بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

رشته زمین شناسی ، گرایش اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس چاه شیرین، جنوب دامغان

نگارنده: راضیه نصیری جونقانی

استاد راهنما

دکتر فرج ا... فردوست

استاد مشاور

دکتر مهدی رضایی کهخائی

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۹۹۰۱۲/۲۵۹
تاریخ: ۹۹/۱۲/۲۴

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی‌ارشد خانم **راضیه نصیری جونقانی** با شماره دانشجویی **۹۶۱۵۱۱۴** رشته **زمین‌شناسی** گرایش **اقتصادی** تحت عنوان **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس چاه شیرین، جنوب دامغان** که در تاریخ **۱۳۹۹/۱۱/۲۸** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۸ ☑
ج) درجه خوب: نمره۱۷/۹۹– ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ■

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر فرج ا... فردوست	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر مهدی رضایی کهخایی	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمود صادقیان	دانشیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر فردین موسیوند	استادیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر مریم شیبی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رمضان رمضانی اومالی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۹/۱۲/۲۴

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده علوم زمین

اثری کوچک،بسیار کوچک....
به رسم ادب
تقدیم به

پدر و مادرم؛

به‌پاس تعبیر زیبای واژه مهربانی

و

به‌پاس گرمای امیدبخش و جودشان.

تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که به لطف بی قیاسش این مرحله از زندگی را با موفقیت به پایان رساندم.

بر خود لازم می‌دانم از تمام کسانی که لطف‌هایشان شامل حالم شد، سپاس و قدردانی خود را ابراز نمایم.

از خانواده‌ام که سایه مهربانی‌هایشان سایه سار زندگیم می‌باشد و از خداوند خواهان توفیقم که هر لحظه را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

نمی‌توانم واژه‌ای بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان بزرگوارم جناب آقای دکتر فرج ا... فردوست و دکتر مهدی رضایی کهخائی طینت به جهت لطف بی دریغشان آشکار نمایم. هم‌چنین استادان فرزانه و فرهیخته، جناب آقای دکتر موسیوند و دکتر صادقیان که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

با سپاس بی‌دریغ خدمت دوست گران‌مایه‌ام نسیم نوروزی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده است و با تشکر خالصانه خدمت آقای اکبر عبداللهی و خانم سلاله اکبرپور که مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

از همکاری و حمایت مالی شرکت ایمیدرو و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تشکر میکنم.

و در انتها از تمام دوستان و همسفران مسیر زندگی که وجودشان شادی‌بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

راضیه نصیری جونقانی

بهمن ۱۳۹۹

تعهد نامه

اینجانب **راضیه نصیری جونقانی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **زمین شناسی** دانشکده **علوم زمین** دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان‌نامه با عنوان **کاني شناسي، ژئوشيمي و الگوی پیدایش کانسار مس چاه شیرین، جنوب دامغان** ، تحت راهنمایی **فرج ا... فردوست** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است. در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهش‌گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان‌نامه، تا کنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارایه نشده است. حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام " دانشگاه صنعتی شاهرود " یا " Shahrood University of Technology " به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد. در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

راضیه نصیری جونقانی

بهمن ۱۳۹۹

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

کانسار مس چاه‌شیرین در حاشیه شمالی پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی در زیر پهنه سبزوار و بخش غربی نوار آتشفشانی- رسوبی ترود چاه‌شیرین قرار گرفته است. این محدوده در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان در استان سمنان قرار دارد. سنگ‌های دربرگیرنده کانسار مورد مطالعه از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های آندزیت، بازالت و سنگ‌های آذرآواری نظیر لیتیک توف و آگلومرا به سن ائوسن هستند. پهنه‌های دگرسانی که در این منطقه مشاهده شده شامل دگرسانی کربناتی، سیلیسی، آرژیلیتی، سریسیتی و اکسیدهای آهن در اطراف رگه‌ها است. مطالعات صحرایی و کانه‌نگاری مشخص می سازد که کانه‌زایی مس در منطقه چاه‌شیرین بیشتر به‌صورت رگه- رگچه‌ای، دانه‌پراکنده، پرکننده حفرات و جانشینی در سنگ میزبان آندزیت، بازالت و توف رخ داده است. عوامل اصلی کنترل‌کننده کانه‌زایی در منطقه، درز و شکاف و گسل با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب است. کانی‌های تشکیل‌دهنده منطقه چاه‌شیرین در سه مرحله هیپوژن (بورنیت، کالکوپیریت)، سوپرژن احیایی (کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت) و سوپرژن اکسیدی (مالاکیت، آزوریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن) رخ داده است. باطله‌های منطقه مورد مطالعه را کوارتز و کلسیت تشکیل می‌دهد. طبق نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه، ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی با ماگمای کالک‌آلکالن و از لحاظ تکتونیکی با حاشیه قاره و محیط‌های فرورانش در ارتباط است. سنگ‌های آتشفشانی منطقه طبق نمودار بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه، غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای از عناصر کوچک یون LILE مانند Rb، K و تهی‌شدگی از عناصر بزرگ یون HFSE مانند Nb و Ti نشان می‌دهد که این امر مشخصه ماگماهای مشتق‌شده از گوشته در منطقه فرورانش است. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که عنصر مس بیشترین همبستگی را با نقره دارد، درحالی‌که نقره کانی مستقلی تشکیل نداده است بنابراین در شبکه کانی‌های مس‌دار جایگزین شده است. نتایج به‌دست آمده از مطالعات میانبارهای سیال بر روی کانی کلسیت، فراوانی دمای همگن شدن را بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد و شوری با میانگین ۸ درصد وزنی معادل Nacl و به دلیل نبود شواهد

جوشش عمق بیشتر از ۱۵۰ متر را نشان می‌دهد. احتمالاً صعود سیالات گرمابی و اختلاط آن با آبهای جوی سرد با شوری کم، سبب تشکیل کانسار مورد مطالعه شده است. در نتیجه با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر می‌توان نتیجه گرفت که محدوده اکتشافی چاه‌شیرین مربوط به سیالات گرمابی است که باعث تشکیل کانه‌زایی رگه‌ای مس از نوع رگه‌ای گرمابی شده است.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌شناسی، ژئوشیمی، مس، رگه‌ای گرمابی، چاه‌شیرین.*

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

۱. کانسار مس چاه‌شیرین نمونه‌ای از کانه‌زایی تیپ مانتو در توالی آتشفشانی–رسوبی ائوسن، جنوب دامغان. بیست و هفتمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی، بهمن ماه ۱۳۹۸

۲. زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و الگوی تشکیل کانسار مس چاه‌شیرین، جنوب دامغان، دوازدهمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۱۳۹۹

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها

فهرست جدول‌ها

فصل ۱

کلیات

۱ـ۱ مقدمه

پهنه ایران زمین ذخایر بسیاری از مواد معدني را در دل خویش نهفته است که وجود این ذخایر طبیعي از گذشته‌های بسیار دور انگیزه‌ای را برای رونق معدنکاری ایجاد نموده است. کمربند جهانی کانه‌زایی مس از غرب اروپا تا شرق آسیا در امتداد بقایای نئوتتیس به‌طور غیرممتد رخنمون دارد، حدود ۲۰۰۰ کیلومتر این کمربند در سرزمین ایران ظاهر می‌شود (خویی و همکاران، ۱۳۷۸). بشر اولیه در دوره نوسنگی، به تدریج با فلزاتی چون طلا و مس آشنا شد. پژوهش‌های باستانی گویای این است که از زمان‌های گذشته و دوره‌های گوناگون تا امروزه در ایران بهره‌برداری از معادن مس رواج داشته است. کانسارهای مختلف مس از نظر تیپ تشکیل شامل مس پورفیری، اسکارن‌های مس‌دار، ماسیوسولفاید، مس رسوبی استراتی‌باند و ذخایر مس رگه‌ای می باشند. کانسار مس پورفیری به دلیل ذخیرهٔ زیاد و ناچیز بودن هزینه بهره‌برداری، حائز اهمیت است. کانسارهای رگه‌ای به علت هزینه زیاد بهره‌برداری تنها در عیارهای بالا

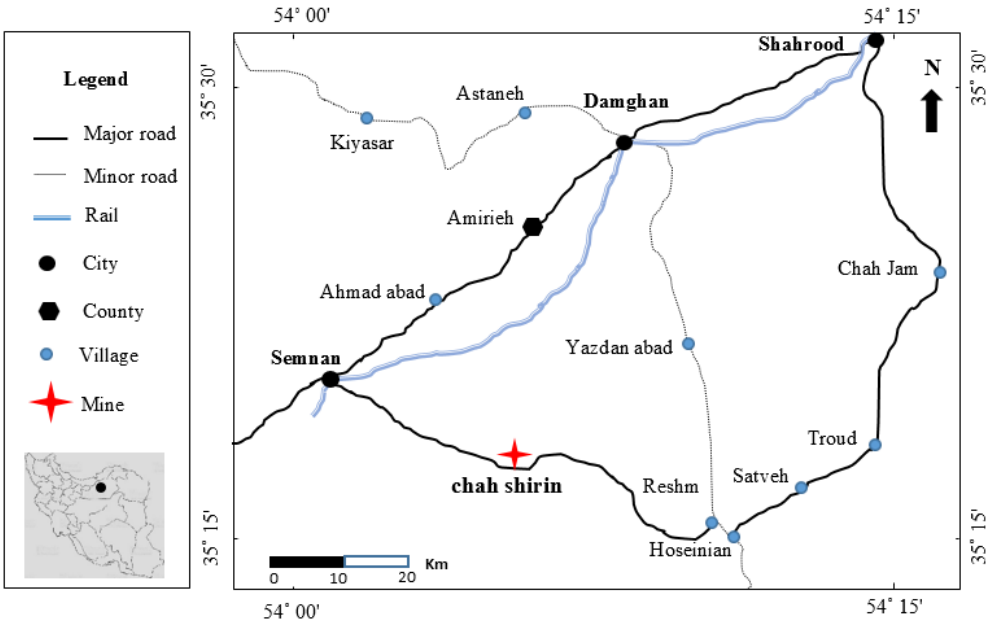
دارای ارزش اقتصادی هستند. بخش اعظم مس دنیا از کانسارهای مس پورفیری و بعد از آن به ترتیب از کانسارهای مس رسوبی استراتی‌باند، ماسیوسولفاید، اسکارن مس‌دار و رگه‌های مس‌دار و ... بدست می‌آید. مس دارای ویژگی هایی چون رسانایی الکتریکی و حرارت بالا، دوام و پایداری در برابر خوردگی و ...، در صنایع گوناگون کاربرد دارد. عمده‌ترین مصرف مس در صنایع الکتریکی و مخابرات است. مس در رده‌بندی مصرف جهانی فلزات، بعد از آهن و آلومینیوم در رده سوم قرار دارد. بنابراین به دلیل نیاز روز افزون هر کشور به مواد معدني، ضرورت دارد که پتانسیل‌های موجود در کشور مورد شناسايي و مطالعه دقیق قرار گیرند (شرکت چهار مس دامغان، ۱۳۹۲). معدنکاری و استخراج ماده‌معدني در نوار آتشفشاني- رسوبی ترود- چاه‌شیرین در شمال پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی ریشه در ادوار تاریخي دارد که فعالیت‌های معدني از زمان‌های قدیم به صورت شدّادی در این نوار انجام گرفته است. موادمعدني مختلفي از جمله آهن، مس، سرب، روی، طلا، باریت، بنتونیت، سیلیس، فیروزه و ... در این نوار شناسايي و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. کانه‌زایی مس در محدوده مس چاه‌شیرین ابتدا توسط شرکت چهار مس دامغان مورد پی‌جویی و اکتشاف قرار گرفته است. بنابراین کانسار مس چاه‌شیرین به‌عنوان بخش کوچکی می‌تواند از لحاظ کانه‌زایی مس مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق به بررسی زمین‌شناسی اقتصادی محدوده پرداخته می‌شود که امید بر آن است اکتشاف و بهره‌برداری مواد معدنی در این محدوده به بهبود اقتصادی منطقه کمک کند.

۱-۲ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

محدوده اکتشافي چاه‌شیرین به لحاظ تقسیمات کشوری از توابع بخش امیرآباد دامغان و حدوداً در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان در استان سمنان قرار دارد. محدوده اکتشافي در مختصات جغرافیايي "۴۷/۴ ′۰۹ °۵۴ تا "۱۸/۶ ′۱۳ °۵۴ طول شرقي و "۴۳/۲ ′۱۹ °۳۵ تا "۵۱/۹ ′۲۲ °۳۵ عرض شمالي واقع شده است. اصلي‌ترین راه دسترسي به اندیس معدني از طریق جاده نظامي است که حدوداً از کیلومتر ۷۰ جاده دامغان- جندق جدا مي‌شود و بعد از طي حدود ۳۰ کیلومتر راه آسفالته و حدود ۱۰

کیلومتر جاده خاکي ماشين رو به محدوده اکتشافي مي‌رسد.

از روستاهای مهم منطقه می‌توان به معلمان، حسینیان، رشم، سطوه و ترود اشاره نمود.که به دلیل شرایط آب و هوایی در منطقه، تراکم و تعدد روستا و جمعیت آنها در این ناحیه بسیار کمتر از نواحی کوهستانی شمالی می‌باشد (شکل ۱ـ۱).



شکل ۱ـ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مس چاه‌شیرین با علامت ستاره نشان داده شده است

۱ـ۳ آب‌وهوا و پوشش گیاهی

آب و هوای منطقه کاملاً تحت حاکمیت جریان‌های گرم و خشک دشت کویر قرار دارد که این نوع آب و هوای خود ناشی از ارتفاع کم منطقه است. میانگین حداقل دما در زمستان به ۱۱ـ و در تابستان به بیش از ۴۶ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. میزان بارندگی سالانه در منطقه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی فقیر است. در پهنه‌های کویری و نمک‌زارها و حتی بخش‌هایی از بیابان‌ها هیچ‌گونه گیاهی مشاهده نمی‌شود. ولیکن در رشته کوه‌های موجود و بخشی از گستره‌های بیابانی منتهی به کوه‌ها پوشش‌گیاهی با پراکندگی کم تا متوسط (شکل ۱ـ۲) مشتمل بر بوته‌ها و درختچه‌های همچون تِرخ، قیچ، گز، تاغ و ... وجود دارد

(شرکت چهار مس دامغان، ۱۳۹۲).

شکل ۱ـ۲: نمایی از پوشش گیاهی محدوده معدنی چاه‌شیرین (دید به سمت جنوب‌غرب)

۱ـ۴ وضعیت معیشتی و اجتماعی منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه از مناطق قشلاقی استان سمنان محسوب می‌شود. روستانشینان در این گستره بیابانی عمدتاً به پرورش دام‌های بز، میش و شتر اشتغال دارند. کشاورزی در این خطه رونق چندانی ندارد و البته به میزان کمی مزارع گندم، جو، صیفی‌جات و همچنین ندرتاً پسته‌کاری در این نواحی دیده می‌شود. روستاییان در این منطقه به بافت فرش و برخی نیز به کار در معادن مختلفی که در این ناحیه وجود دارد، اشتغال دارند (شرکت چهار مس دامغان، ۱۳۹۲).

۱ـ۵ زمین ریخت‌شناسی

سیمای کلی محدوده چاه‌شیرین و نواحی اطراف آن شامل ریخت ملایم و تپه‌های کم‌ارتفاع با دامنه‌های کم‌شیب، و در بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده و مناطق همجوار گستره‌های دشت دیده می‌شود. این توصیفات، چهره غالب و عمومی منطقه

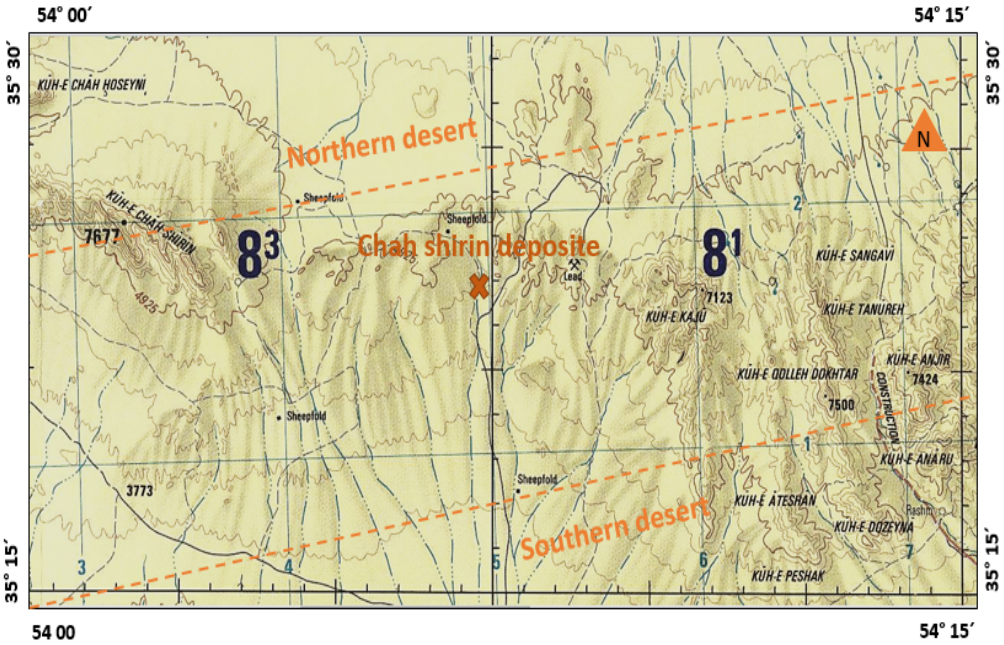
است (شکل ۱ـ۳). نواحی شرقی و غربی همجوار و دور از محدوده، کوه‌های نسبتا مرتفع با دامنه‌های پرشیب و خشن و قله‌هایی تیغه مانند و نوک‌تیز دیده می‌شود (شکل ۱ـ۴).

شکل ۱ـ۳: تپه‌های کم ارتفاع حاکم بر محدوده و نواحی همجوار

شکل ۱ـ۴: کوه‌های مرتفع با سیمای خشن و قله نوک تیز در نواحی همجوار غربی

این منطقه با روند شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی تحت تأثیر دو گسل بزرگ ترود در جنوب و انجیلو در شمال قرار می‌گیرد. بیابان‌های گسترده، همچنین پهنه‌های کویری

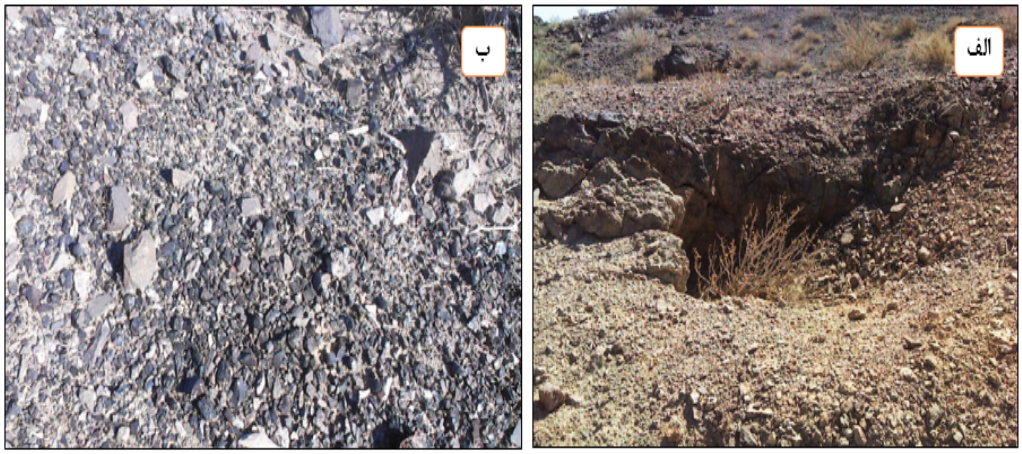
و شوره‌زار به‌عنوان مثال کویر حاج‌علی‌قلی وجود دارد. رشته کوه‌هایی با ارتفاعات متفاوت در حاشیه شمالی دشت کویر و همچنین به‌صورت پراکنده در برخی نقاط بیابان‌های شمالی منطقه مشاهده می‌شود. از مهم‌ترین ارتفاعات این منطقه می‌توان به کوه چاه‌شیرین اشاره کرد. در منطقه، مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی زیادی وجود دارد که در پهنه شمالی عمدتاً به کویر حاج‌علی‌قلی و در بخش‌های جنوبی به دشت کویر منتهی می‌شوند. شرایط کویری و خشک منطقه باعث شده است که از وجود رودخانه دائمی جلوگیری شود. دره‌ها در این منطقه بشکل U با دیواره‌های باز، کم‌ارتفاع و کم‌شیب هستند. آبراهه‌ها و مسیل‌ها در دشت‌ها دارای بستری وسیع و راستایی کشیده و در نواحی نزدیک به کویر پر پیچ وخم هستند. روند کلی آبراهه‌ها تقریباً شمالی ـ جنوبی است و حوضه آبریز آن‌ها نواحی شمال دشت کویر است (شرکت چهار مس دامغان، ۱۳۹۲). کانسار مس چاه‌شیرین با ارتفاع تقریبی ۱۳۰۰ متر بر روی نقشه توپوگرافی منطقه در شکل ۱ـ۵ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱ـ۵: بخشی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه و نمایش موقعیت کانسار مس چاه‌شیرین بر روی آن (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۵۵)

۱ـ۶ تاریخچه معدنکاری در منطقه

معدنکاری و استحصال مواد معدنی در منطقهٔ ترود ریشه در ادوار تاریخی دارد. آثار برداشت مادهٔ معدنی و فرآوری آنها به طریق ذوب در جای‌جای آن مشاهده می‌شود. محدودهٔ اکتشافی چاه‌شیرین نیز از این مورد مستثنی نیست. در سرتاسر محدودهٔ اکتشافی آثار کار قدیمی موسوم به کار شدادی به چشم می‌خورد که بخش‌هایی از سطح زون کانه‌زایی برداشت شده است. البته بخش‌هایی از گودال‌ها و حفرات در گذر زمان از بین رفته و آثار ناچیزی از آن بر جای مانده است. در بخشی از محدوده نیز آثاری از سربارهٔ حاصل از ذوب دیده شده است (شکل ۱ـ۶).



شکل ۱ـ۶: الف‌ـ آثار باقیمانده از یک گودال حاصل از فعالیت‌های معدنی قدیمی، ب‌ـ بقایای یک دپوی سرباره حاصل کورهٔ ذوب جهت استحصال ماده معدنی

در محدودهٔ اکتشافی، آثار یک دوره فعالیت معدنی دیگر نیز وجود دارد که بنا به اظهارات افراد بومی حدوداً به ۳۵ تا ۴۵ سال پیش برمی‌گردد. دو چاه قائم به عمق ۲۰ و دیگری ۳۵ متر در زون کانه‌زایی حفر گردیده است. ظاهراً تناژی از کانسنگ مس نیز استخراج شده است (شکل ۱ـ۷). با توجه به شواهد صحرایی به نظر می‌رسد روش کار در استخراج این محدوده، چال دستی و انفجار باروت بوده است.

شکل ۱ـ۷: چاه معدنی در محل زون کانه‌زایی در محدوده اکتشافی چاه‌شیرین (دید به‌سمت شمال)

۱ـ۷ مطالعات انجام شده

نوار آتشفشاني- رسوبي ترود- چاه‌شیرین به دلیل اینکه از پتانسیل معدنی قابل توجهی از جمله طلا، مس، آهن، سرب، روی، منگنز و ... برخوردار است. مطالعات زمین‌شناسي و معدني بسیاری در منطقه شکل گرفته است که به ذکر برخي از آن‌ها پرداخته مي‌شود:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود علوی و هوشمندزاده (۱۳۵۵)، که مي‌تواند مبنايي برای چینه‌شناسي، لیتولوژی، سني و ساختاری این مطالعات باشد که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور تهیه شده است.

- نقشه زمین‌شناسي ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم جعفریان (۱۳۷۳)، مربوط به رشته کوه آتشفشانی رسوبی ترود- چاه‌شیرین که توسط سازمان زمین‌شناسي و اکتشافات معدني کشور تهیه شده است.

شمعانیان اصفهانی (۱۳۸۱)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه گندی و ابوالحسنی را مطالعه کرد و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کردند.

قربانی (۱۳۸۴)، ولکانیسم ائوسن در منطقه ترود، جنوب دامغان را در قالب رساله دکتری پترولوژی مطالعه کرده و آنها را از نوع کالک‌آلکالن و آلکالن مي‌داند.

امام جمعه (۱۳۸۵)، کانی‌سازی مس در منطقه چاه‌موسي را مطالعه کرده و تیپ کانیسازی را از نوع رگه‌ای گرمابي معرفي کرده است.

جعفریان و ولی زاده (۱۳۶۸)، سنگ‌های آذرین محور ترود– کوه‌زر (باغو) را مورد مطالعه قرار داده و حجم اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را آندزیت، ماهیت ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه را کالک‌آلکالن و جایگاه تکتونیکی تشکیل آنها را به کمان آتشفشانی قاره‌ای نسبت داده‌اند.

طالع ماسوله و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه خود تحت عنوان مطالعه زمین‌شناسي اقتصادی کانسار مس چاه‌گله شمال غرب ترود که خواستگاه این کانسار را محلول‌های گرمابي با درجه حرارت نه چندان زیاد فرض نموده که از سنگ‌های آتشفشاني نوع آندزیتي و تراکي‌آندزیتي منشا گرفته است.

قاسم سیانی و مهرابی (۱۳۸۹)، کاني‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه چشمه حافظ را مطالعه کردند و تیپ کاني‌سازی را اپي‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفي کردند.

ناهیدی فر (۱۳۹۳)، در پژوهشي تحت عنوان کاني‌شناسي، ژئوشیمي و ژنز کانسار مس دیان در قالب پایان‌نامه کارشناسي‌ارشد، کانسار دیان را یک کانسار مس رگه‌ای معرفي نموده است.

یاراحمدی (۱۳۹۴)، تحت عنوان بررسی روش‌های کیفی و کمی سنجش از دور در شناسایی واحدهای سنگی زمین‌شناختی در منطقه کوه‌زر جنوب دامغان در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، نشان می‌دهد که استفاده همزمان از روش‌های کیفی و کمی داده‌های سنجش از دور می‌تواند در کاهش هزینه‌های پیمایش صحرایی تهیه نقشه زمین‌شناسی نقش داشته باشد.

عبداللهی (۱۳۹۵)، در قالب پایان‌نامه کارشناسي‌ارشد کانسار مس و آهن رباعي را مطالعه کرده و این کانسار را یک کانسار گرمابي رگه‌ای معرفي نموده است.

اصغری (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسار مس چاه‌گَبری را مطالعه کرده و این کانسار را یک کانسار مس رگه‌ای معرفی نموده است.

مهابادی (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، کانسار مس آبگاره در جنوب

دامغان را مطالعه کرده و آن را به یک سامانه رگه‌ای در یک محیط اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین نسبت داده است.

خرم‌تاش (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، کانسار مس ساغری جنوب شاهرود را مطالعه کرده است که کانه‌زایی در این محدوده مربوط به سیالات گرمابی می‌باشد که سبب تشکیل کانه‌زایی رگه‌ای مس از نوع گرمابی رگه‌ای سولفیداسیون پایین شده است.

اسدا...نژاد (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، کانسارهای مس منطقه قله‌چیلی را مطالعه کرده است، که کانه‌زایی‌های مس از نوع رگه‌ای گرمابی و نوع طبقات سرخ آتشفشانی (Volcanic Red Bed) را در این منطقه معرفی کرده است.

سرنخشی(۱۳۹۸)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، کانسار مس کلوت بلند جنوب دامغان را با عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل مطالعه کرده و آن را در دسته کانسارهای رگه‌ای گرمابی سولفید پایین در نظر گرفته است.

مسکینی (۱۳۹۸)، در پژوهشی تحت عنوان زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قیصری در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، این کانسار را رگه‌ای گرمابی معرفی کرده است.

۱ـ۸ طرح مساله و هدف از مطالعه

با توجه به اینکه در محدوده مس چاه‌شیرین مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی وجود ندارد و تنها گزارش اکتشافی توسط شرکت چهار مس دامغان در سال ۱۳۹۲ تهیه شده است بنابراین انجام بررسی‌های دقیق زمین‌شناسی در این محدوده مورد توجه قرار می‌گیرد. این تحقیق بر پایه مشاهدات صحرایی، نمونه‌برداری، مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیایی محدوده خصوصیات پتروگرافی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۱ـ۹ روش مطالعه

ترتیب مطالعات انجام گرفته و روش تحقیق به شرح زیر انجام می‌شود:

۱ـ۹ـ۱ جمع‌آوری اطلاعات

ـ جمع‌آوری اطلاعات شامل کتب و مقالات مطرح شده در ارتباط با موضوع تحقیق مورد مطالعه.

ـ استفاده از نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به منطقه مورد مطالعه به منظور دست یافتن به دید کلی منطقه.

ـ ارتباط گرفتن با زمین‌شناسان متخصص و صاحب‌نظر در زمینه موضوع مورد مطالعه و استفاده از اطلاعات آنها.

۱ـ۹ـ۲ مطالعات صحرایی

کنترل و بررسی منطقه چاه‌شیرین در چند مرحله انجام گرفته است:

ـ بازدیدهای مقدماتی با هدف شناخت محدوده مورد مطالعه و کلیات زمین‌شناسی منطقه در دو نوبت در تاریخ ۹۸/۲/۵ و ۹۸/۸/۲۵.

ـ شناسایی و تشخیص واحدهای سنگی، دگرسانی و کانه‌زایی و اثربخشی آنها در منطقه.

ـ انجام نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی بیشتر از ۵۰ نمونه دستی براساس تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، گرسانی جهت مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و ژئوشیمیایی (تعیین مختصات توسط GPS).

ـ نقشه بزرگ مقیاس ترسیم شده (۱:۲۰۰۰) زمین‌شناسی کانسار با استفاده از نرم‌افزارهای Google Earth، Arc GIS.

ـ کنترل نهایی منطقه جهت بررسی نتایج بدست آمده.

ـ مطالعه ساخت و بافت کانه‌ها در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی.

ـ تهیه نقشه بزرگ مقیاس (۱:۲۰۰۰) زمین‌شناسی ـ معدنی محدوده موردنیاز با

استفاده از نرم‌افزارهای Google Earth، Arc GIS.

ـ نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌ها، گسل‌ها و مغزه‌های حفاری به منظور مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای دستگاهی.

ـ بازدید نهایی از منطقه جهت کنترل نتایج بدست آمده.

۱ـ۹ـ۳ مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

پس از نمونه‌برداری براساس اهداف مطالعه، بررسی‌های مختلفی صورت گرفته است که هدف کار و محل آنالیز هر یک بحث می‌شود.

ـ تهیه تعداد ۱۴ مقطع نازک و صیقلی از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و دگرسانی در دانشگاه صنعتی شاهرود.

ـ تهیه ۴ مقطع نازکـ صیقلی و دوبر صیقل در کارگاه مقطع‌گیری دانشگاه دامغان برای مطالعه توالی پاراژنتیک کانه‌ها، سنگ میزبان و سیال درگیر.

ـ انجام تجزیه دستگاهی تعداد ۹ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) [۱]، به منظور تعیین کانه‌های اصلی و فرعی کانسنگ و دگرسانی‌ها در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران وابسته به سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو).

ـ انجام تجزیه دستگاهی فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) [۲]، به تعداد ۵ نمونه به منظور تعیین میزان اکسیدهای اصلی و بررسی ژئوشیمی سنگ میزبان در شرکت بیم گستر تابان.

ـ انجام تجزیه دستگاهی طیف سنج جرمیـ پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MSS) [۳]، و طیف سنج نوریـ پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) [۴]، به تعداد ۱۵ نمونه جهت تعیین عیار عناصر مختلف و چگونگی تغییرات آن‌ها در کانسار توسط آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی و شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما.

---

[1] X-ray Diffraction(XRD)

[2] X-ray Fluorescence(XRF)

[3] Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry(ICP- MS)

[4] Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

ـ انجام مطالعات سیال درگیر [1]، تعداد ۲ نمونه بر روی کانی‌های مناسب در آزمایشگاه تحقیقاتی زمین‌شناسی اقتصادی و میانبارهای سیال دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱ـ۹ـ۴ مطالعات دفتری

ـ تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده و تعبیر و تفسیر داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند Grapher، GCDkit، Excel و GIS

ـ ترکیب داده‌های حاصل از بررسی و تحلیل نتایج مطالعات صحرایی، پتروگرافی و آنالیزهای ژئوشیمیایی جهت نمایش مدل کانه‌زایی و نتیجه‌گیری نهایی.

ـ نگارش پایان‌نامه با استفاده از نرم‌افزار Latext.

[1] Fluid inclusions

فصل ۲

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲ـ۱ مقدمه

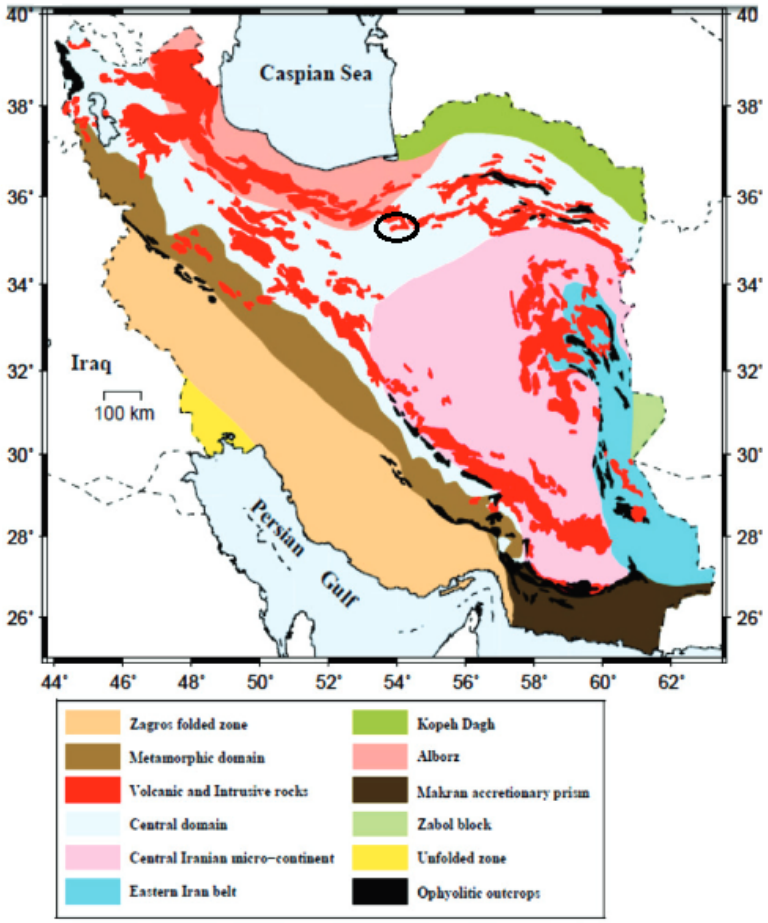
ایران به‌عنوان پل ارتباطی بین گندوانا و لورازیا، در طی تکامل و تحول ژئوتکتونیکی سپری شده بر این دو ابر قاره، دستخوش تغییرات فراوان شده است. تاثیرات حاصل از این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به پنج پهنه اصلی و دوازده پهنه فرعی ساختاری‌ـ رسوبی است (آقانباتی، ۱۳۸۳). کانسار مس چاه‌شیرین در نوار آتشفشانی‌ـ رسوبی ترود‌ـ چاه‌شیرین و حاشیه شمالی پهنه ساختاری رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. در این منطقه و نواحی اطراف آن رخنمون‌های سنگی مربوط به ادوار مختلف زمین‌شناسی کم و بیش گسترش قابل توجهی دارد، آغاز این رخنمون‌ها با ردیف‌های دگرگون پرکامبرین می‌باشد و نهایتاً با نهشته‌های رسوبی عهد حاضر خاتمه می‌یابد، که می‌توان شاهد فرآیندهای مختلف متالوژنی و در نتیجه کانی‌زایی‌های گوناگون در مقیاس‌های مختلف بود. گسل‌خوردگی و پیدایش گسل‌های عمده در شمال و جنوب منطقه تاثیر زیادی بر واحدهای سنگی داشته است (شرکت چهار مس دامغان،

۱۳۹۲). نوار فوق در راستای دو گسل انجیلو در شمال و ترود در جنوب با روند شمال شرق- جنوب غربی (N۶۰°- ۷۰°E) قرار دارد (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷). در ادامه به شرح ویژگی‌های پهنه ساختاری ایران مرکزی در مقیاس ناحیه‌ای و رشته‌کوه آتشفشان- رسوبی ترود- چاه‌شیرین براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته- رِشم و ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود پرداخته خواهد شد.

۲-۲ ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی

یکی از بزرگترین پهنه‌های ساختاری رسوبی ایران، پهنه ایران مرکزی است که تمام دوره‌های زمین‌شناسی با فرآیندهای مختلف کوهزایی، دگرگونی و ماگماتیسم در آن اتفاق افتاده است (شکل ۲-۱). این پهنه، همانند مثلثی از شمال به رشته کوه البرز و از جنوب و جنوب غرب به سنندج سیرجان (Stöcklin، ۱۹۶۸) و از شرق به بلوک لوت (نبوی، ۱۳۵۵) ختم می‌شود.

اشتوکلین (۱۹۶۸) اظهار می‌کند خردقاره ایران مرکزی پس از سخت‌شدن پی‌سنگ پرکامبرین در زمان پالئوزوییک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان‌های مزوزوییک و سنوزوییک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده است. با این وجود، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرد قاره از نوع بلوک‌های جدا شده از جمله بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام و بلوک یزد همراه با گسل‌های عمده است. بنابراین هر کدام از بلوک‌ها ویژگی جداگانه دارند و پویایی خردقاره در همه جا یکسان نمی‌باشد. در این ایالت‌ها کانی‌سازی‌های گسترده‌ای از جمله سرب و روی، منگنز، طلا، مس، باریت و ... می‌باشد که در چندین برهه زمانی رخ داده‌اند (قربانی،۱۳۸۶).



شکل ۲-۱: نقشه پهنه‌بندی ساختاری- رسوبی ایران مرکزی و موقعیت محدوده مس چاه‌شیرین در نوار ترود- چاه‌شیرین (آقانباتی، ۱۳۸۰)

۲-۳ ویژگی‌های عمومی رشته کوه آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین

۲-۳-۱ جایگاه تکتونیکی

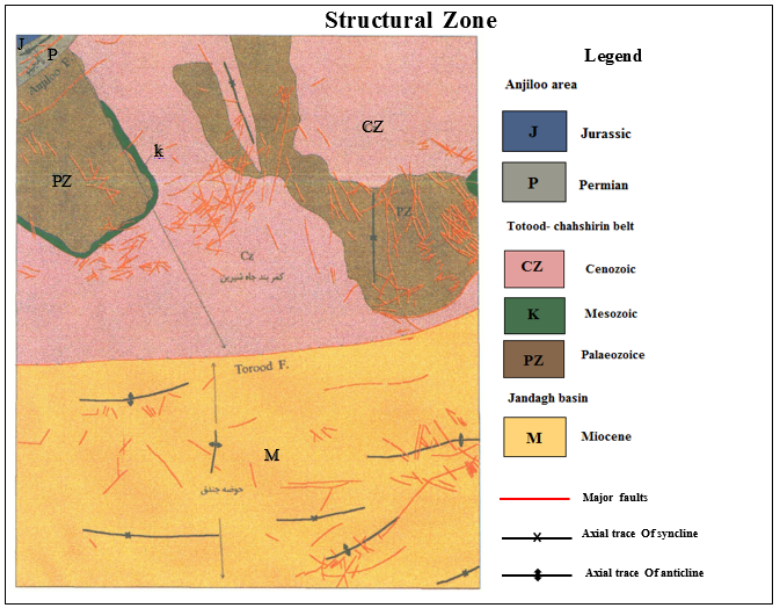
رشته کوه ترود- چاه‌شیرین در تقسیمات زون‌های ساختاری جزئی از پهنه ایران مرکزی (آقانباتی، ۱۳۸۰)، ماگماتیسم مرکزی (نوگل سادات، ۱۹۹۳)، کمان ماگمایی البرز (Shamanian et al.، ۲۰۰۴) و کمان ماگمایی جدا شده از ارومیه دختر به وسیله کشیدگی میان کمانی (Hassanzadeh et al.، ۲۰۰۵) ایران محسوب می‌شود. این کمان از شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل ترود با روند N

°۷۰ E محدود می‌شود (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).

کانسار مس چاه‌شیرین در منتهی‌اله غربی نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین و حاشیه شمالی پهنه ساختاری رسوبی ایران مرکزی و بخش مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم واقع شده است. این حوضه خود به سه بخش کوچک‌تر (شکل ۲-۲) تقسیم می‌شود: اولین حوضه، حوضه فروافتادگی جندق است که دریای میوسن آن را فرا گرفته و رسوبات کم‌عمق شامل ضخامت زیادی از مارن، ماسه‌سنگ، نمک و گچ در آن بر جای گذاشته است. این فروافتادگی را با روند شرقی- غربی می‌توان گرابن در نظر گرفت. دومین حوضه در قسمت شمال حوضهٔ جندق کمربند ترود چاه‌شیرین نام دارد. روند این کمربند شرق شمال‌شرقی- غرب جنوب‌غربی می‌باشد. از لحاظ ریخت‌شناسی این حوضه یک هورست نامیده می‌شود، زیرا مابین دو فروافتادگی کویر جندق (جنوب) و کویر چاه‌جم (شمال) قرار دارد. مرز این حوضه با کویر جندق را گسل ترود و مرز آن با کویر چاه‌جم در شمال را گسل انجیلو کنترل می‌کند. این حوضه چندین مرحله تحولات زمین‌شناسی را تحمل کرده و باعث ایجاد روند شمالی- جنوبی در واحدهای سنگی شده است که محدوده اکتشافی چاه‌شیرین در این حوضه قرار می‌گیرد. حوضهٔ سوم، کویر چاه‌جم و رشته کوه‌های انجیلو است و توسط گسل انجیلو از کمربند ترود چاه‌شیرین جدا شده است.

۲-۳-۲ سیستم گسل‌خوردگی‌ها و چین‌ها

کانسار مس چاه‌شیرین بخشی از حاشیه شمالی ایران مرکزی در زون سبزوار واقع گردیده است. گسل‌ها و چین‌های متعددی در این محدوده اکتشافی به چشم می‌خورد که ناشی از وقایع تکتونیکی منطقه می‌باشد. واحدهای سنگی حوضهٔ چاه‌شیرین مابین دو گسل انجیلو و ترود با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب قرار گرفته‌اند. گسل ترود به سمت شرق و گسل انجیلو به سمت غرب تداوم دارند. عامل اصلی ایجاد دگرشکلی ناحیه‌ای در ارتباط با عملکرد این دو گسل می‌باشد. رخداد گسل‌خوردگی و پیدایش گسل‌های عمده در شمال و جنوب منطقه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روند محور چین‌ها و گسل‌های قدیمی در منطقه داشته است. بنابراین این دگرشکلی‌ها تنها با عملکرد



شکل ۲-۲: پهنه ساختاری حوضه ترود- چاه‌شیرین براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳).

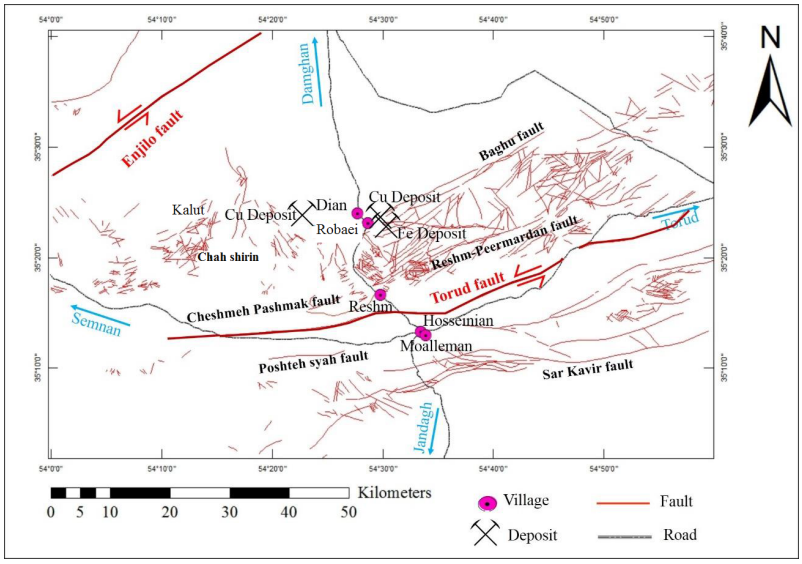
گسل امتداد لغز ترود و انجیلو قابل توصیف است (شرکت چهار مس دامغان، ۱۳۹۲). برخی از زمین‌شناسان تغییر روند یاد شده را در اثر چرخش بلوک بین دو گسل ترود و انجیلو می‌دانند و به حرکت چپ‌گرد آنها طی چند مرحله نسبت می‌دهند (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۳-۲-۱ گسل‌ها

در منطقه مس چاه‌شیرین گسل‌ها و چین‌های متعددی به چشم می‌خورد که ناشی از فعال بودن رشته کوه ترود- چاه‌شیرین از لحاظ تکتونیکی می‌باشد (شکل ۲-۳). در ادامه به شرح برخی از گسل‌های مهم این رشته کوه پرداخته می‌شود (جعفریان، ۱۳۷۳).

- گسل‌های ترود و انجیلو

گسل‌های ترود و انجیلو هر دو دارای امتداد تقریبی N۶۰-۷۰E با شیب ۸۰ درجه و امتداد لغز چپ‌گرد به سمت جنوب شرق می‌باشد (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).



شکل ۲ـ۳: نقشه گسل‌های موجود در رشته کوه ترودـ چاه‌شیرین، تهیه شده بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم و تصاویر ماهوارهای Earth Google (عبداللهی ۱۳۹۵)

ـ گسل سیاه پشته

این گسل که در مسیر کلوت به سپیدلتو مشاهده می‌شود، که در حدود ۱۲ کیلومتر از طول آن رخنمون دارد. یک شکستگی اصلی قدیمی است که تعیین نوع و چگونگی عملکرد آن به خوبی مشخص نیست (جعفریان، ۱۳۷۳).

ـ گسل باغو

در شمال ورقه با راستای N۷۰-۹۰E شیب نزدیک به قائم، پایین افتادن بخش شمالی گسل را در پی داشته است و در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه‌های دربردارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها بطور تقریباً همزمان انجام گرفته است.

۲-۳-۲-۲ چین‌های موجود در منطقه

- ناودیس کوچک دیان

ناودیس کوچک دیان در شرق دیان قرار دارد و در واحدهای سنگی ولکانیکی- رسوبی ائوسن پدید آمده است و محور آن دارای روند غربی شمال غربی- شرقی شمال شرقی است (جعفریان، ۱۳۷۳).

- ناودیس جنوب باختر ورقه

ناودیس‌هایی که در مارن‌های میوسن پدید آمده‌اند از گسترش زیاد برخوردار هستند. گنبد نمکی در هسته آنها نفوذ کرده است (جعفریان، ۱۳۷۳).

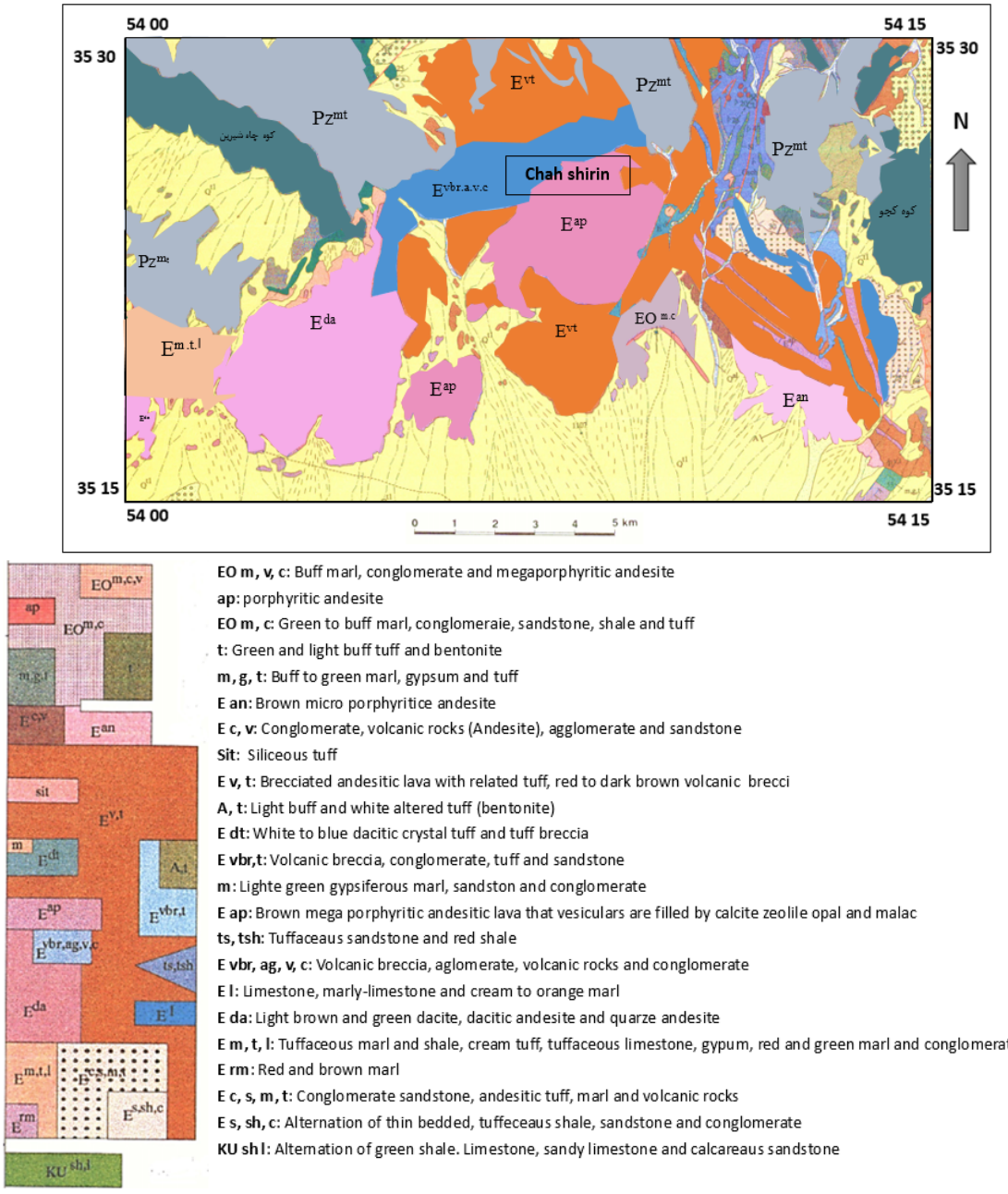
- ناودیس انجیلو

نهشته‌های سنگ آهکی پرمین در گوشه شمال غربی ورقه در اثر شدت فشردگی به صورت یک ناودیس مرتفع شکل گرفته است.

در نیمه جنوبی ورقه در رسوبات مارن و ماسه‌سنگی میوسن چندین ساخت تاقدیسی بزرگ شکل گرفته است که معمولاً در هسته آنها گنبدهای نمکی نفوذ کرده است. در رشته ترود- چاه‌شیرین به دلیل نفوذ توده‌های کم‌عمق، دایک‌های فراوان و ناهمگن بودن نهشته‌های ائوسن، ساختمان‌های چین‌خورده با شکستگی‌های زیادی همراه هستند، بنابراین امکان نمایش دادن محور چین‌ها وجود ندارد (جعفریان، ۱۳۷۳).

۲-۴ چینه‌شناسی نوار آتشفشانی ترود- چاه‌شیرین

جهت بررسی چینه شناسی محدوده به تشریح نقشه زمین‌شناسی کلاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳) از قدیم به جدید می‌پردازیم (شکل ۲-۴):



شکل ۲ـ۴: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم و نمایش موقعیت کانسار مس چاه شیرین (جعفریان، ۱۳۷۳)

۲ـ۴ـ۱ واحد کرتاسه

در محدوده چاه‌شیرین، تناوب مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک ماسه‌ای همراه با میان‌لایه‌های مارنی فسیل‌دار به کرتاسه زیرین تعلق دارد که به‌صورت دگرشیب بر

روی دگرگونی‌های قدیم قرار گرفته است و خود با دگرشیبی لایه‌های جدید پوشیده شده است. در دره رباعی، شیل سبز رنگ، لایه‌های نازک تا ضخیم آهک، آهک مارنی با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی و ماسه آهکی فسیل‌دار (شکم‌پایان، آمونیت‌ها، خارپوستان و مرجان‌ها) سن کرتاسه بالایی را نشان می‌دهد.

۲-۴-۲ واحد ائوسن

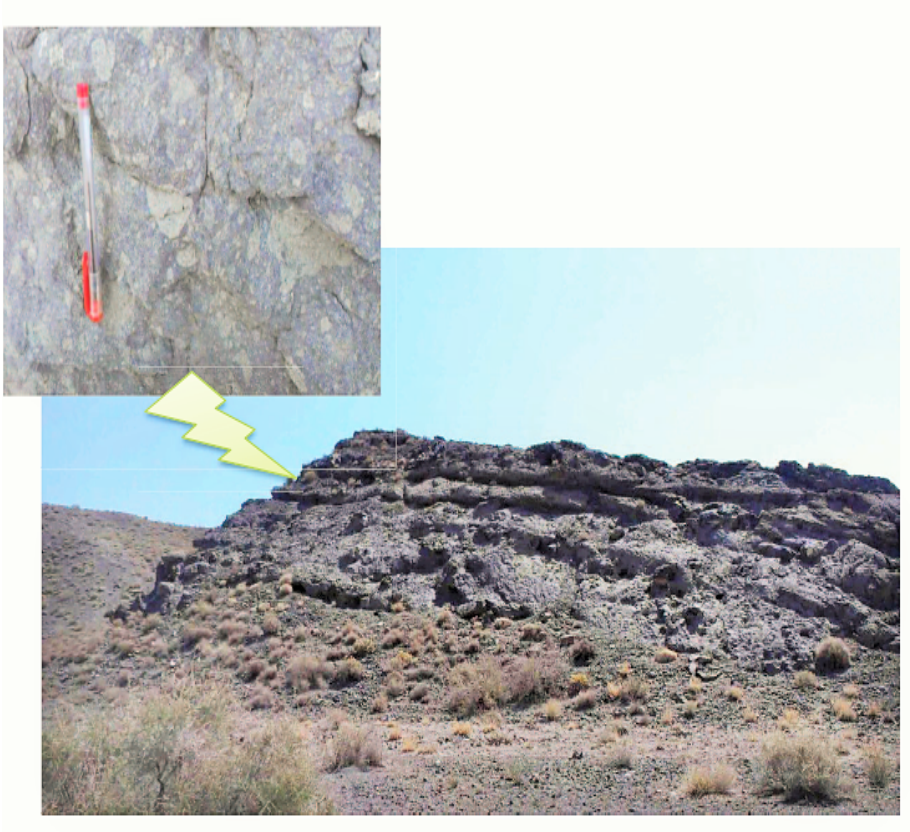
واحدهای سنگی ولکانیکی، آذرآواری و رسوبی ائوسن در محدودهٔ ورقه کلاته‌رشم از گسترش و تنوع زیادی برخوردارند. آن چنان که بخش عمده سطح نیمه شمالی ورقه را به خود اختصاص داده‌اند. این ردیف ولکانیکی- رسوبی به‌گونه دگرشیب، واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند. ضخامت این مجموعه را شاید بتوان نزدیک به ۳ کیلومتر برآورد نمود. واحدهای آتشفشانی ائوسن با تناوبی از گدازه، برش آتشفشانی و توف به‌صورت هم‌شیب و یا دگرشیبی، واحدهای قدیمی را می‌پوشاند (شکل ۲-۵ و ۲-۶). در این مجموعه سنگ‌های تخریبی و ماسه سنگ‌ها به‌صورت بین لایه‌ای در این واحد دیده می‌شود.

۲-۴-۳ واحد ائوسن- الیگوسن

از یک مجموعه واحدهای سنگی مارن، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، توف و سنگ‌های ولکانیکی با ضخامت کم تشکیل شده‌اند. در دامنه جنوبی ارتفاعات چاه‌شیرین دیده می‌شوند که در برخی نقاط به طور ناپیوسته بر روی واحدهای سنگی مربوط به ائوسن قرار می‌گیرد. لایه‌هایی از توف در این محدوده زمانی وجود دارد که نشانه فعالیت آتشفشانی کم در منطقه است.

۲-۴-۴ نهشته کواترنر

جدیدترین رسوبات منطقه متشکل از کنگلومرا دانه ریز و مارن، نهشته‌های آبرفتی بستر دره‌ها را می‌سازند. این رسوبات به‌صورت دگرشیب واحدهای قدیمی منطقه را پوشانده و زمین‌های مسطح پست را بوجود آورده است. رسوبات در محدودهٔ ورقه از



شکل ۲ـ۵: واحد برش‌های آتشفشانی

شکل ۲ـ۶: رخنمون توف‌های دگرسان‌شده

گسترش و ضخامت بسیار کمی برخوردار هستند.

۲-۵ توان معدنی نوار ترود- چاه‌شیرین

ناحیه کلاته رشم در یک زون کانی‌سازی واقع است که از عباس‌آباد آغاز و پس از عبور از بیارجمند و ترود به جنوب گرمسار خاتمه می‌یابد. در ورقه کلاته‌رشم، آثار معدنی یا معادن موجود به دو گروه فلزی و غیرفلزی تقسیم می‌شود (جعفریان، ۱۳۷۳) که به‌صورت خلاصه شرح داده شده است.

۲-۵-۱ کانی‌سازی فلزی

پیدایش معادن فعال نظیر کانسارهای آهن، مس، سرب و ...، اندیس‌ها و معادن قدیمی را می‌توان در گروه کانی‌های فلزی قرار داد. این کانسارها در رابطه با فعالیت‌های آذرین (ائوسن و الیگوسن) می‌باشند.

- کانی‌سازی آهن

در ناحیه خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته در کوه‌های روباچ، بابااحمد، کمانجیر، سنگ کمر و هشده آثاری از کانی‌زایی آهن دیده می‌شود. کانی‌سازی آهن در سنگ‌های کربناته تمرکز یافته است. فعالیت‌های گرمابی در ارتباط با نفوذ توده‌های آذرین سبب کانی‌زایی فلزی در این ناحیه شده است. نفوذ دایک‌های متعدد با ترکیب آندزیت و دیوریت و یا نفوذ آپوفیرهای توده دیوریتی در سنگ‌های آهکی و آهکی- شیلی ناحیه هشده منجر به پیدایش این کانی‌سازی شده است. دایک‌ها در اغلب شکستگی‌ها و گسل‌های کوه بابااحمد و در داخل مجموعه آهکی و دولومیت سیلورین نفوذ کرده‌اند و در پیرامون آنها کانی‌سازی آهن (هماتیت) پدیدار شده است. اکسیدهای آهن در پیرامون دایک‌ها بیشتر به‌صورت هماتیت (رگه‌های نازک الیژیست در شکستگی‌ها) و گاهی لیمونیت می‌باشند. محلول‌های گرمابی فلزدار که آخرین محلول نهایی هستند پس از انجماد مواد مذاب از آن جدا شده و مواد فلزی در پیرامون دایک‌ها بجا گذاشته شده‌اند. کانی‌سازی به‌صورت رگه‌های کوچک در شکستگی‌ها و گسل‌های کوچک رخ داده است. ترکیب اصلی این کانسار هماتیت است و ممکن است در عمق به‌صورت

مانیتیت نیز پدیدار شده باشد (جعفریان، ۱۳۷۳). از کانسارهای آهن این محدوده می‌توان به آهن رباعی (بادوزاده کانرش و حسین نژاد، ۱۳۹۰) و چالو (تقی پور، ۱۳۹۰) اشاره کرد که در اثر نفوذ توده‌های نیمه عمیق دیوریتی به داخل سنگ‌های آهکی، اسکارن‌زایی آهن رخ داده است.

ـ کانی‌سازی مس

در محدوده ورقه کلاته‌رشم آثاری از معدنکاری قدیمی (شدادی) و سرباره‌های موجود، نشانگر تاریخچه معدنکاری مس است. این فعالیت‌ها در سنگ‌های ولکانیک ائوسن در نیمه غربی ورقه نمود بیشتری دارد. اکتشاف زیادی در ناحیه پیرامون این مادهٔ معدنی صورت پذیرفته و معدن معروف مس کلوت نیز در گذشته مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. اما با وجود نشانه‌های زیادی که از کانی‌سازی مس در این ناحیه دیده می‌شود متاسفانه شواهدی از ذخیره و ابعاد قابل ارزش، ردیابی نشده است. در کلوت بلند نیز آغشتگی‌هایی از کانه‌های مس در سنگ درونگیر آندزیت بر اثر نفوذ دایک‌های با ترکیب حدواسط در سنگ‌های ولکانیک ائوسن و یا سنگ‌های قدیمی صورت گرفته است لذا می‌توان آن را به پس از فعالیت‌های ولکانیکی ائوسن نسبت داد. اثر این کانی‌سازی معمولا به‌صورت مالاکیت و آزوریت است و شکل ماده معدنی به‌صورت رگه‌ای دیده می‌شود. از دیگر کانسارهای این ورقه می‌توان به مس دیان (ناهیدی فر، ۱۳۹۳) و چاه‌گله (طالع ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد که کانی‌زایی به‌صورت رگه‌ای رخ داده است. به‌طور کلی آثاری از کانی‌سازی مس به وفور وجود دارد ولی از حجم و عیار پایین (حتی کمتر از ۱ درصد) برخوردار است و ذخیره قابل ملاحظه‌ای را نمی‌توان مشاهده کرد.

ـ کانی‌سازی روی

در کوه انار واقع در شمال‌شرق روستای رشم کانی‌سازی روی به‌همراه سرب دیده می‌شود. نفوذ یک دایک بزرگ با ترکیب آندزیت در سنگ‌های کربناته این کوه سبب کانی‌زایی روی در اطراف دایک و سطوح شکستگی‌ها و درزه‌ها شده است. تاکنون بیشترین مقدار ذخیره روی در این محل استخراج شده که به‌میزان بسیار اندکی

بهره‌برداری می‌گردد. از دیگر موارد کانی‌سازی روی می‌توان به کانسار سرب و روی خانجار اشاره کرد. سنگ میزبان این کانسار آهک‌های کرتاسه است که به‌عنوان یک کانسار MVT معرفی شده است (راستاد و مهری، ۱۳۷۷).

ـ کانی‌سازی منگنز

کانسار منگنز هلالان در منطقه هلالان در یک افق اصلی، به شکل چینه‌سان و هم‌روند با لایه‌بندی رخ داده است که سنگ میزبان آن شیست، سنگ آهک و دولومیت‌های دگرگون شده به سن ژوراسیک زیرین می‌باشند. این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز تیپ کوبا دارد (مصدق، ۱۳۹۴).

۲ـ۵ـ۲ کانی‌سازی غیر فلزی

در ورقه ۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم (جعفریان، ۱۳۷۳)، توف‌های سفید رنگ دگرسان شده با ترکیب اسیدی در حد ریوداسیت و داسیت رخنمون دارند. در نقاطی که شرایط دگرسان شدن مناسب بوده است به‌صورت بنتونیت ظاهر شده‌اند که می‌توان معدن بنتونیت رشم، را نام برد. از دیگر کانی‌های غیرفلزی می‌توان به رگه‌های سیلیسی اشاره کرد. رگه‌های سیلیسی در نقاطی که سنگ‌های شیستی پالئوزوئیک گسترش دارند دیده می‌شود. شیست‌های مذکور عمدتاً در رشم و نواحی چاه‌شیرین در برخی نقاط از کیفیت خوب و گسترش زیادتری برخوردار هستند. همچنین چندین گنبد نمکی در نیمه جنوبی ورقه رخنمون دارد که معمولاً ضخامتی از لایه‌های گچی بر روی آنها دیده می‌شود که در صورت اقتصادی بودن، قابل مطرح است.

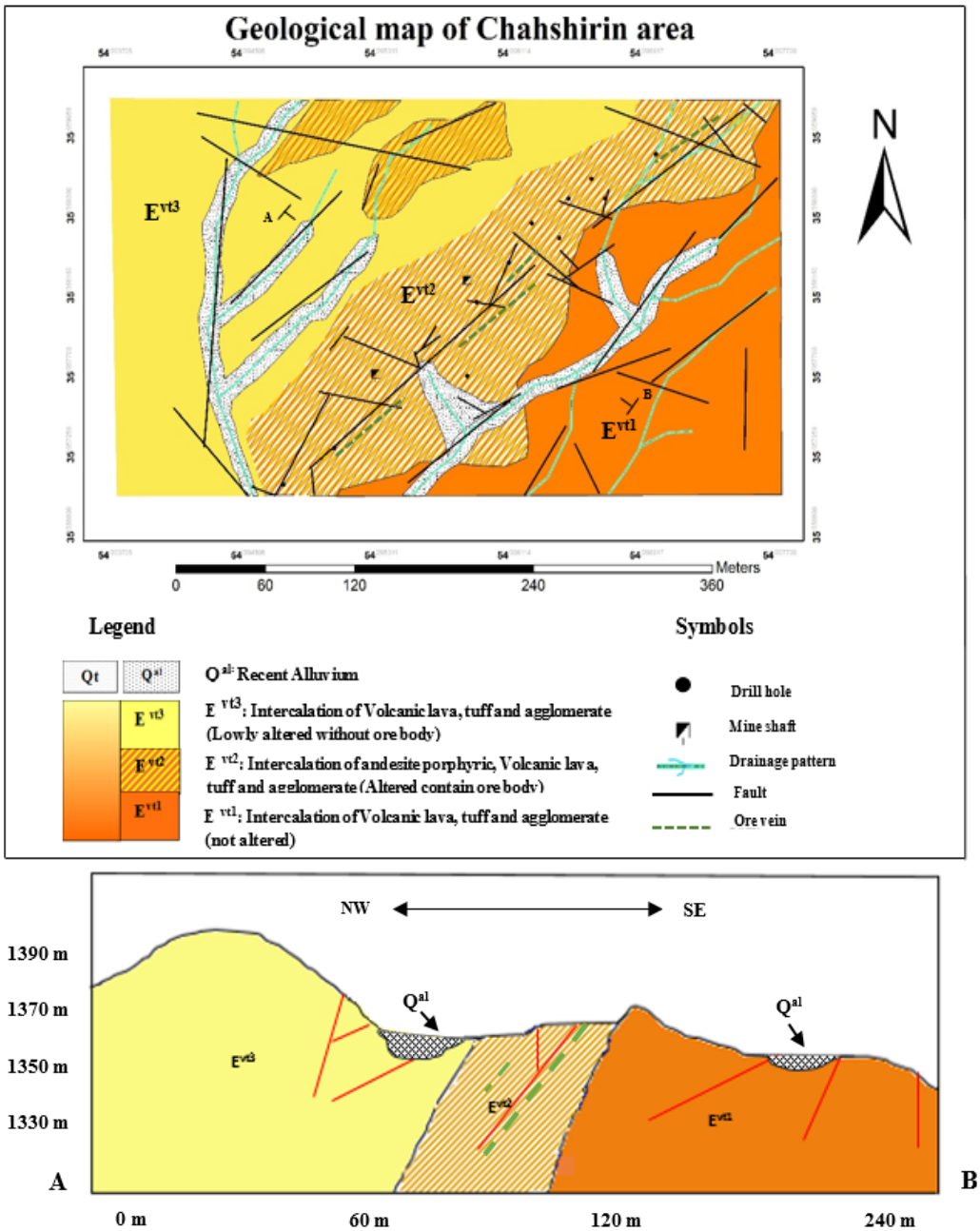
فصل ۳

زمین‌شناسی محدوده معدنی

۳ـ۱ مقدمه

اولین گام در انجام مطالعات پتروگرافی منطقه پس از بررسی‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و میکروسکوپی می‌باشد. بررسی واحدهای سنگی، روابط آنها، تکتونیک و رابطه آن با کانه‌زایی راهنمای بسیار خوبی برای درک و شناخت بهتر موقعیت مکانی و زمانی کانه‌زایی و پی‌جویی نقاط مشابه است. مطالعات پتروگرافی جهت بررسی ساخت، بافت و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها ضرورت دارد. محدوده اکتشافی چاه‌شیرین بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری در پهنه ایران مرکزی در توالی آتشفشان–رسوبی ائوسن و از نظر زمین‌شناسی در ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ کلاته رشم قرار دارد. در این بخش هدف از بررسی محدوده معدنی، مطالعه واحدهای سنگی، بررسی نحوه کانه‌زایی و ارتباط هر یک از پدیده‌ها با کانی‌سازی می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم و ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و عملیات صحرایی، نقشه زمین‌شناسی و نیمرخ عرضی محدوده معدنی تهیه

و تمام واحدهای سنگی به ترتیب سن از قدیم به جدید بررسی می‌شود (شکل ۳ـ۱).



شکل ۳ـ۱: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده اکتشافی

۳ـ۲ واحدهای سنگ چینه‌ای موجود در محدوده چاه‌شیرین

در محدوده اکتشافی چاه‌شیرین براساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس سه واحد اصلی با سن ائوسن و یک واحد کواترنری تفکیک شده است. مبنای این تفکیک شدت

دگرسانی و در نظر گرفتن سن واحدها می‌باشد. واحدهای سنگی از قدیم به جدید به شرح زیر می‌باشد:

۳ـ۲ـ۱ ائوسن

واحد $E^{vt۱}$

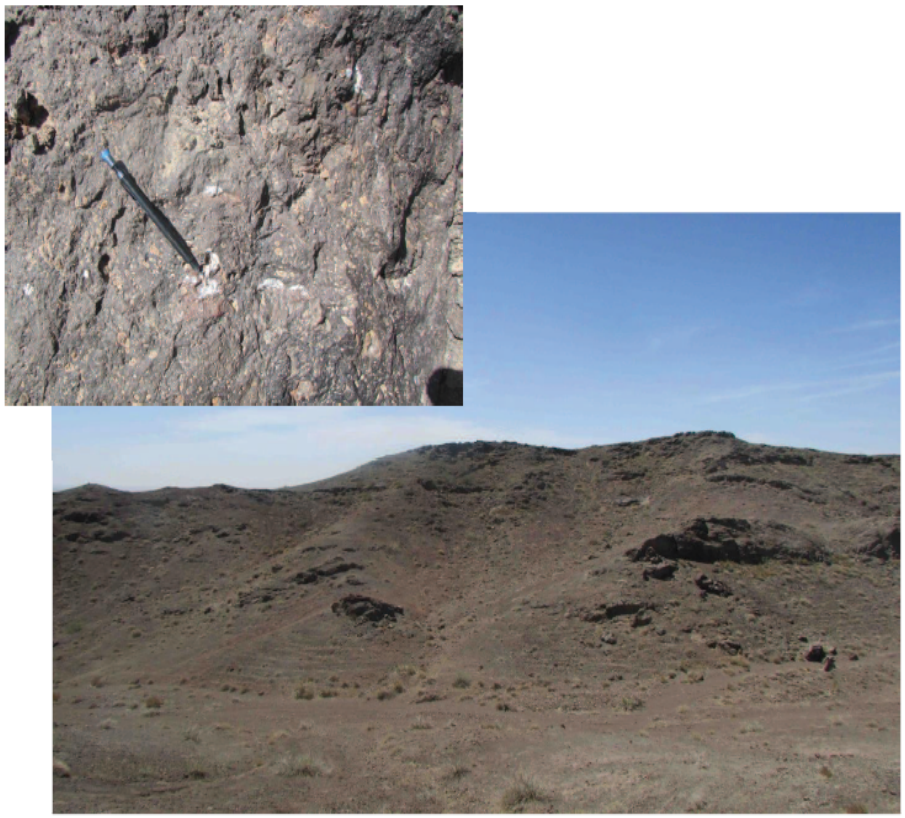
قدیمی‌ترین واحد سنگی در محدوده اکتشافی شامل تناوبی از گدازه‌های آتشفشانی با بافت پورفیری همراه سنگ‌های آذرآواری می‌باشد. رنگ رخنمون گدازه‌ها خاکستری تیره دیده می‌شود. گسترش این واحد در نیمه شرقی محدوده با روند شمال‌شرق– جنوب‌غرب می‌باشد. دگرسانی در این واحد سنگی رخ نداده است به همین دلیل از مقاومت فرسایشی بالایی برخوردار بوده و مورفولوژی تپه ماهوری را به نمایش می‌گذارد.

واحد $E^{vt۲}$

این واحد با سن ائوسن شامل جریان‌های متعدد گدازهٔ آندزیتی با بافت پورفیری می‌باشد. در بین این گدازه‌ها، لایه‌هایی از سنگ‌های آذرآوری توف و آگلومرا مشاهده می‌شود. این واحد به‌عنوان واحد اصلی و جوان مرتبط با ائوسن بر روی واحد $E^{vt۱}$ در قسمت شمال و مرکز نقشه قرار دارد (شکل ۳ـ۲). به‌عنوان میزبان اصلی کانه‌زایی در امتداد درزه، شکستگی و گسل‌ها با روند شمالی‌شرق– جنوب غربی حاوی ماده‌معدنی می‌باشد. دگرسانی به‌طور کلی در این واحد بر اثر عملکرد گسل‌ها توسعه یافته است. مورفولوژی آن به‌صورت تپه‌های کم ارتفاع و دامنه‌های با شیب کم تا متوسط می‌باشد.

واحد $E^{vt۳}$

این واحد از ترکیب کلی گدازه‌های آتشفشانی، توف و آگلومرا به رنگ خاکستری روشن تشکیل شده است. گسترش نسبتاً زیادی در بخش شمال غربی نقشه نشان می‌دهد. شدت دگرسانی در این واحد سنگی عمدتاً ضعیف و به ندرت در حد متوسط



شکل ۳ـ۲: تصویر صحرایی از رخنمون واحد $E^{vt۲}$ (دید به سمت شمال)

در آن توسعه داشته است.

۳ـ۲ـ۲ کواترنری

واحد Q^{al}

رسوبات بستر فعال کلیهٔ آبراهه‌ها، مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی که در شمال غرب و عمدتاً در جنوب غرب محدوده گسترش دارند، جوان‌ترین رسوبات عهد حاضر را در محدودهٔ اکتشافی در بر می‌گیرند. و از مجموعه رس و سیلت تا قطعات بلوک با جورشدگی و گردشدگی ضعیف و فاقد سیمان می‌باشد.

۳ـ۳ پتروگرافی سنگ‌های محدوده مس چاه‌شیرین

بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات پیشین، در محدوده معدنی چاه‌شیرین، تنوع سنگ‌شناسی و بافت سنگ‌ها ملاک تفکیک واحدها قرار گرفته است. در نگاه کلی این محدوده از نظر سنگ‌شناسی شامل گستره‌ای از گدازه‌های زیردریایی با طیف ترکیبی بازیک (بازالت)، حدواسط (آندزیت) به همراه رخنمون‌های از سنگ‌های آذرآواری (توف و آگلومرا) است که به شرح آنها پرداخته می‌شود. علائم اختصاری کانی‌ها در جدول ۳ـ۱ ذکر شده است (Whitney and Evans، ۲۰۱۰).

شکل ۳ـ۳: نمای کلی از واحدهای سنگی موجود در محدوده اکتشافی چاه شیرین (دید به سمت شمال)

جدول ۳ـ۱: حروف اختصاری واحدهای زمین‌شناسی مورد استفاده در شکل‌ها

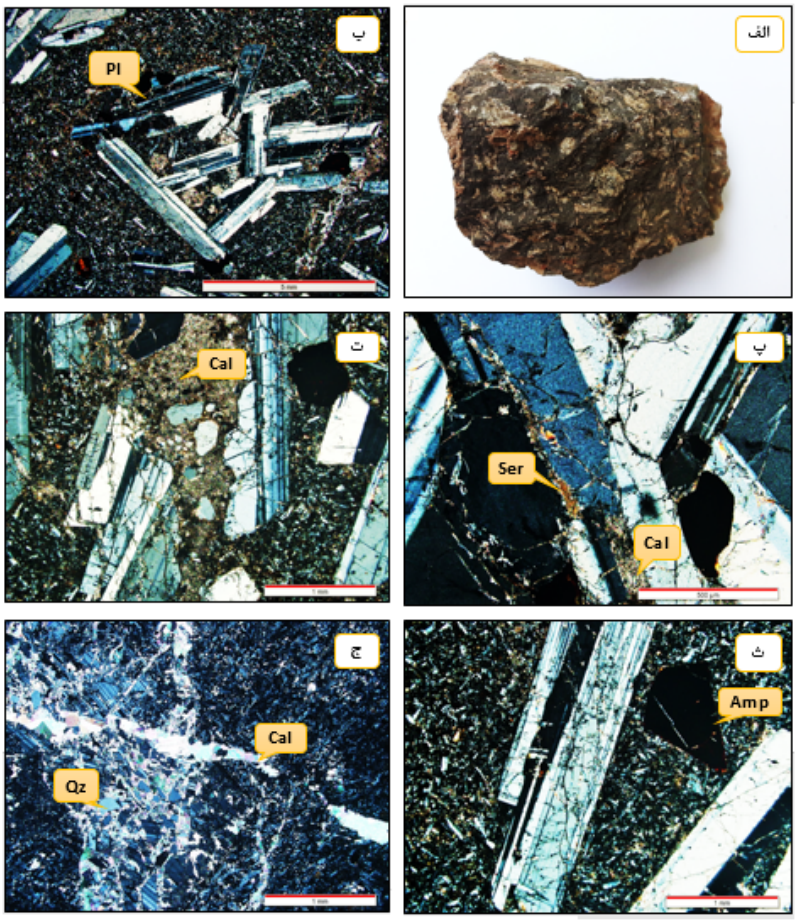
حرف اختصاری	نام کانی	حرف اختصاری	نام کانی	حرف اختصاری	نام کانی
Cct	کالکوسیت	Gth	گوتیت	Pl	پلاژیوکلاز
Ccp	کالکوپیریت	Lim	لیمونیت	Cal	کلسیت
Bn	بورنیت	Mlc	مالاکیت	Qz	کوارتز
Dg	دیژنیت	Chl	کلریت	Si	سیلیس
Mag	مگنتیت	Px	پیروکسن	Zeo	زئولیت
Hem	هماتیت	Ol	اولیوین	Amp	آمفیبول
$Fe-o$	اکسیدآهن	Ser	سریسیت	$Lithic$	قطعه سنگ
Opq	اُپک	Cv	کوولیت		

۳ـ۴ رده‌بندی سنگ‌ها براساس مطالعات میکروسکوپی و صحرایی

۳ـ۴ـ۱ سنگ‌های ولکانیکی

آندزیت: واحد سنگی اصلی و فراگیر در این ناحیه شامل گدازه‌آندزیتی با بافت پورفیری است که وجود این بافت در آندزیت‌ها نشانگر پایین بودن سرعت خروج ماگما می‌باشد (Gill، ۲۰۱۲). این سنگ در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود (شکل ۳ـ۴، الف). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به‌صورت درشت بلورهای خودشکل تا نیمه شکل در زمینه دانه ریز غنی از پلاژیوکلاز و کانی آمفیبول قرا دارد. میزان فنوکریست‌ها بین ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر می‌باشد. اندازه طولی بلورهای آن بین ۱ تا ۵ میلی‌متر است و از سایر کانی‌ها درشت‌تر هستند. طبق عقیده Shelly (۱۹۹۳) بزرگ بودن اندازه کانی‌ها یک فرآیند معمولی آذرین است که با تبلور تفریقی و ذوب قابل مقایسه است. تجمع فنوکریست‌های پلاژیوکلاز درقسمتی از سنگ نشان‌دهنده بافت گلومروپورفیری است (شکل ۳ـ۴، ب). این بافت به سبب وجود آشفتگی در مخزن ماگما ایجاد می‌شود (ناهیدی فر، ۱۳۹۳). دگرسانی در این واحد به‌صورت کربناتی و سریسیتی شدن کانی‌های اصلی سنگ در درزو شکاف‌ها دیده می‌شود (شکل ۳ـ۴، پ). به‌گونه‌ای که پلاژیوکلازها از حاشیه حالت خوردگی پیدا کرده و کلسیتی شدن به سمت مرکز بلور پیشروی کرده است (شکل ۳ـ۴، ت). آمفیبول به‌عنوان یک کانی فرومنیزین آبدار در این سنگ به شکل اُپاسیتی شده با حاشیه سوخته دیده می‌شود و یا به عبارتی به اکسیدهای آهن تبدیل می‌شود (شکل۳ـ۴، ث). اُپاسیته شدن به عقیده Kawabata (۲۰۰۵) می‌تواند ناشی از کاهش فشار H_2O در حین صعود ماگما و افزایش دما در طی اختلاط ماگمایی باشد. سیلیس و کلسیت کانی‌های ثانویه این سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۳ـ۴، ج) که حفرات و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های آندزیتی را در مرحله هیدروترمال پر می‌کنند (وزیری و احمدی، ۱۳۷۱).

بازالت: عموماً به دلیل ویسکوزیته کم، به‌صورت جریانی در محیط‌های خشکی



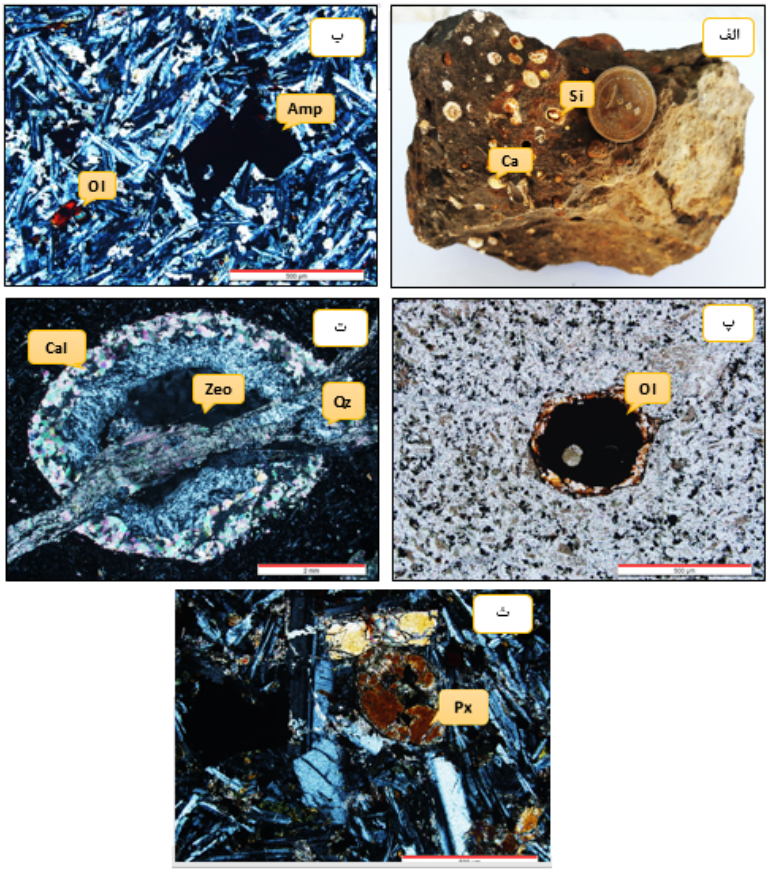
شکل ۳ـ۴: الف‌ـ نمونه دستی آندزیت با بلورهای پلاژیوکلاز، ب‌ـ فنوکریست‌های خودشکل تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک در زمینه دانه ریز با بافت گلومروپورفریتیک، پ، ت‌ـ بلورهای سلیبی شکل پلاژیوکلازها در حال خورد شدگی و تبدیل به سریسیت و کلسیت، ث‌ـ فنوکریست پلازیوکلاز با بافت پلی‌سنتتیک و غربالی به‌همراه آمفیبول اُپاسیتی‌شده، ج‌ـ کانی‌های ثانویه کوارتز و کلسیت به‌صورت شکافه پرکن (تمام تصاویر میکروسکوپی در نور XPL).

فوران می‌کنند و فراوان‌ترین شکل بازالت‌ها را جریان‌های گدازه‌ای تشکیل می‌دهد. بازالت‌های محدوده معدنی چاه‌شیرین به رنگ خاکستری تیره با بافت پورفیری یا میکرولیت پورفیری هستند (شکل ۳ـ۵، الف). از لحاظ ویژگی‌های پتروگرافی، این سنگ دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، الیوین ایدنگزیتی شده و آمفیبول اُپاسیتی شده است که در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و کانی‌های کدر قرار دارند (شکل ۳ـ۵، ب و پ). بلورهای اولیوین و آمفیبول به رنگ قهوه‌ای کاملا دگرسان شده دیده می‌شوند که دارای حاشیه سوخته و واکنشی هستند که محصول فرآیندهای دگرسانی در منطقه می‌باشند. پدیده ایدنگزیتی شدن در اطراف

کانی اولیوین به‌عنوان یک سیلیکات آهن منیزیم آبدار در نور طبیعی و پلاریزه، به رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای و قهوه‌ای متمایل به نارنجی (شکل ۳ـ۵، پ) در حال دگرسانی به اکسیدهای آهن سه ظرفیتی است (خان نصر اصفهانی و احمدی، ۱۳۸۴). فرآیند دگرسانی الیوین، توسط بلورهای ریز موجود در زمینه که هم به‌صورت سالم و هم ایدنگزیتی شده وجود دارند توجیه‌پذیر است. زیرا ایدنگزیتی‌شدن بلورهای فنوکریست در شرایطی رخ داده است که بر بلورهای ریز موجود در زمینه حاکم نبوده است. چون بلورهای ریز در زمینه واکنش‌پذیرتر از فنوکریست‌ها هستند (Edwards، ۱۹۳۸). در مطالعات میکروسکوپی، بافت بادامکی دیده می‌شود که این حفرات خالی توسط کلسیت و کوارتز پرشده‌اند. همانطور که قبلا گفته شد بافت حفره‌ای از ویژگی‌های سنگ‌های آتشفشانی است و منعکس‌کنندهٔ حضور حباب‌های گاز به تله افتاده ماگما در خلال انجماد می‌باشد. سپس کلسیت در دیواره حفرات به صورت ثانویه تشکیل می‌شود و کوارتز به‌صورت نواری بر روی باند کلسیتی در بخش داخلی حفره یا ژئود قرار می‌گیرد. در نهایت بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و فشارهای لیتواستاتیکی، شکستگی ایجاد می‌شود که این شکستگی‌ها منجر به نفوذ سیال و و محلول‌های غنی از کربنات شده و سبب تشکیل رگه کلسیتی و بافت بادامکی می‌شود (شکل ۳ـ۵، ت). عمدتاً پلاژیوکلاز و ریز بلورهای پیروکسن زمینه سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۳ـ۵، ث).

۳ـ۴ـ۲ سنگ‌های ولکانیکی- پیروکلاستیکی

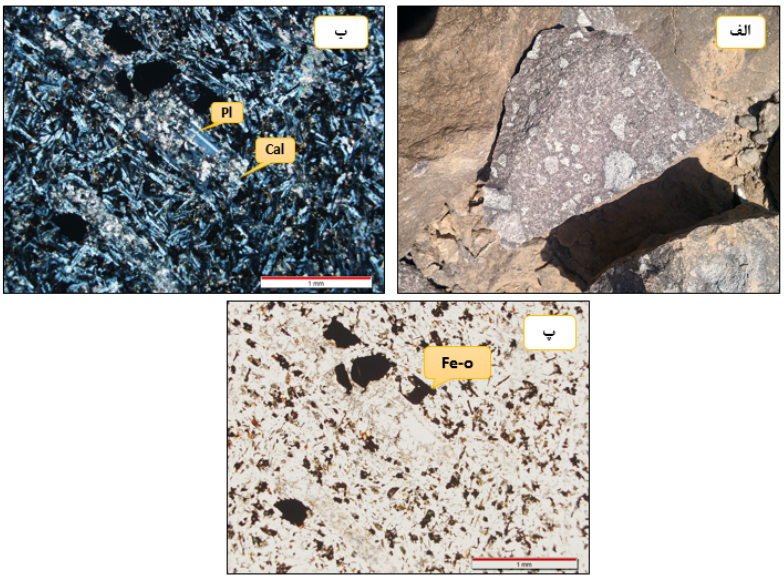
لیتیک توف: سنگ‌های ولکانوکلاستیکی هستند که از خاکستر و قطعات آتشفشانی تشکیل شده‌اند. توف‌های منطقه چاه‌شیرین در بخش‌هایی از محدوده معدنی همراه با آندزیت دیده می‌شود که به طور عمده از نوع لیتیک توف خاکستری رنگ با مورفولوژی سخت هستند (شکل ۳ـ۶، الف). رنگ این سنگ‌ها برحسب ترکیب شیمیایی و شدت دگرسانی از خاکستری تیره تا قرمز متغیر است. فنوکریست‌های این واحد از نوع پلاژیوکلاز، هورنبلند، اکسیدآهن، کانی‌های کدر و کلسیت است (شکل ۳ـ۶، ب و پ). توف‌های خاکستری دستخوش فرآیند دگرسانی شده‌اند تا آنجا که در اغلب نمونه



شکل ۳ـ۵: الف‌ـ نمونه دستی از بازالت‌های منطقه، ب‌ـ واحد بازالتی همراه با آمفیبول اُپاسیتی و الیوین ایدنگزیتی شده در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز، پ‌ـ بلورهای نیمه شکل اولیوین ایدنگزیتی شده با حاشیه قرمز متمایل به قهوه‌ای، ت‌ـ حفرات و رگه پرشده توسط کلسیت، زئولیت و کوارتز با خاموشی موجی (نور XPL)، ث‌ـ بلورهای ریز پیروکسن در زمینه سنگ (نور XPL).

شدت دگرسانی به حدی است که کانی‌های ثانویه از جمله کلسیت، کلریت با فراوانی کم همراه با اکسیدهای آهن به وجود آمده است.

آگلومرا: در محدوده معدنی چاه‌شیرین رخنمون کوچکی از آگلومرا در واحد $E^{vt۲}$ وجود دارد که در مشاهدات صحرایی به رنگ قهوه‌ای تا قرمز در منطقه دیده می‌شود (شکل ۳ـ۷، الف). بافت این واحد سنگی در محدوده، دانه پراکنده به همراه قطعات درشت با ترکیب آندزیت و بازالت در زمینه دانه‌ریز از رگه‌های کلسیت و اپک است (شکل ۳ـ۷، ب). کانی‌های تشکیل‌دهنده شامل پلاژیوکلاز، کانی‌های اپک، بلورهای کلسیت، کوارتز، کلریت و مالاکیت می‌باشند، که در زمینه‌ای تقریباً شیشه‌ای (بافت هیالوپورفیریتیک) پراکنده شده‌اند (شکل ۳ـ۷، پ). حفرات و رگه‌ها در این سنگ

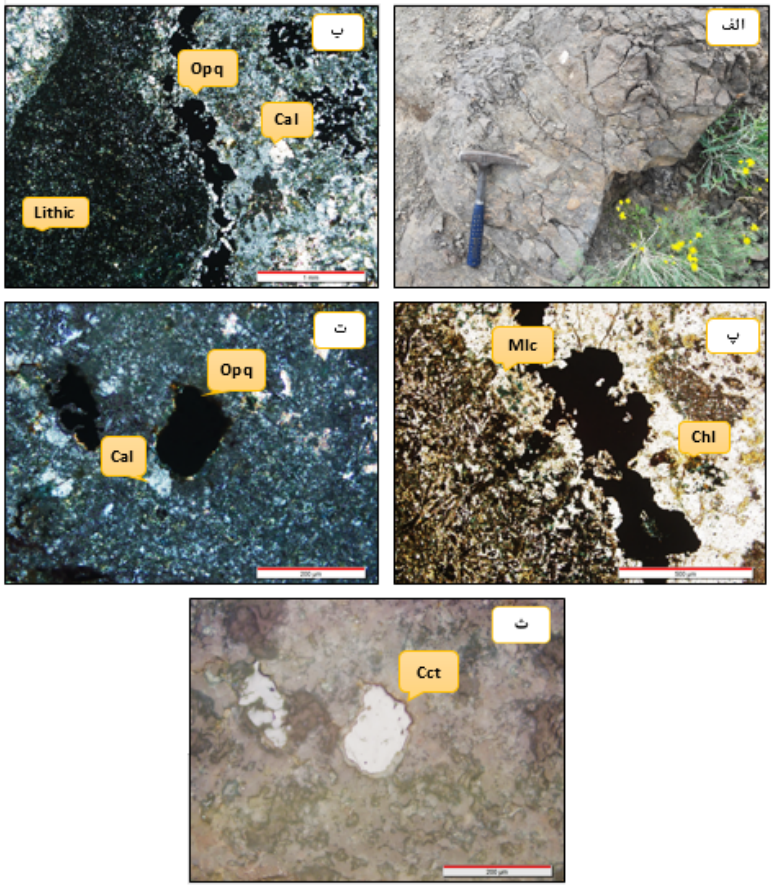


شکل ۳ـ۶: الف‌ـ تصویر نمونه دستی از لیتیک توف منطقه به رنگ خاکستری تیره، ب و پ‌ـ تصویر مقطع میکروسکوپی لیتیک توف حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، کلسیت و کانی‌های کدر (نور XPL و PPL).

توسط باطله، اکسیدهای آهن و کانی‌های سولفیدی (شکل ۳ـ۷، ت و ث) پر شده‌اند.

۳ـ۵ خصوصیات زمین‌ساختی محدوده معدنی چاه‌شیرین

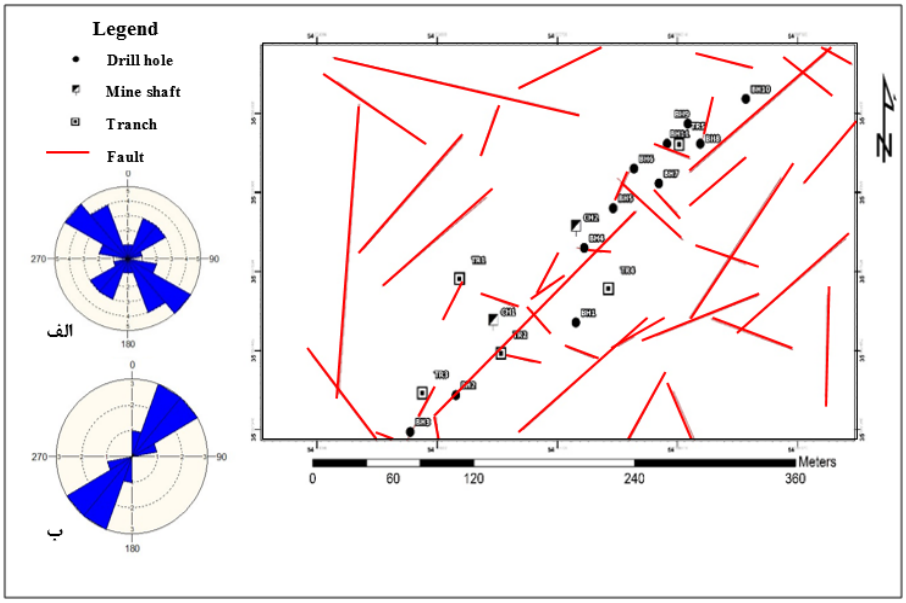
در منطقه معدنی مورد مطالعه گسل‌ها و چین‌های متعددی به چشم می‌خورد که ناشی از وقایع تکتونیکی می‌باشد. واحدهای سنگی این محدوده مابین دو گسل انجیلو و ترود واقع شده‌اند. این دو گسل خود مجموعه‌ای از گسل‌های اصلی و فرعی با روند شمال‌شرقی و جنوب‌غربی دیده می‌شوند. عامل اصلی ایجاد دگرشکلی ناحیه‌ای در ارتباط با عملکرد این دو گسل است. روند گسل‌هایی که در حدفاصل دو گسل اصلی ترود و انجیلو قرار دارند با عملکرد این دو گسل قابل توصیف است. بنابراین با توجه به نقشه زمین‌شناسی تهیه شده، نمودار گل‌سرخی و برداشت‌های انجام گرفته اصلی‌ترین سیستم گسلی محدوده معدنی با روند شمال‌شرق‌ـ جنوب غرب دیده می‌شود که منطبق بر روند کانه‌زایی است و نقش مهمی در کنترل کانه‌زایی منطقه دارد. بنابراین روند کانه‌زایی و گسترش ابعادی آن از پهنه گسله تبعیت می‌کند. راستای این سیستم گسلی در نمودار گل‌سرخی و نقشه گسل تهیه شده از محدوده معدنی قابل مشاهده



شکل ۳ـ۷: الف‌ـ تصویری از نمونه دستی آگلومرا به‌عنوان واحد آذرآواری، ب‌ـ واحد توف آگلومرا همراه با قطعات سنگ بازالت و آندزیت و کانی‌های فلزی و اپک که در نور پلاریزه تیره دیده می‌شوند، پ‌ـ واحد توف آگلومرا همراه با کانی مالاکیت، کلریت و کانی‌های سولفیدی که در نور عبوری پلاریزه تیره دیده می‌شوند، ت‌ـ حفرات پر شده توسط کانی کدر و کلسیت در نور پلاریزه عبوری، ث‌ـ کالکوسیت به‌عنوان کانی فلزی در نور عبوری انعکاسی.

می‌باشد. روند دیگری که در سیستم گسلی منطقه قرار گرفته روند شمال غربی‌ـ جنوب شرقی است که می‌توان آن را عمود بر سیستم گسلی قبل در نظر گرفت. تأثیر سیستم‌های گسلی منطقه را می‌توان در ایجاد شکستگی‌ها و درز و شکاف‌های رخنمون یافته مشاهده نمود (شکل ۳ـ۸ و ۳ـ۹).

شکل ۳ـ۸: گسل خوردگی واحد ولکانیکی در بلوک اصلی (دید به سمت جنوب)



شکل ۳ـ۹: نقشه پراکندگی گسل‌ها، ترانشه‌ها، چاه‌ها و گمانه‌های منطقه چاه شیرین با استفاده از مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای، الف‌ـ نمودار گل سرخی فراوانی گسل‌ها، ب‌ـ نمودار گل سرخی فراوانی رگه‌های کانه‌دار در کانسار مس چاه شیرین.

فصل ۴

دگرسانی و کانه‌زایی

۴ـ۱ مقدمه

نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین که محدوده اکتشافی مورد مطالعه در آن قرار دارد از دیرباز مورد توجه معدنکاران بوده است. وجود گستره‌ای از شواهد و آثار معدنکاری قدیمی و باستانی در جای جای این ناحیه که عمدتاً به منظور استخراج سرب و روی، مس، نقره و طلا صورت گرفته است، دلالت بر پیشینه طولانی معدنکاری در این ناحیه دارد. در نتیجه عملکرد گسل‌های اصلی انجیلو و ترود و دیگر گسل‌های فرعی مرتبط به آنها، گسل‌خوردگی در منطقه شدت پیدا کرده است. پدیده‌های زمین ساختی از جمله گسل‌ها، شکستگی‌ها و سیستم‌های درزه و شکاف در جایگیری ماگما و توسعه مناطق دگرسانی و کانه‌زایی اثر زیادی دارد. دگرسانی طی روند دیاژنز یا سنگ‌شدگی رسوبات در فرآیندهای دگرگونی ناحیه‌ای و فعالیت‌های بعد از ماگماتیسم ایجاد می‌شود (Guilbert and Park، ۱۹۰۳). آگاهی از روند دگرسانی که همراه با کانی‌زایی وجود دارد، مبنای پی‌بردن به فرآیندهای مرتبط با نحوه تشکیل کانسار است

و باعث پیشروی در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود (Lentz، ۱۹۹۴). براساس منبع سیالات، دگرسانی را می‌توان به دو بخش درون‌زاد و برون‌زاد قسمت کرد. سیالات گرمابی بالارونده سبب ایجاد دگرسانی درون‌زاد می‌شود. درحالی‌که واکنش آب‌های فرورو با سنگ‌های کانی‌سازی شده قبلی، دگرسانی برون‌زاد را ایجاد می‌کند (شهاب پور، ۱۳۹۰). از عوامل کنترل‌کننده دگرسانی در سنگ‌ها می‌توان به ترکیب شیمیایی محلول گرمابی، درجه حرارت، عمق شکل‌گیری سیال کانه‌ساز، ترکیب شیمایی و کانی‌شناسی سنگ میزبان و شرایط Eh و PH محلول اشاره کرد. گسترش و شدت دگرسانی، تحت تأثیر واکنش‌پذیری سنگ میزبان، حجم محلول، درجه حرارت، فشار و ساخت‌های اولیه و ثانویه قرار دارد (نجف زاده و همکاران، ۱۳۹۰). اطلاعات دگرسانی‌ها مربوط به بازدیدهای صحرایی و مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک و نازک– صیقلی است. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد، که بیشتر سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، دچار دگرسانی شده‌اند. سنگ‌های منطقه مورد مطالعه دارای شواهد متعددی از دگرسانی هستند، که می‌توان به دگرسانی‌های آرژیلیتی، کربناتی، سیلیسی، سرسیتی و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) کانی‌ها اشاره کرد. تعدادی نمونه جهت تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از بخش‌های دگرسان شده کانسار مس چاه‌شیرین برای شناخت و آگاهی از دگرسانی‌های موجود در منطقه برداشت شد و مورد مطالعه کانی‌شناسی قرار گرفت. برخی از نمونه‌های برداشت شده جهت شناخت دقیق‌تر کانی‌های معرف دگرسانی، مورد مطالعه آنالیز دستگاهی پراش اشعه ایکس (XRD) قرار گرفته‌اند. در این فصل ابتدا به دگرسانی‌های موجود در محدوده اکتشافی چاه‌شیرین و سپس دربارهٔ کانه‌زایی‌های منطقه بحث می‌شود.

۴ـ۲ کانه‌زایی در محدوده معدنی چاه‌شیرین

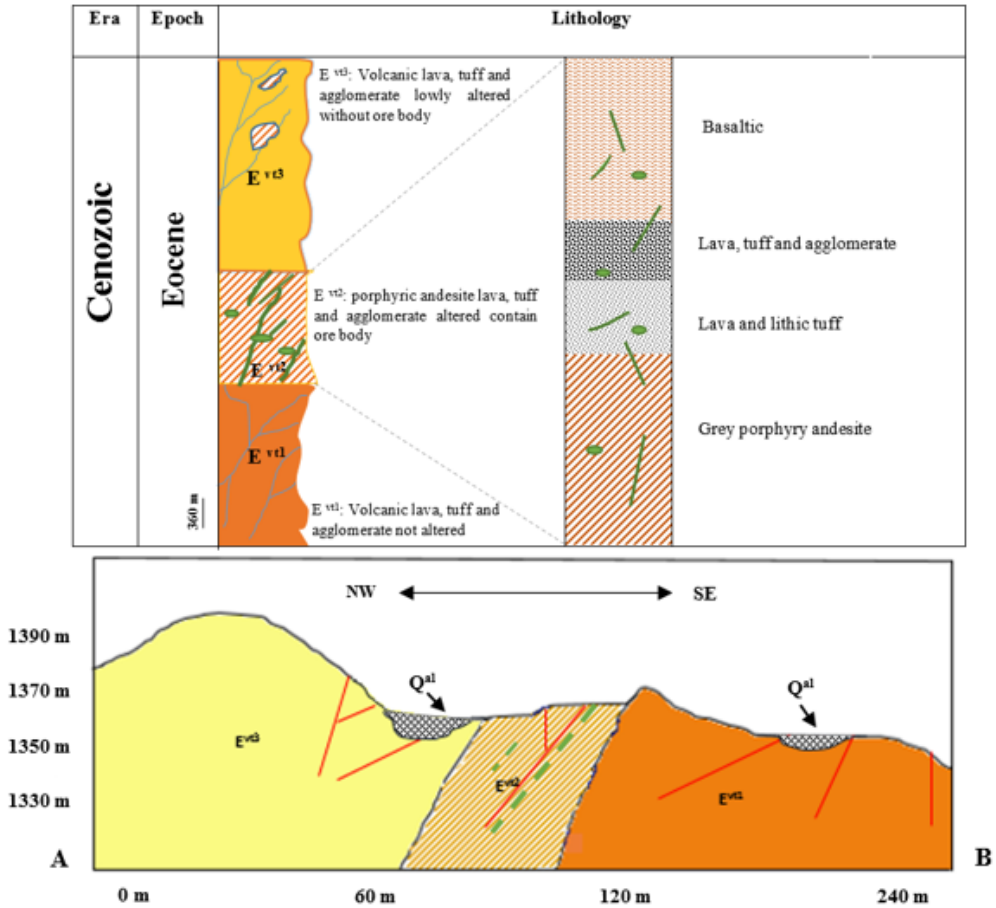
گستره محدود معدنی چاه‌شیرین بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت و بازالت) و آذرآواری (توف و آگلومرا) ائوسن است و کلیه فرآیندهای کانه‌زایی نیز در آنها رخنمون دارد. آثار کانه‌زایی مس به‌صورت پراکنده در سراسر محدوده دیده می‌شود، اما تمرکز اصلی کانه‌زایی در واحد $E^{vt۲}$ محدوده با روند شمال‌شرق– جنوب‌غرب است که به‌عنوان

بلوک اصلی شناخته می‌شود. روند کانه‌زایی در محدوده مس چاه‌شیرین با کانسارهای مس چاه‌موسی (کی نژاد، ۱۳۸۷)، مس چاه‌گله (طالع ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹)، مس رباعی (عبداللهی، ۱۳۹۵)، ساغری (خرم تاش، ۱۳۹۷)، کلوت‌بلند (سرنخشی، ۱۳۹۸)، قیصری (مسکینی، ۱۳۹۸) و غیره هم‌روند با گسل‌های ترود و انجیلو می‌باشد و عملکرد گسل‌ها را در کنترل کانه‌زایی نشان می‌دهد. کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه در امتداد یک گسل به طول حدود ۴۲۰ متر رخ داده است که واحد آندزیت پورفیری را قطع کرده است. در برخی قسمت‌های سطحی این زون درزه‌ها و شکستگی‌های کم و بیش آغشته به مالاکیت و اکسیدهای آهن دیده می‌شود (شکل ۴ـ۱، الف)؛ اما کانه‌زایی اولیهٔ مس شامل رگچه‌های متعدد کالکوسیتی است که از نفوذ سیالات مس‌دار و جایگیری آنها در محل شکستگی‌های زون گسله به وجود آمده است (شکل ۴ـ۱، ب). ضخامت زون کانه‌زایی در سطح متفاوت است و بین ۰/۵ تا ۲ متر متغیر است (ضخامت ۲ متر بر اساس ضخامت بخش‌هایی که در قدیم، برداشت کانسنگ در آن صورت گرفته است). عیارسنجی اولیه از واحدهای سیلیسی توسط شرکت چهار مس دامغان، نشان داده که عیار مس حدود ۱/۲ درصد و کربنات‌های مس ۰/۶۶ درصد می‌باشد. تعدادی از این لنزهای سیلیس برای طلا آنالیز گردید که بیشترین عیار ۲۸۷ ppb بوده است.

شکل ۴ـ۱: الفـ آغشتگی به مالاکیت در نواحی سطحی زون گسله، بـ رگچه‌های کالکوسیتی به‌عنوان زون سولفیدی اولیه

ستون چینه‌شناسی و مقطع عرضی واحدهای سنگی موجود در محدوده اکتشافی چاه‌شیرین در شکل ۴ـ۲ دیده می‌شود. در اصل کانه‌زایی در محدوده معدنی چاه‌شیرین

به شکل غیرهمزاد (اپی‌ژنتیک) صورت گرفته است. بررسی‌های صحرایی، مطالعات نمونه‌دستی و میکروسکوپی، کانه‌زایی در محدوده معدنی را به انواع مختلف رگه‌ای، پرکننده حفرات و فضای خالی و دانه‌پراکنده تقسیم می‌کند (شکل ۴ـ۵ و ۴ـ۶).



شکل ۴ـ۲: الف‌ـ ستون چینه‌شناسی منطقه معدنی چاه‌شیرین بر اساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس در فصل سوم، ب‌ـ نیم‌رخ عرضی محدوده معدنی بر اساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس

کانه‌هایی نظیر کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت مربوط به زون احیایی و کانی‌های مالاکیت، آزوریت، کلسیت، سیلیس و اکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت و لیمونیت) در زون اکسیدی مشاهده می‌شوند. گسترش رگه‌های کلسیت و سیلیس در محدوده زیاد است که می‌تواند در اثر نفوذ سیالات جوی بر سنگ‌های منطقه باشد. فضاهای خالی و رگه‌ها نقش موثری در جریان محلول‌های کانی‌ساز در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی داشته و بخش اعظم ماده معدنی خود را در حین عبور از شکستگی‌ها و فضاهای خالی، در صورت وجود شرایط مناسب، بر جای گذاشته‌اند. بنابراین حضور سنگ منشأ نفوذپذیر (آندزیت، بازالت، توف و آگلومرا)، ساختارهای گسلی و درزو شکاف‌های

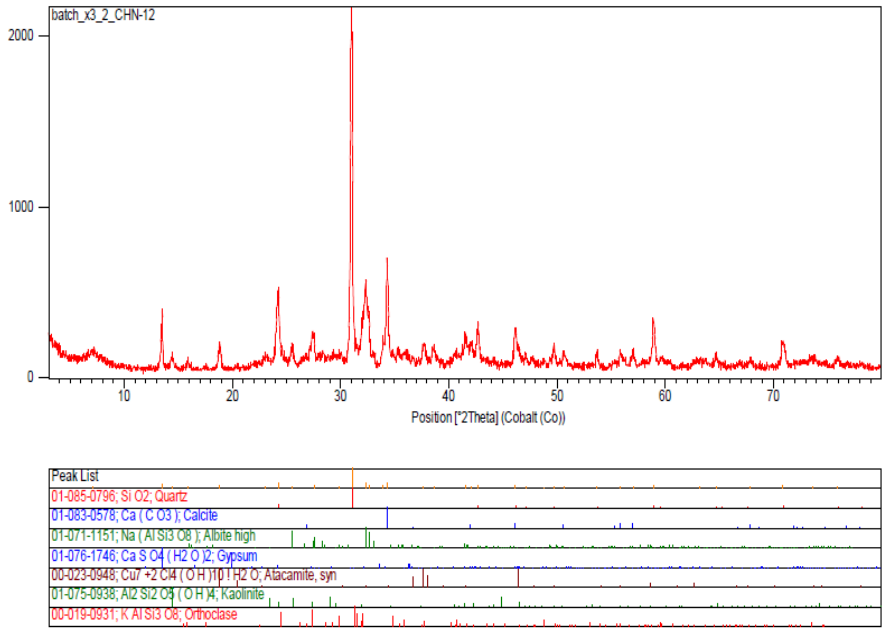
موجود در سنگ به‌عنوان عوامل اصلی در حرکت سیالات گرمابی و کانه‌زایی محدوده چاه‌شیرین نقش دارند.

۴ـ۳ دگرسانی‌های موجود در منطقه

۴ـ۳ـ۱ دگرسانی آرژیلیتی حد واسط

دگرسانی آرژیلیتی در محدوده معدنی چاه‌شیرین، واحدهای توف و گدازه را تحت تأثیر خود قرار داده است. سنگ‌های این پهنه بخاطر نوع کانی‌های ثانویه به رنگ‌های سفید تا خاکستری دیده می‌شوند (شکل ۴ـ۳). براساس نتایج حاصل از آنالیز (XRD) این دگرسانی با اجتماعی از کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، ارتوکلاز، کائولینیت و آتاکامیت مشخص می‌شوند (شکل ۴ـ۴). می‌توان حضور کانی‌های اورتوکلاز و آلبیت در نمونه های آنالیز شده را دلیل بر شدت کم این دگرسانی دانست. مهم‌ترین مشخصه این نوع دگرسانی تشکیل کانی‌های رسی است. حضور این کانی در سنگ‌های منطقه را می‌توان به تغییر در شرایط PH محیط از اسیدی به خنثی، تغییر در ترکیب شیمیایی محلول گرمابی و یا نسبت واکنش آب به سنگ در سامانه گرمابی نسبت داد (زمانیان و همکاران، ۱۳۹۴).

شکل ۴ـ۳: تصویر صحرایی از رخنمون دگرسانی آرژیلیتی حدواسط در دیواره چاه شدادی محدوده معدنی (زاویه دید به سمت شرق)

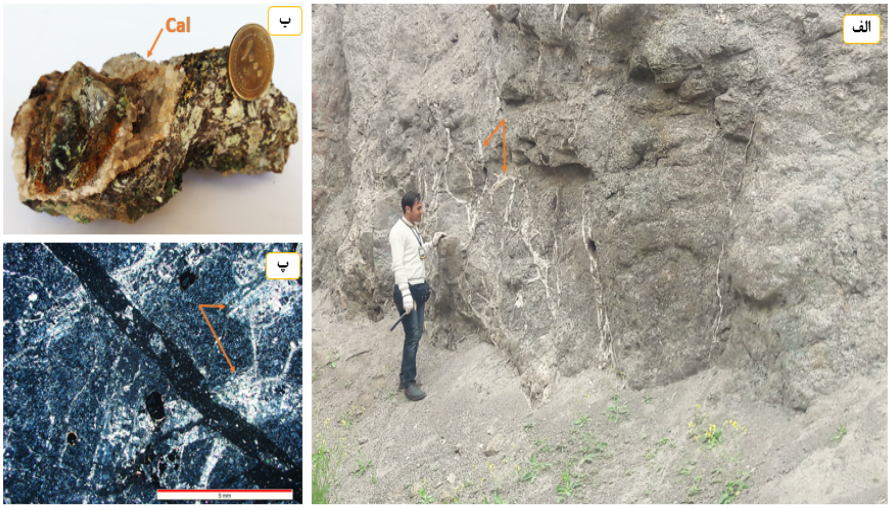


شکل ۴ـ۴: داده‌های حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، شناسایی کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، آتاکامیت، کائولینیت و ارتوکلاز که بیانگر دگرسانی آرژیلیتی می‌باشد

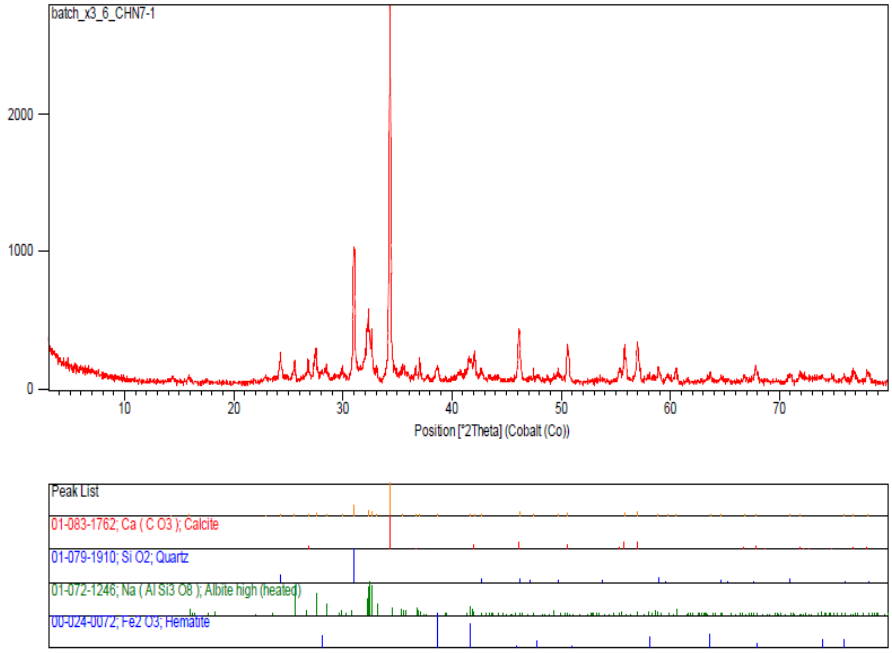
۴ـ۳ـ۱ـ۱ دگرسانی کربناته

فراوان‌ترین نوع دگرسانی مشاهده شده در کانسار چاه‌شیرین، به‌خصوص در محدوده ترانشه ۳ (شکل ۳ـ۹)، دگرسانی کربناته می‌باشد که در رگه رگچه‌های سنگ آندزیت تا بازالت به رنگ سفید دیده می‌شود. کربناتی‌شدن در منطقه عمدتاً با وجود رگه‌ـ رگچه‌های فراوان کلسیت در امتداد شکستگی‌ها و درزه و شکاف‌ها در اثر نیروهای تکتونیکی و هوازدگی در سنگ میزبان منطقه تشکیل شده است (شکل ۴ـ۵). همراهی این پهنه با شکستگی‌ها، درزه و گسل‌ها می‌تواند نشان‌دهنده نزدیک بودن این فرآیند به پهنه‌های گسلی باشد. کلسیت در این دگرسانی از سیال گرمابی و تجزیه پلاژیوکلازها تشکیل می‌شود (Simmons et al.، ۲۰۰۰). مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که پلاژیوکلاز تحت تأثیر سیالات گرمابی، تجزیه شده است. لذا چنین به‌نظر می‌رسد که یون کلسیم آزاد شده سبب تشکیل کلسیت در حفرات و شکاف‌های این سنگ شده است (شکل ۴ـ۵، پ). در نمودار نتایج آنالیز XRD این دگرسانی در محدوده چاه‌شیرین با کانی‌های کلسیت، کوارتز، آلبیت و هماتیت مشخص شده است (شکل

۴ـ۶).



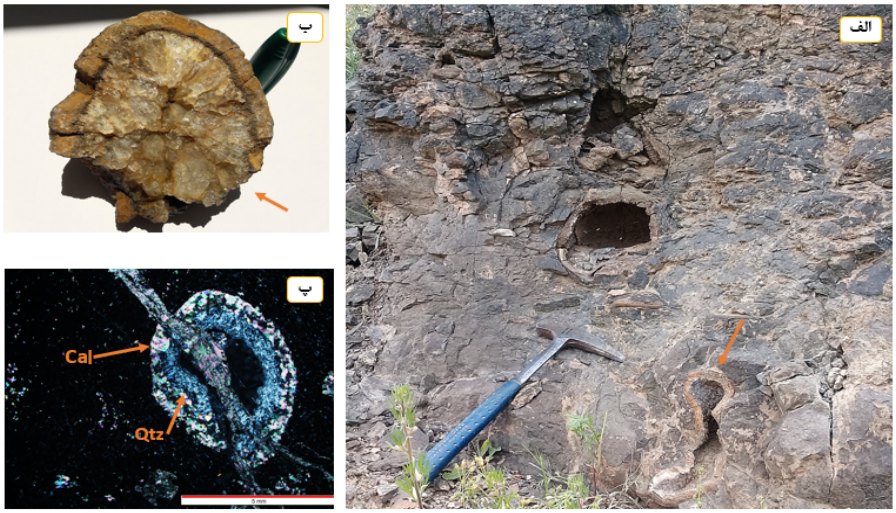
شکل ۴ـ۵: الف- تصویر صحرایی از رگه- رگچه‌های کلسیت موجود در سنگ‌های آندزیتی محدوده معدنی چاه‌شیرین (دید به سمت شمال محدوده)، ب- تصویر نمونه دستی از کلسیت، پ- تصویر میکروسکوپی حضور کلسیت به‌صورت پرکننده فضای خالی و تجزیه پلاژیوکلازها (نور XPL)



شکل ۴ـ۶: طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای زون دگرسانی کربناتی و شناسایی کانی‌های کلسیت، کوارتز، آلبیت و هماتیت می‌باشد

۴ـ۳ـ۱ـ۲ دگرسانی سیلیسی

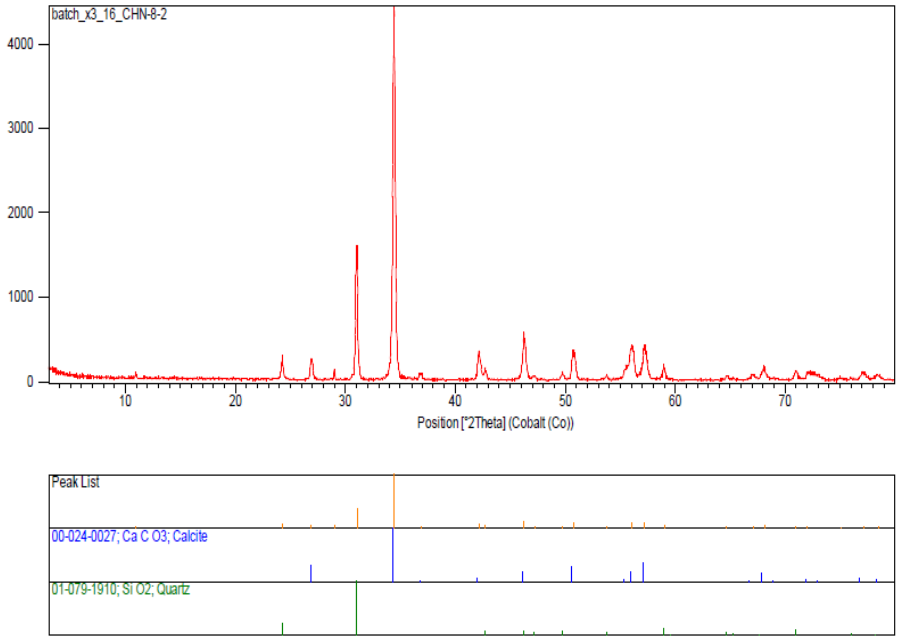
دگرسانی سیلیسی در محدوده چاه‌شیرین درتصاویر صحرایی و مقاطع میکروسکوپی به‌صورت پرکننده حفرات به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴ـ۷). سیلیسی و کربناتی شدن از رایج‌ترین دگرسانی‌های شکل گرفته در منطقه هستند. اضافه‌شدن SiO_2 توسط محلول‌های ماگمایی و گرمابی و تجزیه کانی‌های سیلیکاته باعث سیلیسی شدن سنگ شده که می‌تواند در اثر کاهش دما، فشار و افزایش PH محلول SiO_2 ته‌نشست شوند (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۹). در نتایج آنالیز XRD منطقه، کوارتز به‌عنوان کانی اصلی این دگرسانی مشخص شده است (شکل ۴ـ۸).



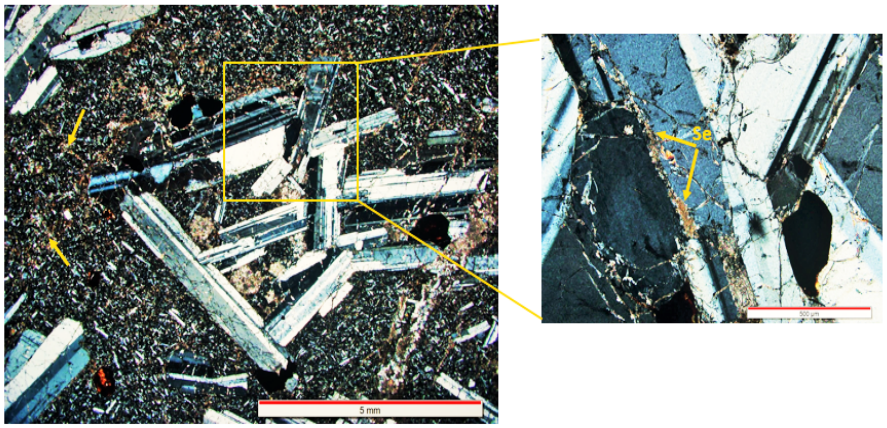
شکل ۴ـ۷: : تصویر صحرایی حفرات سیلیسی در محدوده معدنی (دید به سمت شرق)، ب‌ـ تصویر نمونه دستی سیلیس پرکننده حفره، پ‌ـ تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های سیلیسی نور (XPL)

۴ـ۳ـ۲ دگرسانی سریسیتی

دگرسانی سریسیتی در محدوده چاه‌شیرین با حضور سریسیت در تصاویر میکروسکوپی در اثر تجزیه فلدسپات‌های اولیه موجود در سنگ، بلورهای ریز و پراکنده سریسیت در متن کانی پلاژیوکلاز و همچنین درز و شکاف‌های این کانی تشکیل می‌شوند (شکل ۴ـ۹).



شکل ۴ـ۸: طیف پراش اشعه ایکس (XRD) در نمونه توف و شناسایی کانی‌های کلسیت، کوارتز که بیانگر دگرسانی سیلیسی می‌باشد



شکل ۴ـ۹: تصویر میکروسکوپی از سریسیتی شدن پلاژیوکلازها و دانه‌های ریز و پراکنده در متن سنگ (نور XPL)

۴ـ۳ـ۳ دگرسانی اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)

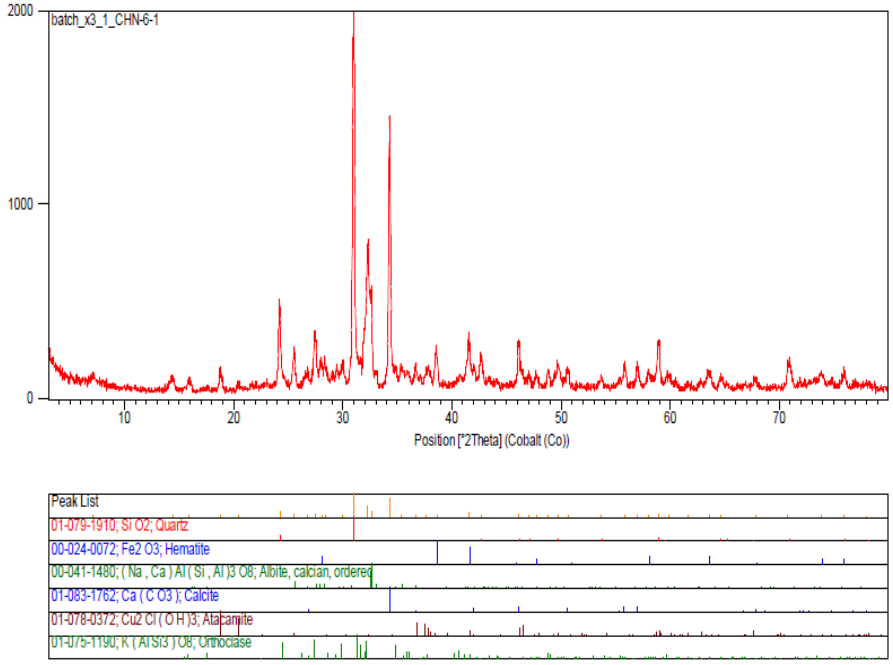
از دگرسانی‌های اکسیدآهن در محدوده معدنی چاه‌شیرین، می‌توان به دگرسانی‌های هماتیتی و لیمونیتی اشاره کرد. شدت این دگرسانی در منطقه با تراکم درزه‌ها و شکستگی‌ها رابطه مستقیم دارد (شکل ۴ـ۱۰). دگرسانی اکسید آهن در واحد گدازه‌ای

در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها در مجاورت با رگه‌های کانه‌دار و دیواره ترانشه‌ها مشاهده می‌شود. این دگرسانی در واحدهای لیتولوژیکی منطقه به دلیل حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به رنگ زرد متمایل به نارنجی و قرمز متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شود. در آنالیز XRD از برخی نمونه‌ها، کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت و ارتوکلاز مشخص شده است (شکل ۴ـ۱۱).

شکل ۴ـ۱۰: الف، بـ تصویر صحرایی از دگرسانی هماتیتی و لیمونیتی در کانسار مس چاه‌شیرین (دید به سمت شمال)، پ، ت، ثـ تصویر نمونه دستی از دگرسانی لیمونیتی همراه با کانه‌زایی

۴ـ۴ نتایج دگرسانی در کانسار مس چاه‌شیرین

کانی‌سازی‌های موجود در محدوده‌های معدنی چاه‌شیرین نتیجه تعامل شیمیایی محلول‌های گرمابی با سنگ میزبان است که باعث تشکیل مواد معدنی می‌شوند. بنابراین شناخت فرآیندهای دگرسانی یکی از بنیان‌های شناخت نحوه تشکیل کانسار است. همانطور که گفته شد دگرسانی کربناتی ، سیلیسی، آرژیلیتی حد واسط و ندرتاً سریسیتی ضعیف در ارتباط با درزه، شکستگی و گسل‌ها مشاهده می‌شود. در حاشیه رگه‌های کانه‌دار، بیشترین گسترش را دگرسانی کربناته و سیلیسی دارد و دگرسانی



شکل ۴ـ۱۱: طیف پراش اشعه ایکس (XRD)، شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت و ارتوکلاز که بیانگر دگرسانی هماتیتی می‌باشد

آرژیلیتی و هماتیتی در اطراف رگه‌های کانه‌دار با فاصله بیشتر دیده می‌شود. بنابراین دگرسانی‌های موجود در کانسار چاه‌شیرین اکثراً در اثر هوازدگی و محلول‌های جوی ایجاد می‌شوند. پهنه‌بندی دگرسانی محدوده مورد مطالعه در (شکل ۴ـ۱۰، الف). می‌توان دید.

فصل ۵

کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی

۵ـ۱ مقدمه

بررسی دقیق ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده‌معدنی و تشخیص توالی پاراژنتیکی در تعیین نوع کانی‌سازی، الگوی کانه‌زایی و فرآیندهای اعمال شده بر روی کانسار اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از مطالعات این فصل، بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تعیین پاراژنز، تشخیص تعداد مراحل کانی‌سازی و آگاهی از ساخت و بافت ماده معدنی است. تعداد ۳۰ نمونه از بخش‌های مختلف براساس تغییرات سنگ‌شناسی برداشت شد که در ادامه نتایج میکروسکوپی مقاطع تهیه شده بررسی می‌شود.

۵ـ۲ کانی‌شناسی

در کانسار مس چاه‌شیرین، مطالعات کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها به دو روش میکروسکوپی و آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) انجام گرفت. در روش مطالعات میکروسکوپی تعداد ۱۵ مقطع نازک، نازک‌ـ صیقلی و صیقلی و در روش پراش پرتو ایکس (XRD) ۹ نمونه نیز به جهت تعیین کانی‌های ریز با فراوانی کم مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها، اطلاعات سودمندی درباره ویژگی‌های محیط تشکیل هر کانسار در اختیار می‌گذارد و رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار بازتاب ویژگی‌های تشکیل دهنده آن کانسار است (Craig and Vaughan، ۱۹۸۱). کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار مس چاه‌شیرین به ۴ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ کانی‌های سولفیدی: کالکوسیت، بورنیت، دیژنیت، کولیت، کالکوپیریت

۲ـ کانی‌های کربناته: مالاکیت، آزوریت

۳ـ کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی: مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت

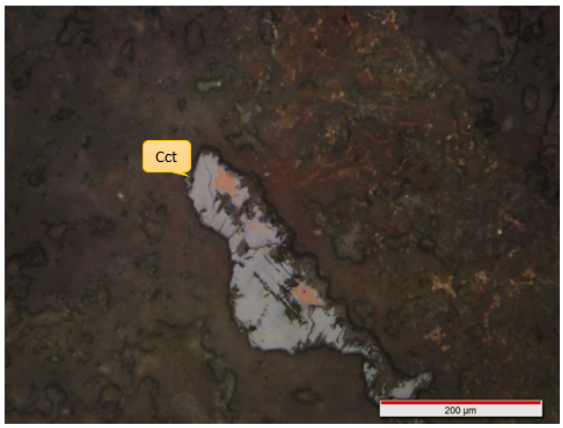
۴ـ کانی‌های باطله: کوارتز ،کلسیت

۵ـ۲ـ۱ کانی‌های گروه سولفیدی

کالکوسیت Cu_2S

کالکوسیت یکی از مهم‌ترین کانه‌های سولفیدی مس در محدوده مورد مطالعه است. این کانی سولفیدی در نمونه دستی به رنگ خاکستری متمایل به سیاه و در مطالعات میکروسکوپی معمولاً بی‌شکل و به رنگ سفید خاکستری متمایل به آبی دیده می‌شود. در ترکیب شیمیایی این کانی ۷۹/۹ درصد مس وجود دارد و گوگرد آن به عنوان محصول فرعی است و غالباً حاوی مقداری آهن و نقره به شکل ناخالصی می‌باشد. کالکوسیت در سیستم‌های گرمابی دما پایین (اپی‌ترمال)، اغلب به دو شکل اولیه و ثانویه تشکیل می‌شود (Marshall et al.، ۲۰۰۴). در نمونه‌های مورد مطالعه، این کانی بافت جانشینی دارد (شکل ۵ـ۱، ب). کالکوسیت طی مرحله سوپرژن احیایی از جانشینی کانی‌های سولفیدی نظیر بورنیت و دیژنیت شکل می‌گیرد

(شکل ۵ـ۱، ب). از لحاظ محیط تشکیل این کانی بیشتر در کانسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshall et al.، ۲۰۰۴). در مقطع میکروسکوپی این کانی همراه بورنیت، دیژنیت و کالکوپیریت یافت می‌شود (شکل ۵ـ۲) .



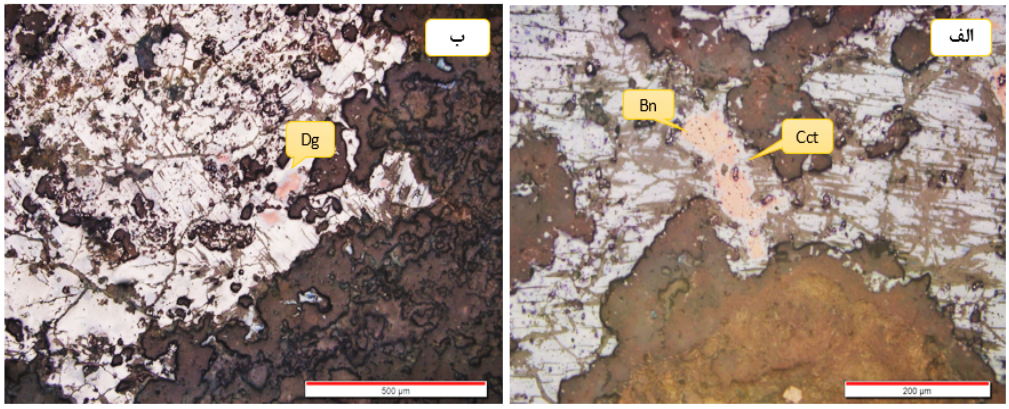
شکل ۵ـ۱: الفـ تصویر میکروسکوپی کالکوسیت (Cct) با بافت جانشینی (نور PPL)

بورنیت Cu_5FeS_4

در نمونه‌های مورد مطالعه کانسار مس چاه‌شیرین، بورنیت در مقطع صیقلی بی‌شکل و صورتی رنگ دیده می‌شود (شکل ۵ـ۲). بر اساس رنگ دو نوع بورنیت قابل تشخیص است: ۱) بورنیت صورتی که معمولاً غنی از گوگرد بوده و ۲) بورنیت بنفش که فقیر از گوگرد بوده و غنی از مس می‌باشد که به طور کلی بورنیت‌های صورتی رنگ (غنی از گوگرد) در تماس با کالکوپیریت ظاهر می‌شوند (Brown، ۱۹۷۱). طبق مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته، بورنیت‌های کانسار چاه‌شیرین بیشتر از نوع صورتی غنی از گوگرد هستند که از اطراف توسط کالکوسیت و دیژنیت در حال جانشینی می‌باشند (شکل ۵ـ۲).

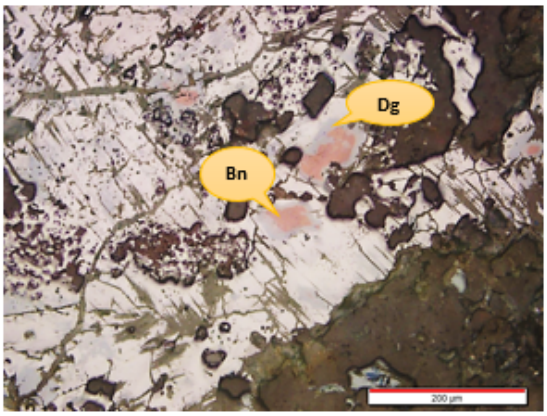
دیژنیت Cu_9S_5

دیژنیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ مایل به آبی، صیقل خوب و انعکاس متوسط دارد که در کانسار مورد مطالعه فراوانی کمی دارد که در بعضی نمونه‌ها به صورت



شکل ۵ـ۲: الف‌ـ تصاویر میکروسکوپی کانی بورنیت (Bn) در حال جانشینی از اطراف و در امتداد شکستگی‌ها توسط کالکوسیت، ب‌ـ جانشینی بورنیت توسط دیژنیت (نور PPL)

جانشینی با کالکوسیت دیده می‌شود. این کانه در کانسار چاه‌شیرین، در مرز بین کالکوسیت و بورنیت در بخش‌های کانه‌دار به‌صورت جانشینی بورنیت یافت می‌شود (شکل ۵ـ۳).

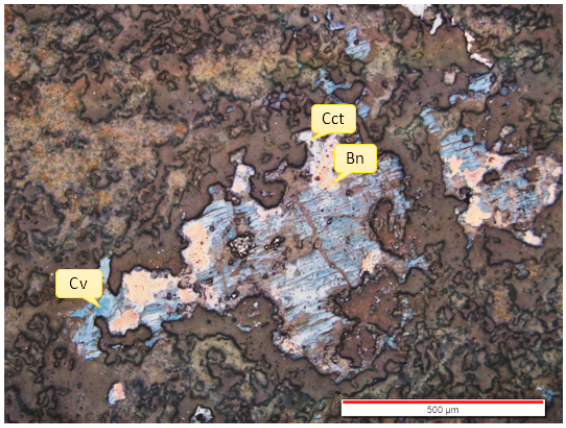


شکل ۵ـ۳: تصویر میکروسکوپی کانی دیژنیت (Dg) از حاشیه در حال جانشینی توسط کالکوسیت است (نور PPL)

کوولیت CuS

کوولیت یک کانی ثانویه است که در کانسار مس چاه‌شیرین از تجزیه سولفیدهای مس مانند کالکوسیت شکل گرفته است. این کانی در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی با چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالا و فراوانی کم، با بافت جانشینی در حاشیه و امتداد شکستگی کانه‌های کالکوسیت دیده می‌شود (شکل ۵ـ۴). به‌طور کلی کوولیت را

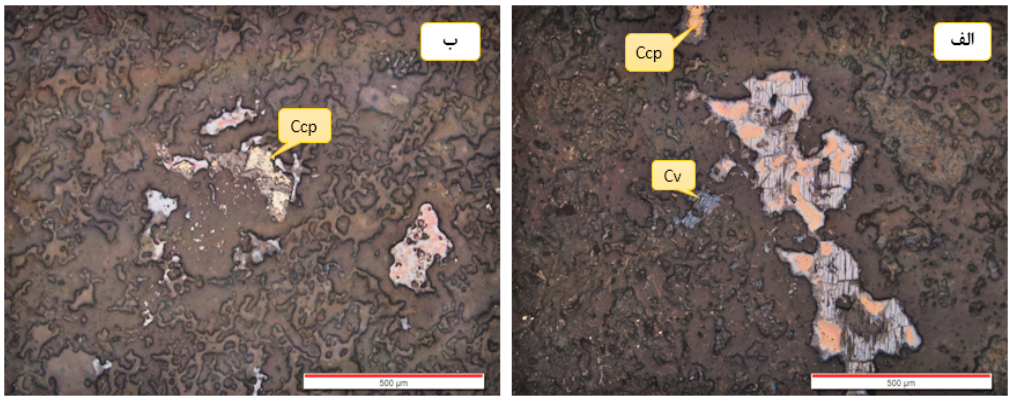
می‌توان به‌عنوان کانی ثانویه حاصل از دگرسانی کانی‌های سولفید مس در نظر گرفت. این کانی پس از تشکیل کالکوسیت در شرایط سوپرژن احیایی شکل می‌گیرد.



شکل ۵ـ۴: تصویر میکروسکوپی کانی کوولیت (Cv) که از حاشیه جانشین کالکوسیت می‌شود (نور PPL)

کالکوپیریت $CuFeS_2$

کالکوپیریت‌های محدوده معدنی چاه‌شیرین در محیط‌های اکسیدی ناپایدار است و به هنگام قرارگرفتن در محیط با آب و اکسیژن کافی، محتوای مس از آن خارج شده و درنهایت به مجموعه‌ای از اکسید و هیدروکسیدهای آهن مانند گوتیت تبدیل می‌شود. بافت غالب کالکوپیریت پرکننده فضای خالی و جانشینی می‌باشد (شکل ۵ـ۵).



شکل ۵ـ۵: تصاویر میکروسکوپی کالکوپیریت (Ccp) با بافت جانشینی در حال تبدیل به گوتیت، (نور PPL)

۵ـ۲ـ۲ کانی‌های گروه کربناته

مالاکیت $Cu_2CO_3(OH)_2$

در منطقه مورد مطالعه، مالاکیت فراوان‌ترین کانی زون اکسیدان می‌باشد که از اکسیداسیون کانی‌های اولیه و سولفیدی مس در اثر فرآیندهای جوی به وجود می‌آید. از مهم‌ترین عوامل تشکیل کربنات‌های آبدار، فشار جزئی CO_2، تغییر در فوگاسیته CO_2 و فشار بیشتر از (۶/۹۵)، تاثیر بسزایی در پایداری کانی مالاکیت دارد (غلامی فشارکی و همکاران، ۱۳۸۹). مالاکیت در نمونه دستی به رنگ سبز روشن تا تیره یا سبز متمایل به سیاه دارای انعکاس داخلی، همراه با بافت رگه‌ـ رگچه‌ای و حفره پر کن در سنگ میزبان آندزیت و بازالت تشکیل شده است (شکل ۵ـ۶).

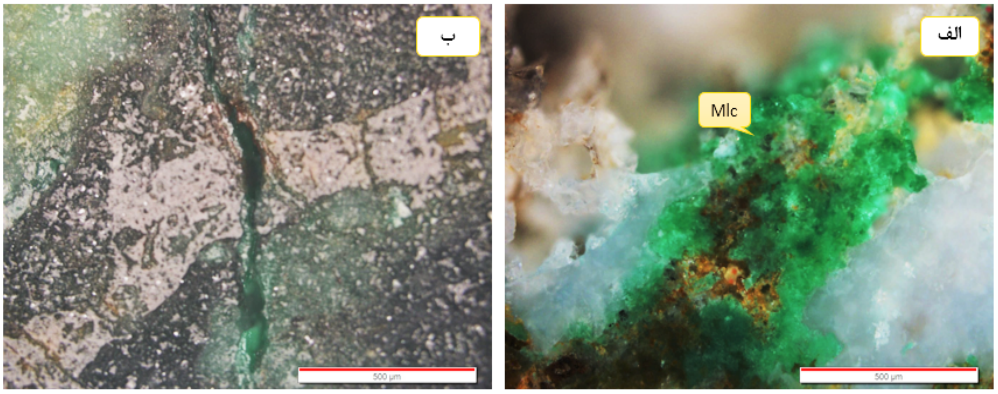
آزوریت $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

آزوریت یک کانی ثانویه از جمله کانی‌های حاصل از تغییر ترکیبات اولیه مس در زون اکسیدان محدوده معدنی چاه‌شیرین است که از اکسیداسیون سولفیدهای مس تشکیل می‌شود. این کانی در نمونه دستی به رنگ آبی روشن تا آبی لاجوردی و در مقطع صیقلی با نور عبوری چند رنگی قوی از بنفش تا آبی دارد. مهم‌ترین عامل در تشکیل کانی‌های کربناته، فشار جزئی CO_2 و مقدار مس موجود درآب‌های طبیعی است که در زون اکسیدی پایداری بالایی دارند. این کانی در کانسار مس چاه‌شیرین به‌صورت سطحی و با فراوانی کم در بعضی نمونه‌ها قابل رؤیت است (شکل ۵ـ۷).

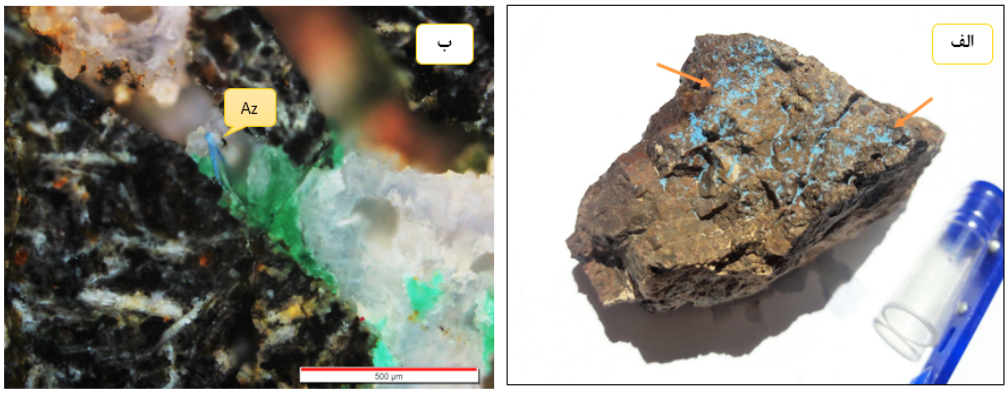
۵ـ۲ـ۳ کانی‌های گروه اکسیدی و هیدروکسیدی

مگنتیت Fe_3O_4

مگنتیت در مطالعات میکروسکوپی کانسار مس چاه‌شیرین، به رنگ سفید مایل به خاکستری کم‌رنگ به دو صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. مهم‌ترین بافت قابل مشاهده در این کانی، بافت دانه پراکنده است (شکل ۵ـ۸). به‌طوری‌که کانی‌های مگنتیت به‌صورت پراکنده در متن واحدهای سنگی میزبان شکل گرفته‌اند.



شکل ۵ـ۶: الف‌ـ تصویر میکروسکوپی مالاکیت (Mlc) بصورت حفره‌پرکن، ب‌ـ مالاکیت بصورت رگه‌ـ رگچه‌های متقاطع (نور PPL)

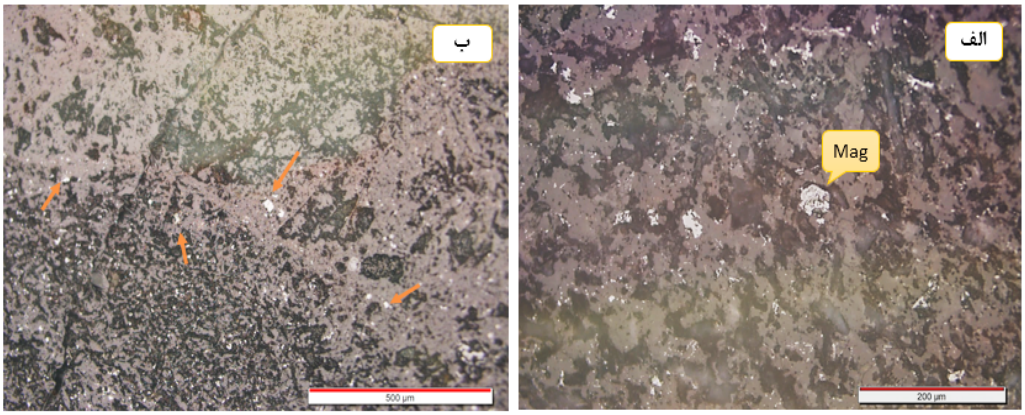


شکل ۵ـ۷: الف‌ـ تصویر نمونه دستی از آزوریت (Az)، ب‌ـ تصویر میکروسکوپی آزوریت بصورت حفره پر کن (نور XPL)

هم‌چنین در برخی مقاطع پدیده مارتیتی‌شدن و تبدیل مگنتیت به هماتیت مشاهده شده است (شکل ۵ـ۸، الف). مارتیتی شدن نوع خاصی از جانشینی است که در این فرآیند مگنتیت توسط هماتیت جانشین می‌شود (شهاب پور، ۱۳۹۰). در محیط هوازدگی این کانی به راحتی به هماتیت، گوتیت و لیمونیت دگرسان می‌گردد.

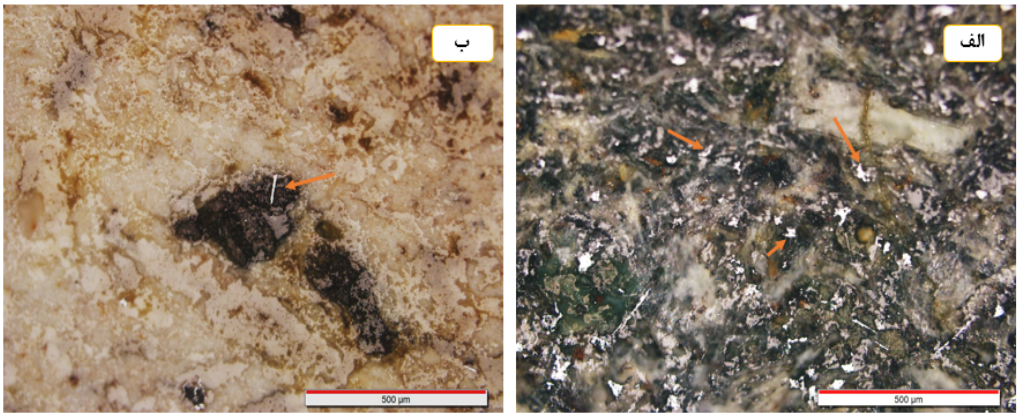
هماتیت Fe_2O_3

هماتیت یک کانی محیط سوپرژن است که در اثر چرخش آب‌های جوی که محتمل‌ترین منبع اکسیژن هستند در افق بالایی کانسارهای سولفوری تشکیل می‌شود. در محدوده معدنی چاه‌شیرین هماتیت اولیه به‌صورت دانه پراکنده در متن سنگ میزبان حضور



شکل ۵ـ۸: الف‌ـ تصویر میکروسکوپی از مگنتیت (Mag) مارتیتی شده به‌همراه هماتیت تیغه‌ای، ب‌ـ بافت دیسمینه مگنتیت و هماتیت تیغه‌ای شکل (نور PPL)

دارد (شکل ۵ـ۹). در بعضی بخش‌های سنگ میزبان آندزیتی، هماتیت ثانویه به‌صورت مارتیتی‌شدن (شکل ۵ـ۸، الف) دیده می شود. این کانی در اثر اکسیداسیون و تحت تأثیر محلول‌ها، به طور معمول از جانشینی کانی‌هایی نظیر مگنتیت شکل گرفته و به هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵ـ۹).

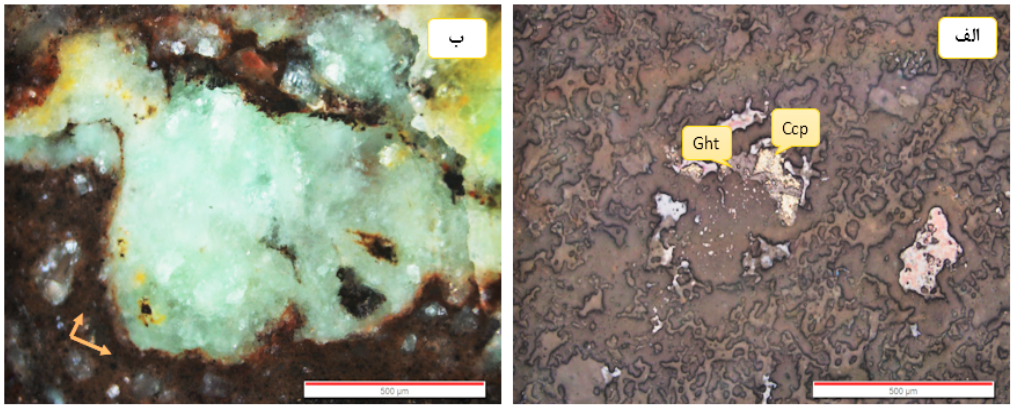


شکل ۵ـ۹: الف‌ـ تصاویر میکروسکوپی هماتیت (Hem) با بافت دیسمینه یا دانه پراکنده، ب‌ـ دانه‌های تیغه‌ای هماتیت به‌صورت الیژیست (نور PPL)

گوتیت $FeO.OH$

در محدوده معدنی چاه‌شیرین، گوتیت از هوازدگی و تخریب کالکوپیریت تشکیل شده است (شکل ۵ـ۵ و ۵ـ۱۰). بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی کانسار دچار انحلال شده و یون گوگرد آن‌ها از

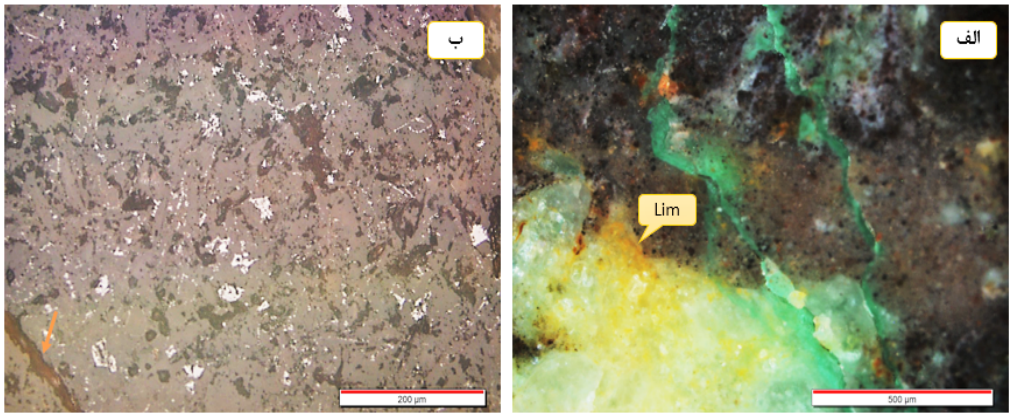
محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن بر جای می‌ماند.



شکل ۵ـ۱۰: الف‌ـ تصاویر میکروسکوپی گوتیت (Gth) به‌صورت جانشینی با کالکوپیریت، ب‌ـ حفره پرشده توسط باطله آغشته به مالاکیت که اطراف آن را گوتیت پوشانده است (نور XPL).

لیمونیت $FeOOH.nH_2O$

لیمونیت کانی اکسید آهن آبدار که به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای که بیشتر در زون اکسیدی و در بخش‌های سطحی کانسار چاه‌شیرین دیده می‌شود. در نتیجه اسیدی شدن آبهای فرورو در واکنش با سولفیدهای موجود در محدوده معدنی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به‌صورت لیمونیت و گوتیت تشکیل می‌شود (شکل ۵ـ۱۱).

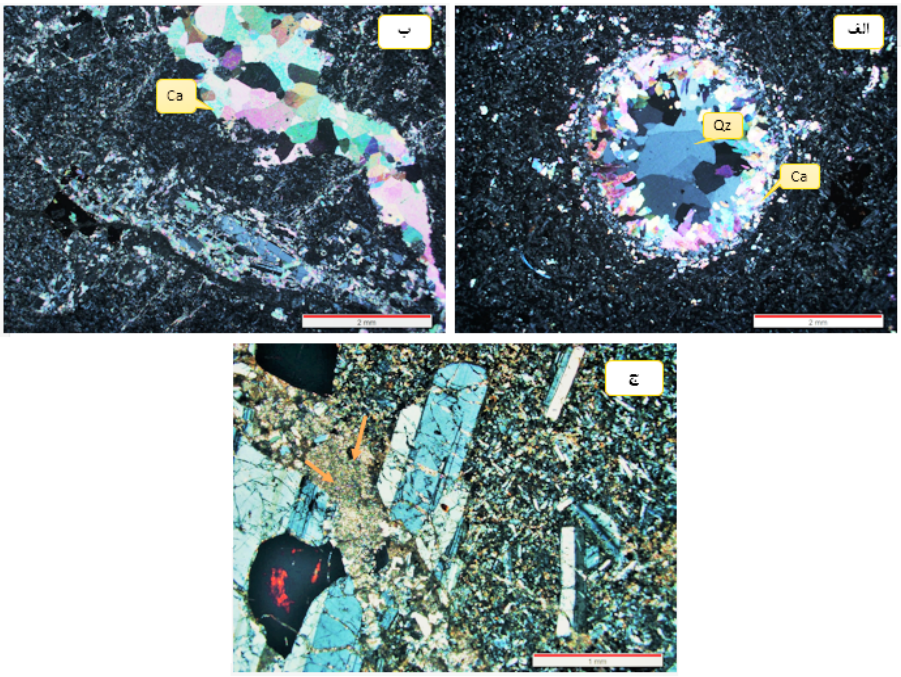


شکل ۵ـ۱۱: الف‌ـ تصویر میکروسکوپی از رگه‌ـ رگچه‌های مالاکیت همراه با آغشتگی باطله و لیمونیت بصورت حفره‌پرکن (نور XPL)، ب‌ـ بافت دیسمینه یا دانه پراکنده هماتیت و مگنتیت همراه با رگه‌ای از لیمونیت (نور PPL).

۵ـ۲ـ۴ کانی‌های گروه باطله

کوارتز (SiO_2) **و کلسیت** $(CaCO_3)$

با بررسی نمونه‌های کانه‌دار محدوده معدنی چاه‌شیرین، کوارتز و کلسیت مهم‌ترین باطله همراه با ماده‌معدنی می‌باشند. کلسیت در مقایسه با کوارتز دارای فراوانی بیشتری در نمونه‌های سنگی بوده وحجم عمده بیشتر مقاطع نازک را تشکیل می‌دهد. کوارتز و کلسیت، هم به‌صورت کانی اولیه همراه با سنگ میزبان وجود دارند و هم اینکه به‌صورت ثانویه حفرات و شکستگی‌ها را پر می‌کنند (شکل ۵ـ۱۲). در برخی از سنگ‌ها، ساخت و بافت بادامکی توسط رگه‌های سلیسی و کلسیتی پر شده است. تشکیل این کانی‌ها تحت تأثیر فرآیندهای مختلف از جمله فعالیت‌های گرمابی و همچنین فرآیندهای سطحی در کانسار می‌باشد (Simmons et al.، ۲۰۰۰).



شکل ۵ـ۱۲: الف- تصویر میکروسکوپی از بافت بادامکی کوارتز و کلسیت، ب و ج- تصویر میکروسکوپی کلسیت (Ca) با بافت پرکننده فضای خالی و شکستگی‌ها (تمام تصاویر در نور XPL)

۵ـ۳ ساخت و بافت

مفاهیم متفاوتی برای واژه ساخت و بافت در کتب علمی ارائه شده است. به‌عنوان مثال به بیرون‌زدگی‌های قابل مشاهده و یا خصوصیاتی که به‌طور ماکروسکوپی نمایان است ساخت گفته می‌شود. به خصوصیاتی که در زیر میکروسکوپ و یا در نمونه‌های دستی قابل رؤیت باشد بافت گفته می‌شود (شهاب پور، ۱۳۹۰). ساخت و بافت براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ میزبان و ماهیت کانه‌زایی سیال می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین بررسی ساخت و بافت و تعیین ارتباط کانه‌زایی با سنگ میزبان از اهمیت زیادی برخوردار است (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۹). ساخت‌های مشاهده شده در محدوده معدنی چاه‌شیرین، ساخت رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و حفرات و از عمده‌ترین بافت‌ها به رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و حفرات، جانشینی و دانه پراکنده اشاره کرد.

۵ـ۳ـ۱ ساخت

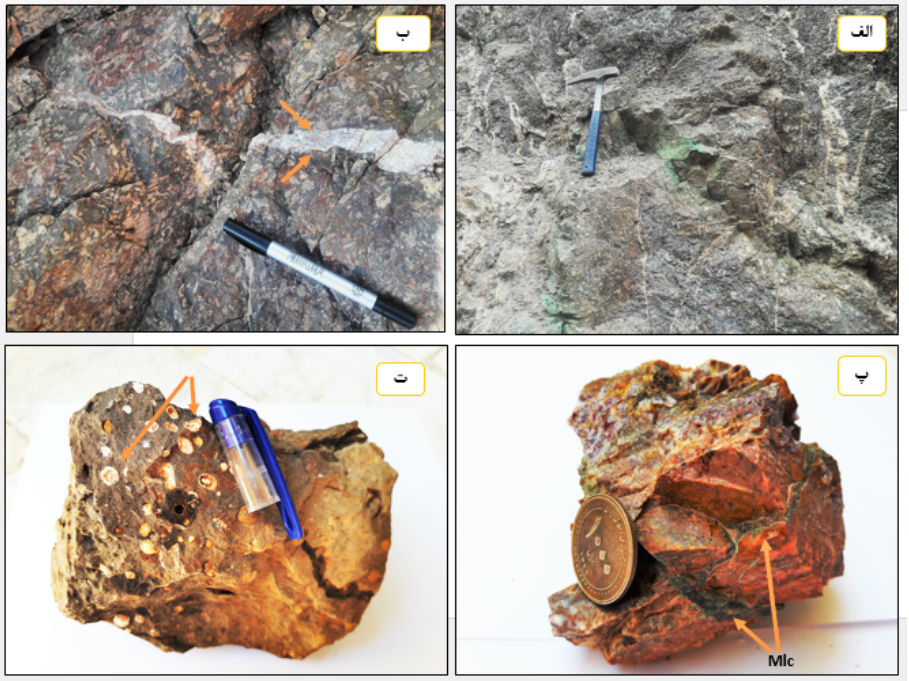
ساخت رگه‌ـ رگچه‌ای

یکی ازفراوان‌ترین ساخت‌های مشاهده شده در محدوه مورد مطالعه ساخت رگه‌ـ رگچه‌ای است که براساس مشاهدات صحرایی به‌صورت غیرهمزاد بعد از تشکیل سنگ میزبان اتفاق افتاده است (شکل ۵ـ۱۳). در اثر وجود نیروهای تکتونیکی در منطقه، درز و شکاف در واحدهای سنگی شکل می‌گیرد که سیال کانه‌دار از این طریق به سمت سطح حرکت می‌کند و در صورت وجود شرایط مناسب کانه‌زایی، کانی‌های کربناته و سیلیکاته مس و همچنین اکسیدهای آهن را تشکیل می‌دهد. پس می‌توان نتیجه گرفت که ساخت رگه‌ای تابع گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه است.

پرکننده حفرات

انبساط گازها در گدازه‌ها و سنگ‌های آذرین بیرونی حفره ایجاد می‌کند که با بالا آمدن محلول‌های گرمابی و ماگمایی در امتداد این فضاهای خالی حفره مانند، داخل

سنگ میزبان ته‌نشین شده و باعث ایجاد ساخت حفره مانند در کانسار چاه‌شیرین می‌شود (Craig and Vaughan، ۱۹۸۱). این نوع ساخت در سنگ بازالت دیده می‌شود که توسط سیلیس و کلسیت پر شده‌اند (شکل ۵ـ۱۳، ت)

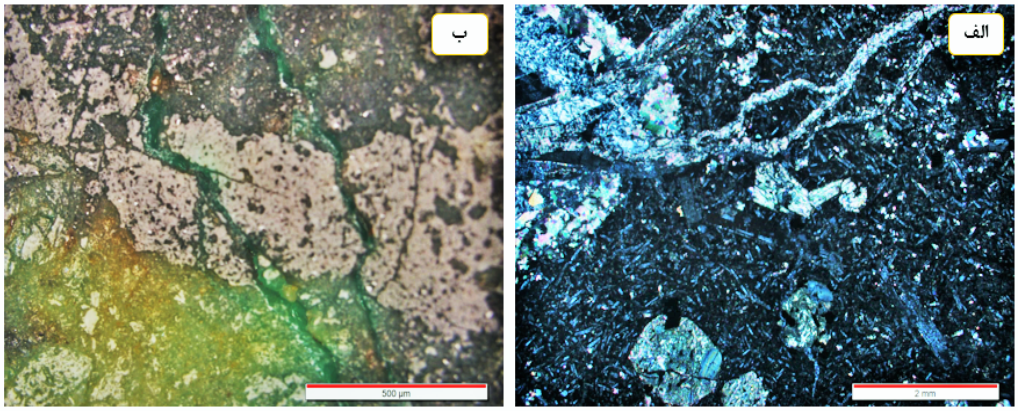


شکل ۵ـ۱۳: الف و بـ تصویر نمونه دستی از ساخت رگه‌ـ رگچه‌ای همراه با کانه‌زایی در نمونه آندزیتی، پـ نمونه‌ای از ساخت رگه‌ـ رگچه‌ای مالاکیت، تـ تصویر نمونه دستی از ساخت پرکننده فضای خالی و حفرات توسط سیلیس و کلسیت

۵ـ۳ـ۲ بافت

بافت رگه‌ـ رگچه‌ای

عمده‌ترین بافت‌های موجود در کانسار مس چاه‌شیرین بافت رگه‌ـ رگچه‌ای می‌باشد که با حرکت سیال در جهت درزه و شکاف‌ها ایجاد می‌شوند. از کانی‌هایی که به‌صورت بافت رگه‌ـ رگچه‌ای در نمونه‌های مورد مطالعه در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شوند می‌توان مالاکیت، کلسیت و لیمونیت را نام برد (شکل ۵ـ۱۱ و ۵ـ۱۴).



شکل ۵ـ۱۴: تصویر میکروسکوپی مقطع نازک کانی کلسیتی با بافت رگه‌ـ رگچه‌ای (نور XPL)، ب‌ـ تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی از بافت رگه‌ـ رگچه‌ای کانی مالاکیت (نور PPL).

بافت پرکننده فضای خالی و حفرات

یکی از بافت‌هایی که در اعماق کم و سطحی محدوده معدنی چاه‌شیرین ایجاد می‌شود بافت پرکننده فضای خالی و حفرات است. کانی‌ها در این بافت از حاشیه شکاف یا حفرات به سمت داخل یا مرکز آن رشد می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت کانی‌هایی که در مرکز شکاف یا حفره تشکیل شده‌اند جوانتر از کانی‌های حاشیه هستند. طبق مطالعات میکروسکوپی انجام شده، کانی‌های مالاکیت، کوارتز، کلسیت و همچنین اکسیدهای آهن نظیر لیمونیت و گوتیت نشان‌دهنده این بافت در منطقه مورد مطالعه هستند (شکل ۵ـ۱۰ ، ۵ـ۱۱ و ۵ـ۱۲).

بافت جانشینی

جانشینی طی فرآیند دگرسانی و هوازدگی در اثر جانشین شدن یک کانی اولیه توسط یک کانی ثانویه، در کانسارهای گرمابی به وجود می‌آید (شهاب پور، ۱۳۹۰). در کانسار مس چاه‌شیرین این بافت به‌صورت جانشینی حاشیه‌ای در مرز بین دو کانی آغاز می‌شود. از کانی‌هایی که در مقاطع میکروسکوپی بافت جانشینی را نشان می‌دهند می‌توان به جانشینی سولفیدهای مس از جمله کالکوپیریت توسط اکسیدهای آهن (گوتیت، لیمونیت و ...) اشاره کرد (شکل ۵ـ۵). همچنین کانی بورنیت از حاشیه توسط کالکوسیت و در بعضی قسمت‌ها توسط دیژنیت جانشین می‌شود (شکل ۵ـ۲)

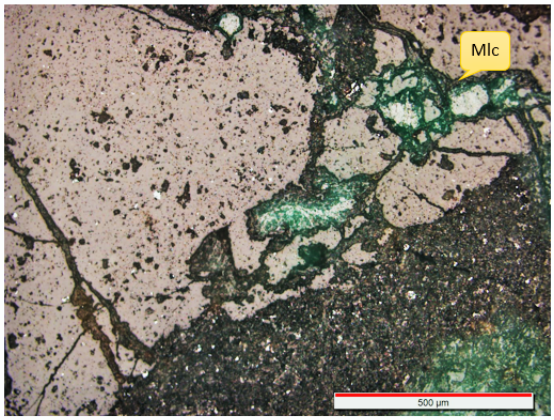
و همینطور جانشینی کالکوسیت توسط کوولیت از حاشیه دیده می‌شود که در نهایت کانی‌های کربناته را در زون اکسیدی ایجاد می‌کند (شکل ۵ـ۴).

بافت دانه پراکنده

این بافت در کانسار مس چاه‌شیرین به‌صورت کانی‌های هماتیت و مگنتیت یافت می‌شود که نشان‌دهنده تشکیل همزمان کانی‌های اپک با سنگ میزبان (سین‌ژنتیک) است. هماتیت دانه پراکنده در مقاطع بررسی شده مربوط به دو نسل است که در محدوده مس چاه‌شیرین بیشتر نسل دوم به‌صورت جانشینی با مگنتیت حضور دارند (شکل ۵ـ۸ و ۵ـ۹).

بافت شعاعی

در این بافت بلورهای کانی مالاکیت به‌صورت منشوری در کنار یکدیگر قرار دارند که تجمع این بلورها در کنار یکدیگر، دسته‌های رشته‌ای و شعاعی مانند را در حفرات ایجاد می‌کنند (شکل ۵ـ۱۵). این بافت بیشتر در کانی‌های مالاکیت و کریزوکولا دیده می‌شود.



شکل ۵ـ۱۵: تصویر میکروسکوپی از بافت شعاعی مالاکیت

۵ـ۴ توالی پاراژنتیک کانی‌ها

توالی پاراژنتیک معرف تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به‌صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است (Bates and Jackson، ۱۹۸۷). اطلاعات حاصل از بافت‌های جانشینی و تفاوت در ترتیب زمانی رشد کانی‌ها، نشان‌دهنده چند مرحله سیال گرمابی در کانه‌زای است. ۱) مرحله هیپوژن: در طول درز و شکاف‌ها سیالات داغ کانه‌دار نفوذ کرده و با افزایش غلظت مس کانی‌هایی مانند کالکوپیریت، بورنیت ته‌نشست می‌شود.۲) مرحله سوپرژن و هوازدگی: با نفوذ آبهای سرد جوی، کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت، مالاکیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت) شکل می‌گیرند. بنابراین در این مرحله بیشتر کانه‌زایی مس بصورت کربنات و سیلیکات مس نمایان می‌شود که بیانگر میزان تأثیر سیالات گرمابی بر کانه‌زایی است. در واقع فرآیند برونزاد در منطقه را می‌توان به دو مرحله سولفیدی و اکسیدی بررسی کرد. در شرایط احیایی، برخورد سیالات جوی با کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت باعث تشکیل سولفیدهای ثانویه کالکوسیت و کوولیت می‌شود. کوولیت معمولاً بعد از کالکوسیت تشکیل می‌شود. در شرایط اکسیدان، تخریب سولفیدهای مس در مجاورت با سیال جوی نقش عمده‌ای در ایجاد سیال اسیدی و زون اکسیدان در منطقه دارد و باعث تشکیل کانی‌های مالاکیت، آزوریت همراه با هماتیت، گوتیت و لیمونیت در درز و شکاف سنگ میزبان می‌شود. در این بخش توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در محدوده مورد مطالعه در جدول ۵ـ۱ نمایش داده می‌شود.

جدول ۵ـ۱: مراحل تشکیل کانه‌زایی و توالی پاراژنتیک کانه‌ها و کانی‌ها و بافت آنها در کانسار مس چاه‌شیرین

Minerals \ Stages		Pre-Mineralization	Hypogene	Supergene	
				Reduction	Oxidation
Mineralization	Magnetite	—			
	Hematite	—			—
	Chalcocite			—	
	chalcopyrite		—		
	Bornite		—		
	Digenite			—	
	Covellite			—	
	Malachite				—
	Azurite				—
	Limonite				—
	Goethite				—
Gangue	Quartz		—	—	—
	Calcite		—	—	—
	Clay minerals		—	—	—
Textures	Disseminated	—			
	Replacement		—	—	—
	Vein- Veinlets		—	—	—
	Open space filling		—	—	—
	Radial				—

فصل ۶

ژئوشیمی

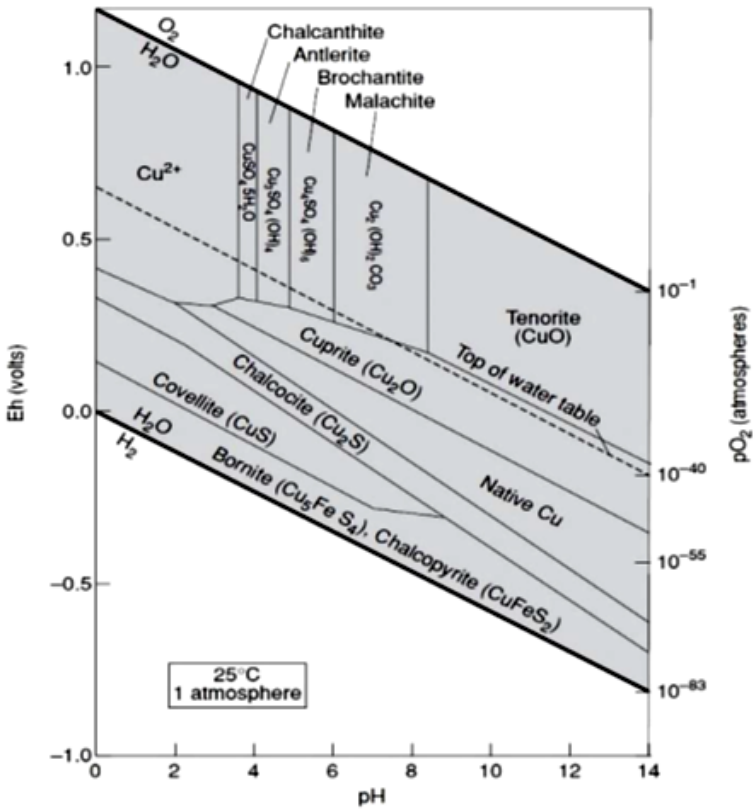
۶ـ۱ مقدمه

توزیع عناصر مختلف و وابستگی آنها با یکدیگر در واحدهای سنگی هر منطقه یکی از جنبه‌هایی مورد مطالعه در بحث ژئوشیمیایی است که به عقیده Barnes (۱۹۹۷) از این روابط تا حدودی می‌توان به محیط و فرآیندهای کانه‌زایی دست یافت. در این فصل در مورد چگونگی استفاده از داده‌های زمین‌شیمیایی در تعیین فرآیندهای زمین‌شناختی، ژئوشیمی مس و تفسیر نتیجه آنالیزهای انجام شده بحث می‌شود.

۶ـ۲ زمین‌شیمی مس

مس بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین (۵۵ ppm) با نماد Cu، عدد اتمی ۲۹، جرم اتمی ۶۴، اکسیداسیون (۱+ و ۲+) و ایزوتوپ‌های $Cu^{۶۳}$ و $Cu^{۶۵}$ است. مس همبستگی بالایی با عناصر Ag و Pb نشان می‌دهد و به دلیل محلول بودن بیشتر

به پایین دست حمل می‌شود (Lottermoser et al، ۱۹۹۹). تغییرات Eh و PH و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس را در دماهای پایین کنترل می‌کند (Maynard، ۱۹۸۳). مس در شرایط احیایی پایدارتر است بنابراین در شرایط اکسیدی و PH متوسط تا پایین مهاجرت کرده و در نواحی احیایی به‌صورت سولفید یا مس طبیعی ته‌نشین می‌شود. در پهنه اکسیدان میزان غلظت مس به PH آب بستگی دارد بنابراین هر چقدر PH کم باشد مقدار غلظت مس محلول در آب زیادتر خواهد بود. در محیط اکسیدی، مس توسط آبهای فرورو حمل می‌شود و در محیط احیایی به دلیل کاهش Eh، به صورت خالص و سولفید بر جای گذاشته می‌شود (شکل ۶ـ۱). به دلیل بالا بودن عیار اولیه در محیط احیایی به آن زون غنی‌شده گفته می‌شود. از کانی‌هایی که در زون غنی‌شده یا احیایی محدوده معدنی مورد مطالعه تشکیل می‌شوند می‌توان کالکوسیت و کوولیت را نام برد. در محیط اکسیدی مقدار زیادی اکسیدهای آهن (گوتیت، لیمونیت) و کانی‌های کربناته (مالاکیت و آزوریت) تشکیل می‌شوند.



شکل ۶ـ۱: نمودار پایداری ترکیبات مس‌دار در حرارت ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر (Robb، ۲۰۰۹)

۶ـ۳ ژئوشیمی سنگ میزبان

پس از بازدیدهای صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، به منظور بررسی ژئوشیمیایی، نمونه‌برداری از سنگ‌های محدوده چاه‌شیرین انجام شد و تعداد ۵ نمونه برای آنالیز XRF انتخاب و در آزمایشگاه شرکت بیم گستر تابان آنالیز گردید. همچنین تعداد ۱۱ نمونه برای آنالیز (ICP- MS) به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما ، ۴ نمونه برای آنالیز دستگاهی (ICP- OES)، به شرکت تحقیقاتی و فرآوری ایران ارسال گردید و نتایج حاصل جدول ۶ـ۱و ۶ـ۲ بوسیله نرم افزارهای Excel و GCDKit پردازش و مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۶ـ۱: نتایج آنالیز XRF و مقادیر غلظت اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی در سنگ‌های منطقه چاه‌شیرین

$sample$	$CHN-۰۱$	$CHN-۰۵$	$CHN-۰۶$	$CHN-۰۸$	$CHN-۱۳$
$SiO_۲$	۵۴/۲۳۵	۵۴/۴۵۹	۵۰/۲۹۵	۵۱/۵۴۵	۵۳/۰۱
$Al_۲O_۳$	۱۲/۵۸۱	۱۱/۹۰۶	۱۲/۳۷۷	۱۲/۲۹۳	۱۲/۲۵۶
$Fe_۲O_۳$	۷/۱۲۵	۷/۸۲۸	۱۱/۹۴۷	۱۰/۲۰۵	۱۰/۷۶۱
CaO	۱۰/۶۱۳	۹/۹۳۲	۱۰/۰۴۶	۱۰/۴۱	۹/۱۲۱
$Na_۲O$	۳/۰۳۸	۳/۴۵۲	۳/۰۹۴	۳/۲۹۶	۳/۲۴۶
$K_۲O$	۲/۷۶۸	۲/۸۱۸	۲/۶۴۵	۲/۵۹۷	۲/۶۶۱
MgO	۱/۵۲۵	۰/۱۲	۱/۷۳	۰/۹۶۴	۱/۱۹۳
$TiO_۲$	۱/۷۷۴	۱/۶۵۹	۲/۳۰۳	۲/۱۶۷	۲/۲۲۱
MnO	۰/۱۲۱	۰/۱۱۶	۰/۱۷۷	۰/۱۳۶	۰/۱۰۱
$P_۲O_۵$	۰/۵۶۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۹	۰/۶۱۵	۰/۷۱۲
LOI	۴/۷۶	۴/۳۵	۴/۷	۵/۲۸	۴/۳

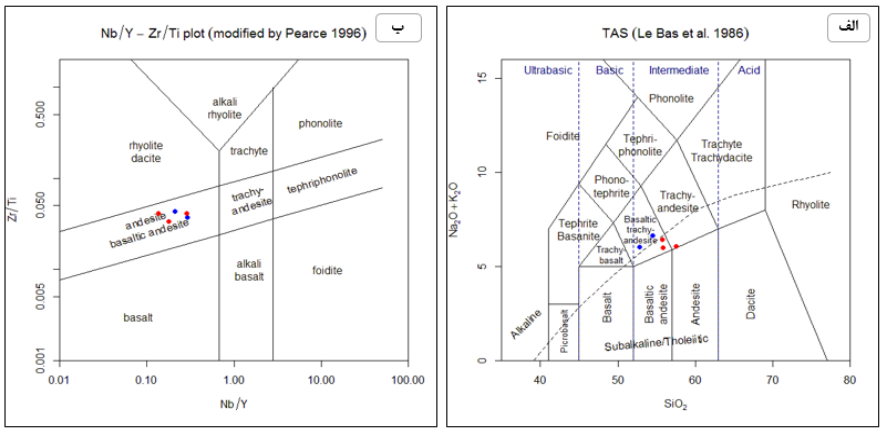
۶ـ۳ـ۱ نامگذاری و طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ میزبان

طبقه‌بندی و نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس چاه‌شیرین براساس نمودارهای طبقه‌بندی آلکالی ($Na_۲O+K_۲O$) با سیلیس ($SiO_۲$) می‌باشد (Le Bas et al، ۱۹۸۶) ؛ تا بتوان درستی نامگذاری آنها براساس مشاهدات میکروسکوپی را با یقین بیشتری اظهارنظر کرد. این نمودار با توجه به مقدار $SiO_۲$ به گروه‌های الترابازیک، بازیک، حدواسط و اسیدی تقسیم شده است. براساس این نمودار سنگ‌های آتشفشانی کانسار چاه‌شیرین در گستره بازالت و تراکی آندزیت در محدوده سنگ‌های حدواسط قرار

جدول ۶ـ۲: نتایج آنالیز عناصر نادر(کمیاب) سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب (ppm)

Sample	CHN-۰۱	CHN-۰۲	CHN-۰۳	CHN-۳.۱	CHN-۰۴	CHN-۰۵	CHN-۰۶	CHN-۶.۱	CHN-۰۷	CHN-۷.۱	CHN-۰۸	CHN-۹.۱	CHN-۱۰.۱	CHN-۱۱	CHN-۱۳
Ag	۳/۱۸	۶/۵۵	۳/۳۶	۱۴/۸۸	۳/۸۶	۱/۲	۲	۶/۱	۳	۲۴/۵	۳	۱/۶	۱۴/۵	۸	۳
As	۳۴/۸۲	۴۹/۷۸	۳۴/۴۵	۶۸/۶۳	۲۱/۲۶	۱۸/۷	۳/۶	۸/۲	۱۴	۳۵/۳	۲۵	۲۳/۸	۱۰۰<	۲۳۵	۳۲
Ba	۲۷۸/۰۷	۲۱۴/۱۳	۲۹۵/۴۷	۱۱۸/۱۲	۷۸/۵۲	۱۷۴۷	۲۶۹	۱۸۳۰	–	۲۴۰	–	۱۳۳	۱۷۷۹	–	–
Be	۱/۳۸	۱/۴	۲/۱۲	۱/۱۲	۱/۸۸	۱/۸	۲/۴	۲/۱	۱	۲/۲	۲	۲/۴	۱/۸	۲	۳
Bi	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۱>	۰/۸	۱>	۰/۶	۰/۸	۱>	۱>
Cd	۰/۴۵	۱/۸۸	۰/۲۸	۰/۸۵	۰/۳۴	۰/۴	۰/۱	–	۰/۱>	–	۰	–	–	۳	۰
Ce	۶۷/۷۴	۴۴/۷۴	۶۹/۴۸	۳۵/۵۶	۴۷/۶۸	۲۵	۱۰۸	۹۰	۵۶	۷۰	۶۰	۵۳	۳۶	۲۸	۶۲
Co	۲۴/۲۹	۲۲/۱۲	۲۹/۲۹	۳۰/۳۹	۳۵/۲۷	۸/۳	۲۰/۹	۱۸/۸	۲۳	۲۰/۹	۲۶	۲۵/۹	۲۸/۳	۲۹	۳۱
Cr	۹/۱۸	۹/۱۸	۹/۱۸	۹/۱۸	۹/۱۸۰۴	۲۲۰	۳۹	۴۳	۳۰	۵۵	۲۲	۲۵۰	۵۴	۱۶	۲۶
Cs	۲/۸۷	۳/۷۲	۴/۵۸	۵/۵۱	۱۴/۰۲	۲/۴	۳/۵	۴/۵	–	۱۱/۶	–	۳/۴	۵/۵	–	–
Cu	۱۰۸	۹۳۷۷/۲	۱۰۱/۲۲	۱۷/۸۸۳	۵۲۴۲/۹	۷۸۸۴	۲۶۵	۴۷۴۱۶	۸۲	۳۸۷۶۹	۶۰	۷۶۹۹	۵<	۲۵۲۵۹	۲۱۵
Dy	۳/۷۱	۳/۵۹	۵/۷	۳/۳۳	۴/۷۹	۲/۴۶	۸/۷	۷/۰۵	–	۵/۲	–	۴/۵۲	۳/۳۵	–	–
Er	۲/۳۱	۱/۹۲	۳/۲۱	۲/۲۳	۲/۸	۱/۳۷	۵/۳۳	۳/۸۱	–	۲/۸۳	–	۲/۷	۱/۹۷	–	–
Eu	۱/۳۱	۱	۱/۷۹	۰/۹۳	۱/۲۴	۰/۹۹	۲/۴۷	۲/۴۳	–	۱/۵۹	–	۱/۱۵	۱/۳۲	–	–
Ga	۱۸/۴۱	۱۴/۸۶	۲۳/۶۴	۱۳/۰۹	۲۱/۹۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gd	۵/۱۵	۳/۹۸	۷/۱۲	۴/۰۹	۵/۸۵	۲/۳۳	۸/۳۶	۶/۸۳	–	۵/۲	–	۴/۳۶	۳/۲۷	–	–
Hf	۱۰/۱۸	۹/۰۳	۱۳/۰۴	۶/۶۶	۱۲/۸۴	۱/۰۲	۷/۲۵	۶/۷۹	–	۴/۷۴	–	۱/۴۴	۲/۳۵	–	–
Hg	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ho	۱>	۱>	۱/۱۱	۱>	۱>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
In	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۰/۵	۰/۵	۰/۵	–	۰/۵	–	۰/۵	۰/۵	–	–
La	۳۷/۵۵	۳۳/۱۷	۵۰/۲۲	۲۹/۴	۴۴/۲۱	۱۲	۴۸	۳۷	۵۲	۲۹	۶۳	۲۵	۱۶	۳۵	۹۰
Li	۲۱/۰۹	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۸۰/۸۴	۱۰۵/۴۵	۱۴۳	۲۹	۳۳	–	۳۴	–	۲۵	۱۶	–	–
Lu	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۷۵	۰/۵۴	–	۰/۴۲	–	۰/۴۱	۰/۳۱	–	–
Mn	۸۰۴/۶۴	۷۷۰/۹	۹۱۲/۸۸	۸۰۲/۹۸	۹۶۶/۶	۲۵۰	۱۲۳۵	۴۴۲	۶۷۹	۱۰۸۹	۸۱۷	۱۰۶۷	۲۰۵	۱۵۴۱	۶۰۷
Mo	۳/۲	۲/۷۹	۲/۱۳	۱/۹۵	۲/۴۷	۰/۱	۲	۲	۲	۰/۱	۳	۲	۲	۳	۲
Nb	۱۷/۴۷	۱۴/۰۶	۱۲/۱۵	۱۱/۸۹	۱۷/۶۹	۲/۶	۱۰/۸	۴۴	–	۳۶/۴	–	۲۷/۶	۱۵/۷	–	–
Nd	۹۱/۸۱	۷۵/۵۵	۱۱۸/۵۹	۶۲/۱۹	۱۰۴/۳۶	۱۰/۸	۴۴	۱۱/۷	–	۱۱/۳	–	۵/۷	۴/۵	–	–
Ni	۱۶/۷۸	۱۳/۱۲	۱۴/۷۲	۲۲/۷	۲۰/۱	۱۰	۱۴	۱۳	۱۳	۱۵	۱۲	۲۳	۲۴	۲۰	۱۷
Pb	۱۹	۲۹	۲۵/۹	۴۴/۷۱	۳۷/۴۶	۱۴	۲۷	۶۸	۱۴	۷۴	۱۲	۲۶	۳۴	۳۱	۱۵
Pr	۲۳/۵۳	۲۱/۰۱	۳۱/۷۳	۱۷/۷۱	۲۸/۹۶	۲/۷	۱۱/۰۶	۹/۳۲	–	۶/۶۷	–	۵/۳۷	۳/۶	–	–
Rb	۱۰۲/۰۱	۱۰۹/۵۸	۱۹۱/۵۹	۹۳/۰۷	۱۹۸/۳۹	۱۸	۵۷	۶۲	–	۴۶	–	۲۸	۲۳	–	–
S	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱>	۰/۱۲	۰/۳۲	۶۷۵	۳۰۷	۸۲۶	–	۲۳۹	–	۳۳۶	۱۶۵۵	–	–
Sb	۲۷/۵۲	۱۱/۸۲	۷/۴۴	۶/۹۳	۴/۷۹	۳/۳	۱/۱	۱/۴	۳	۱	۳	۲	۳	۳۲	۴
Sc	۱۷/۱۲	۱۱/۷۲	۱۹/۴۵	۱۰/۳۸	۱۱/۱۸	۰/۵	۱۵/۶	۸/۴	۱۶	۴/۵	۱۸	۳/۵	۰/۵	۱۰	۱۹
Sm	۹/۴۸	۸	۱۳/۳۳	۷/۰۹	۱۰/۴۴	۲/۶۲	۲/۰۴	۸/۱۳	–	۵/۶۵	–	۴/۱۸	۳/۷۵	–	–
Sn	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۰/۶	۲	۲/۱	–	۱/۶	–	۱/۲	۱	–	–
Sr	۴۷۸/۳۶	۲۹۸/۷۴	۳۱۲/۰۶	۱۴۴/۵۶	۱۰۷/۸	۱۲۵	۲۴۵	۲۳۹	۲۷۱	۲۶۱	۲۸۵	۱۳۸	۱۷۲	۱۰۵	۲۹۲
Ta	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۶۱	۰/۸۵	–	۰/۹۴	–	۰/۶۱	۰/۵۵	–	–
Tb	۰/۶۹	۰/۶۷	۱/۰۲	۰/۵۳	۰/۸۴	۰/۴۱	۱/۳۲	۱/۰۶	–	۰/۸۴	–	۰/۷۱	۰/۵۵	–	–
Te	۱/۸۶	۲/۴۸	۱>	۱/۸۶	۳/۰۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	۰/۱	–	–
Th	۸/۷۲	۷/۵۳	۱۱/۵۲	۵/۹۹	۱۱/۹	۱/۶۲	۹/۸۳	۹/۱۲	–	۶/۸۷	–	۳/۵۷	۳/۶۱	–	–
Tl	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۴۱۹۶	۱۵۲۰۵	۱۴۵۴۶	–	۹۱۲۳	–	۷۰۴۲	۵۷۲۲	–	–
Tm	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۰/۱۹	۰/۷۱	۰/۵	–	۰/۴	–	۰/۳۶	۰/۲۹	–	–
U	۳/۰۵	۲/۴۷	۲/۲۲	۳/۸۸	۴/۱۶	۱/۵	۲/۷	۴	–	۸/۰۷	–	۲/۳	۷/۴	–	–
V	۱۵۰/۶۹	۱۲۰/۰۲	۱۹۰/۷	۷۸/۶۸	۱۰۸/۵۵	۵۸	۲۳۰	۱۷۵	۱۳۰	۱۳۷	۱۵۱	۱۳۱	۹۳	۷۷	۱۵۶
W	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	–	۱>	–	۱>	۱>	–	–
Y	۵/۸۶	۵/۳	۸/۴۴	۴/۷۹	۶/۸۲	۱۲/۳	۵۰/۱	۳۶/۶	۸	۲۶/۷	۹	۲۴/۳	۱۸/۵	۵	۱۵
Yb	۲/۲۴	۱/۷۲	۳/۳۸	۲/۰۱	۲/۴۳	۱/۳	۴/۹	۳/۶	–	۲/۶	–	۲/۷	۱/۹	–	–
Zn	۴۳۳/۰۲	۶۰۲/۲۱	۹۳/۹۱	۱۳۱/۰۷	۳۳۴/۴۵	۲۴۸	۱۰۹	۲۲۱	۲۴۶	۱۳۰	۵۵	۱۴۶	۲۷۱	۱۳۷	۱۱۸
Zr	۲۸۴/۶۷	۲۱۱/۱۷	۳۱۷/۳۱	۱۷/۱۲	۲۳۴/۱۸	۸۴	۴۱۸	۳۸۴	–	۲۶۷	–	۱۷۸	۱۵۹	–	–

می‌گیرند (شکل ۶ـ۲، الف). با توجه به اینکه دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی مؤثر است، بنابراین از نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب استفاده می‌شود زیرا این عناصر در درجات دگرسانی ضعیف نامتحرک هستند (Manya and et al، ۲۰۰۷). نمودار نسبت Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce، ۱۹۹۶)، براساس عناصر کمیاب نامتحرک ارائه شده است. در این نمودار ، نسبت Zr/Ti بر روی محور y و نسبت Nb/Y بر روی محور x قرار دارد. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی این نمودار در محدوده آندزیت و آندزیتـ بازالت قرار می‌گیرد (شکل ۶ـ۲، ب). بنابراین در مقایسه با نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی انجام شده در فصل ۳ نتایج طبقه‌بندی سنگ‌ها تقریباً یکسان می‌باشد.

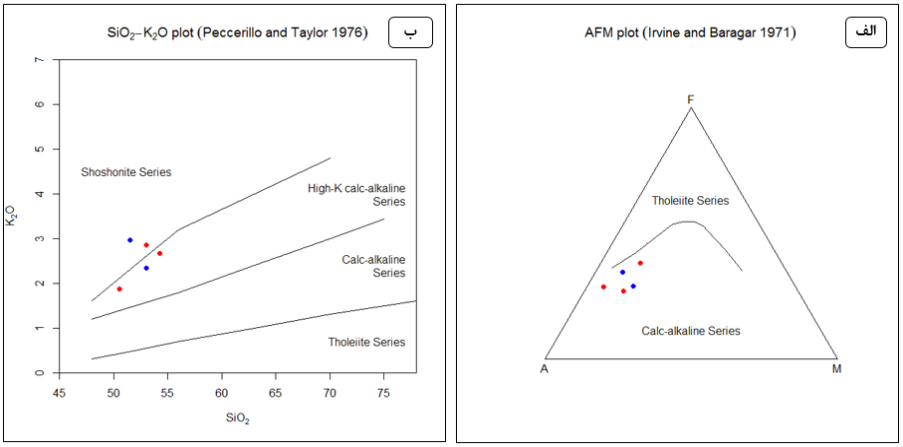


شکل ۶ـ۲: الفـ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس چاه‌شیرین در نمودار SiO_2 در برابر $(Na_2O + K_2O)$ (Le Bas et al، ۱۹۸۶) نمونه‌ها در گستره بازالت و تراکی آندزیت قرار می‌گیرند، بـ موقعیت سنگ‌های محدوده در نمودار Zr/Ti نسبت به Y /Nb (Pearce، ۱۹۹۶)، نمونه‌ها در گستره آندزیت و آندزیت بازالت را نشان می‌دهد

۶ـ۳ـ۲ تعیین سری ماگمایی سنگ میزبان کانسار

برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه در کانسار مس چاه‌شیرین، از نمودار مثلث AFM استفاده شده است (Le Bas et al، ۱۹۸۶). این نمودار سنگ‌های آذرین کالک‌آلکالن و تولئیتی را از یکدیگر متمایز می سازد و تغییرات درصد آهن، منیزیم آلکالی‌ها را نشان می دهد ($A = Na_2O+ K_2O$، $M = MgO$، $F = FeO$)

(شکل ۶ـ۳، الف). بنابراین از این نمودار چنین برآورد می‌شود که ماگمای مولد سنگ‌های آذرین منطقه چاه‌شیرین از نوع سری ماگمایی کالک آلکالن است. این سری ماگمایی معمولا در حاشیه قاره و جایی که ترکیب سنگ‌های آتشفشانی بازیک تا حدواسط دیده می‌شود گسترش دارند (Morphy، ۲۰۰۷). از سوی دیگر بر پایه نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo and Taylor، ۱۹۷۶) اکثر نمونه‌های سنگی مورد مطالعه در سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و تعداد کمی از آنها در سری شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۶ـ۳، ب). زیرا طبق نتایج آنالیز XRF سیلیس بین ۵۰ تا ۵۵ درصد و پتاسیم نزدیک به ۳ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۶ـ۱).

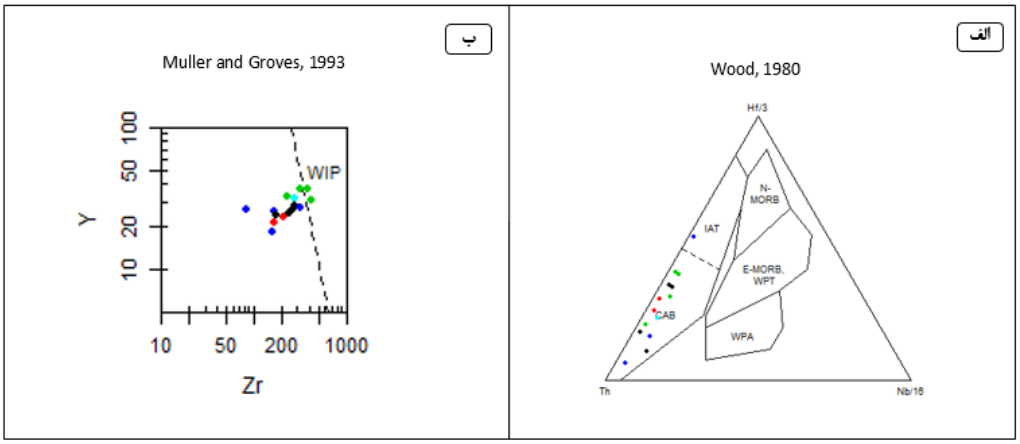


شکل ۶ـ۳: تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار چاه‌شیرین با استفاده از نمودارهای ارائه شده: الف– نمودار مثلثی AFM و ماهیت کالک‌آلکالن سنگ‌های آذرین منطقه (Irvine and Baragar، ۱۹۷۱)، ب– نمودار K_2O در مقابل SiO_2 نمونه‌ها در سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی نمایان می‌شوند (Peccerillo and Taylor، ۱۹۷۶)

۶ـ۳ـ۳ جایگاه تکتونیکی سنگ میزبان کانسار

به دلیل وجود ارتباط بین محیط تکتونیکی و شیمی عناصر، استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی در تشخیص جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در تشخیص جایگاه تکتونیکی نمونه‌های برداشت شده، از نمودارهای Nb- Th- Hf (Wood، ۱۹۸۰) و نمودار Zr/Y (Muller and Groves، ۲۰۱۵) استفاده می‌شود. نمودار Zr/Y محیط زمین ساختی مرتبط با کمان ماگمایی را از محیط

درون صفحه‌ای متمایز می‌سازد. در نمودار (Wood، ۱۹۸۰)، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای (CAB) قرار می‌گیرند (شکل ۶ـ۴، الف). این نمودار ماهیت کالک‌آلکالن نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. زیرا نزدیک به رأس Th و زیر خط جداکننده Th-Hf قرار گرفته‌اند. براساس نمودار مولر (Muller and Groves، ۲۰۱۵) که بر مبنای Y در مقابل Zr می‌باشد، می‌توان سنگ‌های پتاسیک و شوشونیتی محیط‌های درون صفحه‌ای را از کمان ماگمایی جدا کند (شکل ۶ـ۴، ب). اگر در گدازه‌ها نسبت Zr/Y>۳ باشد به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای وابسته است و اگر Zr/Y<۳ باشد به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارند. این نسبت در نمونه‌های منطقه بالاست (جدول ۶ـ۲). به‌طوریکه می‌توان نتیجه گرفت که به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای تعلق دارند. در تیجه تمامی نمونه‌ها مورد مطالعه کانسار مس چاه‌شیرین در محدوده کمان ماگمایی قرار می‌گیرند.



شکل ۶ـ۴: الف- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در گستره کمان قاره‌ای (Wood، ۱۹۸۰)، ب- نمودار Zr/Y (Muller and Groves، ۱۹۹۳) به منظور تعیین محیط تکتونیکی و تفکیک محدوده کمان آتشفشانی از درون صفحه‌ای

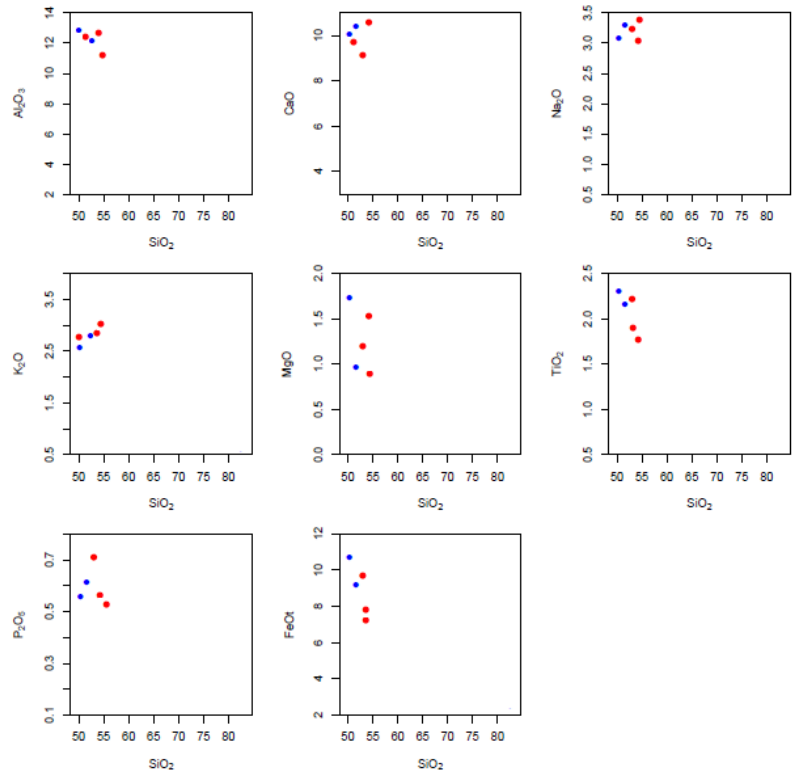
نمودار تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به SiO۲

یکی از روش‌های تعیین ارتباط ژنتیکی میان سنگ‌های منطقه، استفاده از نمودار تغییرات اکسید اصلی عناصر نسبت به SiO_2 است (Harker، ۱۹۰۹). طبق جدول ۶ـ۱ مقدار SiO_2 سنگ‌های آتشفشانی منطقه چاه‌شیرین تقریباً بین ۵۰ تا ۵۵ درصد

وزنی (سنگ حدواسط) است. در نمودار تغییرات عناصر اصلی نسبت به SiO_2 هارکر (Harker، ۱۹۰۹)، نمونه‌های مورد بررسی منطقه چاه‌شیرین یک روند خطی پیوسته را نشان نمی‌دهند که علت آن می‌تواند بخاطر آلودگی پوسته‌ای ماگمای مادر باشد (شکل ۶ـ۵). نتایج حاصل از این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهایی همچون TiO_2، MgO، CaO، Fe_2O_3، P_2O_5 و Al_2O_3 با افزایش سیلیس رابطه منفی دارند ولی K_2O و Na_2O با سیلیس رابطه مثبتی را نشان می‌دهد.این تغییرات با تبلور کانی‌هایی نظیر اولیوین، پیروکسن، مگنتیت و پلاژیوکلاز قابل توجیه است. ماگمای مادر با ترکیب بازالتی می‌تواند در اثر جایگزینی در پوسته و ذوب‌بخشی پوسته از پتاسیم و سدیم حالت غنی شده داشته باشد وبه یک ماگمای آندزیتی غنی از پتاسیم تحول پیدا کند. MgO به واسطه حضور کانی‌های فرومنیزین کنترل می‌شود. روند کاهشی این اکسید حاکی از مصرف این عنصر در مراحل ابتدایی جدایش ماگمایی می‌باشد. Fe_2O_3 با افزایش SiO_2 به علت تفریق یافتگی کاهش می‌یابد زیرا در طول مراحل تفریق در شبکه بلوری الیوین و پیروکسن وارد می‌شود. حضور پلاژیوکلاز $(CaAl_2Si_2O_8)$ در آندزیت‌های موجود در نمودار هارکر، روند نزولی Al_2O_3 در مقابل SiO_2 را نشان می‌دهد. CaO در مراحل اولیه جدایش ماگمایی وارد ساختار کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌شود. بنابراین روند نزولی آن به دلیل افزایش تفریق کانی‌های نام برده است.

۶ـ۳ـ۴ ژئوشیمی عناصر نادر و نادرخاکی در سنگ میزبان کانسار مس چاه‌شیرین

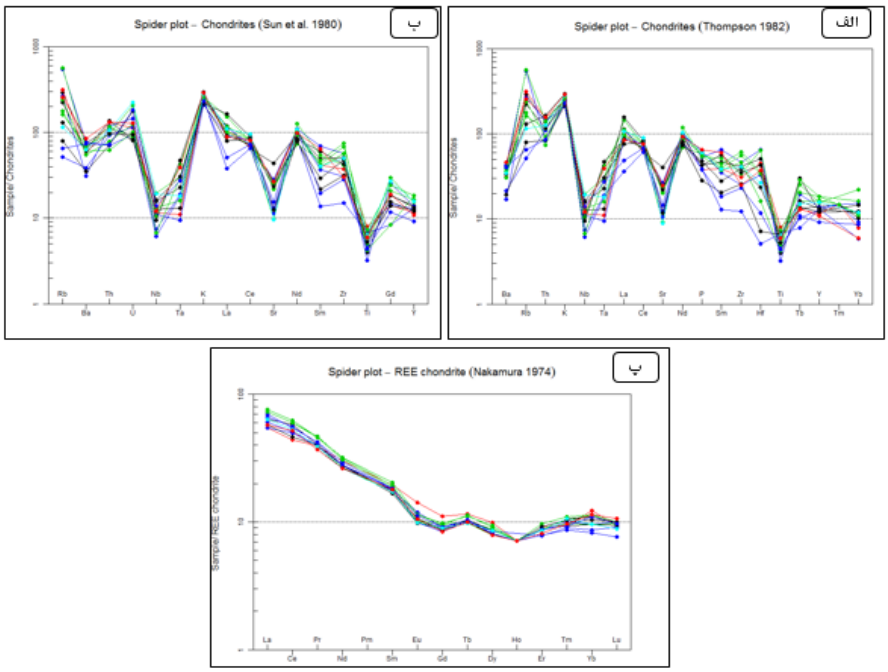
برای کامل کردن نتایج تکتونیکی و ژنز کانسار به بررسی ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و نادر خاکی در سنگ‌های منطقه پرداخته می‌شود (Xu and Song، ۱۹۹۵). به منظور مطالعه ژئوشیمی عناصر نادر خاکی تعداد ۱۵ نمونه جهت آنالیز ICP-MSS و ICP-OES به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی و شرکت زرآزما ارسال شد (جدول ۶ـ۲). به عقیده Jones (۱۹۹۵) عناصر گروه سریم شامل (Sm، Nd، Pr، Ce، La، Eu) به‌عنوان عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر گروه ایتریوم شامل (Gd، Tb، Dy، Ho، Y، Er، Tm، Lu، Yb) به‌عنوان عناصر نادر خاکی



شکل ۶ـ۵: نمودارهای روند تغییرات اکسید عناصر اصلی در برابر SiO_2 در سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس چاه‌شیرین (Harker، ۱۹۰۹)، نشان دایره قرمز برای واحد آندزیتی و نشان دایره آبی برای واحد بازالت انتخاب شده است

سنگین (HREE) در محدوده معدنی چاه‌شیرین دسته‌بندی می‌شوند. عناصر گروه سریم ناسازگاری بیشتری نسبت به گروه ایتریوم دارند. بنابراین تمایل به تجمع در محصول نهایی تفریق ماگما داشته باشد (Henderson and Pankhurst، ۱۹۸۴). طی فرآیندهای هوازدگی، دگرسانی و دگرگونی، این عناصر کمترین قابلیت انحلال را از خود نشان می‌دهند و یا به‌عبارتی نامتحرک هستند. بنابراین در تعیین ژنز کانسارهای آذرین، رسوبی و دگرگونی نقش موثری دارند (Rollinson، ۱۹۹۳). نمودار بهنجار شده عناصر نادرخاکی نسبت به کندریت (Nakamura، ۱۹۷۴) نشان می‌دهد که از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) به سمت عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) شیب عناصر کاهش پیدا می‌کند. این امر از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکالن می‌باشد که می‌توان آن را به آغشتگی ماگمای اولیه با پوسته نسبت داد. در کانسار چاه‌شیرین از نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب نسبت به کندریت (Thompson، ۱۹۸۲) و عناصر کمیاب نسبت به گوشته (Sun and Mc Donough، ۱۹۸۹)

جهت مشاهده تغییرات ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه نسبت به ماگمای اولیه به‌کار گرفته می‌شود. الگوی عناصر کمیاب در سنگ‌های کانسار چاه‌شیرین با عناصر کوچک یون(LILE) مانند Rb و K آنومالی مثبت و با عناصر بزرگ یون (HFSE) مانند Nb و Ti آنومالی منفی نشان می‌دهد (شکل ۶ـ۶). غنی‌شدگی در عناصر Rb و K و بی‌هنجاری منفی با عناصر Nb و Ti از نشانه‌های فرورانش و مشخصه ماگماهای مشتق شده از گوشته متاسوماتیسم شده در منطقه فرورانش است (Wil-son، ۱۹۸۹). در نمودار بهنجار شده شیب عناصر رو به کاهش است که از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکالن می‌باشد.



شکل ۶ـ۶: الف- نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت (Thompson،۱۹۸۲)، ب- نمودار عنکبوتی بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به گوشته اولیه (Sun et al، ۱۹۸۰)، پ- نمودار بهنجار شده عناصر نادر خاکی منطقه نسبت به کندریت (Nakamura، ۱۹۷۴)

۶ـ۳ـ۵ ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمی بین عناصر

بررسی ارتباط بین عناصر در واحدهای سنگی، یکی از موارد مهم در مطالعات ژئوشیمی است. در کانسار چاه‌شیرین برای تعیین همبستگی آماری بین متغیرها از

روش پیرسون استفاده می‌شود. مقدار ضریب همبستگی میان دو عدد ۱+ و ۱ـ متغیر است. همبستگی اعداد ۰/۵+ تا صفر و ۰/۵ـ تا صفر نیز نشان‌دهنده رابطه ضعیف میان عناصر است. در کانسار مس چاه‌شیرین ضریب همبستگی عناصر با استفاده از نرم‌افزار Excel بررسی و نتایج در جدول ۶ـ۳ ارائه شد. در این کانسار، مس با فلزات سرب (r= ۰/۸) و نقره (r= ۰/۵) همبستگی مثبت و با کبالت (r= ـ۰/۲) همبستگی منفی نشان می‌دهد. همبستگی بالای نقره با مس می‌تواند دلیل بر وجود نقره در شبکه کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت باشد، زیرا میزبان خوبی برای این عناصر هستند (Huston et al.، ۱۹۹۵). حضور کانی‌های سولفیدی مس از جمله بورنیت و کالکوپیریت در طی مطالعات کانه‌نگاری ارتباط ژنتیکی بین عنصر مس و گوگرد را تأیید میکند. از طرفی آهن همبستگی بالایی با تیتان (r= ۰/۹) و همبستگی منفی با کبالت و مولیبدن (r= ـ۰/۴) را نشان می‌دهد. همبستگی ضعیف Cu با Zn را می‌توان به دلیل حلالیت بالای Zn و مهاجرت در منطقه مورد مطالعه دانست.

جدول ۶ـ۳: ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) بین فلزات پایه و برخی عناصر دیگر در کانسار مس چاه‌شیرین

	Ag	As	Co	Ce	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	S	Sb	Sr	Ti	Zn
Ag	1														
As	0/325511	1													
Co	0/065171	0/314873	1												
Ce	-0/15298	-0/5527	-0/10607	1											
Cr	-0/2085	-0/20395	-0/52881	-0/2345	1										
Cu	0/547449	0/152908	-0/2455	0/112512	-0/02609	1									
Fe	0/170158	-0/23277	-0/39975	0/567173	0/369609	0/389318	1								
Mn	0/054284	0/328781	0/363839	0/176937	-0/20863	0/115519	0/027193	1							
Ni	0/301413	0/498753	0/676244	-0/35102	0/028629	-0/05317	0/008094	0/211598	1						
Pb	0/730037	0/040161	-0/02839	0/242852	-0/1606	0/86651	0/490422	0/101478	0/15101	1					
S	0/250967	0/14963	-0/2955	-0/07565	0/306312	0/133476	0/549598	-0/57413	0/206119	0/244387	1				
Sb	-0/07763	0/632302	0/187121	-0/28992	-0/23675	0/014818	-0/46827	0/432318	0/161438	-0/18149	-0/35228	1			
Sr	-0/13927	-0/36136	-0/07173	0/507211	-0/32872	-0/22244	-0/16101	-0/09356	-0/40655	-0/17267	-0/27927	0/21017	1		
Ti	0/150875	-0/26935	-0/46463	0/633679	0/25924	0/462683	0/975764	-0/0127	-0/1322	0/531297	0/517638	-0/44956	-0/11221	1	
Zn	-0/0817	-0/03958	-0/13631	-0/21929	-0/04006	-0/09852	-0/24007	-0/26512	-0/07784	-0/0564	0/03152	0/300315	0/263682	-0/22357	1

۶ـ۳ـ۶ گمانه‌های اکتشافی

بعد از جمع‌بندی و تلفیق برداشت‌ها و اطلاعات سطحی محدوده، طراحی شبکهٔ گمانه‌های اکتشافی توسط شرکت چهار مس دامغان با یک دستگاه حفاری به روش

پودری حفاری شد (شکل ۶ـ۷). تعداد ۱۳ گمانه با متراژ کلی ۳۰۶/۳۹ متر حفر شده است. تمامی گمانه‌ها بصورت شیب‌دار حفر شده است و عمق متفاوتی دارند. از ۳۰۶/۳۹ متر حفاری انجام شده تعداد ۲۸۵ نمونه برداشت و از این تعداد، ۸۵ نمونه به آزمایشگاه ارسال شده است و مقایسه گمانه‌ها از نظر عمق، تعداد و متراژ نمونه برداشت شده و آمار تفکیکی و تجمعی از آنها در جدول ۶ـ۴ نشان داده شده است.حداکثر میزان مس مربوط به گمانه‌های BH۰۳، BH۰۵، BH۰۶، BH۰۷، BH۱۰ می‌باشد که در ادامه نتایج حاصل از حفاری در کانسار مس چاه‌شیرین به تفکیک هر گمانه و خلاصه ای از مطالعات لاگینگ آنها آورده شده است (شکل ۶ـ۸ و ۶ـ۹).

شکل ۶ـ۷: حفاری گمانهٔ به روش پودری و نمونه‌برداری درکانسار چاه شیرین

گمانه BH۰۳

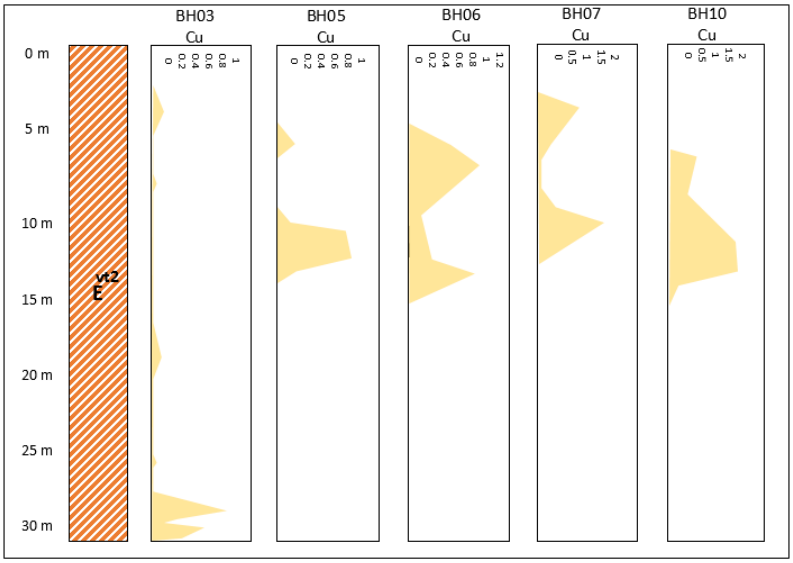
این گمانه از عمق ۲ تا عمق ۳۰ متری حفاری شده است. در این گمانه از عمق ۲ تا حدوداً ۲۵ متری فاقد زون کانی‌سازی است و از عمق تقریبا ۲۵ تا ۳۰ متری کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی مس با عیار ۸/. درصد را نشان می‌دهد. خلاصه‌ای از]تغییرات عیاری گمانه موردنظر در شکل ۶ـ۱۰ و جدول ۶ـ۵ آمده است.

گمانه BH۰۵

یکی دیگر از گمانه‌های حفر شده در محدوده اکتشافی چاه‌شیرین گمانه BH۰۵ است. این گمانه از عمق ۴ تا ۲۳ متری حفر شده است که در عمق ۹ تا ۱۳ متری

جدول ۶ـ۴: آمار عمق حفاری گمانه‌ها و تعداد و متراژ نمونه‌برداری و نمونه‌های ارسالی برای آنالیز

BH	DEPTH	SAMPLING NO	ANALYSIS NO	SAMPLING LENGTH	ANALYSIS LENGTH
BH۰۱	۴۳	۴۰	۳	۴۰	۳
BH۰۲	۴۰	۳۹	۶	۳۹	۶
BH۰۳	۳۱.۳	۳۰	۱۲	۲۹.۳	۱۱/۳
BH۰۴	۱۹	۱۷	۲	۱۷	۲
BH۰۴A	۱۵	۱۴	۱	۱۴	۱
BH۰۵	۱۷	۲۶	۱۱	۲۶	۱۱
BH۰۶	۱۳.۳	۱۲	۹	۱۱.۳	۸/۳
BH۰۷	۱۹	۱۶	۱۳	۱۶	۱۳
BH۰۷A	۲۰	۱۸	۳	۱۸	۳
BH۰۸	۱۶	۱۵	۱۰	۱۵	۱۰
BH۰۸A	۳۴.۳	۳۳	۷	۳۲.۳	۷
BH۰۹	۱۵	۱۳	۱	۱۳	۱
BH۱۰	۱۴	۱۲	۷	۱۲	۷
TOTAL	۳۰۶.۹	۲۸۵	۸۵	۲۸۲.۹	۸۳.۶

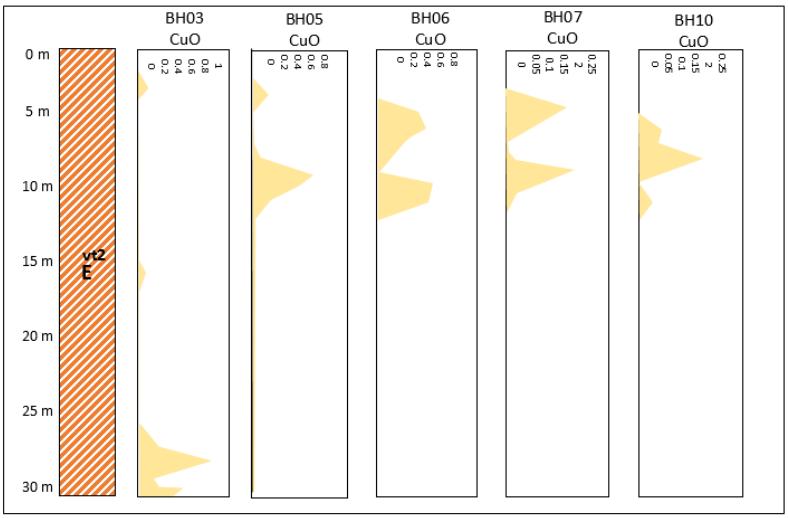


شکل ۶ـ۸: خلاصه‌ای از مطالعات لاگینگ گمانه‌ها برای عنصر Cu در کانسار چاه‌شیرین

کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی با عیار ۹/. درصد را دارد. خلاصه تغییرات عیاری این گمانه در شکل ۶ـ۱۱ و جدول ۶ـ۶ آمده است.

گمانه BH۰۶

این گمانه تا عمق ۱۳ متری حفر شده است که زون کانی‌سازی در عمق ۵ تا ۱۳ متری دیده می‌شود که خلاصه مطالعات آن در شکل ۶ـ۱۲ و جدول ۶ـ۷ آمده است.



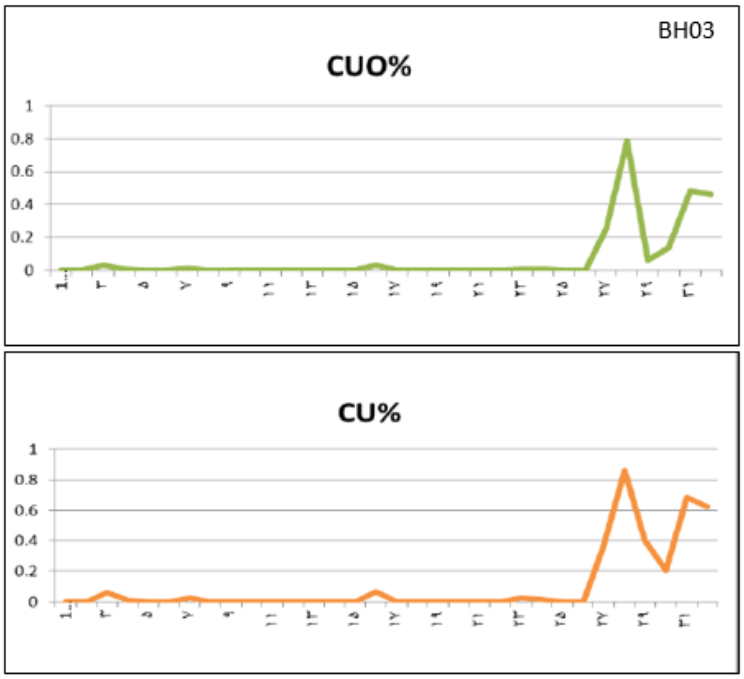
شکل ۶ـ۹: خلاصه مطالعه لاگینگ گمانه‌ها برای CuO در کانسار چاه‌شیرین

جدول ۶ـ۵: نتایج عیار نمونه‌های گرفته شده از گمانه BH۰۳

Sample	Ag	As	Cu	$\%Cu$	CuO	$\%CuO$	Fe	Mn	pb	S	Sb	Zn
BH۰۳-۱	۰/۲	۲۴	۶۰۵	۰/۰۶۰	۳۲۹	۰/۰۳	۴۸۰۱۴	۱۶۴۴	۶	۴۸۷	۱/۱۳	۱۴۳
BH۰۳-۲	۰/۱۷	۱۷/۵	۱۳۲	۰/۰۱	۶۸	۰/۰۰۶	۴۰۰۶۱	۷۷۵	۷	۲۳۳	۱/۱۱	۱۵۱
BH۰۳-۵	۰/۲	۲۶/۱	۲۵۰	۰/۰۲	۱۰۲	۰/۰۱	۵۲۹۷۳	۱۰۷۳	۶	۱۰۴	۰/۹۸	۶۸
BH۰۳-۱۴	۰/۲۲	۱۰	۶۷۸	۰/۰۶	۳۱۵	۰/۰۳	۴۵۸۵۹	۹۱۰	۷	۱۳۵	۱/۱۲	۷۰
BH۰۳-۲۱	۰/۲۴	۸	۲۸۹	۰/۰۲	۳۸	۰/۰۰۳	۴۶۵۴۱	۲۱۴۵	۷	۲۲۷	۱/۲	۷۱
BH۰۳-۲۲	۰/۱۵	۲۱/۱	۱۸۲	۰/۰۱۸	۴۱	۰/۰۰۴	۴۸۷۵۸	۱۴۶۷	۹	۱۳۸	۱/۱۴	۳۷
BH۰۳-۲۵	۰/۲۹	۱۸/۱	۳۷۰۹	۰/۳۷	۲۵۱۹	۰/۲۵	۳۳۷۵۷	۹۶۲	۷	۱۰۹	۱/۰۶	۵۹
BH۰۳-۲۶	۰/۲۹	۲۲/۱	۸۵۹۹	۰/۸۵	۷۸۴۷	۰/۰۷	۳۳۲۶۷	۸۲۹	۶	۱۴۰	۰/۹۸	۴۳
BH۰۳-۲۷	۰/۴	۴	۴۰۴۲	۰/۴۰	۶۱۸	۰/۰۶	۳۸۷۰۸	۷۸۷	۶	۱۰۳۷	۱/۱۳	۴۲
BH۰۳-۲۸	۰/۲۴	۷/۱	۲۰۷۲	۰/۲۰	۱۳۸۹	۰/۱۳	۳۲۶۴۰	۱۰۲۵	۶	۵۷۰	۰/۹۹	۳۳
BH۰۳-۲۹	۰/۲۴	۴۵	۶۸۴۳	۰/۶۸	۴۷۹۷	۰/۴۷	۳۵۶۶۲	۱۲۲۷	۶	۵۸۹	۰/۳۹	۳۱
BH۰۳-۳۰	۰/۳۵	۳۶/۵	۶۲۲۸	۰/۶۲	۴۶۳۶	۰/۴۶	۳۷۰۰۱	۱۳۷۵	۶	۸۶۷	۱/۰۴	۳۵

گمانه BH۰۷

این گمانه از عمق ۲ تا ۱۷ متری حفر شده است که زون کانی‌سازی مشاهده شده در این گمانه در عمق‌های ۳ت تا ۶ متر و ۸ تا ۱۲ متر دیده می‌شود که خلاصه نتایج و تغییرات عیاری آن در شکل ۶ـ۱۳ و جدول ۶ـ۸ آمده است.



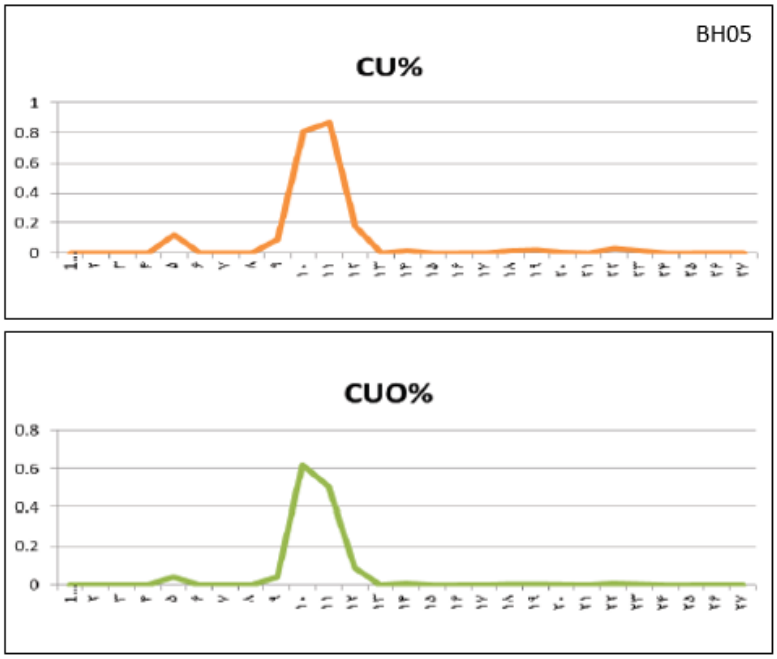
شکل ۶ـ۱۰: تغییرات عیار مس در گمانه BH۰۳

جدول ۶ـ۶: نتایج عیار نمونه‌های گرفته شده از گمانه BH۰۵

Sample	Ag	As	Cu	٪Cu	CuO	٪CuO	Fe	Mn	pb	S	Sb	Zn
BH۰۵-۴	۰/۱۷	۲۴/۴	۱۲۴۱	۰/۱۲	۴۲۳	۰/۰۴	۳۳۶۴۰	۱۱۵۷	۶	۲۹۲	۰/۱۷	۲۲۸
BH۰۵-۸	۰/۱۶	۳۷/۴	۹۱۸	۰/۰۹	۴۲۱	۰/۰۴	۳۶۷۱۱	۱۳۱۲	۶	۲۶۴	۱/۰۱	۴۰۱
BH۰۵-۹	۰/۴۳	۵۰/۸	۸۱۱۱	۰/۸۱	۶۲۰۹	۰/۶۲	۳۸۸۵	۱۷۷۸	۶	۲۱۴	۱/۱۷	۴۵
BH۰۵-۱۰	۰/۳	۵۸/۸	۸۷۱۶	۰/۸۷	۵۰۶۳	۰/۵۰	۵۳۹۸۰	۲۶۱۵	۷	۲۲۹	۱/۰۵	۷۰
BH۰۵-۱۱	۰/۱۷	۳۷/۱	۱۷۹۸	۰/۱۷	۸۹۴	۰/۰۸	۴۳۰۷۲	۱۷۴۹	۷	۱۴۴	۱/۱۶	۵۸
BH۰۵-۱۳	۰/۱۶	۱۰/۳	۱۸۷	۰/۰۱	۷۳	۰/۰۰۷	۴۱۰۷۵	۱۲۴۷	۶	۱۲۹	۱/۱۴	۶۴
BH۰۵-۱۷	۰/۱۹	۷/۷	۱۴۶	۰/۰۱	۳۶	۰/۰۰۳	۵۵۲۳۲	۱۰۳۲	۷	۱۲۶	۱/۱۵	۱۲۵
BH۰۵-۱۸	۰/۱۹	۱۶/۵	۲۱۶	۰/۰۰۲	۶۴	۰/۰۰۶	۶۰۳۳۴	۱۱۲۶	۹	۱۵۲	۱/۱۷	۴۵
BH۰۵-۱۹	۰/۱۷	۱۹/۱	۷۸	۰/۰۰۷	۱>	–	۵۳۴۹۱	۱۰۱۹	۸	۱۳۶	۱/۰۸	۵۴
BH۰۵-۲۱	۰/۱۷	۱۶/۴	۳۱۹	۰/۰۳	۷۳	۰/۰۰۷	۵۱۱۶	۲۱۷۹	۷	۱۴۹	۱/۱۳	۸۳
BH۰۵-۲۲	۰/۲	۳۸/۷	۱۵۶	۰/۰۱	۴۳	۰/۰۰۴	۵۱۶۹۷	۱۱۹۲	۷	۱۰۹	۱/۱۶	۸۳

گمانه BH۱۰

آخرین گمانه حفر شده در محدوده معدنی چاه‌شیرین گمانه BH۱۰ است که از عمق ۶ تا ۱۴ متری حفر شده است. این گمانه از عمق ۶ تا ۱۲ متری دارای زون کانی‌سازی

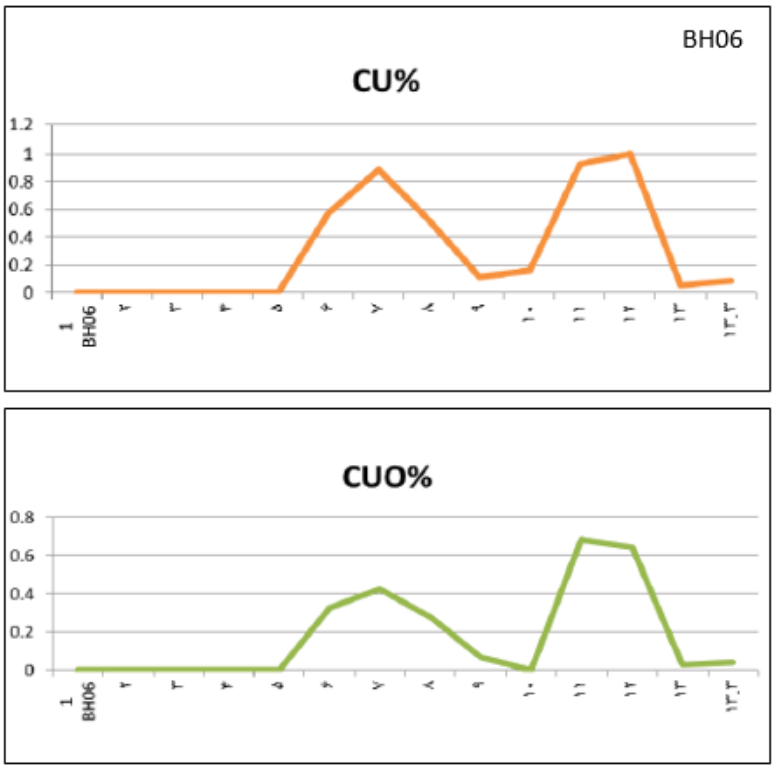


شکل ۶ـ۱۱: تغییرات عیار مس در گمانه BH۰۵

جدول ۶ـ۷: نتایج عیار نمونه‌های گرفته شده از گمانه BH۰۶

Sample	Ag	As	Cu	٪Cu	CuO	٪CuO	Fe	Mn	pb	S	Sb	Zn
BH۰۶-۴	۲/۶	۱۰/۶	۵۷۳۰	۰/۵۷	۳۲۷۵	۰/۳۲	۲۸۷۵۹	۱۰۵۵	۷	۴۳۴	۱/۰۷	۹۱
BH۰۶-۵	۳/۳	۶/۲	۸۸۷۷	۰/۸۸	۴۲۸۲	۰/۴۲	۳۸۴۹۶	۲۷۷۴	۸	۱۲۸۱	۰/۹۹	۴۳
BH۰۶-۶	۰/۳۳	۱۲/۶	۵۱۹۸	۰/۵۱	۶۲۰۹	۰/۶۲	۳۷۰۶۰	۲۳۷۹	۸	۶۰۹	۱/۰۹	۵۸
BH۰۶-۷	۰/۲۲	۲۷/۲	۱۱۹۴	۰/۱۱	۲۷۸۱	۰/۲۷	۵۴۵۶۵	۲۰۸۲	۶	۵۹۵	۱/۲۱	۱۳۶
BH۰۶-۸	۰/۲۲	۱۵/۹	۱۶۵۳	۰/۱۶	۷۱۲	۰/۰۷	۳۶۶۶۲	۷۳۳	۶	۲۹۸	۱/۰۹	۲۴۶
BH۰۶-۹	۰/۴۲	۳۴/۶	۶	۰/۰۰۶	۷۳	۰/۰۰۷	۴۲۱۲۵	۹۵۶	۸	۲۴۴	۱/۰۳	۷۰
BH۰۶-۱۰	۱/۱	۱۶/۵	۱۰۰۴۸	۱/۰۰۴	۶۸۶۴	۰/۶۸	۴۴۵۰۲	۱۳۹۴	۸	۵۶۷	۱/۰۵	۵۶
BH۰۶-۱۱	۰/۲۲	۵/۷	۶۴۵۶	۰/۶۴	۲۶۹	۰/۰۲	۴۹۰۶۶	۱۱۴۸	۷	۱۷۵	۱/۰۲	۶۶
BH۰۶-۱۲	۰/۲۵	۷/۴	۸۶۷	۰/۰۸	۴۳۰	۰/۰۴	۴۴۹۷۸	۱۴۴۲	۷	۱۵۵	۱/۰۱	۸۲۴

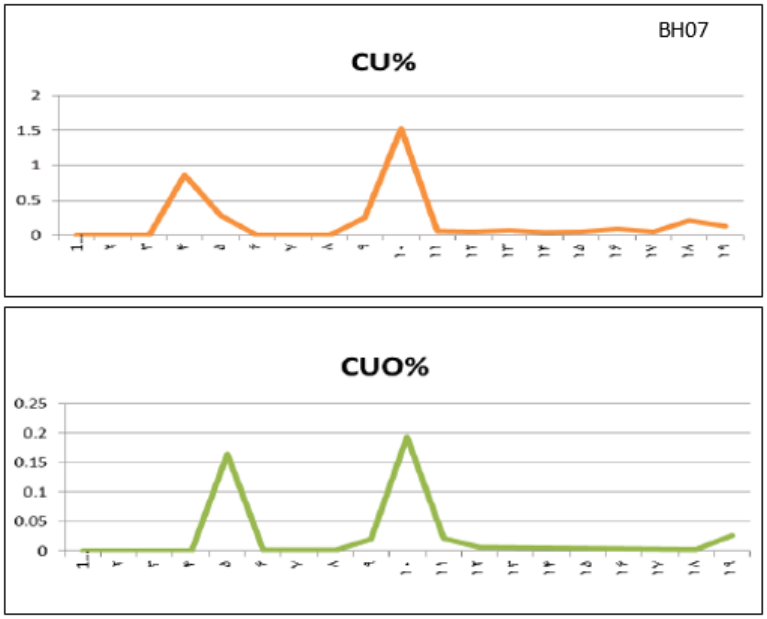
با بیشترین عیار مس حدوداً ۱.۸ درصد است. خلاصه نتایج و تغییرات عیاری آن در شکل ۶ـ۱۴ و جدول ۶ـ۹ آمده است.



شکل ۶ـ۱۲: تغییرات عیار مس در گمانه BH۰۶

جدول ۶ـ۸: نتایج عیار نمونه‌های گرفته شده از گمانه BH۰۷

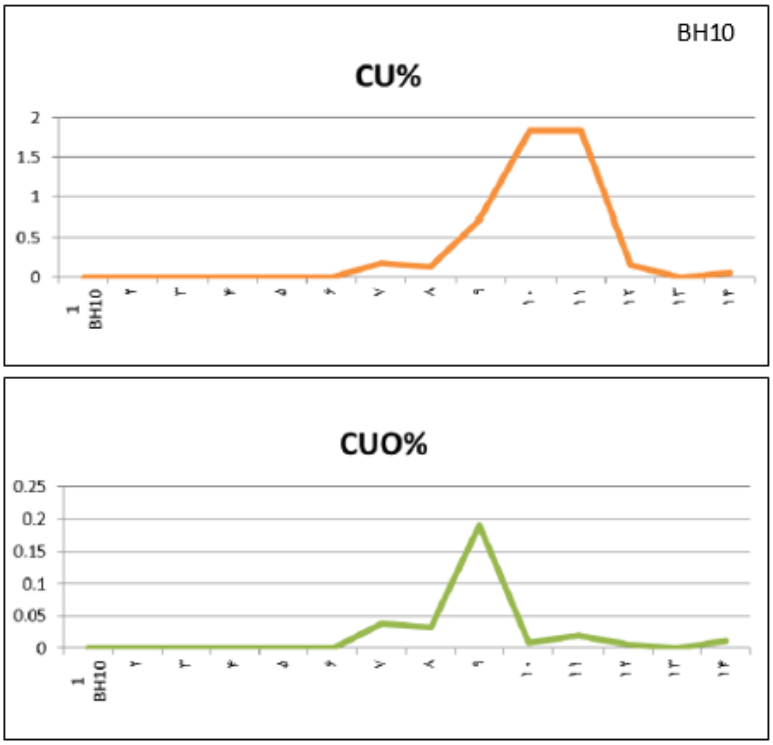
Sample	Ag	As	Cu	٪Cu	CuO	٪CuO	Fe	Mn	pb	S	Sb	Zn
BH۰۷-۱	۰/۲۶	۲۳/۲	۸۶۹۹	۰/۸۶	۴	۰/۰۰۰۴	۴۱۲۳۵	۱۳۹۵	۹	۵۴۴	۱/۰۹	۱۳۲
BH۰۷-۲	۰/۲	۱۴/۹	۲۸۲۵	۰/۲۸	۱۶۴۸	۰/۱۶	۳۶۶۱۰	۱۲۹۶	۹	۳۵۵	۱/۱۴	۱۶۴
BH۰۷-۶	۱	۲/۵	۲۵۶۹	۰/۲۹	۲۰۶	۰/۰۶	۲۹۹۴۵	۹۵۶	۶	۱۰۰۶	۱	۱۸۸
BH۰۷-۷	۷/۹	۷/۱	۱۵۲۷۸	۰/۱۵	۱۹۴۱	۰/۱۹	۲۶۵۸۲	۲۲۴۸	۸	S	۱	۸۹
BH۰۷-۸	۰/۲۶	۱۱/۲	۶۱۱	۰/۰۶	۲۲۱	۰/۰۲	۲۷۷۷۳	۸۶۲	۷	۵۲۰۰	۱/۰۸	۳۳۰
BH۰۷-۹	۰/۲۱	۸/۹	۵۷۶	۰/۰۵	۶۷	۰/۰۰۶	۲۶۸۷۰	۱۷۴۷	۶	۴۳۴	۱/۰۳	۳۳۱
BH۰۷-۱۰	۰/۲۴	۷/۷	۷۱۶	۰/۰۷	۱>	–	۲۷۲۰۴	۳۷۲۰	۵	۵۰۱	۱/۰۹	۸۹
BH۰۷-۱۱	۰/۳	۹/۹	۴۳۵	۰/۰۴	۱>	–	۲۷۸۹۱	۱۸۹۲	۶	۴۳۳	۱/۱	۴۸۰
BH۰۷-۱۲	۰/۲۲	۲/۴	۴۸۴	۰/۰۴	۱>	–	۲۸۷۰۰	۱۳۲۸	۵	۳۵۵	۰/۹۸	۸۰۶
BH۰۷-۱۳	۰/۲	۴/۲	۸۸۶	۰/۰۸	۱>	–	۲۶۹۸۴	۲۵۸۴	۶	۵۲۱	۱/۰۱	۳۴۴
BH۰۷-۱۴	۰/۲	۲/۳	۵۴۸	۰/۰۵	۱>	–	۲۷۴۳۵	۲۱۰۱	۵	۴۰۸	۰/۹۶	۳۴۲
BH۰۷-۱۵	۰/۳۲	۴/۱	۲۱۱۱	۰/۲۱	۳۰	۰/۰۰۳	۲۹۳۷۵	۱۷۵۶	۶	۹۲۴	۱/۰۸	۲۱۲
BH۰۷-۱۶	۰.۳۴	۱۶/۸	۱۳۱۶	۰/۱۳	۲۶۷	۰/۰۲	۴۱۷۷۹	۳۵۰۰	۵	۴۰۱	۰/۹۶	۴۶۲



شکل ۶ـ۱۳: تغییرات عیار مس در گمانه BH۰۷

جدول ۶ـ۹: نتایج عیار نمونه‌های گرفته شده از گمانه BH۱۰

BH۱۰-۵	Ag	As	Cu	٪Cu	CuO	٪CuO	Fe	Mn	pb	S	Sb	Zn
BH۱۰-۶	۱/۹	۱۶/۸	۱۸۱۰	۰/۱۸	۳۸۲	۰/۰۳	۳۳۴۵۲	۱۰۹۵	۶	۲۸۵۱	۱/۰۸	۷۱
BH۱۰-۶	۰/۷	۱۶/۱	۱۳۸۳	۰/۱۳	۳۲۸	۰/۰۳	۳۱۹۹۳	۱۱۲۶	۷	۱۹۴۷	۱/۱۱	۴۰
BH۱۰-۷	۳/۲	۱۲/۱	۷۳۵۹	۰/۷۳	۱۹۰۵	۰/۱۹	۳۲۴۴۱	۱۲۷۹	۶	۲۴۰۱	۱/۰۸	۵۲
BH۱۰-۸	۷/۳	۶/۱	۱۸۳۳۴	۱/۸۳	۸۶	۰/۰۰۸	۳۱۲۹۶	۱۶۷۹	۸	۸۹۲۸	۰/۹۷	۴۳
BH۱۰-۹	۴/۸	۱۵/۹	۱۸۳۴۹	۱/۸۳	۲۰۳	۰/۰۲	۳۳۵۷۵	۱۳۴۶	۷	۸۰۲۱	۱۰۷	۲۰۲
BH۱۰-۱۰	۳/۶	۱۲/۳	۱۶۳۳	۰/۱۶	۵۸	۰/۰۰۵	۲۷۸۴۳	۱۰۴۸	۶	۲۰۳۳	۱/۱۶	۲۶۴
BH۱۰-۱۲	۰/۸	۲۲/۲	۶۶۴	۰/۰۶	۱۱۶	۰/۰۱	۲۸۳۲۳	۱۶۴۱	۷	۹۲۷	۰/۹۳	۵۲۰



شکل ۶ـ۱۴: تغییرات عیار مس در گمانه BH۱۰

فصل ۷

میانبارهای سیال

۷ـ۱ مقدمه

یکی از راه‌های مطالعه منشأ و تعیین دمای کانه‌زایی، مطالعه سیال درگیر است. سیالات درگیر حجم‌های کوچکی از سیال در یک بلور هستند که ممکن است در امتداد پهنه‌های رشد یا لبه یک بلور یا در داخل هر گونه نقص بلوری در طی رشد بلور به‌دام افتاده باشند. این مطالعات جهت بررسی وضعیت سیالات کانه‌ساز و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار اهمیت دارد و اطلاعات زیادی در رابطه با منشأ سیالات و فلزات ارائه می‌کند (Wilkinson، ۲۰۰۱). در این فصل با استفاده از مطالعه میانبارهاي سیال، درجه حرارت تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آنها و چگالی سیال تشکیل‌دهنده کانی‌ها بحث می‌شود.

۷ـ۲ روش مطالعه

مطالعات سیال درگیر محدوده معدنی چاه‌شیرین از دو نمونه کلسیتی برای تهیه مقطع دوبر صیقل انتخاب شد (شکل ۷ـ۱). این نمونه‌ها پس از تهیه مقاطع دوبر صیقل، در آزمایشگاه تحقیقاتی زمین‌شناسی اقتصادی و میانبارهای سیال دانشگاه صنعتی شاهرود مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل در جدول ۷ـ۱ ارائه شده است. اندازگیری درجه حرارت تشکیل کانی‌ها بر روی مقاطع با استفاده از دستگاه پیشرفته میانبارهای سیال مدل MDSG۶۰۰ ساخت کارخانه Linkam انگلستان انجام شده است. دامنه اندازه‌گیری دمایی آن از ۱۹۶ـ تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد و دقت آن ۰/۱ درجه سانتی‌گراد است. این دستگاه به دو کنترل‌گر گرمایش (TMS۹۴/۲) و سرمایش (LNP۹۴/۲)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروزن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) مجهز است.

شکل ۷ـ۱: تصاویر نمونه دستی از نمونه‌های مورد مطالعه دارای کلسیت جهت مطالعات سیال درگیر

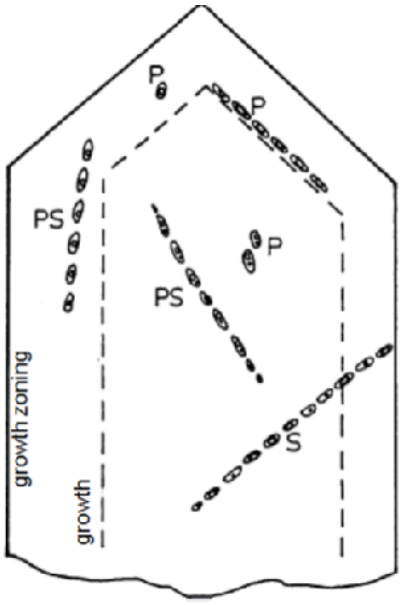
جدول ۷ـ۱: نتایج حاصل از مطالعات حرارت‌سنجی بر روی میانبارهای سیال کانی کلسیت منطقه چاه‌شیرین

sample	Origin	Type	Size	T_e°C	T_m °C	Wt % NaCl	T_h°C
S (Calcite)	p	L+V	3	nv	-1	1.92	98
	p	L+V	4	-30	-2	3.39	109
	p	L+V	4	-40	-3	5.22	122
	p	L+V	4	-59	-8	12	100
	p	L+V	5	-61	-10	14.26	130

nv: غیر قابل مشاهده

۷ـ۳ طبقه‌بندی و پتروگرافی میانبار سیال

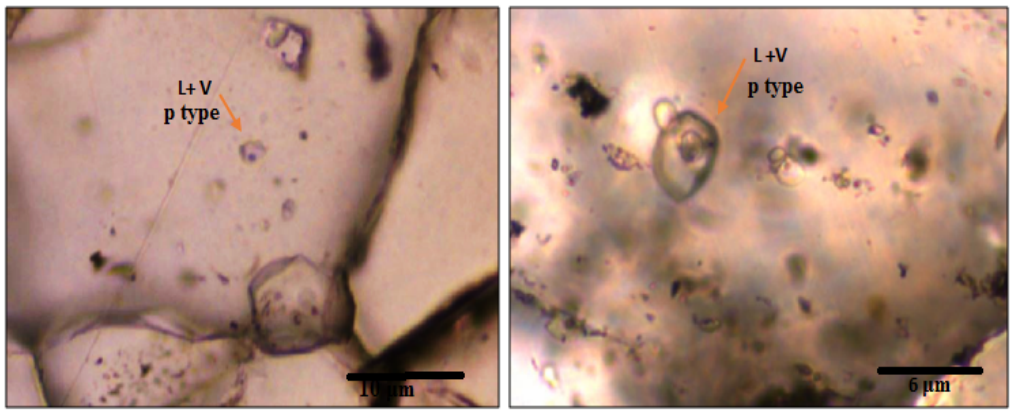
قبل از انجام مطالعات مربوطه، ابتدا مشخصات میانبارهای سیال را از لحاظ شکل سیال، انواع سیال (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب) (شکل ۷ـ۱)، فازهای مختلف مایع، بخار و جامد (L+V+S) (شکل ۷ـ۲)، نسبت بخار به مایع (V/L)، نوع بلورهای دختر (با توجه به شکل بلوری و مورفولوژی ظاهری)، نحوه گسترش هندسی سیالات درگیر و اندازهٔ آنها توسط میکروسکوپ پتروگرافی بررسی شود. در کانسار مس چاه‌شیرین، سیالات درگیر دارای فاز مایع+ بخار (غنی از مایع با حباب بخار کوچک) با اندازه بین ۳ تا ۵ میکرون دیده می‌شوند (شکل ۷ـ۳). پتروگرافی میان بارهای سیال بر روی نمونه کلسیتی انجام شده است. از لحاظ شکل ظاهری این سیالات تقریبا کروی شکل دیده می‌شوند. نوع میانبارهای سیال در نمونه‌های مورد مطالعه اولیه است زیرا به‌صورت مجزا و درشت در زمینه کانی‌ها پراکنده هستند. فراوانی سیال‌ها در دو نمونه (s_1، s_2)، به تعداد خیلی کم (به علت دمای پایین تشکیل کلسیت) مشاهده می‌شود (شکل ۷ـ۴).



شکل ۷ـ۲: : انواع سیالات درگیر از جهت منشأ (Hansteen، ۱۹۸۸): (P=Primary)، (PS= Pseudo secondary)، (S= Secondary inclusions)

INCLUSION TYPE	ESSENTIAL PHASES	TYPICAL EXAMPLES	ABBREVIATION
Monophase liquid	L = 100%		L
Liquid-rich, two-phase	L > 50%		L+V
Vapour-rich, two-phase	V = 50 to 80%		V+L
Monophase vapour	V ≙ 100%		V
Multiphase solid	L = variable S < 50%		S+L±V
Multisolid	S > 50% L, V variable		S+L±V
Immiscible liquid	L_1, L_2		L_1+L_2±V
Glass	GL > 50%	not shown	GL±V±S

شکل ۷ـ۳: رده‌بندی انواع سیالات درگیر براساس فازهای مشاهده شده در دمای اتاق (Shephard et al، ۱۹۸۵)، مایع:L، گاز:V، جامد:S، شیشه:GL



شکل ۷ـ۴: : تصاویری از سیال‌های درگیر دوفازی مایعـ گاز با محتوای فاز غالب مایع از نمونه s_1 (L+V)

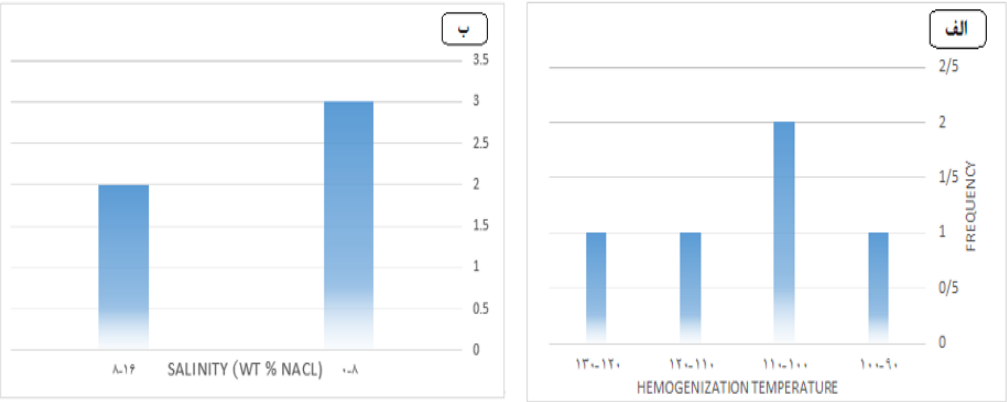
۷ـ۴ مطالعات دما و شوری میان‌بار سیال

برای انجام مطالعات دماسنجی میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در مرحله سرمایش، سیال را تا ۱۲۰ـ درجه سانتی‌گراد (بسته به نوع کانی و مراحل کانی‌سازی براساس مقالات و تیپ کانسارهای مشابه) سرد کرده تا کلیه فازهای موجود انجماد

پیدا کنند سپس سرمایش را متوقف کرده و تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای اتاق) افزایش می‌دهیم. در نتیجه بعد از مدتی، سیال ذوب شده و از حالت انجماد خارج می‌شود. ذوب شدن سیال از حاشیه شروع شده و تا محو شدن کامل سیال ادامه پیدا می‌کند. دمای انجماد کامل سیال را یوتکتیک و با Te و دمای ذوب شدن کامل را با Tm (Temperature of melting) نمایش می‌دهیم. در مطالعات مربوط به مرحله گرمایش، دمای همگن شدن سیال (Temperature of homogenization) به دست می‌آید. دمای همگن شدن یعنی دمایی که در اثر گرم کردن باعث می‌شود فاز (L+V) در کانسار مس چاه‌شیرین به نسبت میزان بخار به مایع به یک فاز مایع یا بخار، تبدیل شود. این دما (Th) در کانسار چاه‌شیرین در پنج ادخال بین ۹۸ــ ۱۳۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شده است (جدول ۷ــ۱). تعیین شوری سیالات درگیر در کانسار مس چاه‌شیرین با استفاده از دمای Tm و فرمول زیر محاسبه می‌شود.

Salinity=۱.۷۶۹۵۸Tm–۴.۲۳۸۴×۱۰-۲Tm۲+۵.۳×۱۰-۴Tm۳+۰.۲۸

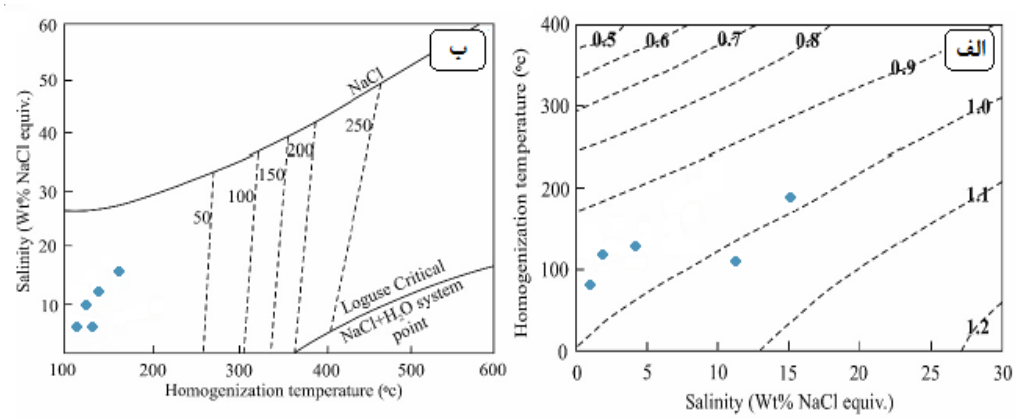
با توجه به اینکه نقطهٔ انجماد آب خالص، صفر درجه سانتی‌گراد است، از روی میزان افت نقطهٔ انجماد یا ذوب، درجه شوری سیال برحسب درصد وزنی NaCl محاسبه می‌شود (Roedder، ۱۹۷۶). بنابراین طبق نمودار توزیع فرآوانی مربوط به دمای همگن شدن و شوری سیال، به ترتیب مقدار ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و شوری با ۸ درصد وزنی معادل NaCl را در سیالات درگیر کانسار مورد مطالعه نشان می‌هد (شکل ۷ــ۵).



شکل ۷ــ۵: الف‌ــ نمودار توزیع فراوانی دمای همگن‌شدن در کانسار مس چاه‌شیرین، ب‌ــ نمودار میزان شوری در میانبارهای سیال منطقه

۷ـ۵ تعیین چگالی و فشار بخار میان‌بار سیال

در تعیین چگالی و فشار بخار میانبارهای سیال محدوده چاه‌شیرین از نمودار (Bonder، ۱۹۸۳) و (Ramdohr، ۱۹۸۰) بر پایه دمای همگن شدن سیال در برابر شوری استفاده می‌شود. بنابراین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۹ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) (شکل ۷ـ۶، الف) و فشار بخار محلول ۵۰ بار را نمایش می دهد (شکل ۷ـ۶، ب). در این نمودارها با افزایش شوری و دمای میانبارهای سیال، چگالی و فشار افزایش می‌یابد.

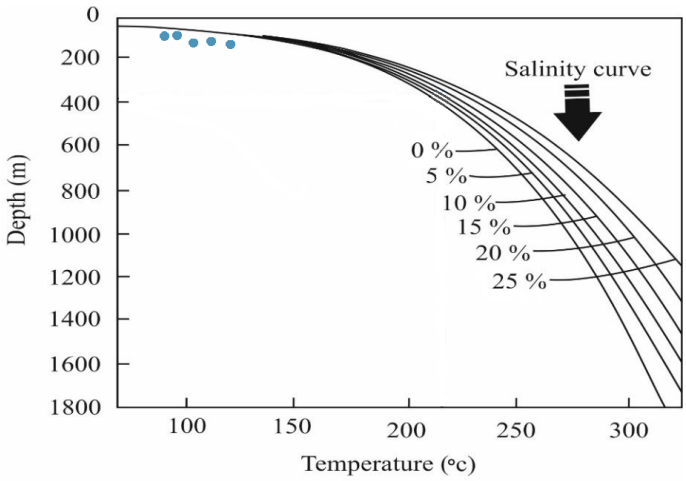


شکل ۷ـ۶: : الف‌ـ نمودار تعیین چگالی سیال در نمونه های مورد مطالعه چاه‌شیرین (Bonder، ۱۹۸۳)، ب‌ـ نمودار تعیین فشار بخار محلول بر اساس شوری و دمای همگن شدن (Ramdohr، ۱۹۸۰)

۷ـ۶ تعیین عمق تشکیل سیالات

تعیین عمق تشکیل سیال‌های محدوده مورد مطالعه با استفاده از نمودار هس (Hass، ۱۹۷۱)، که بر پایه دمای همگن شدن و شوری است امکان‌پذیر می‌باشد (شکل ۷ـ۷). طبق این نمودار عمق به دام افتادگی میانبارهای سیال برحسب فشار لیتواستاتیک در کانسار چاه‌شیرین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر را نشان می‌دهد. به گفته Roed-der (۱۹۸۴) اگر دمای همگن‌شدن معادل دمای به دام افتادن سیال باشد، جوشش رخ می دهد. از نشانه‌های جوشش، وجود میانبارهای غنی از بخار و غنی از مایع است

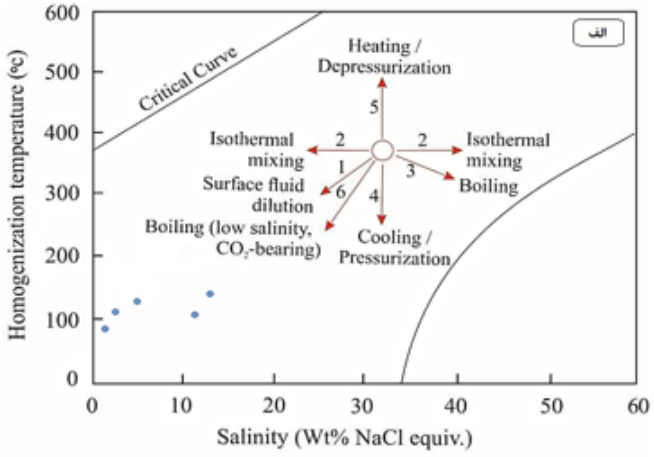
که در دمای یکسان به بخار همگن شوند (Davidson et al.، ۲۰۰۷). بنابراین به علت نبود شواهد رخداد جوشش، عمق به دام افتادن سیالات بیش از ۱۵۰ متر بوده است.



شکل ۷ـ۷: تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass، ۱۹۷۱)

۷ـ۷ تعیین عوامل ته‌نشست کانه‌ها

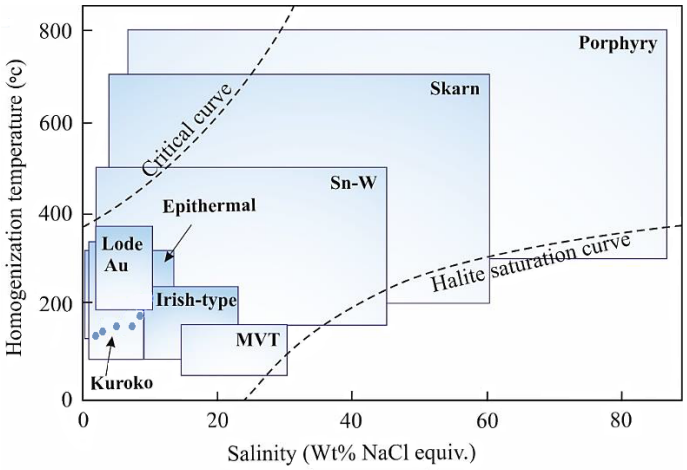
نمودار ارائه شده توسط (Wilkinson، ۲۰۰۱)، برای تعیین روند کلی تحول سیال استفاده می‌شود. این نمودار دمای همگن‌شدن در مقابل شوری را به منظور تعیین عوامل موثر در تکامل سیال نشان می‌دهد. بنابراین طبق این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه کانسار چاه‌شیرین در روند ۱ (رقیق‌شدگی با آب‌های سطحی) قرار می‌گیرد و نقش آب‌های جوی را در ورود به سامانه به‌خوبی نشان می‌دهد (شکل ۷ـ۸، الف). سرد شدن می‌تواند در ته‌نشست مواد معدنی در محیط‌های پوسته‌ای نقش داشته باشد. بنابراین کاهش دمای همگن شدن سبب کاهش سرعت سیال کانه‌ساز و در نتیجه ته‌نشست ماده معدنی می‌شود.



شکل ۷ـ۸: الف- نمودار شوری در مقابل دمای همگن‌شدن در تعیین فرآیندهای موثر در تکامل سیال

۷ـ۸ تعیین منشأ سیالات

طبق نمودار (Wilkinson، ۲۰۰۱)، میانبارهای سیال کانسار چاه‌شیرین در بخش اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (شکل ۷ـ۹).



شکل ۷ـ۹: نمودار شوری و دمای همگن‌شدن جهت تعیین منشأ سیالات در کانسار مس چاه‌شیرین (Willkinson، ۲۰۰۱)

فصل ۸

تیپ کانه‌زایی، الگوی تشکیل، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۸ـ۱ مقدمه

ارائه الگوی زمین ساختی مناسب جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید به‌عنوان یک عامل مهم در مطالعات هر کانسار در نظر گرفته می‌شود که به شناخت عوامل کنترل‌کننده تشکیل ماده معدنی بستگی دارد. بنابراین در این فصل به بررسی‌های دقیق صحرایی و آزمایشگاهی و تلفیق شواهد و تجزیه و تحلیل انجام شده در بخش‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و میانبارهای سیال پرداخته می‌شود. چگونگی تشکیل کانه‌زایی مس در کانسار چاه‌شیرین و مقایسه آن با دیگر کانسارهای مشابه در دنیا جهت مشخص کردن تیپ کانسار مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در پایان چند پیشنهاد جهت فعالیت‌های اکتشافی ارائه می‌گردد.

۸ـ۲ شواهد ژنتیکی مهم در ارتباط با کانسار چاه‌شیرین

جایگاه تکتونیکی

کانسار مس چاه‌شیرین در حاشیه شمالی زون ساختاری- رسوبی ایران مرکزی و نوار آتشفشان- رسوبی ترود- چاه‌شیرین، با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب رخنمون دارد. دو گسل امتدادلغز اصلی انجیلو و ترود با روند شمال‌شرقی – جنوب‌غربی الگوی ساختاری این ناحیه را کنترل می‌کند. نخستین مطالعات زمین‌شناسی در این ناحیه توسط Stoklin (۱۹۶۸) انجام گرفته است که شروع تکاپوی ماگمایی را به سن ائوسن نسبت می‌دهد. همچنین توده‌های نفوذی زیادی در این نوار وجود دارد که سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سنگ‌های کانسار چاه‌شیرین دارای ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند. طبق شکل ۶ـ۴ فصل ششم سنگ‌های منطقه از نظر زمین‌ساختی در موقعیت کمان‌ماگمایی مرتبط با پهنه فرورانش قاره‌ای قرار می‌گیرد.

مطالعات سنگ‌شناسی

براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، واحدهای سنگی کانسار مس چاه‌شیرین به‌صورت گدازه‌های آتشفشانی آندزیت، بازالت و سنگ‌های آذرآواری توف و آگلومرا است که با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن مرتبط هستند. کانی‌های ثانویه نظیر سریسیت، کلسیت، کانی های رسی و اکسیدهای آهن در این واحدهای سنگی بر اثر فرآیند دگرسانی به‌وجود آمده‌اند. واحدهای سنگی موجود در این کانسار به دلیل داشتن حفره و شکستگی محل مناسبی جهت تجمع مواد کانه‌دار ایجاد می‌کنند. این سنگ‌ها طبق نمودار (Le Bas et al، ۱۹۸۶) و (Middlemost، ۱۹۹۴) در محدوده بازالت و تراکی آندزیت قرار می گیرند. نمودار (Pearce، ۱۹۹۶) که براساس عناصر نادر خاکی طراحی شده است محدوده آندزیت و آندزیت- بازالت را در نمونه های مورد مطالعه کانسار نشان می‌دهد.

ساختارهای زمین‌شناسی، شواهد کانه‌زایی و دگرسانی

کانه‌زایی در کانسار مس چاه‌شیرین درون واحدهای آذرآواری (لیتیک توف، آگلومرا) و آتشفشانی (آندزیت و بازالت) با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب رخ داده است. گسل‌ها و شکستگی‌ها به‌عنوان عامل اصلی کنترل‌کننده کانه‌زایی در منطقه نشان‌دهنده زایش غیرهمزاد (اپی‌ژنتیک) است. حضور درز و شکستگی و گسل‌ها علاوه‌بر ایجاد مسیری برای نفوذ آب‌های سطحی و چرخش سیال، فضای مناسبی برای ته‌نشینی مادۀمعدنی به‌صورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی ایجاد کرده است. کانه‌های مگنتیت و هماتیت به‌صورت دانه پراکنده جزء کانه‌های اولیه هستند که در اثر سیالات غنی به کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، بورنیت، دیژنیت، کالکوسیت و کوولیت)، کربناته (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدهای آهن (گوتیت، لیمونیت، هماتیت) مرحله هیپوژن و سوپرژن تبدیل می‌شوند. براساس مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل آرژیلیتی، کربناته، سیلیسی، سریسیتی و اکسیدهای‌آهن (هماتیتی و لیمونیتی) است. این دگرسانی‌ها واحدهای سنگی منطقه را تحت تأثیر قرار داده و باعث تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در آنها می‌شود. بیشترین دگرسانی‌های منطقه از نوع کربناته و سیلیسی است.

شواهد ژئوشیمیایی

با توجه به نمودار (Thompson، ۱۹۸۲) و (Sun and Mc Donough، ۱۹۸۹) در فصل ششم جهت بررسی میزان تغییر و تحولات ماگمای مولد نسبت به ماگماهای اولیه از اهمیت خاصی برخوردارند. در نمودار بهنجار شده شیب عناصر رو به کاهش است که از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکالن می‌باشد. غنی‌شدگی در عناصر مانند Rb و K و بی‌هنجاری منفی Nb و Ti نشان دهنده آلودگی ماگمای مادر با پوسته می‌باشد. بررسی ضریب همبستگی مس با سایر عناصر در کانسار مس چاه‌شیرین، همبستگی بالا با عناصر نقره و سرب و همینطور همبستگی پایینی با روی و کبالت نشان می‌دهد.

شواهد حاصل از مطالعات سیال درگیر

براساس مطالعات سیال درگیر فصل هفتم در کانسار چاه‌شیرین، دمای همگن شدن سیالات به‌طور میانگین ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد و شوری سیال ۸ درصد وزنی NaCl به دست آمده است. علاوه بر آن، نمودار (Hass، ۱۹۷۱) که برحسب دمای همگن شدن و شوری سیال است عمق تشکیل کانسار را بیشتر از ۱۵۰ متر نشان می‌دهد. این کانسار طبق نمودار (۲۰۰۱) Willkinson در بخش کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد. بنابراین در کانسار چاه‌شیرین، کاهش دما و شوری در حین صعود سیال و اختلاط با آبهای سطحی سرد باعث ایجاد کانه‌زایی در عمق بیشتر از ۱۵۰ متر می‌شود.

منبع حرارتی

با توجه مطالعات انجام شده در کانسار مس چاه‌شیرین، آب‌های سرد جوی از طریق درزو شکاف و گسل‌های فراوانی که در محدوده مشاهده شده است به سمت عمق حرکت می‌کند. آبهای سطحی به علت سرد بودن قابلیت شستشوی عناصر فلزی را ندارند. بنابراین با قرار گرفتن در مجاورت توده‌های نفوذی نیمه عمیق و دایک‌های مشاهده شده در اطراف کانسار مورد مطالعه نظیر کانسار مس کلوت بلند (سرنخشی، ۱۳۹۸)، مس قیصری (مسکینی، ۱۳۹۸) مس ساغری (خرم‌تاش، ۱۳۹۷)، مس آبگاره (مهابادی، ۱۳۹۷) و مس و آهن رباعی (عبداللهی، ۱۳۹۵) به‌عنوان منبع حرارتی کانسار چاه‌شیرین عمل کرده است که آب‌های سطحی گرم شده و قابلیت انحلال عناصر فلزی و غیرفلزی را پیدا می‌کند. با کاهش دما و فشار در اعماق کم و سطحی و ناپایدار شدن کمپلکس‌ها، کانی‌ها متناسب با شرایط محیطی ژئوشیمیایی، به‌صورت رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده حفرات و ... ته‌نشست می‌شوند.

۸ـ۳ مقایسه ویژگی‌های کانسار چاه‌شیرین با کانسارهای شاخص جهان

طبقه‌بندی نهشته‌های کانساری طبق ویژگی‌هایی از جمله زایش، مکان، عوامل تشکیل و ... باعث بالا بردن توانایی پی‌جویی و اکتشاف می‌شود. این تقسیم‌بندی‌ها بر اساس گروه‌های کانساری (اپی‌ترمال، پورفیری و ...) و لیتولوژی‌های میزبان است (Kojima et al.، ۲۰۰۹). با توجه به اطلاعات بدست آمده در فصل‌های گذشته، کانسار مس چاه‌شیرین را می‌توان با ۴ تیپ کانه‌زایی از جمله کانسار رگه‌ای [۱]، تیپ مانتو [۲]، لایه‌های سرخ آتشفشانی [۳]، و میشیگان [۴] مقایسه کرد. جهت تعیین تیپ کانه‌زایی کانسار مس چاه‌شیرین به مقایسه تیپ‌های نام برده شده از لحاظ موقعیت جغرافیایی، محیط تکتونیکی، سری ماگمایی، سنگ میزبان، سن، کانی‌شناسی، باطله، دگرسانی، ساخت و بافت و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی پرداخته می‌شود. با توجه به جدول ۸ـ۱ و بررسی شاخص‌های اصلی، کانسار مس چاه‌شیرین بیشترین شباهت را با کانسارهای رگه‌ای گرمابی دارد. در ادامه به بررسی خصوصیات کانسار رگه‌ای گرمابی پرداخته می‌شود.

۸ـ۴ خصوصیات کانسارهای رگه‌ای گرمابی

کانسارهای گرمابی رگه‌ای با کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها از جمله مس، سرب، روی، طلا و نقره همراه است. اصطلاح کانسارهای اپی‌ترمال به طیف وسیعی از دما و عمق (فشار) تشکیل آنها اشاره دارد. این کانسارها محصول فعالیت‌های آتشفشانی از سطح تا عمق ۱ ـ ۲ کیلومتر و دمای بین ۱۰۰ ـ ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که گاهی دمای بیشتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در بعضی از این کانسارها تشخیص داده می‌شود (White and Hedenquist، ۱۹۹۵؛ Simmons et al.، ۲۰۰۵). از

[1] Hydrothermal vein- type
[2] Manto- type Copper
[3] Volcanic red bed Copper
[4] Michigan- Keweenaw Type

لحاظ تکتونیکی این کانسارها اغلب به موازات پهنه‌های فرورانش حاشیه قاره‌ها و جزایر قوسی قرار می‌گیرند. به گفته Sillitoez and Hedenquist (۲۰۰۳) کانسارهای تیپ اپی‌ترمال طبق حالت سولفید شدن ترکیبات سولفیدی درونزاد به سه دسته سولفیداسیون پایین، متوسط و بالا تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۸ـ۲).

جدول ۸ـ۱: مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار مس چاه‌شیرین با کانسارهای رگه‌ای، مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان (علامت – به معنای کمبود اطلاعات است)

ویژگی کانسار	چاه شیرین	رگه ای گرمابی	تیپ مانتو	سرخ آتشفشانی	میشیگان
موقعیت جغرافیایی	ایران(جنوب دامغان)	شمال غرب چین (Tuola)	شیلی و آمریکای لاتین	کانادا (Mont Alexandre)	شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی)
محیط تکتونیکی	کمان قاره‌ای	کمان ماگمایی	–	بازالت کمانی	–
سری ماگمایی	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	تولئیتی
سنگ میزبان	آندزیت،بازالت، توف و آگلومرا	توف و آندزیت	آندزیت و بازالت	بازالت اسپیلیتی شده	بازالت حفره‌دار با مین لایه‌ای از کنگلومرا
سن	ائوسن	کربونیفر	ژوراسیک	سیلورین	پالئوزوییک
کانی شناسی	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت،کوولیت، دیژنیت،مالاکیت	پیریت، کالکوپیریت، طلا،گالن، اسفالریت،کولیت و لیمونیت	مالاکیت،بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، کوپریت،کریزوکولا و مس طبیعی	مس طبیعی، بورنیت،دیژنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت،مالاکیت	مس طبیعی، دیژنیت،کرولیت، کوپریت،مالاکیت، نقره
باطله	کوارتز،کلسیت	کوارتز، کلسیت، سریسیت،کلریت	کلریت، آلبیت، کوارتز، اپیدوت	کوارتز، کلسیت، هماتیت و کلریت	کوارتز، کلسیت، زئولیت،اپیدوت، کلریت
دگرسانی	آرژیلیتی،کربناته، سیلیسی،سریسیتی واکسیدهای آهن	سیلیسی،آرژیلیتی، سریسیتی، پروپیلیتی	سیلیسی، کلسیتی، آلبیتی، پروپیلیتی	آلبیتی، کلریتی و هماتیتی	–
ساخت و بافت	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده حفرات، جانشینی، دانه پراکنده	شکافه‌پرکن، رگه‌ای	رگه‌ای و پرکننده حفرات	دانه‌پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی و رگچه‌ای	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده حفرات
عوامل کنترل کننده	گسل،درزو شکستگی	گسل	–	گسل	–
مرجع	تحقیق حاضر	Chen et al.، ۲۰۱۲	Sillitoe، ۱۹۹۷	Cabral and Beaudoin، ۲۰۰۶؛ ۲۰۰۷	Cornwall، ۱۹۵۶

جدول ۸ـ۲: برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال در جهان

Epithermal Types	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
Magma Types	Oxidized magma	Reduced magma	–	Subalkaline magma	Alkaline magma
Key proximal alteration minerals	Quartz-alunite/APS; quartz-pyrophyllite/ dickite at depth	Quartz-alunite/APS; quartz-dickite at depth	Sericite; adularia generally uncommon	Illite/smectite-adularia	Roscoelite-illite-adularia
Genetically related volcanic rocks	Mainly andesite to rhyodacite	Rhyodacite	Principally andesite to rhyodacite but locally rhyolite	Basalt to rhyolite	Alkali basalt to trachyte
Sulfide abundance	10–90 vol %		5–20 vol %	Typically <1–2 vol %	2–10 vol %
Key sulfide species	Enargite, luzonite, famatinite,covellite	Acanthite, stibnite	Sphalerite, galena, tetrahedrite-tennantite, chalcopyrite	Minor to very minor arsenopyrite ± pyrrhotite; minor sphalerite, galena, tetrahedrite tennantite, chalcopyrite	
Main metals	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag	
Minor metals	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	
Gangue	Carbonate, Quartz, Barite		Carbonate, Quartz, Barite, manganiferous silicates	Carbonate, fluorite	Carbonate, fluorite Fluorite
Type example	El Indio, Chile, Yanacocha, Peru	Potosi, Bolivia, Fresnillo,Mexico	Baguio, Philippines	Midas, Nevada	Emperor, Fiji
APS = aluminum-phosphate-sulfate minerals					

۸ـ۴ـ۱ مقایسه کانسار مس چاه‌شیرین با تیپ رگه‌ای گرمابی در جهان

تیپ احتمالی کانه‌زایی کانسار مس چاه‌شیرین در مقایسه با کانسارهای مشابه، بیشترین شباهت را با کانسار رگه‌ای گرمابی دارد. بنابراین جهت دستیابی دقیق‌تر تیپ احتمالی کانسار مورد مطالعه، مقایسه‌ای در خصوص ویژگی‌های کانی‌سازی محدوده معدنی با ویژگی‌های کانسارهای رگه‌ای گرمابی در رده جهانی صورت گرفته است (جدول ۸ـ۳). برمبنای این جدول و برخی ویژگی‌های شاخص از جمله محیط تکتونیکی، سنگ میزبان، کانی‌های معدنی، کانی‌های باطله، دما، شوری، دگرسانی، ساخت و بافت و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی، کانسار چاه‌شیرین بیشترین شباهت را با کانسار رگه‌ای گرمابی دارد. برای تشکیل این نوع کانسار، محلول‌های گرمابی با منشأ جوی نقش بسزایی دارند. بنابراین سیستم‌های گسلی به هنگام فعالیت محلول‌های گرمابی، با سطح زمین در ارتباط هستند و باعث ورود آبهای جوی به اعماق بیشتر می شوند (Scott and Robb.، ۲۰۰۴).

جدول ۸ـ۳: مقایسه تیپ کانه‌زایی کانسار مس چاه‌شیرین با ویژگی‌هایی از کانسارهای رگه‌ای گرمابی در جهان

ویژگی شاخص	چاه شیرین	Zijinshan	Sahinli/Tespih Dere	Fontana Lago	Arzular
موقعیت جغرافیایی	ایران (جنوب دامغان)	جنوب شرق چین	غرب ترکیه	جنوب غرب آرژانتین	شمال‌شرق ترکیه
محیط تکتونیکی	کمان قاره‌ای	–	فرورانش	کمان آتشفشانی	فرورانش
سری ماگمایی	کالک‌آلکالن	–	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن
سنگ میزبان	آندزیت، بازالت، توف و آگلومرا	بیوتیت گرانیت دانه متوسط تا ریز	آندزیت– داسیت	آندزیت، آندزیت– بازالت، بازالت،توف وسنگ‌های رسوبی	بازالت– آندزیت
سن	ائوسن میانی	ژوراسیک	الیگومیوسن و میوسن پیشین	ژوراسیک زیرین– کرتاسه	ائوسن
کانی شناسی	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت،کوولیت، دیژنیت،مالاکیت	کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت،پیریت، کوولیت،دیژنیت، مالاکیت،طلای طبیعی،گالن، انارژیت، سولفید قلع	اسفالریت، پیریت،گالن، کالکوپیریت، تتراهدریت، بورنیت،دیژنیت، کوولیت، کالکوسیت، مولیبدنیت، سریزیت،طلا، نقره	پیریت،گالن، کالکوپیریت، هماتیت، آرسنوپیریت، روتیل، کالکوسیت، کوولیت، سروزیت،طلا، نقره طبیعی	گالن،اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت، طلای طبیعی،سینابر، آرسنوپیریت، استیبنیت
باطله	کوارتز،کلسیت	دیکیت، آلونیت و کوارتز	کوارتز،ایلیت، سریسیت، باریت و کلسیت	کوارتز، کلسیت	کوارتز، کلسیت و ژیپس
دگرسانی	آرژیلیتی،کربناته، سیلیسی، سریسیتی واکسیدهای آهن	سیلیسی،آرژیلیتی پیشرفته، سریسیتی، آلونیتی	آرژیلیتی، آرژیلیتی پیشرفته	سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیتی، پروپیلیتی	آرژیلیتی، سیلیسی، اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت)
ساخت و بافت	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده حفرات، جانشینی،دانه پراکنده	رگه‌ای،دانه پراکنده، جانشینی	رگه‌ـ رگچه‌ای و جانشینی	رگه‌ای، دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی، برشی،جانشینی، نواری و شانه‌ای	رگه‌ای، پرکننده فضای خالی،نواری، دانه‌پراکنده،برشی، جانشینی، اکسلوشن
عوامل کنترل کننده	درز و شکستگی، گسل با روند NE-SW	گسل با روند NW و درز و شکستگی	گسل	گسل با روند NW	گسل با روند E-W و NE-SW
دما (°C)	TH=۱۰۰-۱۱۰°C	TH=۲۶۰-۲۸۰°C	TH=۲۲۰-۳۲۲°C	TH=۱۸۰-۳۲۵°C	TH=۱۳۰-۲۹۵°C
شوری	Salinity=۸	Salinity=۱۰	Salinity=۴.۳-۶.۹	Salinity=۱.۷-۴.۲	Salinity=۴.۳-۱۲۴
عمق	۱۵۰ m	۱۴۰۰-۲۱۰۰ m	۴۰۰-۱۰۰ m	۶۰۰ m	۵۰۰-۱۵۰۰ m
تیپ‌کانه‌زایی	رگه‌ای گرمابی	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال
مرجع	تحقیق حاضر	Zhong et al.، ۲۰۱۸	Yilmaz et al.، ۲۰۱۰	Lanfranchini et al.، ۲۰۱۳	Akaryalı and Tüysüz، ۲۰۱۳

۸ـ۴ـ۲ مقایسه کانسار مس چاه‌شیرین با تیپ رگه‌ای گرمابی در ایران

کشور ما برای تشکیل کانسار رگه‌ای گرمابی از پتانسیل خوبی برخوردار است. این ذخایر در موقعیت کمان ماگمایی مرتبط با پهنه‌های فرورانش قاره‌ای قرار می‌گیرند. طبق بررسی‌های صورت گرفته در جداول این فصل شباهت‌های بسیار زیادی میان

کانسار مس چاه‌شیرین با کانسارهای رگه‌ای گرمابی از لحاظ جایگاه تکتونیکی، نوع ماگمای مولد، سن کانه‌زایی، سنگ میزبان، کانه‌زایی، دگرسانی، ساخت و بافت، دما و شوری تشکیل کانسار وجود دارد. در جدول ۸ـ۴ ضمن بیان برخی ویژگی‌های کانسارهای رگه‌ای گرمابی، به مقایسه کانسار مس چاه‌شیرین با چند مثال از این تیپ کانسار در نوار ترودـ چاه‌شیرین پرداخته می‌شود. بنابراین یافتن کانسارهای مشابه با کانسار مس چاه‌شیرین، در این پهنه به دور از انتظار نمی‌باشد.

۸ـ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل، برای درک بهتر مدل تشکیل کانسار، شکل شماتیک نحوه تشکیل کانسار مس چاه‌شیرین ارائه شده است (شکل ۸ـ۱). در کانسار مس چاه‌شیرین، درز و شکستگی و گسل‌ها به‌عنوان کنترل‌کننده کانه‌زایی می‌باشند. بنابراین سیال کانه‌دار در حین حرکت در این شکستگی‌ها فضای مناسبی برای ته‌نشست پیدا می‌کند و باعث ایجاد کانه‌زایی رگه‌ـ رگچه‌ای یا پرکننده فضای خالی در امتداد شکستگی و گسل‌ها می‌شود. ناگفته نماند که نفوذپذیری سنگ‌های آذرآوری کانسار چاه‌شیرین نظیر توف و آگلومرا هم در حرکت و ته‌نشست سیالات نقش دارند. سیالات گرمابی فعال در کانسار مس چاه‌شیرین در اثر وجود توده‌های نفوذی و دایک‌ها در مناطق مجاور به‌عنوان منبع حرارتی در کانه‌زایی کانسار می‌تواند با نفوذ به درون واحدهای میزبان، مس و دیگر عناصر موجود در سنگ‌های منطقه را شسته و پس از چرخش در واحدهای سنگی و حرکت به‌سمت بالا، در امتداد گسل و درز و شکاف‌ها نقش داشته باشد. مطالعات میانبارهای سیال این کانسار نشان می‌دهد که رقیق‌شدگی آب‌های جوی نقش بسزایی در کانه‌زایی دارد. در اثر بالا امدن سیالات گرمابی و اختلاط آن با آب‌های سرد سطحی، متناسب با شرایط، کانی‌های سولفیدی و کربناته شکل می‌گیرد. در مرحله گرمابی اولیه با افزایش غلظت مس کانی‌های دما بالای کالکوپیریت و بورنیت تشکیل می‌شوند که کانی‌های کلسیت و کوارتز همزمان با کانی‌های سولفیدی به‌صورت اولیه شکل می‌گیرند. در ادامه با نفوذ آبهای سرد جوی واختلاط بیشتر سیالات با یکدیگر و تغییر ماهیت سیالات و محیط

جدول ۸ـ۴: مقایسه کانسار مس چاه‌شیرین با برخی کانسارهای رگه‌ای گرمابی واقع در نوار آتشفشانی‌ـ رسوبی ترودـ چاه‌شیرین

ویژگی شاخص	چاه شیرین	کلوت بلند	مس قیصری	ساغری	آبگاره	رباعی
موقعیت جغرافیایی	جنوب دامغان	جنوب دامغان	جنوب دامغان	جنوب شاهرود	جنوب دامغان	جنوب دامغان
محیط تکتونیکی	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره مرتبط با فرورانش
سری ماگمایی	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن پتاسیم	کالک‌آلکالن	کالک‌آلکالن
سنگ میزبان	آندزیت، بازالت، توف و آگلومرا	آندزیت، آندزیت‌ـ بازالت، بازالت	آندزیت، بازالت و توف	آندزیت تا بازالت، داسیت، توف و آگلومرا	آندزیت، آندزیت‌ـ بازالت، بازالت و توف	آندزیت و آندزیت بازالت
سن	ائوسن میانی	ائوسن میانی	ائوسن میانی	ائوسن	ائوسن میانی‌ـ بالایی	ائوسن
کانی شناسی	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت،کوولیت، دیژنیت،مالاکیت	پیریت،کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت، دیژنیت و مس طبیعی	مالاکیت، کالکوسیت، کوولیت،پیریت، کالکوپیریت و مس طبیعی	پیریت،کالکوپیریت، بورنیت،کالکوسیت، کوولیت،کریزوکولا	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا
باطله	کوارتز،کلسیت	کوارتز، کلسیت و زئولیت	کلسیت، کوارتز و ژیپس	کلسیت، کوارتز، ژیپس کانی‌های رسی	کوارتز، کلسیت و ژیپس	کلسیت، دولومیت، کوارتز، کانی‌های رسی
دگرسانی	آرژیلیتی،کربناته، سیلیسی، سریسیتی، اکسیدهای آهن	سیلیسی،آرژیلیتی حدواسط،سریسیتی، کربناته، کلریتی و اکسید آهن	آرژیلیتی،کلریتی، کربناته،سیلیسی، سریسیتی،هماتیتی و لیمونیتی	آرزیلیتی، سیلیسی، کربناته، سریسیتی، اکسیدهای آهن، کلریتی	سیلیسی،آرژیلیتی حدواسط، سریسیتی، کربناتی،کلریتی، اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت)	آرژیلیتی، کلریتی، کربناتی، سیلیسی
ساخت و بافت	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده حفرات، جانشینی،دانه پراکنده	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، کلوفرمی، جانشینی	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده، کلوفرمی	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، بین دانه‌ای	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی،دانه پراکنده، شعاعی، جانشینی	رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده، اکسولوشن
عوامل کنترل کننده	گسل، درز و شکستگی	گسل، درز و شکستگی	گسل	گسل	گسل، درز و شکستگی	گسل
دما (°C)	TH=۱۰۰-۱۱۰°C	ـ	TH=۱۵۰-۱۹۰°C	TH=۱۰۰-۱۴۰°C	TH=۱۴۵-۲۱۷°C	TH=۱۴۰-۱۷۰°C
شوری	Salinity=۸	ـ	Salinity=۵-۱۷	Salinity=۵.۲۳-۱۶	Salinity=۳.۷۳-۹.۸۴	Salinity=۲-۶
عمق	۱۵۰ m	ـ	ـ	ـ	۲۹۰ m	ـ
تیپ کانه‌زایی	رگه‌ای گرمابی	اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (LS)	هیدروترمال سولفیداسیون پایین (LS)	اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (LS)	اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (LS)	اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (LS)
مرجع	تحقیق حاضر	سرنخشی، ۱۳۹۸	مسکینی، ۱۳۹۸	خرم تاش، ۱۳۹۷	مهابادی، ۱۳۹۷	عبداللهی، ۱۳۹۵

ته‌نشست، کانه‌زایی مرحله سوپرژن و هوازدگی رخ می‌دهد. در این مرحله برخورد سیالات اسیدی با سولفیدهای مس باعث ایجاد اسیدسولفوریک می‌شود که فلزهای کانسنگ را حل کرده و در نهایت باعث تشکیل کانی‌های هماتیت، لیمونیت و گوتیت

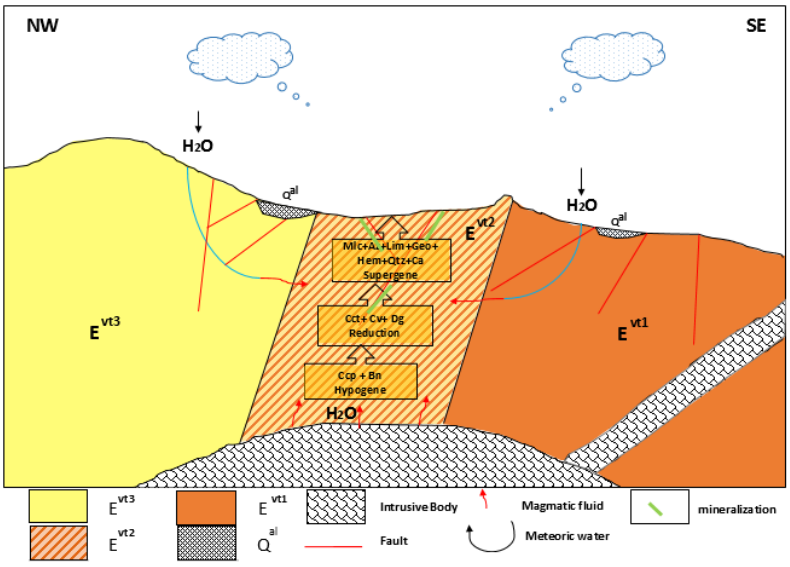
در نزدیکی سولفیدهای مس می‌شود. کانی مالاکیت و آزوریت نیز از آبهای رقیق‌تر و درصد مس کمتر، در محیط اکسیدان به‌صورت رگه‌ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و شعاعی تشکیل شده‌اند.

۱ـ اطلاعات و بررسی‌های انجام شده در تحقیق حاضر، براساس مشخصات سطحی و عمق کم کانسار است. با اینکه در این محدوده چندین گمانه حفاری شده است و حضور ماده معدنی در عمق به اثبات رسیده است بنابراین برای دستیابی به اطلاعات بیشتر ماده‌معدنی پیشنهاد می‌شود حفاری در اعماق بیشتر انجام شود.

۲ـ با توجه به ارتباط کانه‌زایی با گسل‌ها به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده آنها در کانسار مس چاه‌شیرین، پیشنهاد می‌شود در مقیاس ناحیه‌ای با استفاده از روش‌های دورسنجی پی‌جویی مس انجام شود.

۳ـ در این تحقیق به علت محدودیت زمانی، بررسی‌های لازم برای ردیابی طلا صورت نگرفت بنابراین به انجام آزمایشات دقیق اندازه‌گیری طلا پیشنهاد می‌شود.

۴ـ جهت دستیابی به منشأ سیالات درگیر، انجام مطالعات ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن پیشنهاد می‌شود.



شکل ۸ـ۱: مدل تشکیل کانسار مس چاه‌شیرین به‌صورت شماتیک

مراجع

اسد...نژاد، ا.، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: ''زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قله‌چیلی، جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اشتوکلین (۱۳۵۶)،''بررسی مقدمات زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران''، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

اصغری ف، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار چاه گبری''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

آقانباتی ع، (۱۳۸۳)، ''زمین شناسی ایران''، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران، ص ۶۰۸

امام جمعه ا، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی (شمال غرب ترود، استان سمنان''، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

بادوزاده کانرش ح.و، حسین نژاد ع.ا، (۱۳۹۰)، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ''بررسی ژنز کانسار آهن رباعی براساس زمین شیمی توده های نفوذی، کانی شناسی و مطالعات شارهه ای درگیر''، دانشگاه تربیت معلم.

تقی پور ن، (۱۳۹۰)، ''زمین شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ های آذرین مرتبط با کانسار اسکان آهن چالو (جنوب شرق دامغان)''، **مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته** ، شماره ۲، جلد ۱.

جعفریان ع، ولی زاده م، (۱۳۶۸)، پایان نامه ارشد ''بررسی پترولوژی قوس ولکانو پلوتونیک رشته کوه زر و مجموعه های کانه زایی وابسته''، دانشگاه تهران.

جعفریان م، (۱۳۷۳)، ''نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم ''، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

خان نصر اصفهانی ع، احمدی م، (۱۳۸۴)، **''پترولوژی سنگ های آذرین''**، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

خرم‌تاش ی، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری جنوب شاهرود ، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

خویی ن، قربانی م، تاج‌بخش پ، (۱۳۷۸)، **''کانسارهای مس در ایران''** طرح تدوین کتاب، شماره ۶۸، سازمان زمین‌شناسی کشور

زمانیان ح، رحمانی ش، جان نثاری م. ر، زارعی سهامه ر، برنا ب، (۱۳۹۴)، ''بررسی کانی سازی مس_ طلادار گرانیتوئید طارم (شمال زنجان) بر پایه شواهد کانی شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال''، **''فصلنامه علوم زمین''**، دوره ۲۵، شماره ۹۸، ۲۸۲ _۲۵۵

راستاد ا، مهری ب، (۱۳۷۷)، دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ''کانسار سرب (روی) خانجار (جنوب دامغان) به عنوان یک ذخیره MVT از سین ژنتیک تا اپی ژنتیک''.

سازمان جغرافیایی ارتش، (۱۳۵۵)، ''نقشه توپوگرافی ترود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰''، شماره NI۴۰-۱

سرنخشی ی، (۱۳۹۸)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کلوت بلند جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

سلطانی ا، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار ابری، رهبری و چشمه مرضیه شمال غرب درونه''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شمعانیان اصفهانی غ، (۱۳۸۱)، ''مطالعه دگرسانی گرمابی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان''، دانشگاه شهید بهشتی.

شهاب پور ج، (۱۳۹۰)، **''زمین شناسی اقتصادی''**، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

طالع ماسوله س، قربانی م، حکیمی آسیابر س، (۱۳۸۹) ''مطالعه زمین شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب ترود''، **''فصلنامه علمی پژوهشی واحد لاریجان''**، شماره ۱.

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

عبداللهی ا، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه ارشد: ''زمین شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

غلامی فشارکی ز، شمسی پور دهکردی ر، وهابی مقدم ب، نصر اصفهانی ع. خ، (۱۳۸۹)، نخستین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، ''مینرالوگرافی و منشأ کانسار مس کچومثقال، جنوب شرق اردستان (استان اصفهان)''.

قاسم سیانی م، مهرابی ب، (۱۳۸۹)، ''کانی‌شناسی و زمین شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، استان سمنان''، **''مجله زمین شناسی اقتصادی''**، شماره ۱، جلد ۲، صفحه ۱-۳۰.

قاسم سیانی م، مهرابی ب، طالع فاضل ا، (۱۳۹۳)، ''بررسی سامانه کانهزایی فلزات پایه و گرانبها در محدوده معدنی چشمه حافظ و چالو کمان ماگمایی ترود– چاه شیرین''، **''فصلنامه علوم زمین''**، دوره ۲۴، شماره ۹۳، ص ۱۱۸-۱۰۵.

قربانی ق، (۱۳۸۴)، پایان‌نامه دکتری: ''پترولوژی و پتروژنز سنگ های آذرین جنوب شرق دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قربانی م، (۱۳۸۶)، **''زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران ''**، انتشارات آرین زمین.

کریم پور م ح، سعادت س، (۱۳۸۹)، **''زمین شناسی اقتصادی کاربردی''**، انتشارات مشهد، چاپ چهارم.

کی نژاد آ، (۱۳۸۷)، رساله دکتری: ''تحلیل دینامیکی شکستگی های شمال منطقه ترودـ معلمان''، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.

گزارش پایان اکتشاف کانسار مس چاه شیرین شرکت چهار مس دامغان، (۱۳۹۲)، سازمان صنعت معدن دامغان.

مسکینی ش، (۱۳۹۸)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قیصری جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مصدق م، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، زمین شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان، منطقه معلمان، جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

معین وزیری ح، احمدی ع، (۱۳۷۱)، **''پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آذرین''**، دانشگاه تربیت معلم.

مهابادی ر، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس آبگاره، جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ناهیدی فر ل، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه ارشد: ''کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان جنوب دامغان''، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نبوی م ح، (۱۳۵۵)، **''دیباچه ای بر زمین شناسی ایران''**، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

نجف زاده ع ر، خلیلی مبرهن ش، احمدیان ج، (۱۳۹۰)، ''زمین شناسی اقتصادی''، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۴۰۹.

نوگل سادات م ع ا، (۱۹۹۳)، ''نقشه سایزموتکتونیک ایران ۱:۱۰۰۰۰۰''، چارت آزمایشی، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین شناسی کشور.

هوشمند زاده ع، علوی نائینی م، حقی پور ع، (۱۳۵۷)، ''تحول پیدیده های زمین

شناسی ناحیه ترود از پرکامبرین تا عهد حاضر ”، سازمان تحقیقات زمین شناسی و معدنی کشور.

یاراحمدی م، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه ارشد: ”بررسی روش های کیفی و کمی سنجش از دور در شناسایی واحدهای سنگی زمین شناختی در منطقه کوه زر جنوب دامغان”، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Akaryalı E., Tüysüz, N. (2013). The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (eastern Pontides, NE Turkey). **Geoscience Frontiers**, 4(4), pp 409-421.

Bates, R. L., Jackson, J. A. (1987). Glossary of Geology. **American Geological Institute**، Alexandria, Virginia, 788, 65.

Bodnar, R. J. (1983). A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids. **Economic Geology**, 78(3), 535-542.

Brown, A. C. (1971). Zoning in the white pine copper deposit, ontonagon county, michigan. **Economic Geology** , 543-573.

Cabral, A. R., Beaudoin, G. (2007). Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, **Quebec Appalachians** , Canada. Mineralium Deposita, 42(8), 901-912.

Chen, Y. J., Pirajno, F., Wu, G., Qi, J. P., Xiong, X. L. (2012). Epithermal deposits in north Xinjiang, NW China. **International Journal of Earth Sciences** , 101(4), 889-917.

Cornwall, H. R. (1956). A summary of ideas on the origin of native copper deposits. **economic geology**, 51(7), 615-631.

Craig, J. R., Vaughan, D. J. (1981). **Ore microscopy and ore petrography**. (Vol. 406). New York: Wiley.

Davidson, G. J., Paterson, H., Meffre, S., Berry, R. F. (2007). Characteristics and origin of the Oak Dam East breccia-hosted, iron oxide Cu-U-(Au) deposit: Olympic Dam region, Gawler craton, South Australia.**economic geology**, 102(8), 1471-1498.

Edwards, A. B. (1938). The formation of iddingsite. American Mineralogist. **Journal of Earth and Planetary Materials**, 23(4), 277-281.

Gill J. (2012). **Orogenic andesites and plate tectonics**, Vol. 16, Springer Science and Business Media, pp. 382.

Guilbert, J.M., Park, C.F. , (1903). **The Geology of Ore Deposits** . WH Freeman and Company, New York, p. 985.

Haas J.L. (1971). The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. **economic geology** , 66(6), pp.940-946.

Harker, A., (1909). The Natural History of Igneous Rock, Methuen Co. London.

Hasanzadeh, J., Gazi, A.M., Axen, G., and Guest, B., Stockli, D., and Tucker, P (2005). Oligocene mafic magmatism in north-west of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic arc [abs].**Geological Society of America Abstracts with Program**, v. 34, no. 6, p. 331.

Henderson, P. Pankhurst, R. J., (1984). Analytical chemistry. In: Henderson, P.(ed.), Rar earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, PP. 467-499.

Higgins, J. P., Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta- analysis. Statistics in medicine, 21(11), 1539-1558.

Huston, D. L., Sie, S. H., Suter, G. F., Cooke, D. R., Both, R. A. (1995). Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; Part I, Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II, Selenium levels in pyrite; comparison with delta 34 S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems.**economic geology**, 90(5), 1167-1196.

Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. (1971). A guid to chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian journal of earth sciences**, 8(5), pp.523-548..

Jones A.P., Wall F., Williams C.T. (1996). Rare earth minerals Chemistry. Origin and Ore Deposits.**Minerallogical Society Series**, 7.

Kawabata, H., Shuto, K. (2005). Magma mixing recorded in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Archean TTG formation. **Journal of Volcanology and Geothermal Research** , 140(4), 241-271.

Kojima, S., Trista□Aguilera, D., Hayashi, K. I. (2009). Genetic aspects of the Manto□type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. **Resource Geology** , 59(1), 87-98.

Lanfranchini, M. E., Etcheverry, R. O., de Barrio, R. E., Hernández, C. R. (2013). Precious metal-bearing epithermal deposits in western Patagonia (NE Lago Fontana region), Argentina. **Journal of South American Earth Sciences**, 43, 86-100.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin.B., (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. **Journal of Petrology**, 27, 745-750.

Lentz, D. R. (1994). Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems. Short Course Notes, 11 1994. **Geological Association of Canada. Mineral Deposits Division**.

Lottermoser, B. G., Ashley, P. M., Lawie, D. C.,(1999). Environmental geochemistry of the Gulf Creek copper mine area, north-eastern New South Wales, Australia, Springer-Verlag, Cited by 67 - Related articles - All 6 versions.

Marshall, D., Anglin, C. D., Mumin, H. (2004). **Ore Mineral Atlas** . Geological Association of Canada. Mineral Deposits Division, Canada.

Manya, S., Maboko, M. A., Nakamura, E. (2007). The geochemistry of high-Mg andesite

and associated adakitic rocks in the Musoma-Mara Greenstone Belt, northern Tanzania: possible evidence for Neoarchaean ridge subduction?. Precambrian Research, 159(3-4), 241-259.

Maynard. J. B. (1983). **Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits** . Springer, New York, pp 305.

Mehrabi, B., Siani, M. G. (2012). Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu (±Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan province, Iran.**Journal of the Geological Society of India** , 80(4), 563-578.

Middlemost, E. A. (1994). Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-science reviews, 37(3-4), 215-224.

Mortimer, R. K., Johnston, J. R. (1986). Genealogy of principal strains of the yeast genetic stock center. Genetics, 113(1), 35-43.

Müller D. and Groves D.I. (1993).Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. Ore Geology Reviews, 8(5), pp 383-406.

Murphy, J. B. (2007). Igneous rock associations 8. Arc magmatism II: geochemical and isotopic characteristics. **Geoscience Canada**.

Nadeau, O. (2011).**The Behaviour of Base Metals in Arc-Type Magmatic- Hydrothermal Systems- Insights from Merapi Volcano, Indonesia** ،(Vol. 73, No. 12).

Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochimica et cosmochimica acta, 38(5), 757-775.

Pearce J.A. (1996). A user's guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. **Geological Association of Canada**, Short Course Notes, 12(79), pp113.

Peccerillo, A., Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. **Contributions to mineralogy and petrology**, 58(1), 63-81.

Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths, 2nd end" Vol. 2, **International Series in Earth Sciences**, pp 1075.

Robb, L. (2009), **Introduction to Ore-Forming Processes**, Blackwell Publishing, 386p.

Rodder, E. (1976), Fluid inclusions: Reviews in mineralogy, v.12, miner. Soc. Am. Resten, Virjinia.

Rollinson, H. R. (1993). Using stable isotope data–7.5 using sulphur isotopes, using geochemical data: evaluation, presentation. Interpretation, 303-315.

Scott, P. W. . Robb, L.(2004) Introduction to Ore-Forming Processes. Oxford (Blackwell Publishing). 2004, 373 pp.£ 32.50. ISBN 0-63206-378-5 (paperback).

Shamanian, G. H., Hedenquist, J. W., Hattori, K. H., Hassanzadeh, J. (2004). The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran. **Economic Geology**, 99(4), 691-712.

Shelly, D. (1993). Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope: classification, textures, microstructures and mineral preferred-orientations. **Chopman and Hall, London**, 552, 405.

Shephard, T. J., Rankin, A. H., Alderton, D. H. M. (1985). A practical guide to fluid inclusion studies: Glasgow. **Blackie**, 239p.

Sillitoe, R. H., Hedenquist, J. W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. **Special Publication-Society of Economic Geologists**, 10, 315-343.

Simmons, S. F., Arehart, G., Simpson, M. P., Mauk, J. L. (2000). Origin of massive cal-

cite veins in the Golden Cross low-sulfidation, epithermal Au-Ag deposit, New Zealand. **Economic Geology**, 95(1), 99-112.

Simmons, S. F. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits.**Economic Geology 100th anniversary volume**, 29, pp 485-522.

Stöcklin, J. (1968). **Structural history and tectonics of Iran**. a review. AAPG bulletin, 52(7), 1229-1258.

Sun, S. S., McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. **Geological Society, London, Special Publications**, 42(1), 313-345.

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

White, N. C., Hedenquist, J. W. (1995). Epithermal gold deposits. Styles, characteristics and exploration. **SEG Newsletter**, 27, 1-13.

Whitney, D. L., Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. American mineralogist, 95(1), 185-187.

Wilkinson, J. J. (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. **Lithos**, 55(1-4), 229-272.

Wilson M. (1989) Igneous Petrogenesis. global tectonic approach

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

Xu, Q., Song., X., (1995). Trace and rare earth geochemistry of host rocks from VHMS deposits., in NW china., in pasava., Kribek and Zak (eds)., Mineral deposits.,Balkema., Rotterdum., p.249-252.

Yilmaz, H., Oyman, T., Sonmez, F. N., Arehart, G. B., Billor, Z. (2010). Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespih Dere (Lapseki/Western Turkey). **Ore Geology Reviews**, 37(3-4), 236-258.

Zhong, J., Chen, Y. J., Qi, J. P., Chen, J., Dai, M. C., Li, J. (2017). Geology, fluid inclusion and stable isotope study of the Yueyang Ag-Au-Cu deposit, Zijinshan orefield, Fujian Province, China. **Ore Geology Reviews**, 86, 254-270.

Zhong, J., Chen, Y. J., Chen, J., Qi, J. P., Dai, M. C. (2018). Geology and fluid inclusion geochemistry of the Zijinshan high-sulfidation epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, SE China: Implication for deep exploration targeting. **Journal of Geochemical Exploration**, 184, 49-65.

Aabstract

Chahshirin copper deposit is located in the northern margin of the structural-sedimentary zone of Central Iran below the Sabzevar zone and the western part of the Troud Chahshirin volcanic-sedimentary belt. This area is located 110 km south of Damghan city in Semnan province. The volcanic rocks of the area include andesite, basalt and pyroclastic rocks such as lithic tuff and agglomerates of Eocene age. Alteration zones observed in this area include carbonate, silica, argillite, sericite and iron oxide alterations. Field observations and mineralography studies reveal that the mineralization in the Chah shirin area often occurred as vein- veinlet, disseminated, open space filling and exolution occurred in the host rocks of andesite, basaltic and tuffs.Effective factors controlling mineralization in the area joints, gaps and faults with northeast- southwest trend. The minerals forming Chahshirin copper deposit occurred in three stages: hypogene (bornite, chalcopyrite), reductive supergene (chalcocite, Covellite, digenite) and oxide supergene (malachite, azurite, Oxide and hydroxide iron). The tailings of the study area are quartz and calcite. Based on geochemical data, the volcanic rocks in the area have calc-alkaline nature in terms of chemical composition and in terms of tectonomagmatic is related to subduction zone.The volcanic rocks of the area show a normal enrichment of small LILE elements such as Rb, K depletion of larg HFSE elements such as Nb and Ti according to the normalizing diagrms relative to the chondrite and primary mantle, which is characteristic of magmas. Derived from the mantle in the subduction zone. Geochemical studies indicate that copper has only relative correlation with silver. Since silver has not founded as an indepnded crystalline phase. The results of fluid inclusion studies on the calcite, frequency homogeneous temperature averaging between 100 and 110 ° C and salinity with an average of 8 by weight equivalent to Nacl and due to the lack of evidence, boiling shows a depth of more than 150 meters. This system was related to evolution of mineralizing hydrothermal fluids and their mixing with cold and low salinity meteoric waters causing in element and mineralogical zonations. Therefore, according to the studies of lithology, alteration, mineralogy, geochemistry and fluids inclusion, it can be concluded that mineralization at Chahshirin district has characteristics of an individual mineralization system. This system is related to evolution of hydrothermal fluid mineralization resulted in vein-veintle Cu mineralization.

Keywords: *Mineralogy, Geochemistry, Copper, Epithermal Vein, Chahshirin*

Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc Thesis in: Economic Geology

Mineralogy, geochemistry and genesis of the Chah Shirin copper deposit, South of Damghan

By: Raziyeh Nasiri Jouneghani

Supervisor

Dr. Farajollah Fardoost

Advisor

Dr. Mehdi Rezaei Kahkhaei

Feb 2021