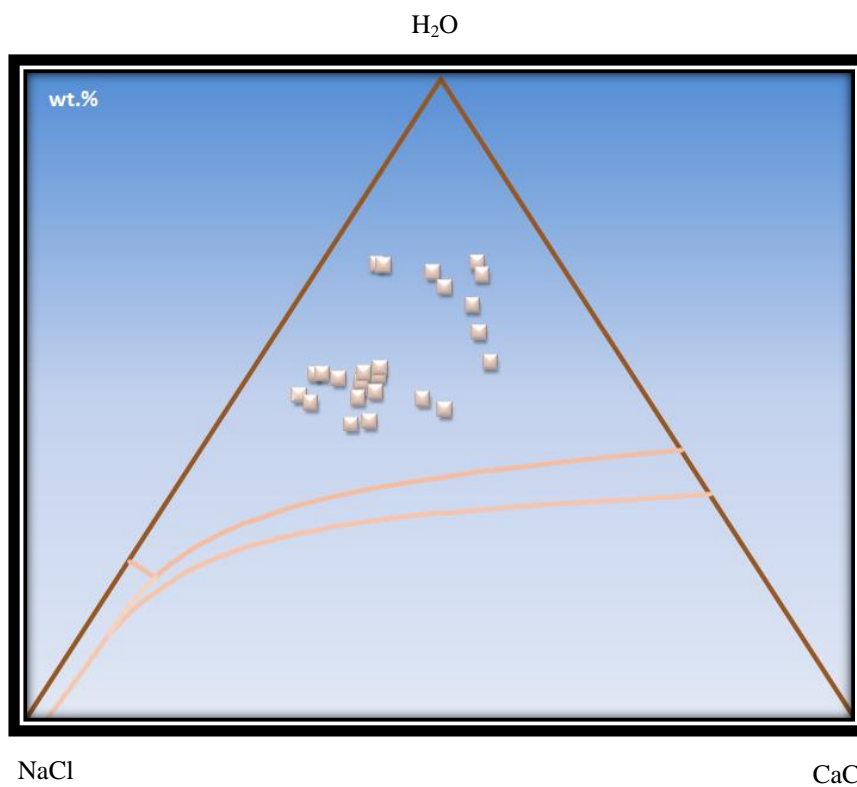
انجماد نهایی سیال‌های درگیر در محدوده‌ی دمایی ۱۰۰- تا ۱۱۰- درجه صورت گرفت، تا عمل انجماد کلیه فازها صورت گیرد. سپس دما را بالا برده تا اولین نقطه‌ی ذوب یخ (Te یا Tmf) آشکار شود که در نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ۵۲- درجه سانتی‌گراد اولین عمل ذوب آغاز شد در این حالت، سیال‌های درگیر دارای فازهای یخ +هیدروهالیت+مایع است. این دما منطبق برنقطه یوتکتیک سیستم سه‌تایی H₂O-NaCl-

CaCl₂ است (شکل ۷-۵). با افزایش حرارت، بلورهای بزرگ یخ در کنار بلورهای ریز هیدروهالیت (هیدروهالیت (NaCl.2H₂O) متداولترین هیدرات نمک بوده و وجه تمایز آن نسبت به یخ، ضریب شکست بالاتر آن و ماهیت دانه‌ای آن است). مشاهده می‌شوند. قابل ذکر است بلورهای صفحه‌ای و گرد یخ دارای برجستگی کمتری نسبت به ذرات هیدروهالیت هستند. با ادامه حرارت، ذرات هیدروهالیت شروع به ذوب شدن می‌کنند (T_{mhh}) که این ذوب در محدوده‌ی دمایی ۲۴- تا ۳۶- درجه است. در این حالت، تمامی ذرات هیدروهالیت ذوب شده و بلورهای یخ + مایع به وضوح قابل مشاهده است، با افزایش حرارت، بلورهای یخ نیز ذوب شده که آخرین دمای ذوب یخ (T_{mice}) در سیال‌های درگیر، در جدول آنالیز ذکر شده است (جدول ۷-۲). قابل ذکر است که هیدروهالیت در سیال‌های درگیری که از نظر ابعاد بزرگ هستند به خوبی قابل مشاهده است. با توجه به این که نقطه انجماد آب خالص، صفر درجه سانتی‌گراد است، از روی میزان افت نقطه انجماد یا ذوب، درجه شوری سیال محاسبه می‌شود (رودر، ۱۹۷۶). با استفاده از T_m و نمودار مربوطه یا معادله مخصوص، درجه شوری بر حسب معادل در صد وزنی کلرید سدیم (NaCl) محاسبه می‌شود، در صورتی که سیال حاوی نمک‌های نوزاد نباشد محاسبه درجه شوری از فرمول زیر امکان‌پذیر است (شفرد، ۱۹۸۵).

$$(Wt\% NaCl) Salinity = 1.76958 T_m - 4.234 \cdot 10^{-2} T_m^2 + 5.3 \cdot 10^{-4} T_m^3 + 0.28$$

T_m: دمای ذوب آخرین قطعه یخ بر حسب درجه سانتی‌گراد

سپس با رسیدن به دمای اتاق، عملیات گرمایش را شروع کرده و تا جایی این افزایش دما ادامه پیدا می‌کند که حباب بخار موجود در نمونه همگن شود که به آن دمای همگن شدن (Th) می‌گویند که نشان‌دهنده حداقل دمای تشکیل کانی است. در سیال‌های درگیر مورد مطالعه، همگن شدن فاز بخار به فاز مایع رخ داده است.



شکل ۷-۵- نمودار شوری بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های محدوده معدنی بندقیچی

۷-۴-۱- مطالعات سرمایش

از این مطالعات برای به دست آوردن درجه شوری سیال استفاده می‌شود. انجماد نهایی سیال‌های درگیر مورد مطالعه در محدوده دمایی ۱۰۰- تا ۱۱۰- درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت تا انجماد تمامی فازهای موجود در سیال‌های درگیر صورت گیرد. بسته به نوع فازهای تشکیل‌دهنده، ترکیب، چگالی و یا شوری سیالات مختلف و در دماهای مختلفی منجمد می‌شوند (شکل ۷-۶). سپس دما را بالا برده و در این حالت قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا اولین دمایی که در آن یخ ذوب می‌شود، دمای یوتکتیک یا (Te) نامیده می‌شود، که ارتباط مستقیم با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های موجود در مایع دارد (بودنار^۱ و همکاران، ۱۹۹۴) و در نمونه‌های محدوده مورد مطالعه در ۵۲- درجه سانتی‌گراد اولین عمل ذوب آغاز شد. نتایج مطالعات سرمایش نشان داد که درجه شوری سیالات درگیر از ۳/۲۴ تا ۱۱/۳۷ میانگین (۷/۳۰) در صد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند جدول (۷-۲) و شکل (۷-۷ الف).

¹ Bodnar

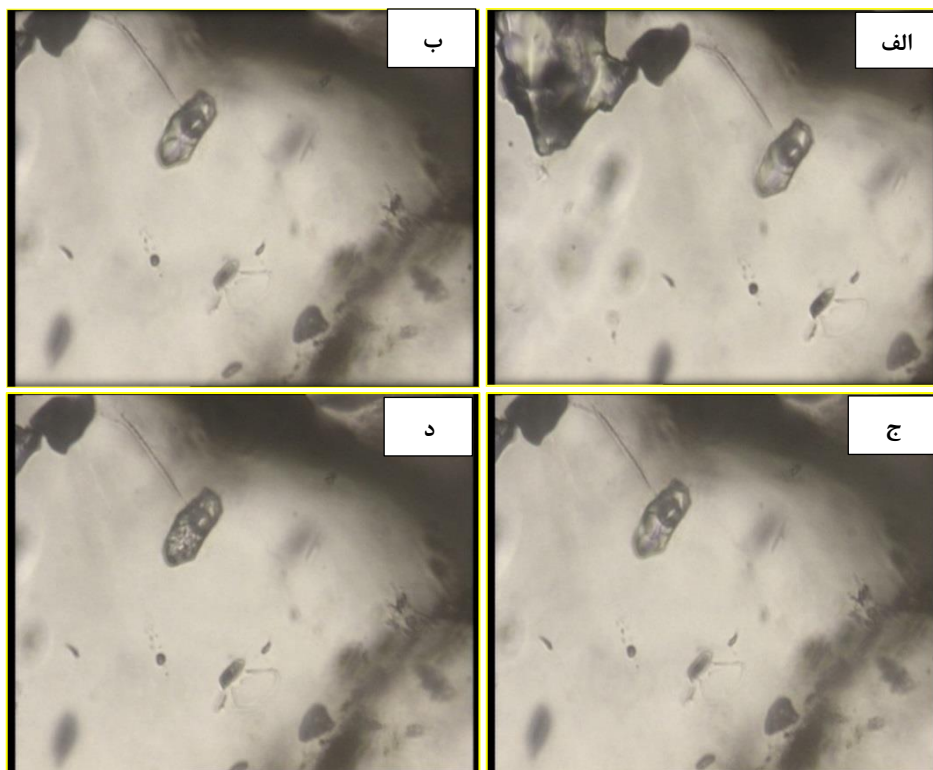
سیالات درگیر در نمونه‌های زون استرینگر با درجه شوری بین (۳/۲۴ تا ۱۰/۶۴) هستند که دارای میانگین شوری ۵/۹۱ می‌باشند.

و سیالات درگیر در نمونه‌های زون چینه‌سان با درجه شوری (۲/۷۲ تا ۱۱/۳۷) می‌باشد که دارای میانگین شوری ۶/۵ می‌باشند.

۷-۴-۲ - مطالعات گرمایش

در این مطالعات دمای همگن‌شدن یا Th سیالات درگیر بدست می‌آید که نشان دهنده حداقل دمای به دام افتادن سیال درگیر یا دمای تشکیل بلور کانی میزبان است (شگرد و همکاران، ۱۹۸۵). یعنی عملیات گرمایش تا جایی افزایش پیدا می‌کند که حباب بخار موجود در نمونه همگن شود. دمای یکنواخت‌شدگی در کانسار بند قیچی نشان می‌دهد که حداقل دمای همگن‌شدن سیالات ۱۷۵ و حداکثر دما ۳۹۰ می‌باشد. نمودار توزیع فراوانی سیالات درگیر نشان می‌دهد که در کانسار مذکور سیالات درگیر با دمای یکنواخت‌شدگی در زون استرینگر ۲۰۰ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد از بیشترین فراوانی برخوردار است و دربخش چینه-سان ۱۷۱ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد فراوانی بالایی دارد (میانگین دمای همگن‌شدن ۲۲۴°C).

در سیال‌های مورد مطالعه همگن‌شدن فاز بخار به فاز مایع رخ داده است (جدول ۲-۷) (شکل ۷-۷-ب، ۷-۷-۸).



شکل ۷-۶- مراحل انجماد سیالات درگیر در نمونه‌های منتخب کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی، الف - اولین نقطه انجماد $-12/3^{\circ}\text{C}$ ، ب - تشکیل اولین بلور یخ $-13/5^{\circ}\text{C}$ ، ج - تشکیل چندین بلور یخ با کاهش تدریجی دما $-18/2^{\circ}\text{C}$ ، د - در این مرحله بلورهای هالیت بصورت دانه‌های هیدرو هالیت ظاهر می‌شوند $-31/5^{\circ}\text{C}$.

۷-۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تفسیر داده‌های بدست آمده از آنالیز سیالات درگیر از کانسار منگنز-سلسیت بند قیچی (ربیعی) دمای همگن شدن سیالات درگیر در این کانسار (۱۷۵ تا ۲۹۰) مشابه با دمای سیالات گرمایی است که از دهانه‌های چشمه‌های آب‌گرم کف دریاها خارج می‌شود. اما میزان شوری سیالات درگیر در این کانسار (۰.۶٪) تقریباً دوبرابر شوری آب دریاها (۳/۲٪ NaCl) می‌باشد که یا باید به علت فرایند جدایش فازی و جوشش باشد که باعث جدایش سیالات و غلیظتر شدن سیالات باقی‌مانده از NaCl می‌شود در این صورت کانی‌های نوزاد باید در سیالات درگیر دیده شوند (پیتر و همکاران، ۱۹۹۹) که در نمونه‌های کانسار مورد مطالعه جز یک مورد، سیالات درگیر سه فازی مشاهده نشده است (شکل ۷-۴)، پس این فرایند نمی‌تواند عامل بالا بودن

شوری سیالات درگیر کانسار مذکور باشد لذا به نظر می‌رسد حضور سنگ‌های آتشفشانی از قبیل آندزیت‌ها در کمر پایین کانسار در بخش استرینگر و تبادل سدیم بین آب دریا و این سنگ‌ها باعث بالا رفتن میزان شوری سیالات درگیر دوفازی در کانسار مذکور شده است. ولی در بخش چینه‌سان عامل بالا بودن شوری به احتمال زیاد حضور واحدهای تبخیری می‌باشد. در این مبحث با توجه به این که نمودار شوری و دمای همگن شدن نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس (ویکینسون^۱، ۲۰۰۸) منطبق بر محدوده تیپ کوروکو می‌باشد لذا به نظر می‌رسد کانی‌سازی سلسیت در محدوده بندقیچی در شرایط مشابه با تشکیل کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ کوروکو صورت گرفته است. (شکل ۷-۹). نتایج داده‌های میکروترموتری سیالات درگیر در کانسار بندقیچی نشان می‌دهد که سیالات غالب در این کانسار سیالاتی با دو فاز مایع - بخار با شوری نسبتاً متوسط ۰.۶٪ وزنی نمک طعام و دمای همگن متوسط تا بالا (۱۷۵-۲۹۰) می‌باشند. در نمودار دما در برابر فشار، عمق و منحنی جوشش (رودر و همکاران، ۱۹۸۰) با توجه به دمای همگن شدن تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و که با توجه به ناچیز بودن سیالات درگیر غنی از گاز و محدود بودن تغییرات دمایی احتمال رخداد جوشش در کانسار پایین است لذا در کانسار بندقیچی فشار تا حدود ۶۰ بار و عمق تقریباً ۶۰۰ متر تخمین زده می‌شود (شکل ۷-۱۰).

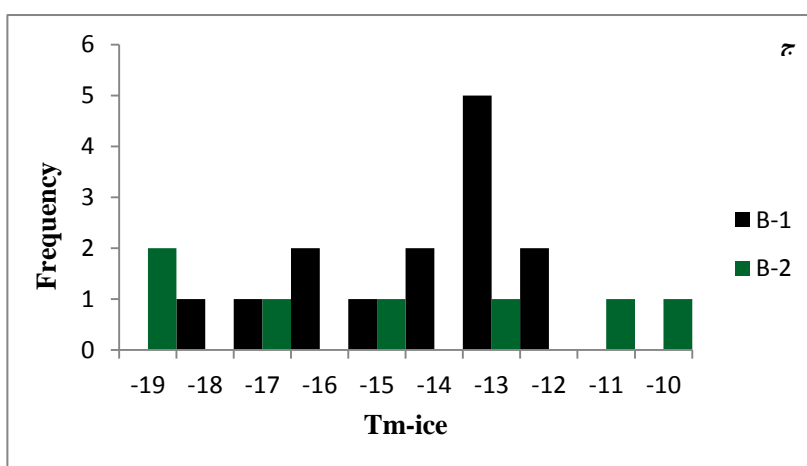
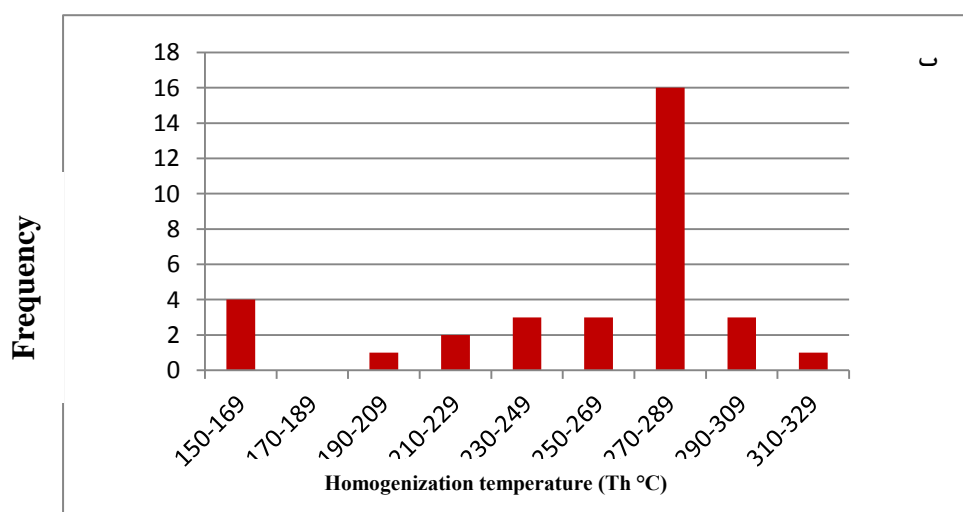
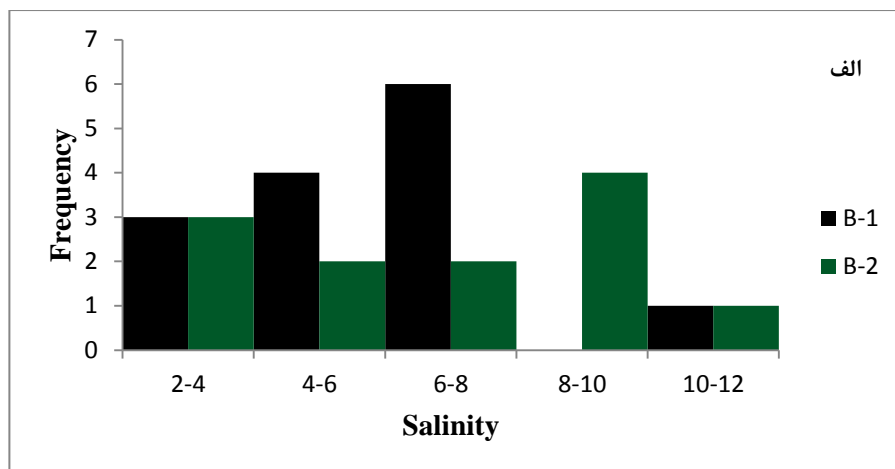
¹ Wilkinson

جدول ۷-۲- نتایج آنالیز داماسنجی و تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های (B1 و B2) سلسیت محدود معدنی منگنز- سلسیت بند قیچی

Sample: B1				Te C)°(	Tmice C)°(	Tmhh C)°(	wt% NaCl	wt% CaCl2	wt % NaCl/(NaCl+CaCl2)	wt % NaCl+CaCl2	Thv-1 C)°(
1	35	LV	P	-52	-17.3	-30	5.91	13.58	0.3	19.49	202
2	48	LV	P		-16.7	-30	5.8	13.32	0.3	19.12	180
3	28	LV	P		-16	-29	6.4	12.3	0.34	18.7	200
4	44	LV	P		-19.1	-34	3.95	16.46	0.19	20.41	286
5	25	LV	P		-21.2	-30	6.6	15.15	0.3	21.75	200
6	20	LV	P		-15.8	-30	5.62	12.91	0.3	18.54	250
7	25	LV	P		-16	-35	3.24	15.33	0.17	18.57	202
8	20	LV	P		-15.3	-29	6.24	11.99	0.34	18.23	240
9	32	LV	P		-20.7	-29	7.38	14.17	0.34	21.55	290
10	14	LV	P		-18.3	-30	6.1	14	0.3	20.1	238
11	30	LV	P		-16.4	-32	4.54	14.33	0.24	18.87	Td:285
12	20	LV	P		-19	-25.9	10.64	10.19	0.51	20.83	Td:227
13	12	LV	P		-16	-34	3.6	14.99	0.19	18.59	234
14	32	LV	P		-17.6	-29	6.75	12.97	0.34	19.72	175

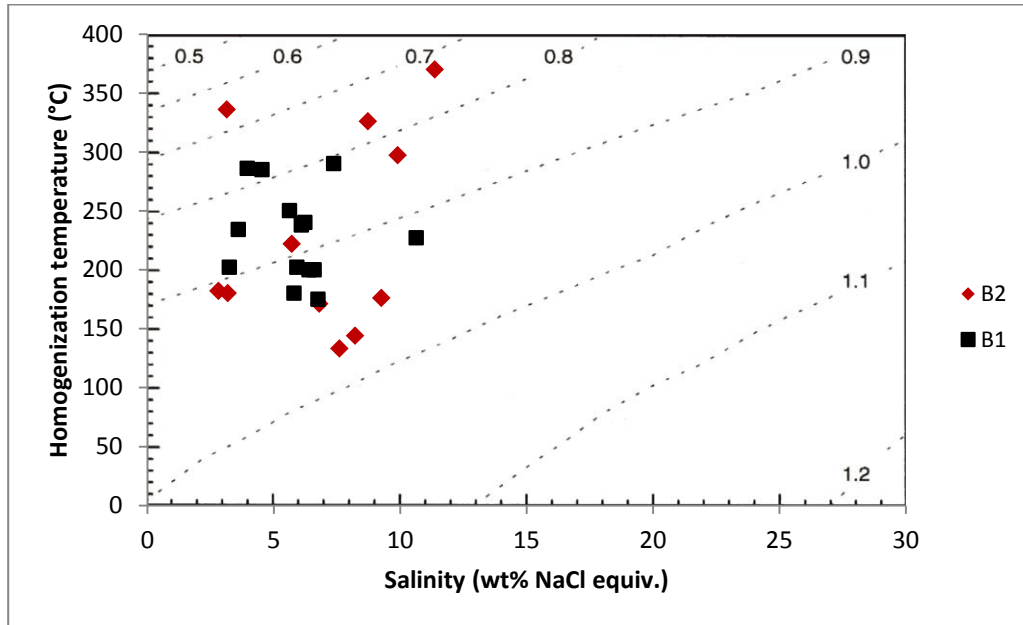
Sample: B2				Te C)°(	Tmice C)°(	Tmhh C)°(	wt% NaCl	wt% CaCl2	wt % NaCl/(NaCl+CaCl2)	wt % NaCl+CaCl2	Thv-1 C)°(
1	20	LV	P	-52	-16.3	-30	5.72	13.14	0.3	18.86	222
2	15	LV	P		-7.6	-32	2.81	8.88	0.24	11.69	182
3	15	LV	P		-7.7	-24.1	7.61	3.99	0.66	11.6	133
4	12	LV	P		-12.2	-24.5	9.91	6.08	0.62	15.98	297
5	20	LV	P		-18.3	-36	3.15	16.77	0.16	19.92	Td:336
6	16	LV	P		-7.7	-31	3.18	8.6	0.27	11.78	180
7	16	VL	P		-8.2	-26.5	5.76	6.46	0.47	12.22	>510
8	12	LV	P		-14.5	-24.3	11.37	6.47	0.64	17.84	370
9	12	LV	P		-8.4	-24	8.22	4.14	0.67	12.36	144
10	16	LV	PS		-18.1	-26.7	9.27	10.92	0.46	20.18	176
11	32	LV	P		-9.1	-25.8	6.8	6.33	0.52	13.13	171
12	22	LV	P		-10.3	-24.6	8.73	5.55	0.61	14.28	326
13	10	LVS?	P	....	....	....	....	....	....	....	221

آخرین نقطه ذوب: T_{mice} ، دمای انحلال هالیت: T_{hh} ، دمای همگن شدن نهایی به فاز مایع: $Thv-1$ و دمای منهدم شدن: Td و شوری سیال درگیر بر حسب درصد وزنی هالیت: $Wt\%NaCl$

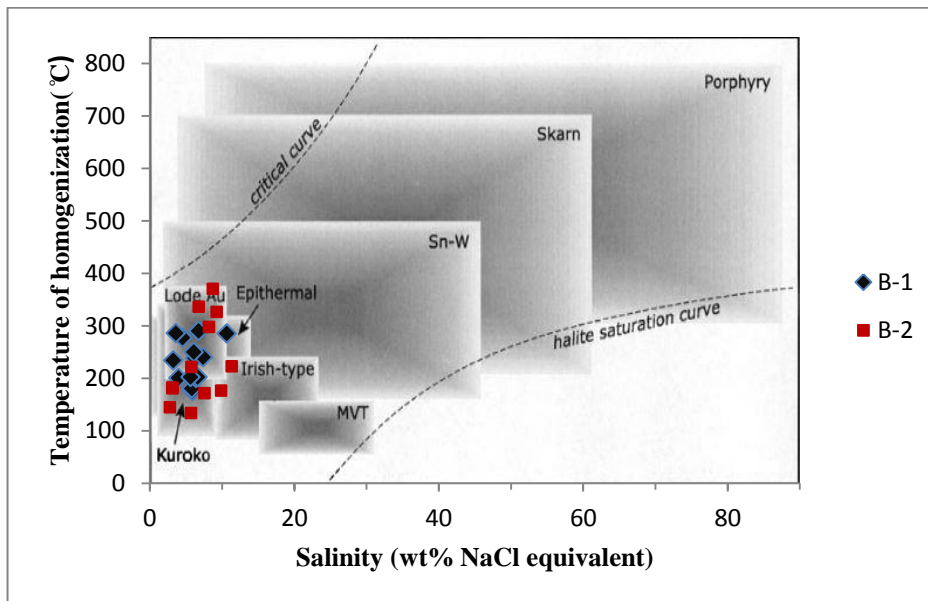


شکل ۷-۷- خصوصیات دماسنجی سیالات درگیر نوع II در کانسار بندقیچی، الف - نمودار فراوانی شوری سیالات درگیر نوع II، ب - نمودار فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر نوع II ج- نمودار فراوانی دمای ذوب شدن یخ سیالات درگیر نوع II

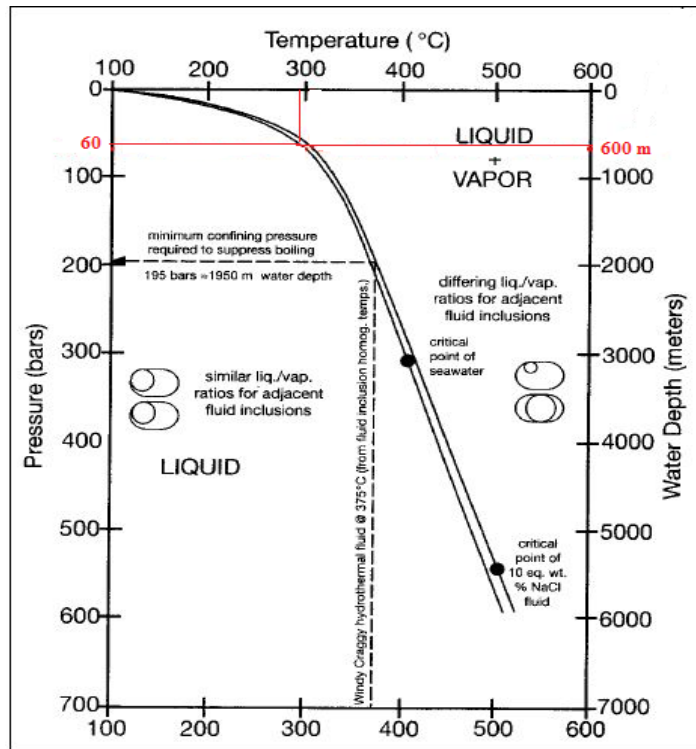
سیالات درگیر نوع II



شکل ۷-۸- نمودار درجه شوری در برابر همگن شدن سیالات درگیر دو فاز کانسار بندقیچی (ویلکینسون، ۲۰۰۱)



شکل ۷-۹ - نمودار درجه شوری در برابر دمای همگن شدن سیالات درگیر دو فاز کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی (ویلکینسون، ۲۰۰۱).



شکل ۷-۱۰- نمودار دما در برابر فشار و عمق و منحنی‌های نقطه جوشش در برابر عمق، برای سیال آبگین با شوری معادل ۱۰٪ وزنی کلرید سدیم (رودر، ۱۹۸۰) که با شوری سیالات کانه‌ساز بندقیچی مطابقت داده شده‌اند. در این شکل موقعیت بالاترین دمای همگن‌شدن سیال‌های درگیر در کانسار بندقیچی 290°C بر روی نمودار مذکور فشار حدود ۶۰ بار و عمق حدوداً ۶۰۰ متر را برای آب دریا تخمین زده می‌شود.

فصل ہشتم

انکومی سٹریکچر، ٹیپ کا نثرابی، نتیجہ گیری،

ویشہادات اکتشافی

۸-۱- مقدمه

کانه‌زایی منگنز - سلسیت در منطقه ترود، جنوب شاهرود در مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن در شمال پهنه ایران مرکزی رخ داده است. این رخداد کان‌زایی که به شکل گرمایی-بروندمی زیر دریایی رخ داده است نشانه فعال بودن منطقه از لحاظ فعالیت‌های آتشفشانی - رسوبی و بروندمی می‌باشد. کان‌زایی منگنز - سلسیت در توالی آتشفشانی - رسوبی ترود عمدتاً شامل کانی‌های پیرولوویت، پسیلوملان، کریپتوملان، هولاندیت، سلسیت، مگنتیت، تیتانومگنتیت، کوارتز و کلسیت و ... می‌باشد. در این محدوده معدنی تاکنون کار تحقیقاتی صورت نگرفته است. در واقع از جهت برخی ویژگی‌ها و اقتصادی بودن، هر دو کانسار منگنز و سلسیت در این محدوده، تاکنون مورد مشابهی از این کان‌زایی در ایران شناسایی نشده است.

در این فصل بر مبنای نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی (پتروگرافی و کانی‌شناسی) و نتایج حاصل از تجزیه سیالات درگیر و ژئوشیمیایی، ابتدا به شرح شواهد ژنتیکی و سپس به طور مختصر به رده‌بندی کانسارهای منگنز اشاره شده است. در ادامه به تعیین تیپ و نوع کان‌زایی کانسارمنگنز-سلسیت بندقیچی (ربیعی) بر اساس شواهد تشکیل کانسار مورد مطالعه و مقایسه این کانسار با تیپ‌های کان‌زایی مشابه در دنیا و ایران پرداخته شده است و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقاتی تکمیلی بعدی ارائه گردیده است.

۸-۲- شواهد ژنتیکی

۸-۲-۱- شکل هندسی و بافت ماده معدنی

شکل ماده معدنی در رخساره رگه-رگچه‌ای به صورت رگه‌ای، در رخساره برشی به صورت برشی -توده‌ای و در رخساره لایه‌ای به شکل عدسی، لایه‌ای و دانه پراکنده می‌باشد که بر ارتباط تشکیل کان‌های منگنز-سلسیت با رسوبگذاری و تمرکز دیاژنتیک دلالت دارد. حجم عمده‌ای از ماده معدنی در رخساره برشی-توده-

ای است که در اثر شستشوی عناصر از سنگ‌های آتشفشانی و میزبان، تحرک مجدد آن‌ها و ته‌نشست آن‌ها در فضاهای خالی بین برش‌ها و بالای آن‌ها به صورت توده‌ای می‌باشند.

۸-۲-۲- محیط تشکیل کانسار

دسته‌ای از کانسارها در محیط دریایی تشکیل می‌شوند و دسته‌ای در محیط خشکی شکل می‌گیرند. بر مبنای مقایسه توالی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی نواحی مجاور و همچنین بر اساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از رخساره‌های کانه‌دار (فصل ششم) می‌توان چنین استنباط کرد که این سنگ‌ها در محیط کم‌عمق دریایی تشکیل شده‌اند. یک دلیل کم‌عمق بودن محیط دریایی در ائوسن بالایی احتمالاً ناشی از تأثیر کوهزایی پیرنه است. همچنین رنگ قرمز این واحدهای میزبان و پایین بودن میزان Eu در نمونه‌های آنالیز نشان می‌دهند که محیط ته‌نشست این کانسار شدیداً اکسیدان بوده است که می‌توان دلیل دیگری برای معرفی کم عمق بودن محیط تشکیل کانسار در نظر گرفت.

۸-۲-۳- شواهد کانی‌شناسی

بنابر اعتقاد روی (۱۹۶۸)^۱ کانسارهای رسوبی منگنز چه از منبع آتشفشانی - برون‌دمی و چه از منبع غیر آتشفشانی باشند به وسیله ظرفیت بالای اکسیدهای منگنز همچون پیرولوویت، پسیلوملان و کریپتوملان مشخص می‌شوند. همانطور که در مبحث کانی‌شناسی ذکر گردید کانه‌های کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی عمدتاً شامل پیرولوویت، پسیلوملان، هولاندیت و سلسیت به همراه آنها تیتانو مگنتیت و مگنتیت می‌باشند.

¹ Roy

۸-۲-۴- شواهد فعالیت‌های آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری

تناوب لایه‌های مارنی و برشهای آتشفشانی و گدازه‌ها نشان دهنده یک محیط آتشفشانی - رسوبی است. رخدادهای بخش کانه‌زایی به صورت چینه‌سان و بصورت همروند با لایه‌بندی نیز نشانه رخداد کانه‌زایی بصورت همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی - رسوبی است.

۸-۲-۵- شواهد دگرسانی

میزان دگرسانی بر حسب مقدار فاصله با افق معدنی متفاوت می‌باشد (پیتر و همکاران، ۲۰۰۷)^۱. در کانسار بندقیچی وسیع‌ترین دگرسانی، دگرسانی کلریتی در اطراف پهنه استرینگر بوده است. به سمت داخل از وسعت این دگرسانی کاسته می‌شود. بعد از آن دگرسانی سرسیتی و آرژیلیتی در رخساره برشی - توده‌ای دیده می‌شوند که می‌توان گفت دگرسانی در کانه‌زایی نقش داشته است. این دگرسانی‌ها در محل خروج سیالات گرمایی پهنه استرینگر می‌باشد و با دور شدن از پهنه استرینگر به سمت رخساره کانسنگ لایه‌ای از شدت دگرسانی‌های ذکر شده کاسته می‌شود.

۸-۲-۶- شواهد حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی

تجزیه نمونه‌های مقاطع لیتوژئوشیمیایی سه افق کانه‌دار را در توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن در محدوده معدنی بندقیچی نشان می‌دهند. مطالعات همبستگی عناصر در افق‌های سه‌گانه، انطباق نسبتاً خوبی را بین عناصر پایه از قبیل Cu, Pb, Zn و تا حدودی Co, As نشان می‌دهد که این همبستگی مثبت عناصر مذکور با منگنز از دیدگاه نیکولسون (۱۹۹۲ الف)^۲ به‌عنوان مجموعه عناصر شاخص کانسارهای گرمایی - برونومی منگنز ارزیابی می‌شود. همچنین این همبستگی مثبت احتمالاً حاکی از همزاد بودن عناصر مذکور می‌باشد. از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی که نسبت به عناصر Ti, Nb, Rb تهی شدگی نشان

^۱ Peter

^۲ Nicholson

می‌دهند مشخص می‌شود که ماگما با درجه ذوب شدگی کم MORB تولید شده است و مبین آنست که سنگ‌های آتشفشانی مذکور در نزدیکی کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند (پیتر و همکاران، ۱۹۹۹)^۱. همچنین آنومالی منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و ممکن است نشان‌دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگما باشد (رولینسون، ۱۹۹۳)^۲. در سنگ‌های آتشفشانی بندقیچی که به کندریت نرمالیزه شده‌اند آنومالی منفی Eu مشاهده شده است که ناشی از متبلور شدن پلاژیوکلازها می‌باشد (پیتر و همکاران، ۱۹۹۹)^۳. آنومالی منفی Eu در کانسنگ نشان‌دهنده اکسیدان بودن محیط تشکیل کانسار می‌باشد میانگین نسبت بالای Mn/Fe در این کانسار نشان‌دهنده غنی‌شدگی از منگنز در طی فرایندهای گرمایی و تفریق نسبتاً بالای این دو عنصر می‌باشد. همچنین معرف خروج سیال در دمای کم و با سرعت نسبتاً کم و در محیط کم عمق دریایی بوده است.

۸-۲-۷- شواهد حاصل از مطالعه سیالات درگیر

با توجه به تفسیر داده‌های بدست آمده از آنالیز سیالات درگیر از کانسار مورد مطالعه دمای همگن شدن سیالات درگیر در این کانسار (۱۷۵ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد) مشابه با دمای سیالات گرمایی است که از دهانه‌های چشمه‌های آب‌گرم کف دریاها خارج می‌شود. در این مبحث با توجه به این‌که نمودار شوری و دمای همگن شدن نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس ویلکینسون (۲۰۰۱)^۴ منطبق بر محدوده تیپ کوروکو می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد کانی‌سازی سلسیت در محدوده بندقیچی در شرایط مشابه با تشکیل کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ کوروکو صورت گرفته است (شکل ۷-۹)

¹ Peter

² Rollinson

³ Peter

⁴ Wilkinson

۸-۳- رده بندی (نیکولسون^۱، ۱۹۹۲ ب)

نیکولسون کانسارهای منگنز را بر مبنای فرآیند تشکیل به دو گروه اصلی گرمابی و سوپرژن تقسیم‌بندی کرده است. محیط تشکیل هر یک از این دو گروه می‌تواند دریایی یا خشکی باشد (جدول ۸-۱).

جدول ۸-۱- رده‌بندی انواع کانسارهای منگنز بر حسب فرآیندها و محیط تشکیل (نیکولسون، ۱۹۹۲ ب)

فرآیند تشکیل		گرمابی		سوپرژن
محیط تشکیل	دریایی	خشکی	دریایی	دریایی
انواع کانسارها	بروندمی- رسوبی	چشمه‌های آب گرم رگه‌ای	پوسته‌ها پوششها	لجن‌ها و خاکها آب شیرین هوازدگی دابیهیت
			گرهکها رسوبات	

۸-۴- تیپ کانه‌زایی منگنز در کانسارهای آتشفشانی- رسوبی دنیا بر اساس (موسیر و

پیچ، ۱۹۸۸)

کانسارهای آتشفشانی- رسوبی منگنز دنیا بر اساس تقسیم‌بندی (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸) از لحاظ سنگ میزبان، شکل هندسی، محیط تکتونیکی و پاراژنز کانیایی و علائم زمین شیمیایی و سن به چهار نوع تقسیم می‌شوند.

۱- کانسار کوبا که درون سنگ‌های پیروکلاستیک و آهک توفی کامبرین تا پلیوسن به شکل لایه‌ای در جزایر کمانی واقع شده‌اند.

۲- کانسار فرانسیسکن که در آن کانسار درون ژاسپر، توف قرمز و شیل به صورت عدسی و لایه‌ای در محیط پشت کمانی به سن پالئوزوئیک تا ژوراسیک نهشته شده است.

¹ Nicholson

۳- کانسار قبرس به سن کرتاسه بالایی درون سنگ‌های چرت رادیولاریتی به شکل عدسی در پهنه‌های میان اقیانوسی جای گرفته است.

۴- کانسار المپیک پنینسولا شکل هندسی آن صفحه‌ای و عدسی درون بازالت‌های بالشی آهکی و اگلومرایی به سن ائوسن یا قدیمی‌تر در محیط تکتونیکی پشته‌های اقیانوسی و جزایر آتشفشانی قرار دارند. باتوجه به بررسی‌های فوق کانسار منگنز-سلسیت بندقیچی تا حدود زیادی از لحاظ سنگ میزبان، شکل هندسی و محیط تکتونیکی و سن، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و علائم ژئوشیمیایی بیشترین شباهت را با تیپ کوبا نشان می‌دهد (جدول ۸-۲).

۸-۵- مقایسه کانه‌زایی منگنز-سلسیت بندقیچی (ربیعی) با تیپ کوبا

۸-۵-۱- سنگ درونگیر

ماده معدنی در تیپ کوبا توف‌های بازی، آهک توفی و یا توف‌های که با سنگ آهک‌ها به‌طور بین لایه‌ای قرار می‌گیرند، سنگ‌های همراه این تیپ کانسارها شامل گدازه‌های بازالتی یا آندزیتی، آگلومرا، توف ماسه‌ای، سنگ آهک و توفیت می‌باشد در کانسار بندقیچی هم توالی سنگی از پایین به بالا شامل آندزیت-بازالت و مارن می‌باشد. سنگ درونگیر هم آندزیت‌ها و مارن‌ها هستند بنابراین تا حدودی شباهت دارند.

۸-۵-۲- پاراژنز کانیایی

کانه‌ها در نهشته‌های تیپ کوبا عمدتاً از پسیلوملان، پیرولوویت، براونیت، بمنتیت و منگانیت تشکیل شده‌اند. کانی‌های باطله در این نهشته‌ها شامل کوارتز و کلسیت است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، XRD و الکترون میکروپروب، کانه‌های کانسار بندقیچی عمدتاً پیرولوویت، پسیلوملان، هولاندیت، کریپتوملان و کانی‌های باطله عمدتاً کوارتز و کلسیت می‌باشند.

۸-۵-۳- شکل هندسی و ساخت و بافت

شکل هندسی در تیپ کوبا لایه‌ای و عدسی شکل می‌باشد و همساز با لایه بندی سنگ درونگیر و توالی چینه‌ای سنگ‌های همراه است. وجود بافت افشان یا دانه‌پراکنده در متن سنگ میزبان و بافت لامینه در کانسار بند قیچی و تیپ کوبا نشان از همزمانی تشکیل کانه و کانی‌های تشکیل دهنده سنگ درونگیر است.

۸-۵-۴- محیط زمین شناسی ته‌نشست

سنگ درونگیر در تیپ کوبا سنگ‌های آذرآواری، توف‌های آهکی و ذرات آتشفشانی و سنگ‌های آتشفشانی بازالت تا آندزیت می‌باشد که ماهیت کالک‌آلکالن دارند که نشان می‌دهد بیشترین شباهت را با کانسار بندقیچی دارد، چرا که سنگ میزبان در کانسار بندقیچی هم طبق بررسی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی از جنس کالک‌آلکالن می‌باشد.

۸-۵-۵- محیط تکتونیکی ته‌نشست

محیط تکتونیکی برای ته‌نشست کانسار تیپ کوبا به طور معمول جزایر کمانی و حاشیه فرارنده قاره‌ای می‌باشد. در کانسار بندقیچی نیز با توجه به این که در اواخر ائوسن حرکات تکتونیکی در منطقه وجود داشته، لذا ایجاد گسل‌های همزمان با آتشفشانی و رسوبگذاری کرده است، که عامل اصلی تشکیل این نهشته‌ها می‌باشد. کانسارهای کریستو-پونوپو-لوس چیوس کوبا (کازاناز^۱ و همکاران، ۱۹۹۸) و تاپکیرازلروارقلی در ترکیه (گدیک اوقلو^۲ و همکاران، ۱۹۸۵) از جمله کانسارهای تیپ کوبا هستند که در محیط کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند.

¹ Cazanaz

² Gedikoglu

۸-۵-۶- دگرسانی

در این تیپ کانسارها توفهای آندزیتی و بازالتی دگرسان شده و تبدیل به کانی کلریت شده و پلاژیوکلاژها تبدیل به کانی‌های رسی مونتموریلونیت و زئولیت شده و همچنین هماتیستی شدن نیز مشاهده شده است. این دگرسانی‌ها در کانسار بندقیچی نیز مشاهده شده است. لذا از لحاظ دگرسانی هم شباهت بسیاری بین تیپ کوبا و کانه‌زایی بندقیچی وجود دارد.

۸-۵-۷- علائم زمین‌شیمیایی

در نمونه‌های کانسنگ کانسارهای تیپ کوبا، بر اساس نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی مقدار عناصر Sr، Ba و Cu بالاست (استوالد^۱، ۱۹۸۸) که بالا بودن عناصر Sr و Ba در این تیپ کانسارها نتیجه دگرسانی فلدسپارهای قلیایی سنگ‌های آتشفشانی توسط سیال‌های گرمایی تشخیص داده شده است. همچنین در این کانسارها مقادیر عناصر Ni، Co، Zn و پایین بوده و میانگین نسبت Mn/Fe بالای ۸۵ است. در کانسار منگنز بندقیچی نیز مقادیر عناصر Sr، Ba و Cu بالا و میانگین نسبت Mn/Fe برابر ۵۴ است.

¹ Ostwald

جدول ۸-۲- تیپ کانه زایی کانسار منگنز-سلسیت بند قیچی (ربعی) در مقایسه با دیگر کانسارهای آتشفشانی-رسوبی دنیا (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸)

ویژگی های شاخص	کانسار منگنز - سلسیت	نوع فرانسيسکن	نوع کوبا	نوع المپیک پنینسولا	نوع قبرسی
محیط تکنونیکي	جزایر کماني	پشته های میان اقیانوسی . پشت کماني	پشت کماني و جزایر قوسی	کوههای میان اقیانوسی	پشته های میان اقیانوسی و پشت کماني
سنگهای میزبان و همراه	سنگهای آندزیتی ، پیروکلاستیک و مارنی	چرت، شیل و توف	توف ریولیتی تا آندزیتی و ژاسپر و چرت	بازالت های بالشی، آهک های آرژیلیتی قرمز و آگلومرا	چرت رادیولاریتی، بازالت بالشی، ژاسپر قرمز
کانیهای معدنی	پیرولوویت، پسیلوملان، کریپتوملان. هولاندیت و سلسیت	پسیلوملان، پیرولوویت و رودوکروزیت	پسیلوملان، پیرولوویت و براونیت	منیتیت، هوسمانیت و نتوتوسیت	هیدرواکسیدهای منگنز بی شکل و غیر قابل تشخیص
کانی های باطله	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلسیت و هماتیت و باریت	کوارتز، کلسیت و ژاسپر	کوارتز، هماتیت، کلسیت و باریت	پیریت و کوارتز
کانسارهای مرتبط با کانسار		کانسارهای حیوه گرمابی و کانسارهای کرومیت	کانسارهای توده ای سولفاید تیپ کوروکو	-	سولفیدهای توده ای تیپ قبرسی
سن کانه زایی	اوسن بالایی	پالئوزوئیک تا ژوراسیک	کامبرین تا پلیوسن	اوسن یا قدیمی تر	کرتاسه بالایی
شکل هندسی	رگه ای و لایه ای	عدسی و لایه ای	لایه ای	عدسی	عدسی
عناصر فلزی	Fe, Sr و Mn	Hg, Cu, Fe, Mn و Ba	Ba, Fe, Sr, Mn, Cu و	Hg, Cu, Fe, Mn و Ba	Co و Zn, Cu, Ni, Fe, Mn
دگرسانی	کلریتی و آرژیلیتی و سریسیتی	کربناتی	کلریتی و آرژیلیتی	سیلیسی	-

۸-۶- مدل ژنتیکی و شیوه تشکیل کانسار منگنز - سلسیت بندقیچی

یکی از مهمترین مدل‌ها جهت نهشت آهن و منگنز در محیط‌های آتشفشانی- رسوبی، مدلی است که در آن ورود سیالات گرمابی- برون‌دمی منگن‌دار به آب دریا و تغییر در شرایط فیزیکوشیمیایی مثل Eh و PH و دما و فشار باعث ته‌نشینی آهن و منگنز می‌شود.

این مدل توسط محققین زیادی مثل گوریلو^۱ (۱۹۷۲)، روی^۲ (۱۹۸۱)، خراسکو^۳ (۱۹۵۱)، بروسنیتسین و ژاکو^۴ (۲۰۰۵)، کررار و همکاران^۵ (۱۹۸۲) و وارنتسو^۶ و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده و تاکنون به‌عنوان مکانیسم نهشت منگنز در بسیاری از کانسارهای بزرگ منگنز دنیا مطرح شده است. در این مدل سیال برون‌دمی دارای حالت اسیدی (pH= 4-6) و دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است و با ورود به آبهای قلیایی (pH=7.5) و سرد دریایی عناصر محلول در خود را از دست می‌دهد. در این مدل ابتدا آهن و سپس منگنز ته‌نشین می‌شود و در کانسار بندقیچی به دلیل حضور استرانسیم خیلی زیاد چگونگی ته‌نشست این عنصر هم مورد توجه می‌باشد. استرانسیم با توجه به اینکه نسبت به منگنز و آهن حلالیت بالایی دارد لذا بعد ته‌نشست این دو عنصر رسوب می‌کند. این مدل، تشکیل نهشته‌های قابل توجه منگنز در مناطق دریایی کم عمق را، بیشتر به دلیل تغییر شرایط Eh و pH محیط می‌دانند. آهن و منگنز در Eh پایین‌تر از ۰/۲- و pH کمتر از ۶ از حلالیت بالایی برخوردارند و استرانسیم بیش از آن‌چه به Eh و PH محیط وابسته باشد به میزان دما و شوری سیال کانه‌ساز و فشار محیط ته‌نشست بستگی دارد. با بالا رفتن دما و افت فشار و کم شدن میزان شوری و همچنین اکسید شدن (Eh بالا) محیط و افزایش pH محلول گرمابی، بیوسولفات را به سولفات تبدیل می‌کند و باعث ته‌نشست کانی‌های سولفات می‌گردد به صورت سولفات استرانسیم شروع با ته-

¹ Gavrilov

² Roy

³ Kheraskov

⁴ Brusnitsyn and Zhukov

⁵ Crerar

⁶ Varentsov

نشست می‌کند (هوول و همکاران، ۱۹۹۲)^۱ با افزایش اندک مقدار Eh (Eh بالای صفر)، حلالیت آهن کاهش می‌یابد و اکسید آهن در قسمت‌های پایینی ته‌نشست پیدا می‌کند و منگنز و استرانسیم همچنان به صورت محلول در محیط باقی می‌مانند، لذا آهن، منگنز و استرانسیم می‌توانند به شکل گسترده‌ای از هم جدا شوند. تثبیت آهن به صورت فاز اکسیدی و غیر محلول باعث بالا رفتن نسبت منگنز در محلول می‌گردد. محلول باقی مانده با توجه به جدایی بخشی از آهن از آن، از نظر وجود منگنز و استرانسیم غنی گشته، که این امر می‌تواند رسوبات غنی از منگنز و استرانسیم و فقیر از آهن را ایجاد کند. و با بیشتر شدن درصد آبهای دریایی اکسیدی و بازی در سیال برون‌می منگنز محلول Mn^{+2} نیز ته‌نشین می‌شود. در محیط‌های طبیعی ثابت شده که در بین ترکیبات اکسیدی و هیدروکسیدی منگنز، Mn_3O_4 و γ -MnOOH (منگانیت) در تعادل با آب دریا در حالت فاز جامد قرار می‌گیرند (گریل^۲، ۱۹۸۲. کلینخامر و بندر^۳، ۱۹۸۰).

ضمن تداخل آب‌های احیایی غنی از منگنز و استرانسیم محلول و آب‌های اکسیدی، Mn^{+2} و از نظر ترمودینامیکی ناپایدار گشته و به آهستگی اکسید می‌شود (یو^۴، ۱۹۹۰) و همچنین استرانسیم Sr^{+2} با بالا رفتن Eh محیط و افزایش دما و افت فشار در اعماق کم و کاهش شوری محلول ناپایدار شده و به صورت (Sr^{+4}) سولفات استرانسیم شروع به ته‌نشست می‌کند.

در تحقیقات آزمایشگاهی، تشکیل اکسید و هیدروکسید منگنز (Mn_3O_4 و β -MnOOH) از اکسید شدن مستقیم Mn^{+2} ثابت شده است (استام و گیوونولی، ۱۹۷۶)^۵ همچنین تشکیل Mn_3O_4 (ماری، ۱۹۸۵)^۶، و Mn_3O_4 و γ -MnOOH (هم و لیند، ۱۹۸۳)^۷ گزارش شده است.

¹ Howell

² Grill

³ Klinkhammer and bender

⁴ Yu

⁵ Stumm and Giovanoli

⁶ Murray

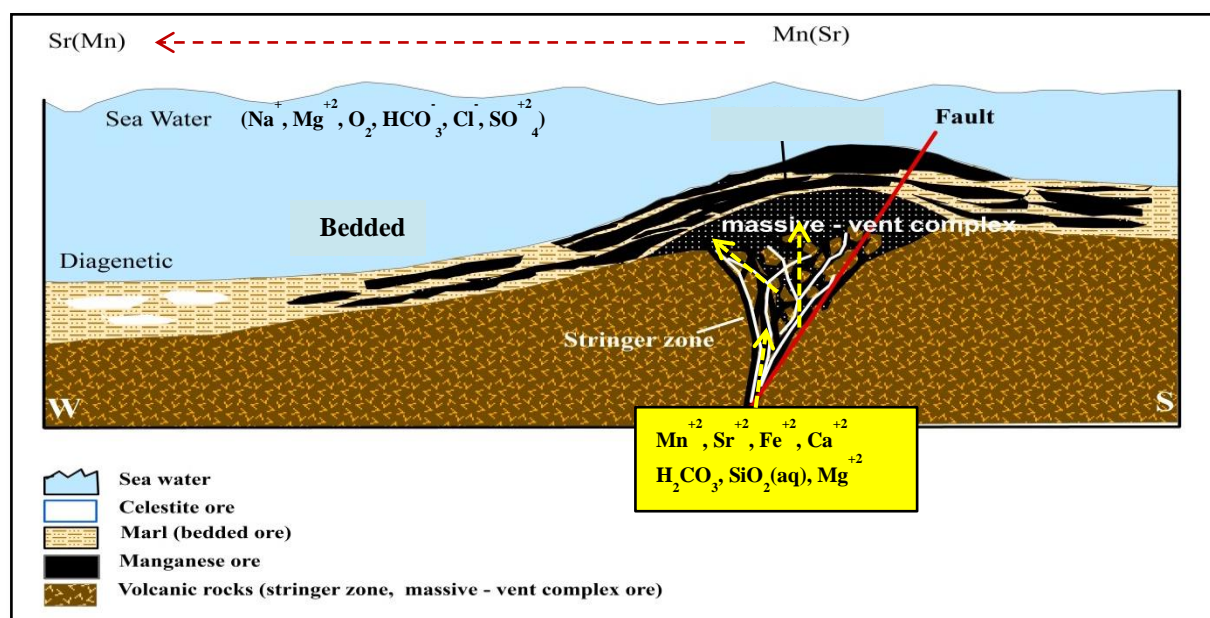
⁷ Hem and Lind

در میان ترکیباتی که در بالا به آنها اشاره شد γ -MnOOH (منگانیت) پایدارترین ترکیب است که از دیگر ترکیبات (β -MnOOH و Mn_3O_4) مشتق می‌شود. البته این داده‌ها مربوط به بخش‌های کم عمق و نیمه عمیق اقیانوس‌ها است، چرا که در مناطق عمیق اکسیدهای دیگر منگنز همچون بیرنزیت، تودوروکیت و δ MnO₂ یا ورنادیت (vernadite) پایدارتر می‌شوند و نودول‌های کف اقیانوس‌ها را تشکیل می‌دهند (پست^۱، ۱۹۹۸).

شواهد صحرایی نشان می‌دهد که در بندقیچی گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری داشته است. با توجه به این‌که رگه‌های غنی از منگنز و غنی از سلسیت در این محدوده شیبی نزدیک به قائم دارند، این شکافها و گسل‌ها عاملی برای انتقال عناصری از قبیل منگنز، استرانسیم، آهن و عناصر دیگر توسط سیالات گرمابی و ورود آنها به کف دریا می‌باشند. سیالات گرمابی داغ بر روی سلسیت نشان می‌دهد که درجه همگن‌شدگی و شوری در پهنه استرینگر و در بخش چینه‌سان غنی از سلسیت، بترتیب برابر $290^{\circ}C$ و معادل ۵/۹٪ NaCl و برابر $350^{\circ}C$ و معادل ۶/۵٪ NaCl می‌باشد. این سیالات اسیدی و احیایی، عناصر کانه‌ساز را از سنگ‌های آندزیتی کمر پایین شسته و از طریق فضاها و شکستگی‌های ایجاد شده در محل و امتداد گسل‌های همزمان با ولکانیسم وارد حوضه دریایی کرده‌اند. با کاهش دما و افزایش pH، عنصر آهن به صورت کانی اکسیدی (به دلیل پایداری کمتر آهن نسبت به عنصر منگنز) ابتدا از سیال کانه‌ساز ته‌نشین شده و با کاهش غلظت عنصر آهن کانی‌های اکسیدی منگنز ته‌نشین می‌شوند. در این کانسار سلسیت (سولفات استرانسیم) هم درون رگه‌های پهنه استرینگر هم در پهنه چینه‌سان که دور از منشأ کانه‌زایی است، تشکیل شده است که اولی ممکن است به دلیل بالا بودن دما و دومی به علت کاهش فشار و کاهش میزان شوری بخاطر ته‌نشست دیگر کانی‌ها از جمله کربنات کلسیم و بالا رفتن تدریجی دما و اکسیداسیون محیط ته‌نشست بوده باشد (شکل ۸-۱). و فور بافت‌های گل‌کلمی حاکی از آن است که حرارت این سیالات نسبتاً پایین بوده

¹ Post

است. در بدو این امر سیالات دارای pH اسیدی بوده و Eh احيایی داشته‌اند. لیکن در اثر تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی و افزایش فشار اکسیژن توانسته‌اند اکسیدهای منگنز و سولفات استرانسیم بر جای گذارند. بدون تردید فرایند سوپرژن را می‌توان جزء دسته عواملی در نظر گرفت که معمولاً بر روی تمامی کانسارها تأثیر می‌نماید و در برخی تأثیر این فرایندها سبب تشکیل کانسار می‌شود. در محدوده معدنی بندقیچی اثر این عامل ممکن است در بالا بردن عیار و یا تشکیل کانسار تأثیر داشته باشد. مهمترین فرایندهای قابل توجه در محیط‌های سوپرژن، هوازدگی، تحرک و تحرک مجدد دانست (فی^۱، ۱۹۸۷؛ هوبس^۲، ۱۹۸۷؛ ولف^۳، ۱۹۸۷) تأثیر این فرایند را در محدوده معدنی تبدیل کانی‌های اکسیدی ظرفیت پایین منگنز به کانی‌های اکسیدی ظرفیت بالاتر می‌توان در نظر گرفت (روی^۴، ۱۹۸۱).



شکل ۸-۱- نمای شماتیک از چگونگی تشکیل کانسار بندقیچی

¹ Fyfe

² Hobs

³ Wolf

⁴ Roy

۸-۷- کانسنگ‌های آتشفشانی - رسوبی

۸-۷-۱- منشأ عناصر کانه ساز

سه منشأ احتمالی را می‌توان برای منبع اولیه منگنز در منطقه مورد مطالعه مطرح کرد که در ذیل به آنها اشاره می‌شود:

۱- حاصل تخریب و فرسایش سازندها و کانسارهای قدیمی‌تر

۲- توده‌های نفوذی و سیالات داغ همراه آن

۳- فعالیت‌های آتشفشانی - گرمابی نزدیک محل رسوب گذاری

۱- منشأ فرسایشی با توجه به اینکه هیچ سازند و کانسار قدیمی‌تری که حاوی مقادیر بالایی از منگنز باشد در منطقه وجود ندارد، چندان پذیرفتنی نیست. از این‌رو نمی‌توانند تأمین کننده منگنز برای کانسنگ باشند. نمودارهای ژئوشیمیایی نیز احتمال تشکیل این کانسار از کانسارهای قدیمی‌تر را رد می‌کنند (نمودار Pb-Zn در شکل ۶-۱۶). از طرف دیگر مقادیر Al و Ti که معمولاً از منشأ تخریبی تأمین می‌شوند (کررار^۱ و همکاران، ۱۹۸۲ . سوجیساکی^۲، ۱۹۸۴) در این کانسار بسیار اندک است.

۲- در مورد تأمین عناصر کانسار از منشأ توده‌های نفوذی توجه به نکات زیر ضروری است:

- در منطقه مورد مطالعه هیچ توده نفوذی که جوان‌تر یا همسن با نهشته‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن باشد وجود ندارد.

- در کانسارهایی که عامل کانه‌زایی توده‌های نفوذی و سیالات گرمابی ناشی از آنها در نظر گرفته شده است، کانه‌زایی دارای روند و جایگاه خاصی نیست و عمدتاً از روند گسل‌ها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کنند و عوامل ساختاری کنترل کننده کانه‌زایی هستند ولی در منطقه مورد مطالعه چنین نیست.

¹ Crerar

² Sugisaki

۳- سومین فرضیه در زمینه تأمین آهن، منگنز و استرانسیم، فرضیه فعالیت آتشفشانی زیردریایی همزمان با رسوبگذاری است. در مورد منبع آهن و منگنز موجود در توالی‌های رسوبی دو نظریه کاملاً متفاوت وجود دارد: الف) منبع آتشفشانزاد و ب) منبع غیر آتشفشانزاد، افرادی که معتقد به منبع آتشفشانزاد هستند، چنین پیشنهاد می‌کنند که منگنز ممکن است بوسیله فعالیت‌های آتشفشانی که سیالات همراه با آن‌ها غنی از منگنز هستند، تأمین شود (روی^۱، ۱۹۶۸). روی (۱۹۹۲) معتقد است که کانسارهای نوع رسوبی- برونومی که بوسیله فوران‌های زیر دریایی همزمان با رسوب‌گذاری تشکیل شده‌اند، به‌وسیله همراهی آهن و منگنز مشخص می‌شوند. البته این دو عنصر می‌توانند تحت تأثیر شرایط فیزیکیوشیمیایی محیط از هم جدا شوند و هر کدام تشکیل کانسارهای مخصوص به خود را بدهند.

در مورد منبع غیر آتشفشانزاد هم باید گفت منگنز در این مورد از فرسایش سنگ‌های منگنزار قدیمی‌تر حاصل می‌شود که این منشأ همان‌طور که در قسمت ۱ گفته شد چندان پذیرفتنی نیست. زمانی می‌توان منشأ آتشفشانزاد را برای منگنز و عناصر همراه در نظر گرفت که اولاً سنگ‌های آتشفشانی به‌ویژه انواع غنی از منگنز در توالی رسوبی وجود داشته باشد و ثانیاً شواهد صحرایی و مطالعات ژئوشیمی نیز از نظر محتوی عناصر فرعی، این مسئله را تأیید کنند روی (۱۹۶۴). وجود گدازه‌ها در توالی چینه‌شناسی منطقه و رابطه نزدیک آن‌ها با توده‌ها و عدسی‌های کانه‌دار حاکی از فعالیت آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری است. از آنجائیکه ماده معدنی در واحدهای آتشفشانی به صورت لایه‌ای و عدسی و همروند با سنگ‌های میزبان (سنگ‌های آتشفشانی و مارن‌ها) دیده می‌شود و ضمناً مطالعات ژئوشیمیایی نیز تأمین عناصر کانسار ساز را از یک منشأ درونزاد تأیید می‌نماید. بنابراین به‌نظر می‌آید که آهن و منگنز در منطقه مورد مطالعه از منشأ آتشفشانی زیر دریایی همزمان با رسوب‌گذاری تأمین شده باشد.

¹ Roy

۸-۷-۲- منشأ سیال کانه ساز

بر اساس نظر (خراسکوف^۱، ۱۹۵۱)، (کررار^۲، ۱۹۸۲)، (روی^۳، ۱۹۸۱)، (وارنتسوف^۴ و همکاران، ۱۹۹۳) و (استاریکوا^۵، ۲۰۰۱) آبهای اقیانوسی فرورونده در شکافهای عمیق موجود در مراکز فعال گسترش بستر دریا که با فعالیت‌های آتشفشانی همراه هستند، می‌توانند بر اثر چرخش در داخل گدازه‌های دارای شار حرارتی بالا، گرم شده و فلزات را در خود تمرکز دهند. این آبها پس از چرخش در داخل گدازه‌ها، سرانجام به بستر دریا راه پیدا می‌کنند و منگنز خود را رسوب می‌دهند. بنابراین به احتمال زیاد در منطقه مورد مطالعه، بطور عمده منشأ سیال کانه‌ساز آب دریا بوده است.

۸-۸- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی جنوب شرق شاهرود و جایگاه نهشته‌های

منگنز - سلسیت بندقیچی

با توجه به این که پهنه ایران مرکزی به صورت کمانی می‌باشد. با شروع فعالیت‌های کافت زایی در اوایل ائوسن در اثر نیروی کششی، گسترش سیستم‌های گرابنی و عملکرد گسل‌های نرمال در منطقه، باعث فرونشست منطقه و تشکیل حوضه رسوبی کم عمق شده است (شکل ۸-۲ و ۸-۳). عملکرد گسل‌های نرمال در منطقه، باعث فرونشست منطقه و تشکیل حوضه رسوبی کم عمق شده است. که با شروع این فعالیت کافت زایی، نفوذ و خروج گسترده ماگماهای حدواسط و کالک آلکالن در قالب گدازه، دایک و قطعات آذرآواری و سیالات گرمایی به داخل حوضه کم عمق در حال تشکیل صورت گرفته است. با توجه به کم عمق بودن حوضه و اکسیدی شدن محیط در این مرحله باعث شده است یک نوع طبقه بندی لایه‌ای در اکسیدی و احیایی بودن آب بوجود می‌آید که عناصر با تحرک مختلف و تابع شرایط اکسیدی-احیایی، اسیدی و بازی،

¹ Kheraskov

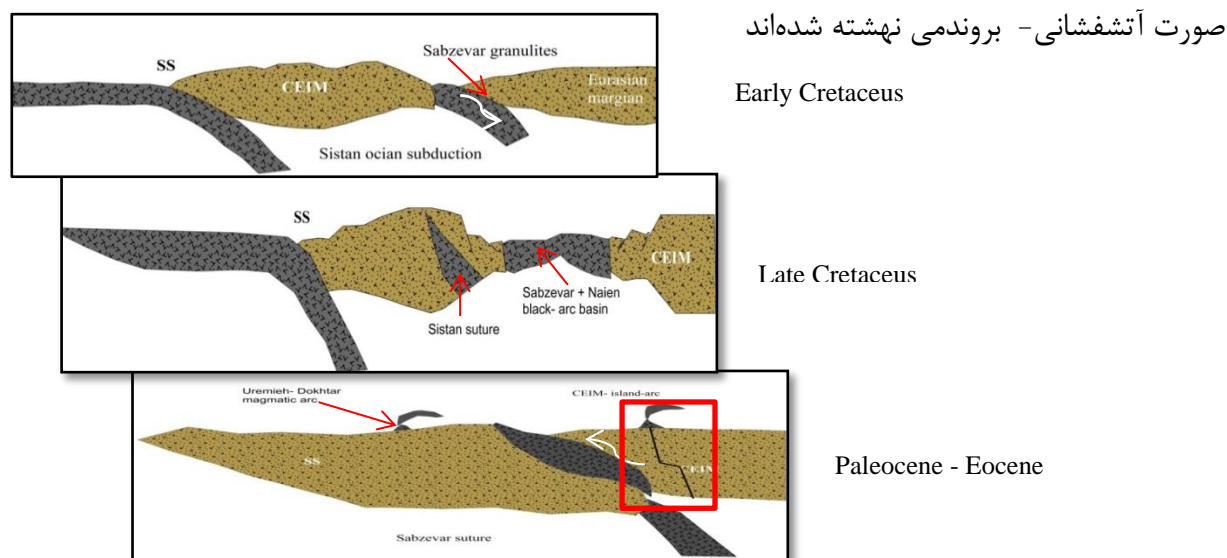
² Crerar

³ Roy

⁴ Varentsov

⁵ Starikova

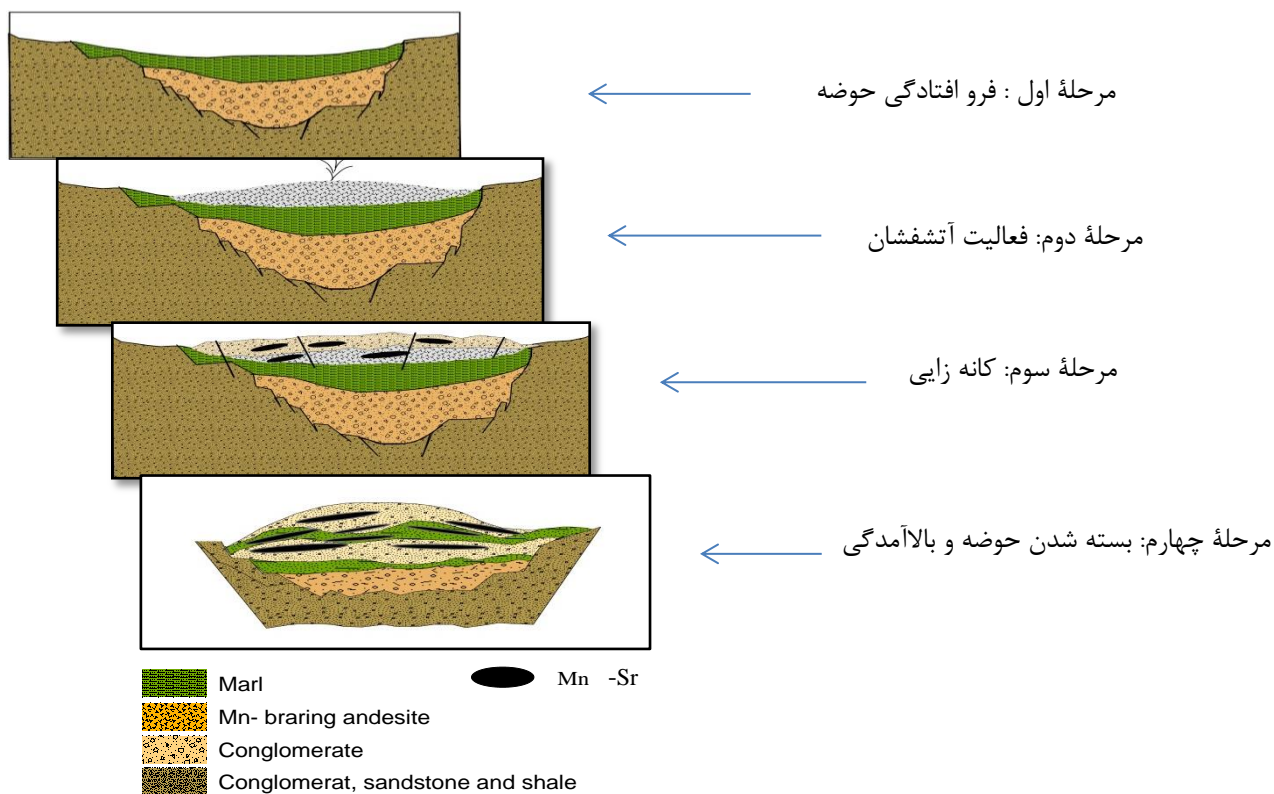
فشار و دمای مختلف در رخساره‌های مختلف ته‌نشست پیدا کنند. بنابراین عناصر Mn، Cu، Sr، Fe، Si و سایر عناصر از طریق سیالات گرمایی با شستشوی سنگ‌های کمر پایین از طریق گسل‌های همزمان با فرونشست وارد حوضه می‌شوند. عناصر منگنز و آهن و استرانسیم به علت فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط به صورت رگه‌ای، توده‌ای لایه‌ای و بصورت همزمان با سنگ‌های میزبان در کف حوضه ته‌نشین می‌شوند با توجه به شواهدی که به آنها اشاره شد و بر طبق تقسیم بندی روی^۱ (۱۹۸۱) و شرکت تکنواسپورت کانسار منگنز- سلسیتیت بندقیچی را می‌توان یک کانسار آتشفشانی- رسوبی دانست، به این ترتیب که، در این کانسار همزمان با افتادگی حوضه رسوبی در اثر کشش‌های ناشی از فعالیت آتشفشانی درکمان آتشفشانی و ورود سیالات گرمایی- برون‌دمی غنی از منگنز و استرانسیم به داخل حوضه آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی در جنوب شاهرود، کانی‌های اکسیدی منگنز به صورت همروند و همزمان با رسوب‌گذاری، با منشأ گرمایی به -



شکل ۸-۲- مدل پالئوتکتونیک سیر تکاملی پهنه ایران مرکزی برگرفته از (روزیتی و همکاران^۲، ۲۰۱۰)

¹ Roy

² Rossetti



شکل ۸-۳- بازسازی حوضه آتشفشانی-رسوبی جنوب ترود در زمان ائوسن در شمال ایران مرکزی (بر اساس کادر قرمز شکل، ۸-۲)

۸-۹- فلززایی منگنز در ایران از نظر زمانی و مکانی

۱. در اواخر نئوپروتروزوئیک - کامبرین زیرین در محیط‌های ریفتی، کانسارهای منگنز نوع آتشفشانی-رسوبی تشکیل شده‌اند (اندیس دارستان، شمال شرق بافق، ناریگان در شمال شرق بافق و ...). کانسارهای پتیار و ترکمانی همراه سنگ‌های دگرگونی کربناته (مرمرها) و متاپلیت‌های اردوئین؟ در شمال شرق و شرق انارک رخنمون دارند.
۲. در کرتاسه تحتانی کانی‌سازی منگنز همراه آهن در داخل سنگ‌های آهکی اوربیتولین‌دار به صورت ذخایر منگنز آهن‌دار و یا برعکس، در مناطقی از کشور از جمله شمس‌آباد اراک (فرهادی، ۱۳۷۴)، چاه‌باشه، کافردوغ، نوق و باغ قره و تربت حیدریه (احمدی، ۱۳۸۵) را می‌توان نام برد.

۳. کانسارهای منگنز همراه با افیولیت‌های کرتاسه پایانی - پلئوسن در سازندهای آتشفشانی-رسوبی کمر بند افیولیتی ایران نظیر کامیاران کردستان، اندیس پشاباد کانسار صفو در خوی (امام علی‌پور، ۱۳۸۴)، آب بند در نیریز (برنا، ۱۳۷۰)، گونیچ در خاش، زیر وقت، بندقراء، سبند و بردسکن در کاشمر و کانسارهای منگنز در ناحیه سبزوار شامل فریزی، گفت، بنسپورت (مسعودی، ۱۳۸۸)، نوده (نصرالهی، ۱۳۹۳)، ذاکری (تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲) می‌باشند.

۴. کانسارهای منگنز از نوع آتشفشانی-رسوبی و گرمابی در مجموعه آذراواری و آتشفشانی پالئوژن نظیر کانسارهای وناچ (فردوست، ۱۳۷۰)، رباط کریم (کریمی، ۱۳۷۴)، بزین (سجادی، ۱۳۶۴)، گراب (دولت‌خواه، ۱۳۸۱) و بند قیچی یا ربیعی (باقرزاده و همکاران، ۱۳۹۲) می‌باشند.

۵. کانسارهای منگنز وابسته به فعالیت‌های آتشفشانی جوان نظیر قزلجه در مراغه و دیگر کانسارهای موجود در آذربایجان شرقی کانسارهای آتشفشانی- رسوبی از غنی‌ترین و عمده‌ترین کانسارهای منگنز به شمار می‌روند و اغلب در پهنه‌های گذر از فعالیت آتشفشانی زیردریایی به رسوبی شکل گرفته‌اند.

۶. همان‌طور که در بالا شرح داده شد و در شکل (۸-۲) و جدول (۸-۳) نشان داده شده است کانسار مورد مطالعه (بندقیچی یا ربیعی) در گروه کانسارهای آتشفشانی- رسوبی با منشأ گرمابی - برونمی طبقه‌بندی می‌شود و با کانسارهایی از قبیل وناچ، بزین و گراب بیشترین شباهت را دارد.

۸-۱۰- رده‌بندی ذخایر کانیهای استرانسیم

طبق نظریات هاربن و بتس^۱ (۱۹۹۰)، هاربن و کوزوارت^۲ (۱۹۹۶) و وارن^۳ (۱۹۹۹) ذخایر کانیهای استرانسیم می‌توانند به ۴ گروه تقسیم شوند.

^۱ Harben and Bates

^۲ Harben and Kuzvart

^۳ Warren

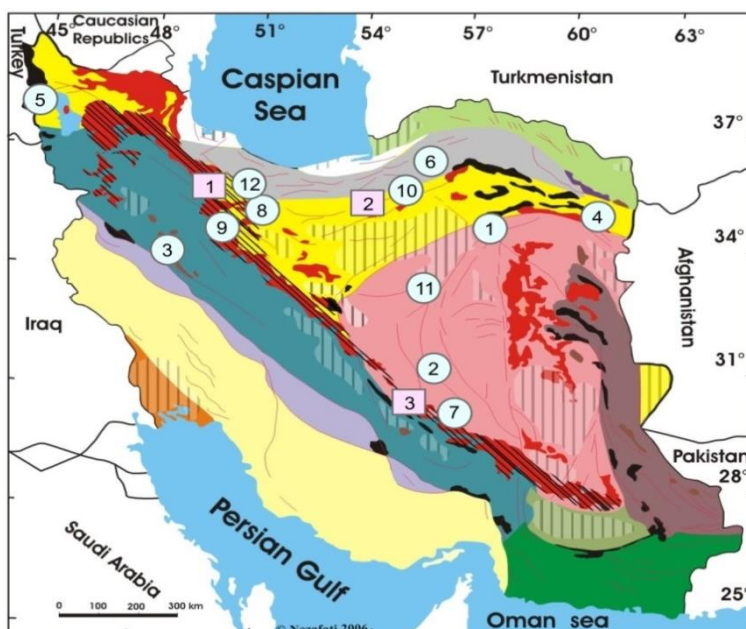
۱. رسوبی

این ذخایر رایج‌ترین ذخایر کانیه‌های استرانسیم می‌باشند و همراه با زیپس، انیدریت با سیالات غنی از استرانسیم تشکیل می‌شوند (وارن، ۱۹۹۹).

۲. آتشفشانی - رسوبی : این ذخایر در دریا‌های کم عمق و دریاچه‌ها همراه با سنگ‌های آتشفشانی مثل آندزیت، بازالت و ریولیت دیده می‌شوند. این ذخایر ممکن است بالای ۵ متر ضخامت و ۲۰ تا ۵۵ درصد کانیه‌های استرانسیم را دارند.

۳. تراوش جانبی: در این طبقه‌بندی کانیه‌های استرانسیم به شکل ژئود درون آهک‌ها مثل رگه‌های سلسیت در رسها و سنگ‌های کربناتی رخمون دارند و یا به شکل توده‌های جانشینی درون سنگ‌های کربناتی و سولفاتی دیده می‌شوند. استرانسیم از سنگ‌های همجوار شسته می‌شود.

۴. هیدروترمال: در ذخایر هیدروترمالی سلسیت همراه با فلوریت، باریت، کلسیت و سولفیدهای سرب و روی می‌باشند.



شکل ۸-۴- موقعیت تعدادی از کانسارهای آتشفشانی-رسوبی منگنز (دایره) و کانسارهای سلسیت (مربع)

جدول ۸-۳- اسامی تعدادی از کانسارهای آتشفشانی- رسوبی منگنز ایران با توجه به شکل (۸-۳)

نام کانسار	پهنه ی ساختاری	سنگ میزبان	سن	تیپ کانه زایی	مرجع
ناریگان ۱	ایران مرکزی	توف ریولیتی سبز رنگ	پركامبرين	آتشفشانی رسوبی (distal)	بنیادی، ۱۳۷۹
هنشک ۲	سنندج سیرجان	ریولیت، توف و دولومیت	تریاس ژوراسیک	آتشفشانی رسوبی	برنا، ۱۳۷۰
شمس آباد اراک ۳	سنندج سیرجان	سنگ آهک دولومیتی	کرتاسه ی تحتانی	آتشفشانی رسوبی (distal)	فرهادی، ۱۳۷۴
تربت حیدریه ۴	ایران مرکزی	دولومیت سنگ آهک	کرتاسه ی تحتانی	آتشفشانی رسوبی (distal)	احمدی، ۱۳۸۵
صفو ۵	پهنه افیولیتی خوی	رسوبات پلاژیک و چرت رادپولاریتی	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	امامعلی پور، ۱۳۸۴
بنسپورت ۶	پهنه سبزوار	توف	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	مسعودی، ۱۳۸۸
آب بند ۷	ایران مرکزی	لایه های چرتی رادپولاردار	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	برنا، ۱۳۷۰
ونارچ ۸	ارومیه دختر	توف و آهک	ائوسن	آتشفشانی رسوبی	فردوست، ۱۳۷۰
رباط کریم ۹	ارومیه دختر	واحد های آذرآواری، تراکیتی . ایگنمبریتی	ائوسن بالایی	آتشفشانی رسوبی	امیری، ۱۳۷۴
بند قیچی ۱۰	ایران مرکزی	سنگهای آتشفشانی ، برش و مارن	ائوسن	آتشفشانی رسوبی	این تحقیق، ۱۳۹۳
بزین ۱۱	ارومیه دختر	توف، آندزیت، بازالت	ائوسن الیگوسن	گرماپی	سجادی الهاشم، ۱۳۸۱
گراب ۱۲	البرز مرکزی	توف و آهک توفی	الیگومیوسن	آتشفشانی رسوبی (تیپ کوبا)	دولت خواه ، ۱۳۸۴

طبق توضیحات بالا و جدول ۴-۸ بخش غنی از سلسلتیت موجود در کانسار بندقیچی در گروه ذخایر آتشفشانی-رسوبی قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که کانسارهای سلسلتیت ایران شامل دو نوع

اصلی می‌باشند (جدول ۵-۸ و شکل ۴-۸)

(۱) رسوبی- تبخیری

(۲) آتشفشانی- رسوبی

جدول ۴-۸- رده‌بندی انواع مهم ذخایر سلسلتیت (هاربن، ۱۹۹۹)

Deposit type	Examples
Sedimentary	Coahuila State, Mexico; Nakhjir in the Dasht-e-kabir Desert, Iran; Avon County, England; Argus Station, Avawatz Mountains, Barstow, all in San Bernadino County, California, USA
Volcano-sedimentary	Ludlow, Vermont; Aguila Gila Bend, Arizona all in USA
Infiltration or Lateral Secretion	Turkmenistan; Tadzhiakistan; Sicily, Italy; Munster, Germany
Hydrothermal	Sierra Mojada, Mexico; Salem, Ketucky, Fidalgo Island, Washington(State), USA

جدول ۸-۵- کانسارهای سلسیت ایران

نام کانسار	پهنه ساختاری	سن	سنگ میزبان	تیپ کانه‌زایی	مرجع
نخجیر ورامین ۱	ایران مرکزی	الیگو- میوسن	آهک، مارن و ژپس	رسوبی- تبخیری	کریمی و همکاران، ۱۳۸۰
افتر سمنان ۲	ایران مرکزی	ائوسن بالایی	ژپس و آهک ماسه‌دار	آتشفشانی- رسوبی	بازرگانی و همکاران، ۱۳۸۴
لیکک بهبهان ۳	زاگرس	میوسن	آهک، ژپس و مارن	رسوبی- تبخیری	مر و همکاران، ۱۳۷۶
سلسیت بندقیچی ۱۰	ایران مرکزی	ائوسن	سنگ‌های آتشفشانی، مارن و ژپس و همراه منگنز	آتشفشانی- رسوبی	این تحقیق، ۱۳۹۳

۸-۱۱- نتیجه گیری :

با توجه به ویژگیهای کانه‌سازی شامل شکل هندسی و رخساره‌های کانه‌دار (بخش‌های رگه _ رگچه‌ای، برشی-توده‌ای و چینه‌سان) و دگرسانی، ساخت و بافت و کانی شناسی ماده معدنی و مقایسه آن با کانسارهای مشابه دنیا اینگونه استنباط می‌شود که کانسار منگنز - سلسیت بند قیچی با فعالیت‌های آتشفشانی و گرمابی زیر دریایی ائوسن شمال ایران مرکزی مرتبط بوده و به‌صورت آتشفشانی _ رسوبی تشکیل شده است. بالا بودن نسبت‌های U/Th، La/Ce، Mn/Fe و Si/Al، پایین بودن نسبت Co/Zn، مقادیر فلزات کمیاب و بویژه فلزات Co، Cu و Ni، پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی (REE) بویژه Sm، Ce و Eu و بالا بودن

مقادیر Fe ، Mn ، SiO_2 ، به عنوان شواهدی از غنی شدگی و تخلیه Mn از سیالات گرمابی-بروندمی است. همچنین آنومالی منفی Eu نشان می دهد که محیط ته نشست ماده معدنی اکسیدان بوده است. با توجه به محاسبه نسبت Zr/Y و Th/Yb در سنگهای آتشفشانی میزبان و مشخص شدن میزان بالای این نسبتها نشان می دهد که ترکیب شیمیایی سنگهای مذکور کالک الکانل می باشد. همچنین بر اساس مقایسه کانسار مذکور با موارد مشابه در دنیا کانسارهای حوضه (اولاس سواز)^۱ ترکیه (تکین^۲، ۲۰۰۱) و کانسارهای غنی از منگنز اورال نظیر فیزولی^۳ (بروسنیتسین و ژاکوف، ۲۰۰۵) کانسار بیکولوسکو^۴ (بروسنیتسین و همکاران، ۲۰۰۸) و کانسار گراب طالقان (دولتخواه و همکاران، ۱۳۸۴) و ونارچ قم (فردوست، ۱۳۷۰؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹) و میزان بالای Sr در کانسار بندقیچی (ربیعی) که موجب رخداد گسترده سلسیت در این کانسار شده است، شباهت این کانسار را با تیپ کوبا نشان می دهند. کانسارهای تیپ کوبا می توانند با کانسارهای سولفید توده ای تیپ کوروکو^۵ (حاوی کانی های سولفاتی زیاد) همراه باشند (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸). بنا به بحث های فوق در واقع در محل چشمه های گرم کف دریا، سیالات کنوکسیونی منگنز و استرانسیم را از سنگهای آتشفشانی آندزیتی شسته و از طریق گسلها انتقال داده و همزمان با رسوبگذاری وارد کف دریا نموده اند، بدین ترتیب در سنگهای آندزیتی کمر پایین بخش رگه _ رگچه ای را ایجاد نموده است و در سنگهای کمر بالا همزمان با ورود سیالات به دریا در کف آن بخش برشی-توده ای و لایه ای را پدید آورده اند. قابل ذکر است که تاکنون مورد مشابه کانسار بندقیچی (منگنز غنی از سلسیت) و حاوی پهنه آشکار استرینگر در ایران گزارش نشده است.

¹ Ulas-Sivas

² Tekin

³ Faizuly

⁴ Bikuloskoe

⁵ Kuroko-type

۸-۱۲- پیشنهادات برای مطالعات و اکتشافات آینده

در این تحقیق با این که محدودیت زمانی، امکانات آزمایشگاهی و مالی وجود داشت، اما تا حدود زیادی در مورد این کانسار مطالعه و تحقیق از قبیل انجام آزمایشات ایزوتوپی، سیالات درگیر و عناصر نادر خاکی صورت گرفته است. اما هنوز جای کار بسیاری دارد. در این تحقیق علاوه بر این که باید چگونگی تشکیل کانسار و شرایط و محیط ته‌نشست و منشأ سیالات و عناصر مشخص شود، باید روشهای پی‌جویی و اکتشاف برای کانسارهایی از این نوع، هم در مقیاس منطقه‌ای و هم ناحیه‌ای ارائه شود، که از آغاز، هدف این تحقیق بوده است.

- تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی بزرگ مقیاس (ترجیحاً ۱/۱۰۰۰) از محدوده معدنی
- برای شناسایی کانسنگ‌های منگنز در عمق، اکتشافات ژئوفیزیکی بطریقه برداشت‌های مگنتومتري و ثقل سنجی پیشنهاد می‌گردد.
- تلفیق داده‌های زمین‌شناسی - معدنی با یافته‌های ژئوفیزیکی و انتخاب مکان‌های مناسب برای حفر گمانه‌های اکتشافی جدید و مغزه‌گیری و لاگینگ مغزه‌ها ترسیم برشهای افقی و قائم زمین‌شناسی صورت گیرد.
- نمونه‌گیری از کانسنگ منگنز و استرانسیم برای مطالعه‌های ایزوتوپی‌های پایدار O، H جهت تعیین منشأ دقیق سیال کانه‌ساز و محیط ته‌نشست کانسار ارائه شود. مخصوصاً این که این کانسار تا جایی که پی‌گیری شده است نمونه مشابهی در ایران ندارد.
- جهت پی‌جویی کانسارهای منگنز از نوع آتشفشانی- رسوبی در سازندهایی که حتماً قبل یا همزمان با رسوبگذاری فرایند آتشفشانی در مرز سنگهای آتشفشانی کمر پایین و سنگ میربان بویژه سازندهای ائوسن اتفاق افتاده است، انجام گیرد.

- وجود دگرسانی کلریتی و سربیسیتی - آرژیلیکی می تواند از طریق ایجاد ساختمان های فرسایشی جالب توجه به عنوان راهنمای خوبی برای اکتشاف کانسارهای منگنز در منطقه باشد.

منابع

۱. احمدی، ع.، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: کانی شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره‌ای و ژنزکانسارهای آهن منگنزدار جنوب شرق تربت حیدریه، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس،
۲. امام جمعه، ا.، راستاد، ا.، بوذری، ف.، رشیدنژاد عمران، ن.، (۱۳۸۷)، معرفی سامانه واحد کانه-زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس در محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود - چاه شیرین، فصلنامه علوم زمین ش: ۱۸
۳. امامعلی پور، ع.، (۱۳۸۴)، بررسی ژئوشیمی، کانی شناسی و منشأ کانسارمنگنزصفو (جنوب باختر ماکو)، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران،
۴. امیری، ع.، (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه زمینشناسی، کانیشناسی و عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی در کانسارمنگنز رباط کریم، جنوب غرب تهران،" دانشگاه تربیت مدرس تهران،
۵. آقاباتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه
۶. بازرگانی گیلانی، ک.، ربانی، م.، ۱۳۸۴؛ نهشت سلسیت استراتیفورم منطقه افتر باختر سمنان فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۵۵ ص. ۳۰ تا ۴۱
۷. باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صاقیان، م.، (۱۳۹۲)، ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی (REE) و خاستگاه کانسارمنگنز- سلسیت بندقیچی در جنوب شاهرود، سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۸. برنا، ب.، (۱۳۷۰)، گزارش اکتشافات مقدماتی منگنز در ناحیه کاشمر بر روی کانسارهایمنگنزپروقت، سبندو و بند قراء، طرح سراسری پی جویمنگنز سازمان زمین شناسی کشور، ص. ۱۰۴

۹. بنیادی، ز.، (۱۳۷۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: ژئوشیمی و ژئکانسارمنگنز نارینگان، بافق، استان یزد، دانشگاه شیراز
۱۰. پورحسینی، ف.، ۱۳۶۲ پژوهشی درمنشاء توده‌های آذرین ایران با بررسی ژرف توده‌های نفوذی نطنز و بزمان. گزارش ۵۳ سازمان زمین شناسی کشور.
۱۱. تاتاری، ا.، شییبی، م.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی دگرسانی اسکارن‌زایی در کانسار آهن لجنه و جنوب شرق شاهرود، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران
۱۲. تقی‌زاده، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۱)، الگوی تشکیل کانسارمنگنز ذاکری نمونه‌ای از کانی‌زایی نوع برونومی در جنوب غرب سبزوار، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۱۳. جعفریان، ع.، ۱۳۶۸، بررسی پترولوژی کیقوس ولکانو-پلوتونیک رشته کوه زر-ترودوانجمن های کانه زایی وابسته واقع در چهارگوش نقشه تروداستان سمنان مجموعه مقالات دومین همایش زمین شناسی ایران ۱۱۸-۱۱۵
۱۴. خواجه‌زاده، م.ح.، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان"، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۰ صفحه.
۱۵. دولتخواه، ر.، راستاد، ا.، امامی، م.، (۱۳۸۴)، کانه‌زایی منگنز لایه‌ای شکل گراب (تیپ کوبا) در واحدهای آتشفشانی - رسوبی الیگو- میوسن در شمال خاور طالقان (البرز مرکزی) فصلنامه علوم زمین ۴۰-۵۱: (۵۶) ۱۴.
۱۶. راستاد، ا.، تاج‌الدین، ح.، رشیدنژاد عمران، ن.، باباخانی، ع. (۱۳۸۰): خاستگاه و پتانسیل طلا (مس) در محدوده معدنی دارستان - باغو (جنوب دامغان)، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۳۵ و ۳۶، ص. ۶۰ تا ۷۹
۱۷. رسولی، و.، مدبری، س.، علیپور، م.، (۱۳۸۹)، ژئوشیمی و ژئکانسارمنگنز و نارنج. پنجمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست.
۱۸. سجادی، م.، ۱۳۶۴، گزارش زمین شناسی و معدنی رباط کریم
۱۹. شاهرودی، م.، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: رخداد مس کلریدی علی‌نرخه در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران، جنوب شرق شاهرود، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات،

۲۰. عادل، ک. و همکاران، (۱۳۶۹)، گزارش زمین شناسی و متالوژنی کانسارهای سرب و روی ناحیه ترود-خارتوران
۲۱. فرد، م.، راستاد، ا.، غدیری، م.، (۱۳۸۵)، طلای اپی ترمال و فلزات پایه در کانسارگندی شمال ایران مرکزی و نقش ریولیت های نفوذی، مجله علمی ایران ۳۳۵-۳۲۷: ۱۷
۲۲. فرهادی، رضا، (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه زمین شناسی و آنالیز رخساره و ژنزکانسار آهن منگنزدار شمس آباد اراک"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس،
۲۳. کریمی، ع.، راستاد، ا. (۱۳۸۰): رخساره های کانسار سلسلتیت نخجیرکوه ورامین؛ تحول دیانزنی و محیط رسوب گذاری، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۳۳ و ۳۴، ص. ۲۰ تا ۳۳.
۲۴. لطفی، م.، سجادی الهاشم، ف.، امامی، م.، (۱۳۹۲)، زمین شناسی، کاننگاری، ژئوشیمی و زایش معدن منگنزینین، اردستان اصفهان فصلنامه علوم زمین ۸۶-۷۵: (۸۸) ۲۲.
۲۵. محمدی جوآبادی، ع. و همکاران، (۱۳۸۳)، گزارش برداشت های ژئوفیزیک هوایی در منطقه طرود-معلمان.
۲۶. مر، ف.، احیاء، ف.، ۱۳۷۶، مطالعه کانه زایی سلسلتیت در سازند تبخیری گچساران، لیکک-بهبهان، استان کهگیلویه و بویراحمد، اولین همایش انجمن زمین شناسی ایران
۲۷. مُر، ف.، شرفی، ع. ا.، (۱۳۸۳) - اصول ژئوشیمی جلد اول نوشته میسون، برایان، مُر، کارلتون، نشر دانشگاه شیراز، صفحه: ۵۵۶.
۲۸. مسعودی، م.، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنزکانسار منگنزینسبرد در جنوب غرب سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات،
۲۹. مهربانی، ب.، قاسمی سیانی، م.، (۱۳۸۹)، کانی شناسی و زمین شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، استان سمنان- ایران، مجله زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد ۲۰-۱: (۲) ۱
۳۰. مهری، ب.، راستاد، ا.، فیاضی، ف.، (۱۳۸۷)، رخساره کانه دار کانسار سرب-نقره (روی) خانجار، در توالی کرتاسه بالایی در ایران مرکزی، جنوب دامغان ۱۲-۳: (۱۹) ۷۵

۳۱. نصرالهی، ع، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئزکانه زائی منگنز در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار، با تأکید بر کانسارمنگنز نوده زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۳۲. هوشمندزاده، ع؛ علوی نایینی، م. وحقی پور، ع، (۱۳۵۷)، تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر) سازمان زمین شناسی کشور (۱۹۷۸)

Reference:

1. Alavi, M., 1991, Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin 13, 983- 992.
2. Alavi, M., Haghypour, A., 1976, Geological map of Toroud, scal 1:250000, Geological survey of Iran.
3. Alavi. M. (1972), Etude geologique de la region djam G.S.I. Report: No.23
4. Bale, C.W. Chartrand, P. Decterov, S. A. Eriksson, . G. Hack, K. Ben Mahfoud, R. Melançon, J. Pelton, A.D. and Petersen, S. CalPhad J., 2002, vol. 26, pp. 189-228,
5. Barnes. H. (1979) "Solubilities of ore minerals. in Barnes" H. eds. Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York. NY. Wiley. pp 404-460.
6. Barrett, T.J., and MacLean, W.H. (1994): Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks, in Alteration and Alteration Processes, Lentz, D.R. ed.; Geological Association of Canada, Short Course Notes, Volume 11, pages 433-467.
7. Barrett, T.J., and Maclean, W.H. (1999): Volcanic sequences, Litogeochemistry, and hydrothermal alternation in some bimodal volcanic associated massive sulfide systems, in volcanic associated massive sulfide deposits: prosses and examples in modern and ancient setting, C.T. Barrie and M.D. Hannington eds, society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume 8, pages 101-131
8. Blount, C. W. and F. W. Dickson (1969) The solubility of anhydrite (CaSO₄) in NaCl-H₂O from 100 to 450°C and 1 to 1000 bars: Geochim. Cosmochim. Acta 33, 227-245.
9. 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.
10. Bonatti, E., 1975. Metllogenesis at oceanic spreading centers, Annu Rev earth Planet Sci, Vol 3, pp 401-431
11. Bonatti. E. Zerbi. M. Kay. R. and Rydell. H. (1976) "Metalliferous Deposits from the Apennine Ophiolites: Mesozoic Equivalents of Modern Deposits from Oceanic

- Spreading Centers” Bull. Geol. Soc. Am. vol. 87, pp 83–94.
12. Bostrom, K. and S. valdes, 1969. Arsenic in Ocean floors, *Lithos.*, 2:351-360.
 13. Brusnitsyn ,A. I., Zhukov, I.G. and Kuleshov, V.N. The Bikkuloskoe, 2009, Manganese Deposit (South Urals) : Geological setting, composition of metalliferous rocks, and formation model, Issn 0027-4902 *Lithology and mineral Resources*, No.6, pp 557-578
 14. Brusnitsyn, A.I., Zhukov, I.G. 2005, The south Faizuly manganese deposit in the southern Urals: geology, Petrography and formation conditions. *Lithology and Mineral Sources*, pp.30-47.
 15. Cann, J. R., Winter, C.K. and Pritchard, R.G., 1977, A hydrothermal deposit from the floor of the Gulf of Aden, *Miner. Magaz.*, 41: 193-199.
 16. Choi, j. H., Hariya, Y., 1992. Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*. Vol. 87. Pp 1265-1274.
 17. Cox, K.G., Bell, B.G., Pankhurst, R.J., 1979, The interpretation of igneous rocks. Unwin Hyman, London, and 450p.
 18. Crerar, D.A, Cormick, R.K. and Barnes, H.L., 1982, Geochemistry of manganese: an overview, in: Varentsov, I.M. and Grassely, G., eds., *Geology and geochemistry of manganese*. Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlag, Vol. 1: 293-334.
 19. Dichal, E., (1944), *Beitrag zur Kenntnis der Erzfundstellen in Iran*, Schweiz minerpetrgr.mitt. V.24, Zurich
 20. Fitzgerald C E, Gillis K M., 2006, Hydrothermal manganese oxide deposits from Baby Bare seamount in the Northeast Pacific Ocean. *Marine Geology*, 225: 145.
 21. Flohr, M.J., 1992, Geochemistry and origin of the Bold Knob manganese deposits, North Carolina, *Econ. Geol.*, 87: 2023-2040
 22. Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., Galley, A.G., 2005, Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. *Economic Geology 100th anniversary*, p. 523-560
 23. 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.
 24. Freiberg, D.A., (1983) "Geologic setting and origin of the Lucifer manganese deposit, Baja California sur, Mexico, *Econ. Geol.*, 78, 931-943 P.
 25. Fuchtbauer, H., und Müller, G., 1977- *Sedimente und Sedimentgesteine sediment Petrologie*, Teil II, Stuttgart, 783p.
 26. Fyfe, W.S., 1987, Tectonics, fluids and ore deposit: mobilization and remobilization, *Ore GEOL. Rev.*, 2: 21-36.
 27. Galley, A.G., Hannington, M.D., and Jonasson, I.R., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada*,
 28. Gavrilov. A. A. (1972) "Exhalation Sedimentary Manganese Ore Deposition. *Eksgalyatsionno-osadochnoerudonakopleniemargantsa Moscow: Nedra*.
 29. Grill. E. V. (1982) "Kinetics and thermodynamic factors controlling manganese concentration in anoxic waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*" V. 40, pp 233–240.
 30. Guilbert, J.M., and Park, C.F., (1986) "The geology of Ore deposits, W.H. Freeman, New

- York, 987 P.
31. Gultekin, A. H., (1998) "Geochemistry and origin of the Oligocene Binkiliç manganese deposit; Thrace basin, Turkey" *Tu. J. of Earth Sciences*, V. 7, P. 11–23.
 32. Harben P.W. & Bates R.L. 1990. *Industrial minerals and world deposits*. Industrial Minerals Information Ltd, London.
 33. Harben P.W. & Kužvart M. 1996. *Industrial minerals: a global geology*. Industrial Minerals Information Ltd, London.
 34. Harben P.W. 1999. *The industrial minerals handybook*, 3rd edition. Industrial Minerals Information Ltd, London.
 35. Hein, J. R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J. K., Robert, L., (2000) "Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific, in: Cronan, D.S (Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*". CRC Press, Boca Raton, FL, pp 239-179.
 36. Hein. J. (1997) "From Nicholson. K. Hein. J. R. Buhn. B. & Dasgupta. S. (eds) *Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of terrestrial and marine deposits*" Geological society special publication No.119, pp 123-138.
 37. Helmhacker, R.(1898)-*Die nutzbarenlagerstättenpersian*. Z.Parkt. Geol. V. 6 p. 430 Berlin
 38. Hem. J. D. Lind. C. J. (1983) "Nonequilibrium models for predicting forms of precipitated manganese oxides, *Geochimica et Cosmochimica Acta*" V. 47, pp 2037–2046.
 39. Henderson. P., (1994) " The Rare earth elements: introduction and review" In : Jones. A.P., Editor, 1996, *Rare Easte Minerals: Chemistry, Origin and Ore Deposits*, Chapman and Hall, 1-17 p.
 40. Henmacke. L. (1899)-*Die Bodenschätze Persians: Z.f. Berg- Hutten- e .Salinen-Wesen*. V. 47.p. 272-274.
 41. Hewett, D. F., 1964. *Veins of hypogene manganese oxide minerals in the southwestern United States.*, *Economic Geology*. Vol 59. pp 1430-1470.
 42. Hewett, D.F., Fleischer, M. and Conklin, N., 1963, *Deposits of the manganese oxides: Supplement*, *Econ. Geol.*, 58: 1-51.
 43. Hobs, B. E., 1987, *Principles involved in mobilization and remobilization*, *Ore Geol. Rev.*, 2: 37-454
 44. Howell, R. D., K. Raju, and G. Atkinson (1992) *Thermodynamics of "scale" mineral solubilities. 4. Experimental measurements of SrSO₄(S) in H₂O and aqueous NaCl from 25 to 250°C and from 1 to 500 bar: J. Chem. Eng. Data* 37, 464-469.
 45. Huber, H., (1957), *Geology of the east Semnan Area* . N.A.O.C. Geology report.unpublished , 40p
 46. Huber, H., Stocklin, j., (1956), *Geological Report of the Torud . Moalleman Area* N.I.O.C. unpublished report.
 47. Ioannou, S. E, Spooner, S, 2007, *Fluid Temperature and Salinity Characteristics of the Matagami Volcanogenic Massive Sulfide District, Quebec*, *Economic Geology*, v. 102, pp. 691–715
 48. Jensen, M.L. and Bateman, A.M., 1981, *Economic mineral deposits*, John Wiley, 593p.
 49. Jones, S, Bruce, J., Davidson, M., 2006, *Petrographic, Geochemical, and Fluid Inclusion Evidence for the Origin of Siliceous Cap Rocks Above Volcanic-Hosted Massive Sulfide*

- Deposits at Myra Falls, Vancouver Island, British Columbia, Canada, *Economic Geology*, v. 101, pp. 555–584.
50. Karakuş A, Yavuz B, Koç S., 2010, Mineralogy and major trace element geochemistry of the Haymana manganese Mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International*, 48: 1014.
 51. Kaufman, A., 1969, The Th-232. Concentration of surface ocean water, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33: 717-724.
 52. Kearney, M., 2003, Volcanic- associated Massive sulfide deposits. Billiken Management Services, 18p.
 53. Kheraskov. N. P. (1951) "Geology and Genesis of Manganese Deposits in Eastern Bashkiria. *Voprosy litologii i stratigrafii SSSR. Pamyati akademika A. D. Arkhangel'skogo (Problems of Lithology and Stratigraphy of the USSR)*" In memory of Academician A.D. Arkhangel'skii), Moscow: Akad. Nauk SSSR, pp 47–65.
 54. Kim, S.J., 1984, Syngenetic and epigenetic textures of manganese oxide Ores in supergen weathering zone, in: WaushchKkuhn, A., Kluth, C. and Zimmermann, R.A., eds., *Syngeneses and epigenesis and epegenesis in the formation of mineral deposits*, Springer-Verlag, 11-17
 55. Klinkhammer. G. P. Bender. H. L. (1980) "The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*" V. 46, pp 361–384.
 56. Koc S, Ozmen O, Oksüz N. 2000, Geochemistry characteristic of Kasimaga (Keskin-Kırıkkale) manganese oxide mineralizations. *Mineral Research and Exploration magazine*, 122: 107.
 57. Kraskopf, K.B., 1979, *Introduction to geochemistry*. McGraw-Hill, 271p.
 58. Krauskopf. K. B. (1957) "Separation of Manganese from Iron in Sedimentary Processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*" vol. 12, pp. 61–84.
 59. Kuleshov. V. N. (2011) "Manganese Deposits: Communication 1. Genetic Models of Manganese Ore Formation" *Lithology and Mineral Resources*, V. 46, No. 5, pp 473- 493.
 60. Leasher, C.M., Goodwin, A.M., Campbell, I.H., and Gorton, M.P. (1986): Trace element geochemistry of ore associated and barren felsic metavolcanic rocks in the superior province, *Canadian journal of earth sciences*, volume 23, pages 222-237
 61. Lentz, D., 1998, Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics, *Ore Geology Reviews* 12, 289–327.
 62. Lentz, d., Hall, D. C., Hoy, L.D., 1997, Chemostratigraphy, alteration and oxygen isotope trend in a drillhole profile through the heath Steele B Zone deposit stratigraphy sequence, New Brunswick. *The Canadian Mineralogist* 35; 841- 74.
 63. Liu, H., Xue, Y., (1999) "Sedimentology of Triassic Dounan-type manganese deposits, western margin, Yangtze Platform, China" *Ore Geology Reviews*, V. 15, P. 165–176.
 64. Lottermoser. B. G., (1992) " Rare earth element and hydrothermal ore formation processes" *Ore Geology reviews*, 7, 25-41.
 65. Machamer, j. f., (1987) "A Working classification of manganese, *Min" Mag.*, 157.
 66. Maynard. J. B. (1983) "Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits" Springer, New York, pp 305.
 67. McCall. G. J. H. (1997) "The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern

- Iran" J. Asian Earth Sci., 15, 517– 531.
68. 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, pp 45-59.
 69. Mills. R. A. Eldefield. H. (1995)" Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG mound. 26 N Mid Atlantic Ridge" *Geochimica et CosmochimicaActa* 59, 3511-3524
 70. Moorby, S.A., Cronan, D.S. and Glasby, G.P., 1984 geochemistry of hydrothermal Mn-oxide deposit from the S.W. Pacific island area, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 433-441.
 71. Mosier. D. L. and Page. N. J. (1988)" Descriptive and Grade-Tonnage Models of Volcanogenic Manganese Deposits in Ocean Envi- ronments A modification" *US Geol. Surv. Bull.*, no. 1811.
 72. Movvahed A. 1968: NishaburTurquas Mine. G.S.I. 6P.
 73. Muller, G.,1962- ZurGeochemie des Strontium in Ocean, EvaporitenunterbesondererBerucksichtigung der SedimentarenCoelestinlagerstatter von Hemmelte-West. (Sud-Oldenburg). *Geol. Beihefte* 35, 1-90.
 74. Murray, J. W., Dillard, J. G., Giovanoli, R., Moers, H., Stumm, W., (1985) "Oxidation of Mn(II): initial mineralogy, oxidation state and ageing, *Geochimica et CosmochimicaActa*" V. 49, P. 463–470.
 75. Nakamura, N., (1974)"Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 757-775.
 76. Naumov, G. B., B. N. Ryzhenko, and I. L. Khodakovsky (1974) *Handbook of Thermodynamic Data: U.S. Geological Survey USGS-WRD-74-001*.
 77. Nicholson. K. (1992a)" Contrasting mineralogical–geochemical signatures of manganese oxides: Guides to metallogenesis" *Economic Geology*, V. 87, pp 1253–1264.
 78. Nicholson. K. (1992b)" Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo–Ocean–spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary" *Economic Geology*, V. 87, pp 1301–1309.
 79. Oksuz N, Koc S. , 2010, Examination of Sarikaya (Yozgat-Turkey) iron mineralization with rare earth element (REE) method. *Journal of Rare Earths*, 28(1): 143.
 80. Ossa, A.C., 1970, Genesis of manganese deposits in northern Chile, *Econ. Geol.*, 65: 681-689.
 81. Ostwald, J. 1988, Mineralogy of the Grootte Eylandt manganese oxids: a review, *Ore Geol. Rev.*, 4: 3-45
 82. Ozturk, H., Frakes, L., (1995)" Sedimentation and diagenesis of an Oligocene Manganese Deposit in a Shallow Subbasin of the Paratethys"; Thrace Basin, Turkey, *Ore Geology Reviews*, V. 10, P.117–132.
 83. Pearce, J. A., and Parkinson, I. J., (1996), Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: Prichard, H.m., Albaster, T.,Harris, N.B.W., Neary, C.R. (eds.), *Magmatic Processes in Plate Tectonics*, 79, Geological Society of London Special Publication, 373-403.
 84. Pederson, T.F., and Price, N.B., (1982) "The geochemistry of manganese carbonate in Panama Basin Sediment" *Geochim. Acta*, 46, 56-68 P.
 85. Peter, J. M., Scott, S.D., (1999) "Windy Craggy, Northwestern Biritish Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie" *Society of Economic Geologists*, V. 8...

86. Piercey, S., (2011) "The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits, *Miner Deposita*, 46: p.449-471.
87. Post J. E. (1998)" Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance, *Colloquium Paper, Natl. Acad. Sci. USA*" V. 96, pp 3447–3454.
88. Pearce, J.A. and Noory, M.J.(1979): Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variation in volcanic rocks; contributions to mineralogy and petrology, volume 69, page 33-47.
89. Roedder, E., 1984, Fluid inclusions. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, 12: 646 pp.
90. Roedder, E., Bodnar, R. J., 1980, Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v, 8, p. 263- 301.
91. Rollinson, H. R., 1993, *Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation*. London, UK. 652 P.
92. Rona, P. A., 1978. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in oceanic crust. *Economic Geology*. Vol 73. pp 135- 160.
93. Rona. P. A. (1980)" Hydrothermal manganese deposits of Mid Atlantic ridge crest (Latitude 21°N), in: Varentsov, I.M. and Grasselly, G. eds. *Geology and geochemistry of manganese*. Stuttgart Schweizerbart. V. 3. P. pp 195- 210.
94. Roy. S. (1968)" Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits" *Economic Geology*. V. 63, P. 760–786.
95. Roy. S. (1981)" Manganese Deposits. Academic Press London. Pp 485.
96. Roy. s. 1976. Ancient Manganese Deposit. in: Wolf, K. H., *Handbook of Stratiform and Stratiform Ore Deposits*" Elsevir, V. 7, pp 355- 476.
97. Saunders, A.D., Tarney, J., 1991, Back arc basins. In: Floyd, P.A. (Eds), *Oceanic Basalts*, Blackie and son Ltd., 219- 263.
98. Schlatter D. M., 2007, Volcanic stratigraphy and hydrothermal alteration of the Petiknas South Zn- Pb- Cu- Au- Ag volcanic hosted massive sulfide deposit, Sweden, Doctoral thesis Lulea University of Technology, Sweden. 208 p.
99. Shah, M, T., Moon, C.J., (2004) "Mineralogy, geochemistry and genesis of the ferromanganese ores from Hazara area, NW Himalayas, northern Pakistan" *J. Asian Earth Sci.* 23, 1-15.
100. Shah, M.T., Moon, C.J., (2007) "Manganese and ferromanganese ore from different tectonic setting in the NW Himalayas, Pakistan" *J. Asian Earth Sci.* 29, 455-465.
101. 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: 1643- 1663.
102. Shepherd, T.J., Ranbin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie, Glasgow, 239 pp.
103. Sillitoe, R.H., 1975, Lead-Silver, manganese and native sulfur mineralization within a stratovolcano, El Queva, northwest Argentina, *Econ. Geol.*, 70: 1190-1201.
104. Sinisi, R., Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., (2012) "Different Mn-ores in a continental arc setting: Geochemical and mineralogical evidences from Tertiary deposits of Sardinia (Italy)" *Ore Geology Reviews*, Sci 47 p. 110-125.
105. Snell, F.D., and Etter, L.S., eds., (1972) "Encyclopedia of industrial chemical analysis, John Wiley, p. 574

106. Starikova, E. V. (2001) "Behavior of Iron and Manganese in Hydrothermal Sedimentary Processes: Analysis of Natural and Calculation Data. in *Metallogeny of Ancient and Modern Oceans - 2001: History of Deposits and Evolution of Mineralization*" Miass: Inst. Miner. Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2001, pp 71–77.
107. Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *A.A.P.G. Bull.* 52, (7) 1229-1258.
108. Stocklin, J., Eftekhari-Nezhad, J., Hushmandzadeh, A., 1972. Central Lut reconnaissance, East Iran. Geological Survey of Iran, report No.22
109. Stumm, W. Giovanoli, R. (1976) "On the nature of particulate manganese in simulated lake waters, *Chimia*" V. 30, pp 423–425.
110. Suess, E., 1979, Mineral phases found in anoxic sediment by microbial decomposition of organic matter, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34: 339-352.
111. Sugisaki, R. (1984) "Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean-floor sediments deposited since the middle Cretaceous: basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments" *The Journal of Geology*, V. 92, pp 235–259.
112. Sun S S, McDonough W F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. (Eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, 313.
113. Tekin, E., 2001, Stratigraphy, geochemistry and depositional environment of the celestine-bearing gypsiferous formations of the Tertiary Ulas-Sivas Basin, East-Central Anatolia (Turkey), *Turkish Journal of Earth Sci.*, pp.35-49.
114. Titley, S.R., and Bean, R.F., (1981) "Porphyry coppers deposits" *Economic Geology*, 75, P, 214- 269.
115. Toth, J.R., 1980, Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Pt. I, 91: 44-54.
116. Tucker, M. E., (1994) "Sedimentary petrology (an introduction to the origin of sedimentary rocks)" 2Ed, Blackwell Scientific Publ., London. 252 p.
117. Usui, A. Someya, M. (1997) Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific" *Geol. Soc. Spec. Pub.*, V. 119, pp 177–198.
118. Varentsov, I. M. Veinmarn, A. B. Rozhnov, A. A. et al. (1993) "Geochemical Model of the Formation of Manganese Ores in the Famennian Rift Basin of Kazakhstan (Main Components, Rare Earths, and Trace Elements)" *Litol. Polezn. Iskop.*, vol. 28, no. 3, pp 56–79.
119. Varnavas, S.P., Papaioannau, J. and Catani, J., 1988, A hydrothermal manganese deposit from the Eratosthenes seamount, eastern Mediterranean sea, *Marin Geol.*, 81: 205-214.
120. Von Stackelberg. Growth history of manganese nodules and crusts of the Peru Basin. Geological Society, Special Publications, London, 1997, 119: 153
121. Warren J. 1999. Evaporites — their evolution and economics. Blackwell Science Pty Ltd.
122. Wedepohl, K. H. (1980) "Geochemical behavior of manganese. in Varentsov, I. M. and Grassley, G. eds. *Geology and geochemistry of manganese*" Stuttgart, Germany,

- Schweizerbart'sche Verlag, V. 1, pp 335–351.
123. Wilkinson, J.J., 1999. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Northern Ireland. *Econ. Lithos* 55, 225–272. Wilkinson, J.J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, v. 55, p. 229–272.
124. Wilson, M., 1989, *Igneous petrogenesis, a global tectonic approach*: London, United Kingdom, Unwin Hyman, 466 p.
125. Wolf, K.H., 1987, Ubiquity and inter-dependence of remobilization systems-putting the matter in to full context: a brief comment, part I, *Ore Geol. Rev.*, 2: 11-20
126. Xu, Q., Song, X., 1995, Trace and rare earth geochemistry of host rocks from VHMS deposits, in NW China, in Pasava, Kribek and Zak, *mineral deposits*, Blakema Rotterdam, p.249- 252.
127. Yu, G et al., 1990. Processes of formation of iron- manganese oxyhydroxides in the Atlantis – II and Thetis deeps of Red Sea. *Spec. Publs int. Ass. sediment. II*, pp 57 72.
128. Zantop H. (1978) "Geologic setting and genesis of iron oxides and manganese oxide in the San Francisco Manganese deposit, Jalisco, Mexico" *Econ. Geol.*, V. 73, pp 1137-1149.
129. Zantop, H., 1981. Trace elements in volcanogenic manganese oxides and Iron oxides. *Econ. Geol.* Vol 76. pp 545-555.

Abstract

The Bande-Qichi (Rabiei) manganese-celestite ore deposit is located at 200 km south of Shahrood, 59 km southeast of Toroud village in the magmatic zone of north of Central Iran zone. The major exposed rock units of the stratigraphic sequence in the area include the Eocene andesitic, dacitic, tuffaceous volcanic rocks and marl. Based on textural and mineralogical studies, three ore facies were observed in the deposit: (1) The lower facies as vein-veinlets (stringer zone) within the volcanic (andesitic and dacitic) rocks, (2) the middle facies as breccia-massive within volcanic breccias and marl, and (3) the upper facies as stratiform (layered, bedded and lenticular) within tuff breccias, peperites and marls. The stratiform facies was divided into two parts: manganese-rich and celestite-rich. The manganese-rich part within volcanic breccias, peperites and marls overlies vein-veinlet ore facies, and the celestite-rich part is located within the same marls farther away from the former part.

Based on petrographical, x-ray diffraction (XRD) and electron probe micro analysis (EPMA), the ore mineralogy in the aforementioned ore facies dominantly includes pyrolusite, psylomelane and celestite, and rarely cryptomelane and hollandite. The gangue minerals are dominated by chlorite, sericite, gypsum, barite and clay minerals. Structures and textures of the ores in the manganese-rich stratiform part are dominantly banded, laminated and disseminated; and in the celestite-rich part is as lens-shape, colloform and banded, open space-fillings and zebra, and in the vein-veinlet and breccia-massive facies are as veins, brecciated, open-space fillings and disseminated. Major alterations in the deposit are argillic-sericitic at center surrounded by chlorite alteration.

Based on the geochemical studies, this deposit contains high amounts of Mn/Fe, La/Ce, U/Th and Si/Al ratios; and the values of Co/Zn, trace elements such as Ni and Cu and rare earth elements (REE), especially Ce, Sm, and Eu are low in the manganese ores. Also, negative Eu anomalies in the manganese-rich part indicates that the ore deposition environment was oxidic. The geochemical characteristics of the volcanic rocks show that these rocks have andesitic and dacitic compositions and calc-alkaline nature that indicates an island arc environment for their deposition.

Fluid inclusions on celestite mineral indicates that temperature of homogenization and salinity of the fluid from the stringer zone and the celestite-rich stratiformore , are 290°c and 5/9 wt% NaCl equivalent; and 350°c and 6/5 wt% NaCl equivalent, respectively.

The Bande-Qichi manganese-celestite ore deposit shows many similarities to the volcanic-sedimentary or exhalative manganese deposits of Cuban-type, in various aspects including geology, tectonic setting, host and associated rocks, geometry of ore bodies, textures and structures, mineralogy, geochemistry and alteration patterns. However it differs from the Cuban-type in a few characters such as very high amounts of strontium and containing celestite. It should be noted that any similar mineralization in some characteristics and economic value of both of the manganese- and celestite-rich parts, has not yet been reported in Iran and through the world.

Key world: Manganese, celestite, volcano-sedimentary, Eocene, Cuban-type, Bande Qichi (Rabiei)



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth sciences

Title:

Mineralogy, geochemistry and genesis of the Rabiei Mn deposit Torud, south of
Shahrood

By :

Baqerzadeh Zahra

Supervisor:

Dr. Fardin Mousivand

Consultant:

Dr. Mahmood Sadeghian

Date:

2014-06