

ساختار در نهشته سولفید توده‌ای روی - سرب - مس چاه گز، جنوب شهر بابک

کیوان اورنگ^۱، محمد محجل^{۲*}، فریدین موسیوند^۳ و ابراهیم راستاد^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۳ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۵

چکیده

نهشته سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) روی - سرب - مس چاه گز، در چند مرحله دگرریخت و دگرگون شده است و در بخش جنوبی پهنه سندانج - سیرجان پروند دارد. پیکره‌های معدنی، از توده‌های سولفیدی چینه‌سان، لایه‌ای، صفحه‌ای و عدسی‌شکل تشکیل شده‌اند و در راستای ۰۶۰° تا ۰۷۰° کشیدگی نشان می‌دهند. سولفیدهای توده‌ای به همراه سنگ‌های میزبان خود ۳ مرحله دگرریختی اصلی (D_1, D_2, D_3) و ۲ مرحله دگرگونی (M_1, M_2) در حد رخساره شیست سبز را تحمل کرده‌اند که همه این رخدادها پس از ژوراسیک میانی رخ داده است. کهن‌ترین ساختارهای موجود در محدوده معدنی، لایه‌بندی و برگ‌وارگی پیوسته (S_1) ایجاد شده در مرحله اول دگرریختی هستند که در سنگ‌های میزبان فیلیتی - اسلیتی - سیستی حفظ شده‌اند. چین‌های مرحله اول (F_1) در پیکره‌های معدنی تشخیص داده نشده‌اند، گرچه آنها در ناحیه چاه گز به عنوان چین‌هایی دارای میل کم تا متوسط رو به شمال باختر و دارای یال‌های موازی شناخته شده‌اند. هندسه پیکره‌های معدنی توسط ساختارهای مرحله دوم (چین‌ها و برگ‌وارگی‌ها) کنترل شده است. چین‌های مرحله دوم (F_2) میل کم رو به شمال خاور یا جنوب باختر دارند. این چین‌ها بسته تا باز هستند و سطوح محوری آنها شیب زیاد رو به جنوب و شمال دارند. پیکره‌های معدنی در بیشتر موارد دچار انتقال یافتگی از لایه‌بندی - برگ‌وارگی مرحله اول شده و به موازات برگ‌وارگی‌های سطح محوری (AS_2) و ترکیبی مرحله دوم (ST_2) آرایش دوباره یافته‌اند. برگ‌وارگی ترکیبی به صورت قائم است و راستای شمال خاور - جنوب باختر دارد. کانی‌های سولفیدی موجود در پیکره‌های معدنی در طی رخداد تکونو - حرارتی مرحله دوم، دچار دگرریختی، تحرک و تبلور دوباره دینامیکی شده‌اند. ساختارهای مرحله سوم (D_3) کنترل‌کننده محلی پیکره‌های معدنی هستند و چین‌ها و پهنه‌های برشی را دربر می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: دگرریختی چند مرحله‌ای، نهشته سولفید توده‌ای، چاه گز، پهنه سندانج - سیرجان، جنوب شهر بابک.

* نویسنده مسئول: محمد محجل

E-mail: mohajjel@modares.ac.ir

۱- مقدمه

کانسار روی - سرب و مس چاه گز در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شهر بابک قرار دارد و از دیدگاه جایگاه زمین‌ساختی در زیر پهنه با دگرریختی پیچیده پهنه سندانج - سیرجان واقع است (Mohajjel et al., 2003). معدن‌کاری دیرین در این کانسار، محدود به پهنه سطحی اکسیدشده آن بوده (Burnoll, 1968) و در بررسی‌های اولیه، آثار کانه‌زایی اسفالریت، پیریت، گالن و کالکوپیریت یافت شده است (Watters et al., 1970). مهندسان مشاور کاوشگران (۱۳۶۹ و ۱۳۷۲) کانی‌سازی را از نوع رگه‌ای گرمایی مشخص کرده و زمان آن را به دوران ترشیری نسبت داده‌اند. در مطالعه اخیر موسیوند و همکاران (۱۳۸۸)، سبک کانه‌زایی از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) تشخیص داده شده و زمان آن به ژوراسیک میانی منتسب گردیده است. پیکره‌های معدنی و سنگ‌های میزبان آنها الگوی دگرریختی پیچیده‌ای نشان می‌دهند که نتیجه چند مرحله چین‌خوردگی، انتقال‌یافتگی (Transposition)، لایه‌بندی و برگ‌وارگی اولیه و همچنین عملکرد پهنه‌های برشی شکل‌پذیر است. در اثر دگرریختی‌های بالا، بخش‌های اصلی تشکیل‌دهنده سامانه سولفیدهای توده‌ای، یعنی پهنه تغذیه‌کننده (Stringer Zone)، رسوبات برون‌دمی (Exhalative Sediments) و مجموعه پیکره‌های سولفید توده‌ای - لایه‌ای، دچار دگرریختی و تغییر موقعیت گسترده شده‌اند.

این نوشتار در ابتدا به معرفی مراحل مختلف دگرریختی و ساختارهای مرتبط با آنها در ناحیه چاه گز و در محدوده معدنی آن می‌پردازد. تفکیک و انطباق ساختارها، بر اساس سه معیار برهم‌افزایی (Overprinting)، سبک و روند عناصر ساختاری صورت پذیرفته است (Williams, 1985). در ادامه نوشتار، اثرات دگرریختی و دگرگونی بر روی بخش‌های مختلف سامانه کانه‌زایی و سنگ‌های میزبان پیکره‌های معدنی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

مجموعه‌های دگرگونی جنوب شهر بابک به ۲ گروه اصلی ناحیه‌ای و مجاورتی قابل تفکیک هستند. مجموعه‌های دگرگونی ناحیه‌ای، شامل مجموعه‌های شورو و چاه ریشخند و مجموعه‌های دگرگونی مجاورتی شامل مجموعه‌های چاه قند و چاه دزدان هستند (شکل ۱- الف). سنگ‌های دربردارنده ذخیره معدنی چاه گز بخشی از مجموعه دگرگونی ناحیه‌ای شورو هستند. سنگ‌های اولیه این مجموعه، ماهیتی آتشفشانی - رسوبی دارند و متعلق به زمان ژوراسیک میانی هستند (Mousivand et al., 2011). مجموعه دگرگونی شورو ۳ مرحله دگرریختی اصلی و ۲ مرحله دگرگونی در حد رخساره شیست سبز را پشت سر گذاشته است. نمودهای اصلی دگرریختی در این مجموعه، شامل چین‌خوردگی چندمرحله‌ای، توسعه برگ‌وارگی‌ها و عملکرد پهنه‌های برشی شکل‌پذیر است. مجموعه شورو را می‌توان بر اساس روند ساختارهای بزرگ مقیاس، به سه زیر بخش چاه گز، چاه انجیر و دوچاه زهرا تقسیم کرد. در مناطق چاه گز و چاه انجیر، شواهد هر سه مرحله از دگرریختی قابل مشاهده است. در این مناطق چین‌های مراحل اول و سوم روند شمال باختر - جنوب خاور و چین‌های مرحله دوم روندی تقریباً عمود بر آنها دارند (شکل ۱- ب). در منطقه دوچاه زهرا، تنها ساختارهای مرتبط با دگرریختی مرحله اول قابل مشاهده هستند و روند چین‌ها و راستای پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، به ترتیب شمال باختر - جنوب خاور و خاوری - باختری است. گرانبند دوچاه زهرا، توده نفوذی اصلی منطقه است که هم‌زمان با عملکرد پهنه‌های برشی شکل‌پذیر جایگیری کرده و دگرریخت شده است.

توالی سنگی ناحیه چاه گز مجموعه‌ای از واحدهای آتشفشانی فلسیک، مافییک و واحدهای رسوبی تخریبی - شیمیایی است که بخش‌هایی از آن در اثر دگرگونی، به طیفی از سنگ‌های فیلیتی - اسلیتی و شیستی تبدیل شده است.

از نوع بسته تا باز هستند (شکل ۴-ب). در شیب‌ها، چین‌های بسیار بسته تا چین‌هایی با یال‌های موازی نیز یافت شده است. توزیع محور چین‌ها دو تمرکز اصلی و فرعی $090^{\circ}/069^{\circ}$ و $045^{\circ}/064^{\circ}$ را نشان می‌دهد (شکل ۳-ج) که به ترتیب در واحدهای شیستی و آهکی چیرگی دارند.

بر اساس برداشت‌های صحرایی، الگوی چین‌خوردگی تداخلی در ناحیه چاه گز، از نوع حالت تدریجی میان گروه‌های ۱ و ۲ بر طبق تقسیم‌بندی Ramsay (1967) و از نوع ۲ بر طبق تقسیم‌بندی Thiessen & Means (1980) است. برگ‌وارگی سطح محوری چین‌ها راستای 059° تا 064° درجه و شیب بیش از 70° درجه رو به شمال و جنوب دارد و از نوع کلیواژ کنگره‌ای است (شکل ۴-ج). تبلور، جهت‌یافتگی و آرایش دوباره بلورهای میکا به همراه فرایند انتقال محلول (Solution Transfer) و عملکرد انحلال فشاری، فرایندهای اصلی ایجاد و توسعه این برگ‌وارگی بوده‌اند. زاویه میان این برگ‌وارگی و برگ‌وارگی مرحله اول به طور میانگین 60° درجه است. به جز برگ‌وارگی سطح محوری چین‌ها، برگ‌وارگی دیگری نیز در منطقه حضور دارد که محدود به ناحیه لولایی چین‌ها نیست و گسترشی فراگیر دارد. برگ‌وارگی بالا در واحدهای شیستی توسعه یافته و در بیشتر موارد، همراه با لایه‌بندی و برگ‌وارگی مرحله اول، یک برگ‌وارگی ترکیبی را تشکیل داده است. این برگ‌وارگی حاصل فشردگی و تخت‌شدگی یال‌های چین‌های مرحله دوم و موقعیت آن $088^{\circ}/064^{\circ}$ NW است (شکل ۳-د). تبلور مسکویت در این برگ‌وارگی، شرایط رخساره شیب سبز را برای دگرریختی مرحله دوم نشان می‌دهد. پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، دارای سازوکار راست‌الغز و در واحدهای شیستی قابل پیگیری هستند. موقعیت برگ‌وارگی میلونیتی و خط‌واره کششی به ترتیب $088^{\circ}/063^{\circ}$ و $061^{\circ}/06^{\circ}$ است. توسعه برگ‌وارگی‌های S/C، S/C' و میکاهای ماهی‌شکل، مؤلفه امتدادی راست‌گرد را برای این پهنه‌ها نشان می‌دهند. تبلور دوباره دینامیکی (Dynamic Recrystallisation) با فرایند مهاجرت مرز دانه‌ای، اصلی‌ترین فرایند دگرریختی بلورهای کوارتز موجود در میلونیت‌ها است.

۳-۳. دگرریختی مرحله سوم

ساختارهای مرحله سوم، موجب دگرریختی کم در ساختارهای پیشین می‌شوند و دگرگونی مشخصی آنها را همراهی نمی‌کند. چین‌های مرحله سوم کوچک‌مقیاس و کم‌دامنه، متقارن، باز و دارای تمایل سطح محوری زیاد و میل متوسط هستند (شکل ۴-د و ه) و موقعیت محوری آنها $032^{\circ}/063^{\circ}$ است (شکل ۳-ه). چین‌های شکنجی مزدوج (Conjugated Kink Fold)، برگ‌وارگی‌های پیشین را در ابعاد چند سانتی‌متری متأثر کرده‌اند. سطوح محوری آنها شیب زیاد تا قائم و دو راستای 033° تا 035° درجه و 005° تا 015° درجه دارند (شکل ۳-و).

۴-۴. مراحل تشکیل و دگرریختی کانسار چاه گز

نهشته‌های سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد، در نتیجه خروج و تخلیه سیال‌های گرم‌گرم و غنی از فلز، در کف یا زیر کف دریا تشکیل می‌شوند. این نهشته‌ها از دیدگاه زمین‌ساختی، در مراکز گسترش میان اقیانوسی، کمان‌های کافتی (Rifted Arc)، کمان‌های نوظهور (Nascent Arc) و حوضه‌های پشت کمانی، قابلیت تشکیل دارند (Galley et al., 2007). سامانه کانی‌سازی سولفیدهای توده‌ای از ژرفا به سطح از سه بخش پهنه تغذیه‌کننده (پهنه داربستی)، مجموعه سولفید توده‌ای-لایه‌ای و رسوبات برون‌دمی (Exhalites) تشکیل شده است (شکل ۵-الف).

افق معدنی کانسار چاه گز راستای 060° تا 070° درجه دارد و با طول و عرض به ترتیب $1/5$ کیلومتر و 10 تا 30 متر، در یال جنوبی طاق‌فرم چاه گز قرار گرفته است (شکل ۶). سنگ میزبان سولفیدها، از مجموعه‌های آذرآواری دگرگونی با ترکیب ریوداسیتی و سنگ‌های پلیتی تشکیل شده است. کانه‌زایی در بیشتر موارد به صورت پیکره‌های سولفیدی چینه‌سان، صفحه‌ای و عدسی‌شکل است که در زیر به شبکه‌ای

(شکل ۲). واحدهای آتشفشانی از ریولیت-ریوداسیت و بازالت تشکیل و به ترتیب به کوارتز مسکویت‌شیست و شیست سبز دگرگون شده‌اند. گدازه‌های ریوداسیتی ترکیب کالک‌آلکانل دارند و ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها با محیط زمین‌ساختی کمان ماگمایی انطباق دارد (Mousivand et al., 2011).

واحدهای رسوبی به دو بخش قابل تفکیک هستند. بخش نخست از رسوبات پلیتی (شیل، سیلتستون و به نسبت کمتر شیل کربناتی) تشکیل شده و در اثر دگرگونی به فیلیت، اسلیت، میکاشیست و کالک‌شیست تبدیل گردیده‌اند. سنگ‌های این بخش، رابطه نزدیکی با مجموعه‌های آتشفشانی به‌ویژه ریولیت‌ها دارند و در بسیاری از مناطق به صورت متناوب با آنها حضور دارند. بخش دوم، از واحدهای آهکی تشکیل شده است که آثار دگرگونی ندارند و جوان‌ترین بخش توالی سنگی را شکل داده‌اند. مشاهده تناوب ظریف میان واحدهای ریولیتی و اسلیتی-فیلیتی و نبود آثار دگرگونی مجاورتی میان آنها، وجود میان‌لایه‌های نازک اسلیتی درون شیست‌های سبز (متابازالت‌ها) و همچنین وجود میان‌لایه‌های نازک گدازه ریولیتی در قاعده واحد آهکی، شواهدی هستند که نشان می‌دهند در حوضه کششی اولیه، فعالیت‌های آتشفشانی و رسوب‌گذاری هم‌زمان صورت می‌گرفته است.

۳-۳. مراحل دگرریختی در ناحیه چاه گز

۳-۱. دگرریختی مرحله اول

ساختارهای این مرحله عبارتند از چین‌های متوسط و کوچک‌مقیاس و برگ‌وارگی‌ها. چین‌ها در واحدهای آهکی و برگ‌وارگی‌ها در واحدهای شیستی-اسلیتی-فیلیتی حفظ شده‌اند. چین‌های متوسط‌مقیاس در یال شمالی طاق‌فرم (Antiform) چاه گز و همچنین در جنوب ناحیه چاه گز (کوه اژه) یافت شده‌اند (شکل ۱-ب). در این چین‌ها در بیشتر موارد، یال‌ها موازی بوده و یال جنوبی برگشته است. این چین‌ها دارای میل کم تا متوسط (13° تا 45° درجه) رو به شمال-شمال‌باختر (در ناحیه چاه گز) و شمال‌باختر (در کوه اژه) بوده و سطوح محوری آنها شیب متوسط (33° تا 50° درجه) رو به شمال خاور دارند. انواع کوچک‌مقیاس آنها در آهک‌ها و با فراوانی کمتر در فیلیت‌ها مشاهده شده است. این چین‌ها یال‌های به شدت نازک شده دارند و موقعیت محوری آنها $033^{\circ}/038^{\circ}$ است (شکل ۳-الف). برگ‌وارگی مرحله اول در اثر چین‌خوردگی مرحله دوم موقعیت‌های بسیار متغیری پیدا کرده است. موارد تقریباً حفظ‌شده آن در اسلیت‌ها، فیلیت‌ها و شیست‌های سبز یافت شده است. راستای آنها بین 288° تا 325° درجه متغیر است و شیب 15° تا 35° درجه رو به شمال خاور دارند. برگ‌وارگی مرحله اول از نوع پیوسته بوده و در اثر تبلور و آرایش بلورهای مسکویت و سریسیت ایجاد شده است (شکل ۴-الف). تبلور این مجموعه کانیایی نشان‌دهنده شرایط دگرگونی رخساره شیست سبز است. در فیلیت‌ها، ارتباط برگ‌وارگی مرحله اول با سطوح محوری چین‌های این مرحله مشخص شده است، اما در واحدهای اسلیتی-شیستی به دلیل مشاهده نشدن ناحیه لولایی چین‌های مرحله اول، امکان تأیید مسئله بالا وجود ندارد. بنابراین باید در شکل‌گیری برگ‌وارگی مرحله اول، امکان نقش آفرینی هر دو عامل زمین‌ساختی و غیرزمین‌ساختی (به عنوان نمونه، شکل‌گیری در اثر دگرگونی ایستا) را در نظر داشت.

۳-۲. دگرریختی مرحله دوم

نمای ساختاری کنونی ناحیه چاه گز در طی دگرریختی مرحله دوم شکل گرفته است. ساختارهای این مرحله عبارتند از: چین‌ها (در کلیه مقیاس‌ها)، برگ‌وارگی سطح محوری، برگ‌وارگی ترکیبی و پهنه‌های برشی شکل‌پذیر. طاق‌فرم چاه گز، چین بزرگ‌مقیاس این مرحله و طول و عرض آن به ترتیب 10 و 3 کیلومتر است. این ساختار، یال‌های عادی با شیب متوسط و هندسه نیمه‌استوانه‌ای دارد و موقعیت محوری آن $062^{\circ}/07^{\circ}$ است (شکل ۳-ب). چین‌های متوسط و کوچک‌مقیاس مرحله دوم، دارای سطح محوری با شیب زیاد و میل کم تا متوسط و در بیشتر موارد

در قالب تبلور پیریت و گالن رخ داده است. دایک‌ها شیب بسیار زیادی دارند، از جنس مونوزودیوریت هستند و راستای ۳۱۵ تا ۳۳۵ درجه دارند. ساختارهای بالا و همچنین افق معدنی کانسار چاه گز توسط گسل‌ها و درزه‌هایی متأثر شده‌اند که جوان‌ترین ساختارهای محدوده معدنی هستند. دو دسته گسل پرشیب با جدایش امتدادی (Strike Separation) مشخص شده است. گسل‌های با روند ۳۱۵ تا ۳۲۵ و ۰۵۰ تا ۰۶۵ درجه به ترتیب جدایش امتدادی راست‌گرد و چپ‌گرد نشان می‌دهند (شکل ۶). درزه‌ها پرشیب تا قائم و در مواردی مزدوج هستند و روندهای اصلی و فرعی آنها به ترتیب ۳۱۵ تا ۳۳۰ و ۰۰۰ تا ۰۲۰ درجه است.

۴-۲. دگرریختی در بخش‌های مختلف سامانه سولفید توده‌ای

– **پهنه تغذیه‌کننده سولفیدها:** پهنه تغذیه‌کننده کانسار چاه گز از شبکه‌ای داربستی (Stock Work) شامل رگه‌های دارای سولفیدهای پراکنده و سنگ‌های آتشفشانی دگرگونی به شدت دگرسان شده است. در نمونه‌های مربوط به این پهنه، برگ‌وارگی زمینه سنگ به دگرریختی مرحله دوم تعلق دارد و توسط چین‌های مرحله سوم متأثر شده است (شکل ۸-الف). آثار ضعیفی از برگ‌وارگی مرحله اول در میکروولیتون‌های برگ‌وارگی زمینه دیده می‌شود. دو گروه رگه در پهنه وجود دارند. گروه اول (V_۱)، مقدار کمی کانی‌های سولفیدی و سستری بسیار کمی (۰/۴ تا ۰/۸ میلی‌متر) دارد و از کوارتزهای با ظاهر کِدر و به شدت تبلور دوباره یافته تشکیل شده است. کوارتزهای موجود در این رگه‌ها به موازات برگ‌وارگی زمینه جهت‌یافتگی نشان می‌دهند. رگه‌های جوان‌تر (V_۲) کانی‌های سولفیدی بیشتر و پهنای ۲/۵ تا ۵ میلی‌متر دارند و از دو بخش کوارتزی و کلسیتی تشکیل شده‌اند. بخش کلسیتی در تیر از بخش سیلیسی تشکیل شده است. پیریت‌ها در بخش‌های حاشیه‌ای رگه‌ها، سایه‌های کرنشی (Strain Fringe) از جنس کوارتز و کلسیت فیری هستند (شکل ۸-د). به علت توسعه نیافتن مناسب برگ‌وارگی مرحله اول در نمونه‌ها، امکان تعیین رابطه زمانی میان تشکیل رگه‌ها و دگرریختی اول وجود ندارد، اما ۳ شاهد نشان‌دهنده آن است که رگه‌ها پیش از دگرریختی مرحله دوم در سنگ حضور داشته‌اند: ۱- بلورهای تشکیل‌دهنده برگ‌وارگی مرحله دوم درون شکستگی‌های موجود در حاشیه رگه‌ها متبلور شده‌اند (شکل ۸-ب). ۲- برگ‌وارگی زمینه سنگ در اطراف ناهمواری‌های حاشیه رگه‌ها و همچنین سایه‌های کرنشی انحراف پیدا کرده است (شکل‌های ۸-ج و د). ۳- بلورهای کوارتز و کلسیت درون رگه‌ها به موازات برگ‌وارگی زمینه دچار کشیدگی و تبلور دوباره دینامیکی شده‌اند.

– **پیکره‌های سولفیدی:** سولفیدهای توده‌ای از مقادیر متغیری پیریت، اسفالریت و گالن تشکیل شده و بین ۷۵ تا ۹۰ درصد سنگ را تشکیل داده‌اند. پیکره‌های سولفیدی به شدت متأثر از چین‌خوردگی مرحله دوم هستند و دچار انتقال‌یافتگی شدید از لایه‌بندی و برگ‌وارگی اولیه شده و به موازات برگ‌وارگی مرحله دوم آرایش دوباره یافته‌اند. در میکروولیتون‌های برگ‌وارگی دوم، آرایش اولیه نوارهای سولفیدی به موازات برگ‌وارگی مرحله اول است (شکل ۹-الف). اما با خروج از این مناطق، سولفیدها دچار چرخش ناگهانی می‌شوند و به موازات برگ‌وارگی مرحله دوم قرار می‌گیرند. این پدیده نشان‌دهنده اهمیت دگرریختی‌های اول و دوم در کنترل موقعیت پیکره‌های معدنی است و بر انطباق پیکره‌های سولفیدی با یال‌های چین‌ها و همچنین برگ‌وارگی‌های مرحله دوم تأکید دارد.

آثار دگرریختی مرحله سوم در برگ‌وارگی سنگ میزبان سولفیدها قابل پیگیری است. اعمال فشار تقریباً موازی با راستای برگ‌وارگی دوم، موجب توسعه ریزچین‌ها در آن و تشکیل برگ‌وارگی جدیدی به موازات سطح محوری چین‌ها شده است (شکل ۹-ج). زاویه میان دو برگ‌وارگی ۶۳ تا ۷۶ درجه است و چین‌ها از نوع چین‌های آرام هستند.

۴-۳. فرایندهای دگرریختی در پیکره‌های سولفیدی

– **تحرك دوباره (Remobilization):** تحرك دوباره تغییر موقعیت و تمرکز اولیه

داربستی از رگه‌های تغذیه‌کننده منتهی می‌شود (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸). بر روی واحدهای آتشفشانی دربر دارنده توده‌های سولفیدی، رسوبات گرمابی متشکل از چرت‌های غنی از پیریت و مگنتیت دیده می‌شوند که به مجموعه‌های برون‌دمی سامانه کانه‌زایی تعلق دارند. سبک کانه‌زایی به صورت توده‌ای، توده‌ای-نواری (شکل ۵-ب)، نواری (شکل ۵-ج)، لایه‌ای، پراکنده و رگه‌ای است. همبود کانیایی از اسفالریت، پیریت، گالن، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، تتراندريت و کمی بورنیت تشکیل یافته است (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸).

۴-۱. مراحل دگرریختی

چهار مرحله دگرریختی در محدوده کانسار چاه گز تشخیص داده شده است که سه مرحله نخست آن قابل انطباق با مراحل دگرریختی ناحیه چاه گز و مرحله چهارم منحصر به محدوده معدنی است. کهن‌ترین ساختار قابل مشاهده در محدوده معدنی، برگ‌وارگی پیوسته مرحله اول است که توسط چین‌های مرحله دوم متأثر شده است. الگوی چین‌خوردگی استوانه‌ای است و محور ۰۶۲°/۰۰° تا ۲۴۲ را نشان می‌دهد. حضور گسترده این برگ‌وارگی و وجود چین‌های مرحله اول در مجاورت معدن، نشان از اهمیت این دگرریختی در محدوده معدنی دارد.

اصلی‌ترین ساختارهای تأثیرگذار بر روی سنگ میزبان-پیکره‌های معدنی، در مرحله دوم دگرریختی توسعه یافته‌اند. پیکره‌های معدنی توسط چین‌های متوسط و کوچک‌مقیاس این مرحله متأثر شده (شکل‌های ۷-الف و د) و بخش‌های اکسیدشده ماده معدنی، برگ‌وارگی‌های نافذ این مرحله از دگرریختی را پذیرفته‌اند (شکل ۷-ب). چین‌ها، هندسه استوانه‌ای تا نیمه‌استوانه‌ای دارند، بسته تا باز و ایستاده یا با تمایل سطح محوری زیاد هستند. محور آنها افقی یا با میل کم (کمتر از ۱۰ درجه) رو به شمال خاور یا جنوب باختر است. در گمانه‌های معدنی، ساختارهای مرحله سوم به طور محلی توسعه یافته‌اند (گمانه‌های ۱ و ۹). چین‌ها باز و تقریباً متقارن و دارای ناحیه لولایی مدور هستند. محور چین‌ها موقعیت ۱۵۰°/۳۲۳° دارد و سطوح محوری آنها با راستای ۳۰۰ تا ۳۳۰ درجه، در بیشتر موارد شیب بیش از ۶۵ درجه رو به شمال و جنوب دارند (شکل ۷-ج). در اثر جریان‌یافتگی محلی سنگ‌های به شدت دگرسان‌شده در گمانه‌های ۶، ۷ و ۸، چین‌های غلافی کوچک‌مقیاس، بر روی برگ‌وارگی مرحله دوم توسعه یافته‌اند. محورهای آنها افقی هستند و یا میل بسیار کم با روند ۳۲۶ تا ۳۴۰ درجه دارند. پهنه‌های برشی این مرحله نیز، برگ‌وارگی مرحله دوم را متأثر کرده‌اند. پهنه جنوبی موقعیت SE ۰۴۶°/۳۷° دارد و در واحد سرسیت کلریت‌شیتست موجود در پهنه دگرسان‌شده توسعه یافته است. در اثر شکل‌گیری برگ‌وارگی‌های S/C در این پهنه، برگ‌وارگی پرشیب مرحله دوم به صورت شکل‌های عدسی در آمده است که حرکت امتدادی راست‌گرد را نشان می‌دهند (شکل ۷-ه). سازوکار حرکتی پهنه، راستالغز راست‌گرد (حرکت بخش جنوبی پهنه رو به باختر) است. پهنه شمالی دارای راستای ۰۴۴ تا ۰۵۵ درجه است و شیب ۴۲ تا ۵۸ درجه رو به شمال دارد. عملکرد آن موجب ایجاد چین‌های نامتقارن با تمایل سطح محوری رو به باختر و برگ‌وارگی‌های S/C در واحد کوارتز مسکوویت‌شیتست شده است. سازوکار حرکتی پهنه، راستالغز چپ‌گرد (حرکت بخش شمالی پهنه رو به باختر) است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میان سازوکار راستالغز پهنه‌های برشی و میزان شیب آنها ناهمخوانی وجود دارد. دلیل شیب متوسط پهنه‌های راستالغز، آن است که این پهنه‌ها در اثر فعال‌شدن دوباره برگ‌وارگی مرحله اول در جریان چین‌خوردگی مرحله سوم شکل گرفته‌اند، به طوری که میزان و جهت شیب پهنه‌ها، بازتابی از موقعیت برگ‌وارگی مرحله اول موجود در یال‌های چین‌های متوسط‌مقیاس مرحله دوم موجود در یال‌های طاق فرم چاه گز است.

در دگرریختی مرحله چهارم ساختارهایی چون رگه‌ها و دایک‌ها شکل گرفته‌اند. رگه‌ها در بیشتر موارد سیلیسی و دارای شیب بسیار زیاد تا قائم و روندهای اصلی ۳۱۰ تا ۳۱۵ و ۳۳۵ تا ۳۴۰ و ۰۱۰ تا ۰۱۵ درجه هستند. در برخی از آنها کانه‌زایی جوان

شکستگی‌ها پس از اوج دگرگونی مرحله دوم و در شرایط دما پایین منطبق با دگرریختی مرحله سوم شکل گرفته باشد.

۴-۴. رسوبات برون‌دمی (Exhalites)

رسوبات برون‌دمی در کانسار چاه گز از چرت‌های دارای پیریت و مگنتیت تشکیل شده‌اند و بر روی یا در امتداد واحدهای آتشفشانی در بردارنده سولفیدها قرار دارند. در اثر چین خوردگی بعدی، لایه‌بندی در آنها شیب بیش از ۷۵ درجه رو به شمال و جنوب یافته و با داشتن راستای ۰۵۴ تا ۰۶۸ درجه، با برگ‌وارگی مرحله دوم موجود در واحدهای شیب‌موازی شده است. نوارهای سولفیدی موجود در رسوبات برون‌دمی، مجموعه متراکمی از بلورهای پیریت و مگنتیت خودشکل هستند. ستبرای نوارها، بین ۰/۵ تا ۴ میلی‌متر متغیر است و تا ۱ سانتی‌متر نیز می‌رسد.

۵-۵. بحث

۵-۱. رابطه کانی‌زایی و دگرریختی

شکل‌گیری پیکره‌های سولفیدی بی‌تردید پیش از دگرریختی مرحله دوم بوده است. شاهد آن متأثر شدن پیکره‌های سولفیدی، پهنه تغذیه‌کننده سولفیدها و رسوبات برون‌دمی توسط ساختارهای مرحله دوم است. قضاوت درباره رابطه زمانی کانه‌زایی و دگرریختی مرحله اول، صرفاً به دلیل شواهد و دلایل ساختاری، باید با احتیاط صورت گیرد. چرا که دگرریختی مرحله دوم موجب تغییر موقعیت شدید در ساختارهای مرحله اول شده و رابطه مجموعه‌های سولفیدی با آنها را دستخوش دگرگونی کرده است. در میکروولیتون‌های برگ‌وارگی مرحله دوم، نوارهای سولفیدی به موازات برگ‌وارگی مرحله اول، جهت‌یافتگی نشان می‌دهند و این برگ‌وارگی در اطراف ناهمواری‌های حاشیه سولفیدها دچار خمش و انحراف شده و کانی‌های تشکیل‌دهنده آن در فضای میان تکه‌های سولفیدی متبلور گشته‌اند. افزون بر این، سولفیدها حالت رگ‌های ندارند و توسط سنگ میزبان خود در بر گرفته شده‌اند. این شواهد نشان‌دهنده آن است که سولفیدها پیش از دگرریختی اول در سنگ میزبان حضور داشته‌اند. این مسئله ناچار بدان معنا نیست که توده‌های سولفیدی به صورت انفعالی در چین‌خوردگی مرحله اول مشارکت داشته‌اند. بلکه به احتمال سولفیدها همزمان با دگرریختی مرحله اول دچار حل‌شدگی شده و در تله‌های ساختاری این مرحله مانند چین‌ها، دوباره شکل گرفته‌اند. عامل اصلی ایجاد این تله‌های ساختاری، افزایش تراکم شکستگی‌ها و ایجاد فضای باز در ناحیه لولایی و به‌ویژه یال کوتاه‌شده چین‌ها است که در طی کاهش تمایل سطح محوری آنها ایجاد می‌شود. در محدوده معدنی، چین‌های مرحله اول با یال‌های موازی و تمایل سطح محوری کم، تنها در کوچک‌مقیاس یافت شده‌اند. بنابراین برای ارزیابی بیشتر احتمال بالا، مطالعات ژرفایی لازم است.

۵-۲. کنترل‌کننده‌های ساختاری پیکره‌های معدنی

با توجه به اهمیت کنترل‌کننده‌های ساختاری پیکره‌های معدنی در اکتشاف ذخایر جدید، در این بخش کنترل‌کننده‌های ساختاری ناحیه‌ای و محلی پیکره‌های سولفیدی مورد توجه قرار گرفته است. منظور از کنترل‌کننده‌های ناحیه‌ای، ساختارهایی هستند که در تمامی طول پهنه دگرسان‌شده حضور داشته و پیکره‌های سولفیدی و سنگ میزبان آنها را در ابعاد چند صد متری متأثر کرده‌اند. چین‌ها و برگ‌وارگی‌های مرحله دوم دگرریختی در این گروه قرار می‌گیرند و هندسه آنها می‌تواند راهنمایی برای پی‌گیری ذخایر جدید باشد. عملکرد پهنه‌های برشی مرحله دوم نیز، دارای اهمیت است. با توجه به ماهیت نامقاوم مجموعه‌های سنگی میزبان و سولفیدها، احتمال توسعه ژرفایی چین‌های غلافی متوسط‌مقیاس دارای محور تقریباً افقی با روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر وجود دارد. در گمانه‌های معدنی، توزیع داده‌های ساختاری از جمله برگ‌وارگی‌های مراحل اول و دوم، محور چین‌ها و خط‌واره‌های کششی مرحله دوم، هندسه‌ای مشابه با مدل پیش‌بینی شده برای چین‌های غلافی نشان می‌دهند

مواد معدنی است و در نتیجه دگرریختی و دگرگونی پیکره‌های معدنی (به‌ویژه سولفیدها) رخ می‌دهد. در ایجاد آن، طیفی از فرایندهای شیمیایی (مانند انحلال در اثر سیال‌های دگرگونی) یا مکانیکی (مانند لغزش بی‌نظمی‌های درون‌بلوری) دخالت دارند (Marshall & Gilligan, 1986). بیشترین تأثیر تحرک دوباره در شرایط دمایی متوسط است (Marshall & Gilligan, 1993). رخداد این پدیده توسط پوشیده یا دربرگرفته شدن برگ‌وارگی سنگ میزبان توسط سولفیدها مشخص می‌شود. در نمونه‌های کانسار چاه گز، شواهد تحرک دوباره مکانیکی در اسفالریت‌ها و در درجه بعدی فراوانی، در پیریت‌ها قابل مشاهده است و آثار آن در مقیاس کوچک دیده می‌شود. دو مرحله تحرک دوباره تشخیص داده شده است. زمان رخداد مرحله نخست، پس از تشکیل برگ‌وارگی مرحله اول است و توسط وجود ادخال‌های چین‌خورده این برگ‌وارگی در میان سولفیدها مشخص می‌شود (شکل‌های ۹-ب و ج). بیشترین میزان تحرک دوباره، در میکروولیتون‌های برگ‌وارگی مرحله دوم عمل کرده است. به احتمال زیاد، زمان اصلی رخداد تحرک دوباره، در طی رخداد تک‌توتو-حرارتی مرحله دوم بوده است. در این زمان، سولفیدها همزمان با انتقال‌یافتگی به موازات برگ‌وارگی مرحله دوم، دچار جریان‌یافتگی (Flow) و تحرک دوباره به سمت مناطق با دگرشکلی کمتر (مانند میکروولیتون‌های برگ‌وارگی‌ها) شده‌اند. مرحله دوم تحرک دوباره گسترش کمتری دارد و پس از تشکیل برگ‌وارگی مرحله دوم عمل کرده است (شکل ۹-د).

- تبلور دوباره دینامیکی: در گذشته پیریت به عنوان یک کانی سخت و مقاوم در نظر گرفته می‌شد که در ترازهای پوسته‌ای تنها دارای رفتار شکننده است (Atkinson, 1975)، اما مطالعات جدیدتر نشان داده است که مرز تغییر رفتار شکننده-شکل‌پذیر این کانی تا بخش‌های دما پایین رخساره شیب‌سبز نیز قابل امتداد است (Barrie et al., 2007 & 2009). در نمونه‌های کانسار چاه گز نیز که شرایط دمایی متوسط را تحمل کرده‌اند، آثار تبلور دوباره دینامیکی با فرایند مهاجرت مرز دانه‌ای و روش ایجاد برآمدگی (Bulging) قابل مشاهده است و توسط مرزهای ناهموار و دندانه‌ای میان بلورهای پیریت مشخص می‌شود (شکل ۹-ه).

- بهبود حرارتی (Annealing): بهبود حرارتی ترکیبی از فرایندهای بازایی (Recovery) و تبلور دوباره است و فرایندی صنعتی در متالورژی به شمار می‌آید (Anver, 1984). در این فرایند، فلزات ابتدا حرارت داده شده و سپس سرد می‌شوند تا ساختار درونی نامنظم آنها که حاصل دگرریختی در شرایط دمایی پایین‌تر از دمای تبلور دوباره است، به حالت آزاد از دگرشکلی بازگردانده شود. از آنجا که در زمین‌شناسی، گرمایش و دگرگونی انفعالی سنگ‌ها در غیاب تنش و دگرریختی، امکان‌پذیر نیست، استفاده از مفهوم بهبود حرارتی چندان توصیه نمی‌شود و نیازمند تعریف دوباره است (Vernon, 2004, Passchier & Throw, 2005). ریز ساختار شاخص این فرایند در نمونه‌های طبیعی کانی‌های سولفیدی، بافت کف‌مانند (Foam Texture) یا الحاق سه‌گانه (Triple Junction) است که به وسیله وجود زاویه ۱۲۰ درجه میان بلورهای پیریت مشخص می‌شود (شکل ۹-ه). (Craig & Vaughan, 1990 & 1994). بر این باورند که این ساختار، زمانی ایجاد می‌شود که بلورها در اثر دگرگونی حرارتی، دچار تبلور دوباره می‌شوند و با کاهش مساحت و کشش در مرزهای بلوری خود، مرزهایی هموار و هم‌بعد پیدا می‌کنند. در کانسار چاه گز، این ساختار پس از اوج دگرریختی-دگرگونی مرحله دوم شکل می‌گیرد و در طی آن بلورها با هدف رسیدن به کمترین انرژی داخلی، به انتظام دوباره مرزهای خود می‌پردازند و سعی در بازگشت به حالت تعادل بافتی دارند.

- دگرریختی شکنا: در کانسار چاه گز، رفتار شکننده سولفیدها امری معمول بوده و به‌ویژه در مورد اسفالریت‌ها شایع است. توسعه شکستگی‌ها، بر روی سولفیدهای انتقال‌یافته‌ای که تحرک دوباره را نیز تجربه کرده‌اند، نشان‌دهنده دیرکرد زمانی دگرریختی شکنا نسبت به دگرریختی مرحله دوم است. به نظر می‌رسد که توسعه

میل کم رو به شمال خاور یا جنوب باختر و تمایل سطح محوری زیاد تا بسیار زیاد، به نسبت متقارن و بسته تا باز چین خورده‌اند. شدت چین خوردگی و دوام تخت شدگی عمود بر سطوح محوری این چین‌ها موجب انتقال یافتگی نوارهای سولفیدی به موازات برگ‌وارگی سطح محوری و همچنین برگ‌وارگی ترکیبی شده است. شواهد ریزساختاری نشان داده‌اند که پیکره‌های سولفیدی پیش از دگرریختی مراحل اول و دوم تشکیل شده‌اند؛ رگه‌های موجود در پهنه تغذیه‌کننده سولفیدها، دست کم پیش از شکل‌گیری برگ‌وارگی مرحله دوم در سنگ حضور داشته‌اند؛ تحرک دوباره مکانیکی، تبلور دوباره دینامیکی و بهبود حرارتی، اصلی‌ترین فرایندهای دگرریختی در پیکره‌های سولفیدی به شمار می‌آیند و شرایط دمایی کم تا متوسط (رخساره شیبست سبز) را نشان می‌دهند.

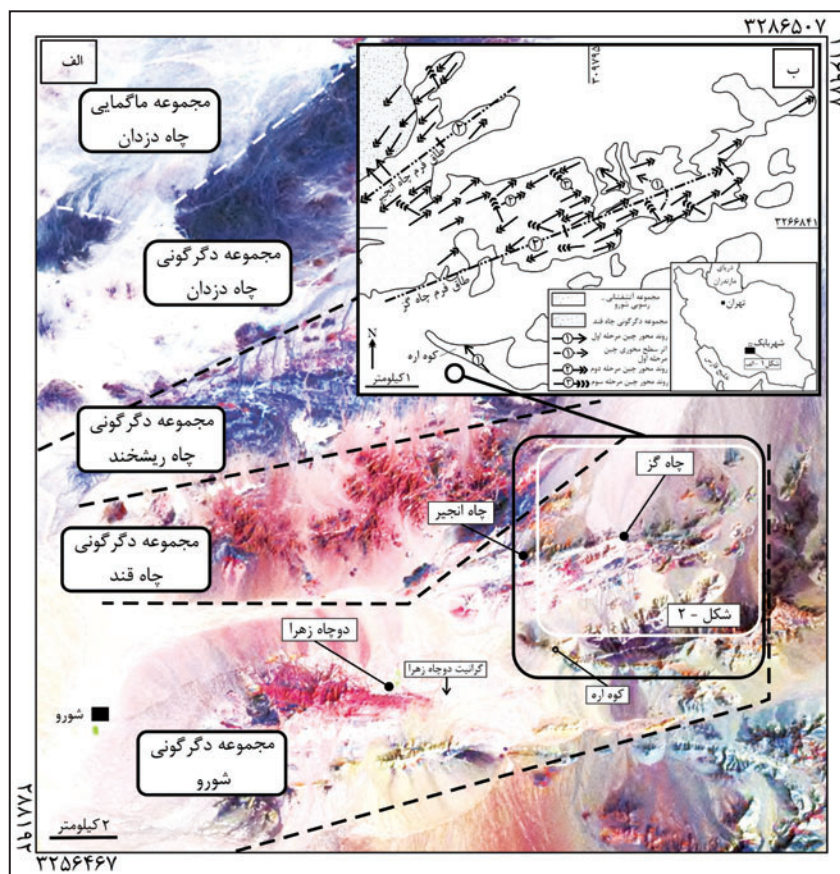
سپاسگزاری

این نوشتار بخشی از طرح پژوهشی "ساختارها و فابریک‌ها در منطقه شورو (جنوب شهربابک)" است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس به انجام رسیده است. بنابراین به این وسیله از تلاش‌های آن معاونت سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقای مینایی (مالک معدن چاه گز) به سبب همیاری در امر اسکان و دسترسی به معدن، سپاسگزاریم.

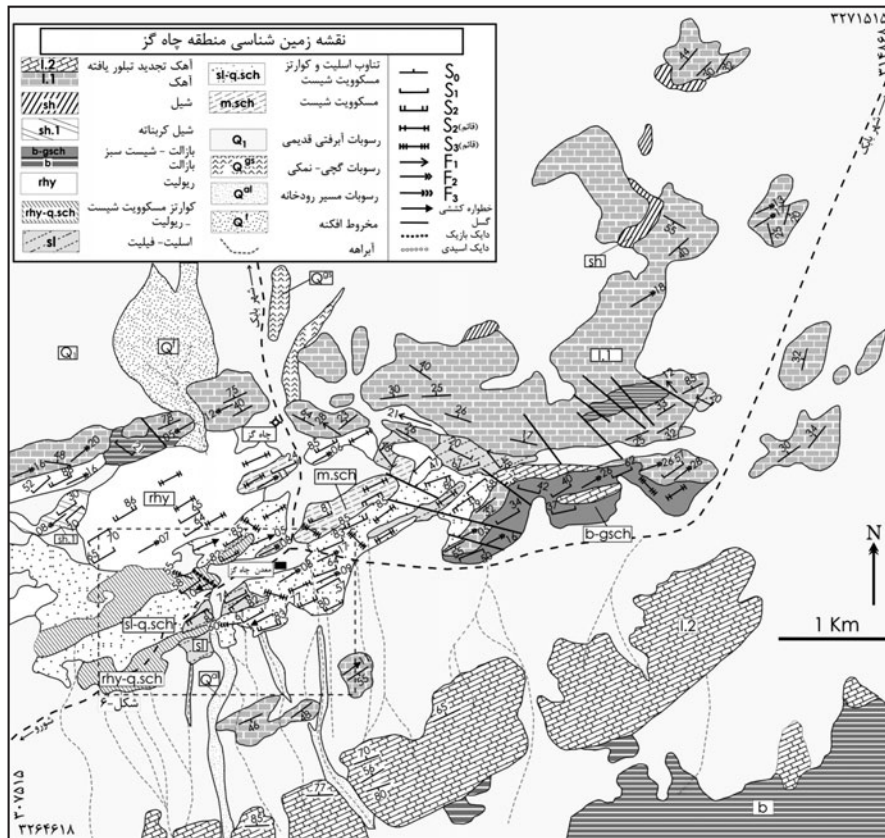
(Park, 1988)، به طوری که توزیع قطب‌های $S_{1,0}$ و S_2 مخروطی با مقطع بیضی رانشان می‌دهد که محور k آن با موقعیت $20^\circ/239^\circ$ ، با عناصر کششی چون خط‌واره‌های کششی تقریباً موازی است. کنترل‌کننده‌های ساختاری محلی، ساختارهایی هستند که توسعه محدودی در طول پهنه دگرسان‌شده و تأثیرگذاری چند ده متر و کمتر بر روی پیکره‌های سولفیدی و سنگ میزبان آنها دارند. مهم‌ترین آنها در طی دگرریختی سوم ایجاد شده‌اند. چین‌های این مرحله در بخش اکسیدشده ماده معدنی قابل مشاهده هستند و روندی جدید و عمود بر روند معمول شمال خاور- جنوب باختر را پدید آورده‌اند. پهنه‌های پرشی راست‌الغز این مرحله در کنار جابه‌جایی، موجب توسعه ساختارهای عدسی‌شکل در سنگ میزبان سولفیدها و ایجاد تمرکزهای معدنی ثانویه در فضای میان عدسی‌ها شده‌اند.

۶- نتیجه‌گیری

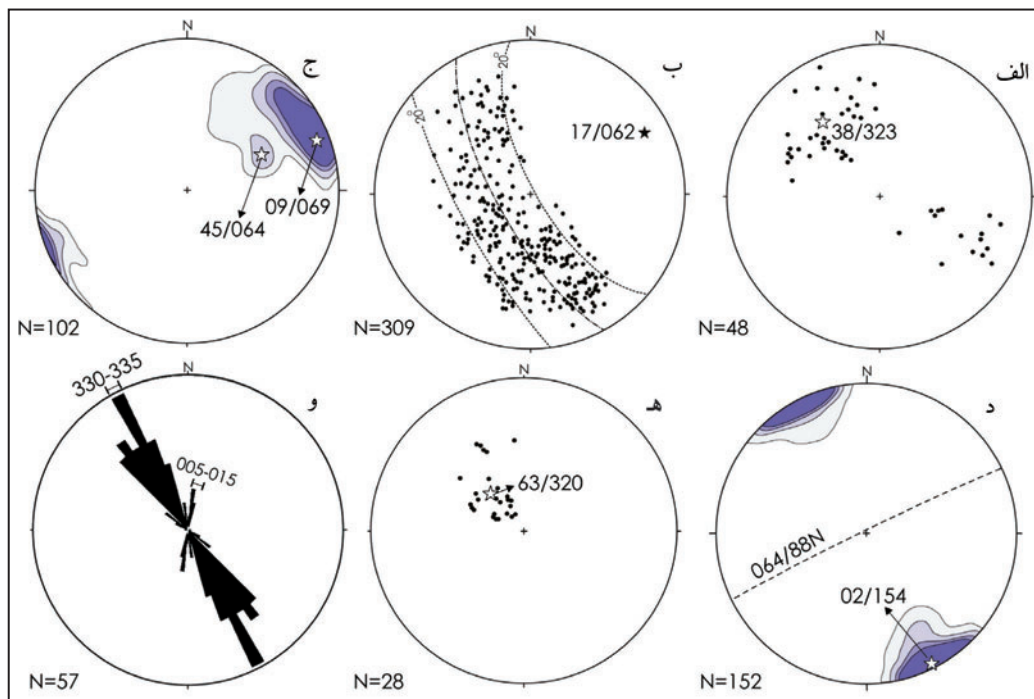
کانسار چاه گز یک نهشته سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) است که ۳ مرحله دگرریختی و ۲ مرحله دگرگونی در حد رخساره شیبست سبز را تحمل و طیف گسترده‌ای از فرایندهای دگرریختی در آن اثر کرده است (جدول ۱). ساختارهای اصلی کنترل‌کننده پیکره‌های معدنی در کلیه مقیاس‌ها، در طی دگرریختی مرحله دوم شکل گرفته‌اند. در طی این دگرریختی، پیکره‌های سولفیدی به صورت چین‌هایی با



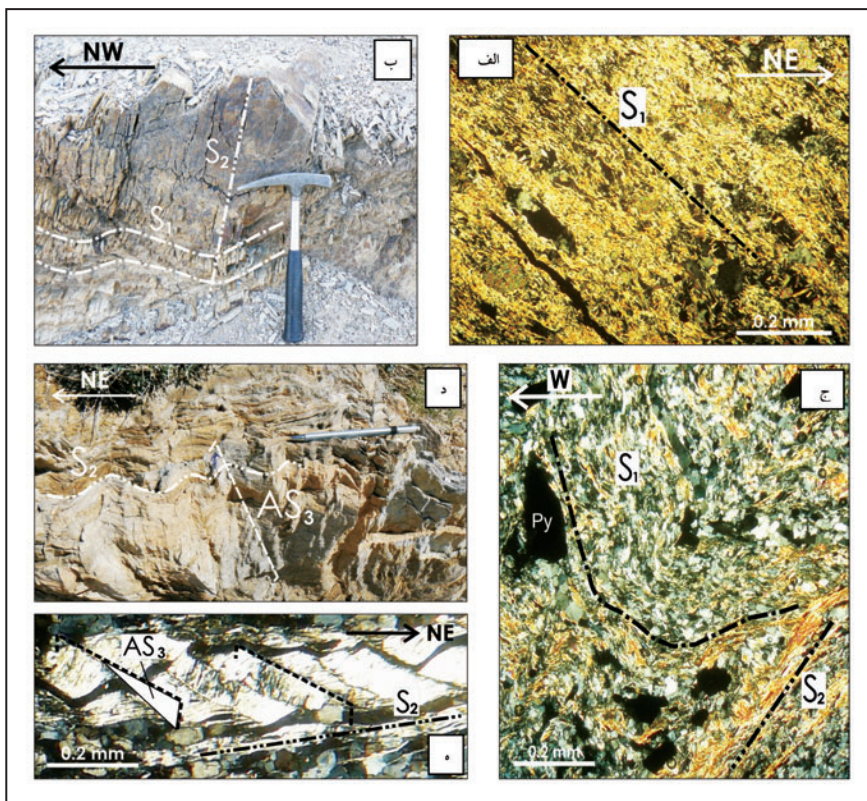
شکل ۱- الف) تصویر ماهواره ای ASTER از مجموعه‌های دگرگونی جنوب شهربابک (مجموعه شورو، چاه قند، چاه ریشخند و چاه دزدان). مرزهای تقریبی مجموعه‌ها با خط چین مشخص شده است. واحد مختصات: متریک، زون ۴۰ و ب) نقشه ساختاری از ناحیه چاه گز- چاه انجیر که توزیع موقعیت محورها و اثر سطوح محوری سه مرحله چین خوردگی را نشان می‌دهد. چین‌های مراحل اول و سوم میل کم تا متوسط و چین‌های مرحله دوم در بیشتر موارد میل کم دارند.



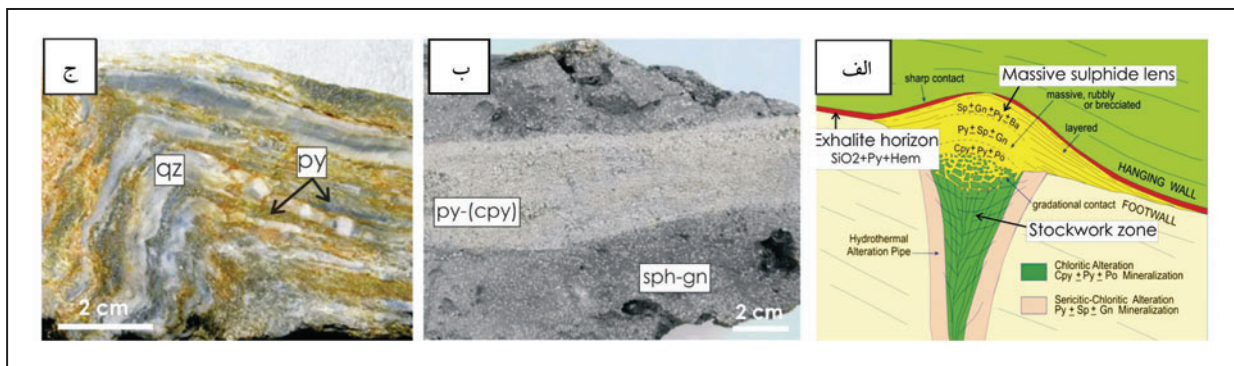
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه چاه گز.



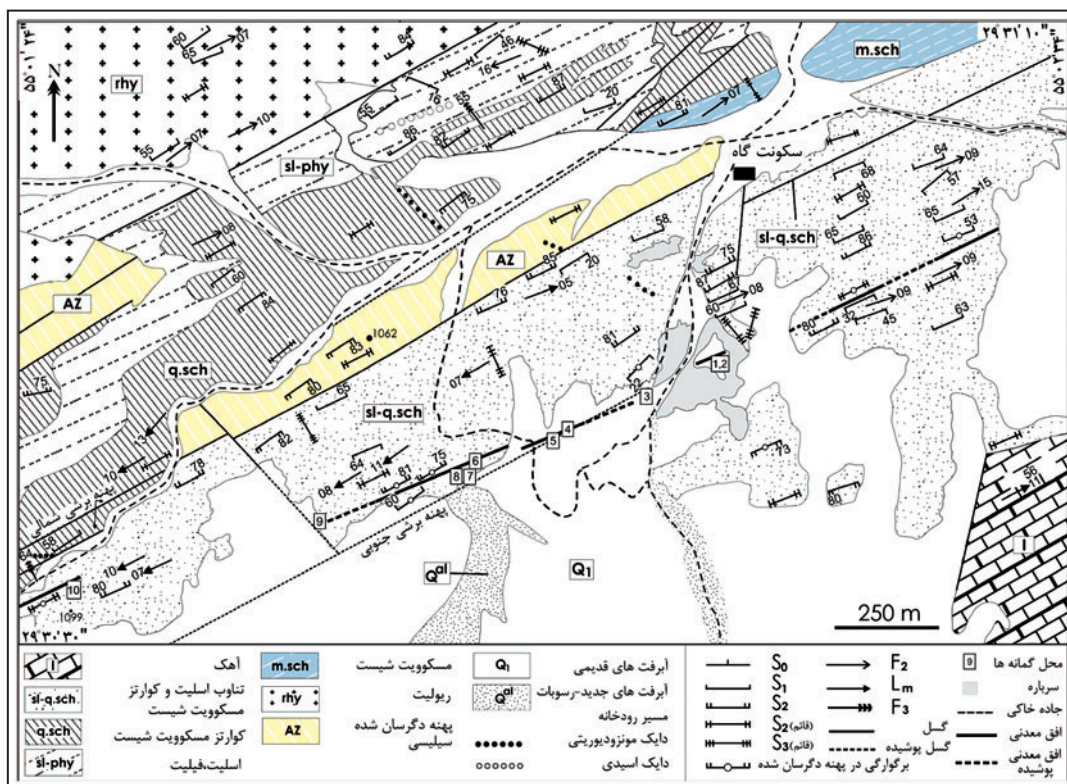
شکل ۳- توزیع عناصر ساختاری ناحیه چاه گز. الف) محور چین‌های مرحله اول، ب) قطب‌های لایه‌بندی و برگ‌وارگی مرحله اول، توزیع تقریبی ۹۰٪ داده‌ها در فاصله ۲۰ درجه‌ای از بهترین توزیع استوانه‌ای، نمایانگر هندسه نیمه‌استوانه‌ای چین بزرگ مقیاس مرحله دوم است، ج) محور چین‌های متوسط و کوچک مقیاس مرحله دوم، د) قطب‌های برگ‌وارگی ترکیبی مرحله دوم، ه) محور چین‌های مرحله سوم و و) توزیع راستای سطح محوری چین‌های شکلی مرحله سوم دگرریختی. داده‌ها در نیم کره پایینی شبکه هم‌مساحت اشمیت تصویر شده‌اند و در شکل‌های ج و د بر اساس ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد توزیع داده‌ها در ۱ درصد مساحت کنتوربندی شده‌اند. میانگین داده‌ها با ستاره سفید مشخص شده است.



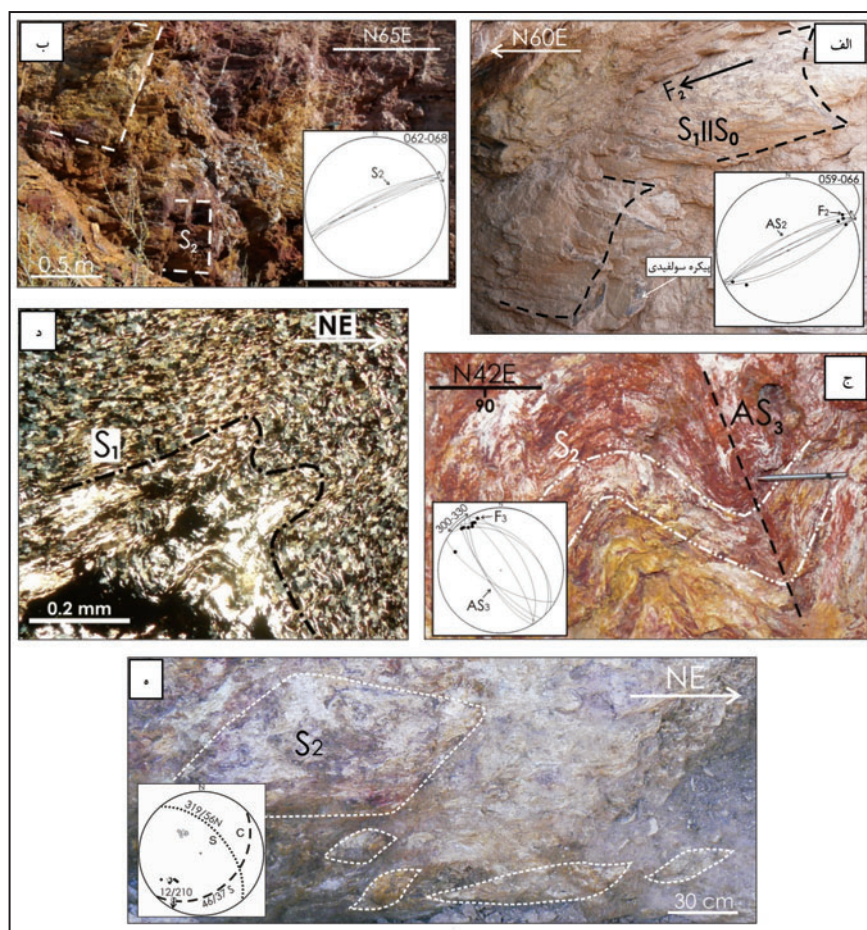
شکل ۴- چین ها و برگ وارگی های موجود در شیبست های ناحیه چاه گز. الف) برگ وارگی پیوسته مرحله اول (S_1)، ب) چین S_1 و برگ وارگی مرحله دوم. ج) برگ وارگی کنگره ای توسعه یافته در منطقه لولایی چین های مرحله دوم، د و ه) چین های مرحله سوم. شکل ه، مقطع عمود بر محور چین را نشان می دهد.



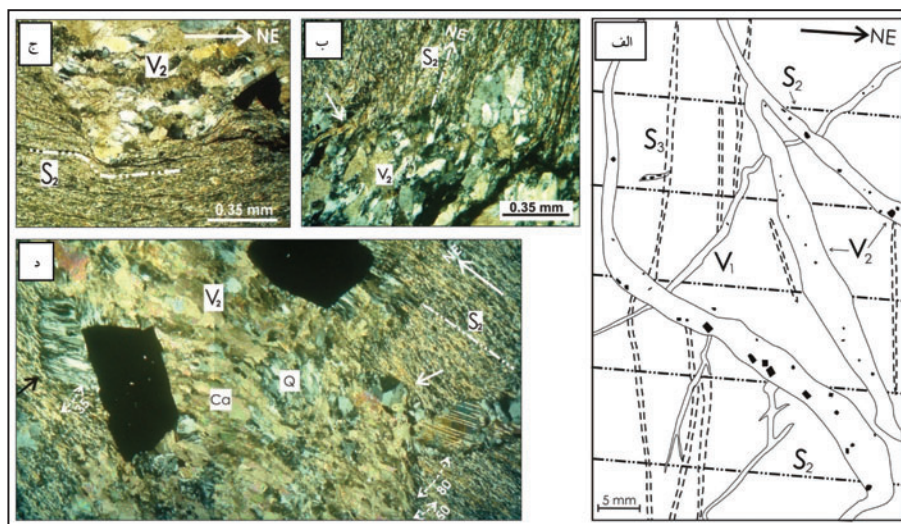
شکل ۵- الف) بخش های مختلف سامانه کانی زایی سولفیدهای توده ای. رسم دوباره از (Lydon (1988، ب) بافت توده ای-نواری در رخساره ماده معدنی لایه ای. نوار غنی از پیریت (روشن) درون ماده معدنی توده ای غنی از اسفالریت و گالن (تیره) دیده می شود. ج) چین خوردگی در ماده معدنی نواری که شامل تناوب نوارهای غنی از پیریت (تیره) و نوارهای غنی از کوارتز (روشن) است. علائم اختصاری کانی ها: پیریت (py)، کالکوپیریت (cpy)، اسفالریت (sph)، گالن (gn) و کوارتز (qz).



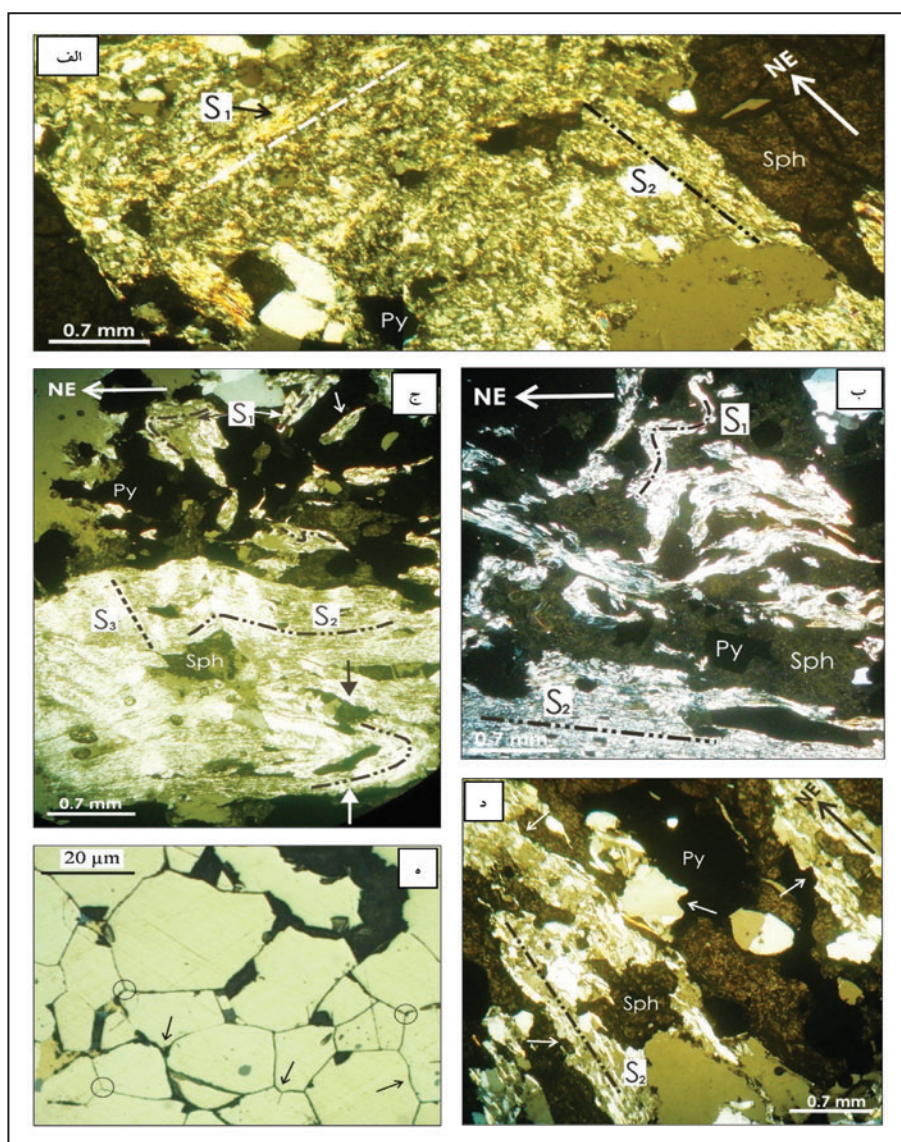
شکل ۶- نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار چاه گز. تفکیک واحدهای سنگی، رسم دوباره از مهندسان مشاور کاوشگران (۱۳۶۹).



شکل ۷- ساختارهای موجود در گمانه‌های معدنی کانسار چاه گز و استریوت‌های مربوط به آنها. الف) چین‌خوردگی پیکره‌های سولفیدی و سنگ میزبان آنها به صورت چین مرحله دوم، گمانه ۶، ب) توسعه برگ‌وارگی مرحله دوم در بخش اکسید شده کانسار، گمانه ۲، ج) چین‌های مرحله سوم در بخش اکسید شده کانسار، گمانه ۱، د) چین‌خوردگی برگ‌وارگی پیوسته مرحله اول و نوار پیریتی همراه با آن توسط چین‌های مرحله دوم و ه) توسعه برگ‌وارگی‌های S/C در پهنه برشی جنوب معدن.



شکل ۸- دگرریختی در پهنه تغذیه‌کننده سولفیدها. الف) تصویر نمادین از مقطع نازک مربوط به پهنه تغذیه‌کننده، ب) تبلور بلورهای تشکیل‌دهنده برگ‌وارگی مرحله دوم در شکستگی‌های اطراف رگه مرحله دوم (V₂). (پیکان سفید)، ج) انحراف برگ‌وارگی زمینه در اطراف بخش خارجی رگه مرحله دوم و انحراف برگ‌وارگی مرحله دوم در اطراف سایه‌های کرنشی پیریت‌ها و ناهمواری‌های اطراف رگه مرحله دوم (به ترتیب پیکان‌های سیاه و سفید). علائم اختصاری کانی‌ها: کوارتز (Q)، کلسیت (Ca).



شکل ۹- دگرریختی در مجموعه سولفیدهای توده‌ای. الف) حضور همزمان برگ‌وارگی‌های مراحل اول و دوم در سنگ میزبان توده‌های سولفیدی. آثاری از آرایش اولیه سولفیدها به موازات برگ‌وارگی مرحله اول قابل مشاهده است، ب) شواهد مرحله اول تحرک دوباره که توسط وجود ادخال‌های برگ‌وارگی مرحله اول در میان سولفیدها مشخص می‌شود. بیشترین تأثیر تحرک دوباره در میکرولیت‌های برگ‌وارگی مرحله دوم بوده است، ج) چین‌خوردگی مرحله سوم در توده‌های سولفیدی. در سمت راست پایین مقطع، چین فرعی مشاهده می‌شود که در اثر تداوم تخت‌شدگی عمود بر برگ‌وارگی مرحله دوم شکل گرفته است. وجود بخش کشیده و کوچک اسفالریتی، موجب تمرکز تنش و کنترل هندسه چین شده است. در نیمه بالایی شکل، آثار تحرک دوباره مرحله اول مشهود است، د) شواهد مرحله دوم تحرک دوباره که توسط قطع‌شدگی مسیر برگ‌وارگی مرحله دوم توسط سولفیدها (به‌ویژه اسفالریت‌ها) مشخص می‌شود. (پیکان‌های سفید و ه) بافت الحاق سه‌گانه (دایره‌ها) و تبلور دوباره به روش ایجاد برآمدگی (پیکان‌ها) در ماده معدنی توده‌ای غنی از پیریت. شکل ه، در نور بازتابی و دیگر شکل‌ها در نور پلاریزه هستند. علائم اختصاری کانی‌ها: پیریت (Py)، اسفالریت (Sph).

جدول ۱- اثرگذاری فرایندهای مختلف دگرریختی بر روی پیکره‌های سولفیدی و سنگ‌های میزبان آنها.

مراحل دگرشکلی	فرایندهای دگرشکلی در پیکره‌های سولفیدی - سنگ‌های میزبان
D_1, D_2, D_3	چین خوردگی
D_2, D_3	تأثیر پهنه‌های برشی
D_1, D_2	انتقال یافتگی
$D_1(?), D_2$	تحرک دوباره، تبلور دوباره
$D_4(?)$ - post D_4	دگرریختی شکنا

کتابنگاری

موسوند، ف.، راستاد، ا.، پیتر، ج. و سولومون، م.، ۱۳۸۸- کانسار روی-مس-سرب چاه گز: کانی‌زایی سولفید توده‌ای تیپ Bathurst در ایران (چکیده). بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین. مهندسان مشاور کاوشگران، ۱۳۶۹- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و کانی‌سازی سرب و روی منطقه چاه گز. گزارش نقشه ۱/۵۰۰۰. وزارت معادن و فلزات. ۱۲۸ صفحه.

مهندسان مشاور کاوشگران، ۱۳۷۲- شرح نقشه‌های ۱/۱۰۰۰ منطقه معدنی سرب و روی چاه گز. جنوب باختر شهر بابک. وزارت معادن و فلزات. ۱۲۰ صفحه.

References

- Anver, S. H., 1984- Introduction to Physical Metallurgy, McGraw- Hill International Book Company, 696 p.
- Atkinson, B. K., 1975- Experimental deformation of polycrystalline pyrite: effects of temperature, confining pressure, strain rate and porosity. *Economic Geology*, 70, 473–487.
- Barrie, C. D., Boyle, A. P. & Prior, D. J., 2007- An analysis of the microstructures developed in experimentally deformed polycrystalline pyrite and minor sulphide phases using electron backscatter diffraction. *Journal of Structural Geology*, 29, 1494–1511.
- Barrie, C. D., Boyle, A. P. & Salter, M., 2009- How low can you go? Extending downwards the limits of plastic deformation in pyrite. *Mineralogical Magazine*, 73, 895-913.
- Burnoll, L., 1968- Contribution a l'etude des gisements de plomb et zinc de l' Iran. Geological survey of Iran. Report No.11.
- Craig, J. R. & Vaughan, D. J., 1990- Compositional and textural variation of the major iron and base-metal sulphide minerals, in: Gray et al. (eds.) *Sulphide deposits-their origin and processing*. The Institute of Mining and Metallurgy, London. 1-16.
- Craig, J. R. & Vaughan, D. J., 1994- *Ore microscopy and ore petrology*. Wiley publication, 434 p.
- Galley, A. G., Hannington, M. D. & Jonasson, I. R., 2007- Volcanogenic massive sulphide deposits, in: Goodfellow, W.D. (eds.) *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division and Geological Survey of Canada Special Publication No. 5. 141-162.
- Lydon, J. W., 1988- Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. part I: A descriptive model, in: Roberts, R.G and Sheahan, P.A. (eds.) *Ore Deposit Models*. Geoscience Canada, reprint series 3, 194 p.
- Marshall, B. & Gilligan, B., 1986- An introduction to remobilization. Information from ore-body geometry and experimental considerations. *Ore Geology Reviews*, 2, 87-131.
- Marshall, B. & Gilligan, B., 1993- Remobilization, syn-tectonic processes and massive sulfide deposits. *Ore Geology Reviews*, 8, 39-64.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397–412.
- Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Solomon, M. & Zaw, K., 2011- U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chah gaz volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj-Sirjan zone, southern Iran. *International Geology Review*, 53, 1239-1262.
- Park, A., 1988- Geometry of sheath folds and related fabrics at the Luikonlahti mine, Svecokareliides, eastern Finland. *Journal of Structural Geology*, 10, 487-498.
- Passchier, C. W. & Trouw, R.A..J., 2005- *Microtectonics*. Springer Verlag, Berlin, 371 p.
- Ramsay, J. G., 1967- *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill, New York, 565 p.
- Thiessen, R. L. & Means, W. D., 1980- Classification of fold interference patterns: a re-examination. *Journal of Structural Geology*, 2, 311–316.
- Vernon, R. H., 2004- *Practical guide to rock microstructure*. Cambridge University Press, 579 p.
- Watters, W. A., Sabzehei, M., Alavi Tehrani, M., Etminan, H. & Majidi, B., 1970- Preliminary report on the geology and petrography of the metamorphic and igneous rocks of central part of Neyriz Quadrangle. Geological Survey of Iran, Internal report, 169 p.
- Williams, P. F., 1985- Multiply deformed terrains. Problems of correlation. *Journal of Structural Geology*, 7, 269-280.

Structure in the Chah Gaz Zn-Pb-Cu Massive Sulfide Deposit, South of Shahr-e -Babak

K. Orang ¹, M. Mohajjel ^{2*}, F. Mousivand ³ & E. Rastad ²

¹ Master of Science, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³ Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2010 September 04

Accepted: 2011 June 26

Abstract

The Chah Gaz Zn-Pb-Cu volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit is a polydeformed, polymetamorphosed ore body in southern part of the Sanandaj-Sirjan zone. The ore bodies are comprised predominantly of stratiform, tabular and lenticular massive sulfide lenses and are elongated in 060°-070° orientation. The host rocks and massive sulfides have been complexly deformed during three deformation stages (D_1 , D_2 , D_3) and two associated episodes of green schist facies metamorphism (M_1 , M_2) that all events occurred after middle Jurassic. The earliest structural elements in the mine area are bedding and continuous foliation (S_1) that are preserved in the host rocks; include phyllites, slates and schists. F_1 folds have not been identified in the ore bodies, Although they do recognized as shallowly to moderately plunging to NW and isoclinal folds within the Chah Gaz area. Geometry of ore bodies was mainly controlled by D_2 structures (include folds and foliations). F_2 plunge shallowly to NE or SW. F_2 are close to open and their axial planes dip steeply to S and N. Ore bodies are commonly transposed from S_0 - S_1 and show rearrangement parallel to axial planar foliation (AS_2) and composite foliation (S_{12}). S_{12} is vertical and strikes NE-SW. Sulfide minerals in the ore bodies have undergone extensive deformation, remobilization and dynamic recrystallisation during D_2 tectono-thermal stage. D_3 structures are locally controller of ore bodies and include folds and shear zones.

Keywords: Polyphase Deformation, Massive sulfide Deposit, Chah Gaz, Sanandaj- Sirjan zone, South of Shahr-e-Babak.

For Persian Version see pages 193 to 202

*Corresponding author: M. Mohajjel; E-mail: mohajjel@modares.ac.ir