

بررسی کانه‌زایی کانسار مس خانکشی با استفاده از داده‌های مینرالوژیکی، ژئوشیمیایی و سیال در گیر، استان مرکزی

رضوان پورمعصومی^۱، علیرضا جعفری‌راد^۲، محمد لطفی^۳ و پیمان افضل^۴

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۴دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

کانسار خانکشی در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران و در استان مرکزی واقع شده است. این محدوده شامل توالی از سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری بوده که به‌طور غالب شامل تراکی آندزیت و آندزیت با روند شرقی غربی و با سن ائوسن است. این سنگ‌ها ماهیت پتاسیم بالا دارند و از دید جایگاه زمین‌ساختی، در موقعیت حاشیه حوضه پشت کماتی و تحت تأثیر فرایندهای کشتی قرار گرفته‌اند. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مربوط به واحد E^{1a} از نوع توف سبز آندزیتی در جنوب شرقی محدوده معدنی خانکشی است. این واحد شاخص حوضه‌ای با فعالیت آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری و فعالیت بروندم‌هاست. در این راستا، توف‌های سبز با لایه‌بندی ظریف همزمان با آهک‌های میکرو کریستالین نوع میکراتیتی، در این حوضه شکل گرفته‌اند. از سوی دیگر، حضور آهک‌های نوع میکراتیتی همراه با پیریت‌های فراموبیدال در این واحد سنگی، توجه‌کننده محیط‌احیایی در رخداد کانه‌زایی سولفیدی و حاکی از فعالیت بروندم‌هاست که می‌تواند منبع تغذیه‌کننده سولفور در کانه‌زایی سولفیدی تیپ مانتو در این منطقه باشد. سنگ میزبان این کانسار، واحد E^{1a} از نوع لاتیت آندزیت با بافت مگاپورفیریتیک و شامل کالکوپیریت، بورنیت به عنوان کانه‌های اصلی است که با پیریت و به‌طور فرعی کالکوسیت، کوولیت، هماتیت، گوئیت، مالاکیت و رگچه‌های دولومیتی-دولواسپارایتی همراه هستند. جانشینی پیریت فراموبیدال توسط کالکوپیریت و بورنیت، به‌صورت بلورهای ریز کروی در زمینه میکراتیتی اولیه و نیز ته‌نشست این دو کانی توسط محلول‌های هیدروترمال به‌صورت بلورهای ساب‌هدرال در داخل رگه و رگچه‌های دولواسپارایت حاصل از تبلور سنگ‌های کربناتی میکراتیتی به شکل اپی‌ژنتیک است که فرآورده‌های ثانویه سوپرژن را تولید کرده‌اند. این واحد همراه با پیروکلاستیک‌ها و توف‌های برشی وابسته (واحد E^{1a}) نماینده یک سیکل ولکانیکی بوده که به‌صورت چینه‌کران در آن کانه‌زایی مس رخ داده است. دگرسانی‌های مرتبط با کانسارسازی شامل کلریتی شدن ضعیف، اکسیداسیون همراه با درجه کمتری از دگرسانی آرژیلیک، سرسیتی شدن و زئولیتی شدن است. در محدوده مطالعاتی کانه‌زایی مس از نوع چینه‌کران و با بافت دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی دیده می‌شود. مطالعات میانبارهای سیال، دمای همگن‌شدگی را بین ۱۲۹/۴ تا ۲۲۷/۱ (با میانگین ۱۷۵) درجه سانتی‌گراد و دامنه تغییرات شوری را بین ۱۳/۴ تا ۱۹/۱ (با میانگین ۱۲) درصد وزنی نمک طعام نشان می‌دهد. عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در این کانسار، کمتر از ۲۰۰ متر و فشار کمتر از ۷۴ بار است. این کانسار بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و داده‌های حاصل از میانبارهای سیال، قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو است.

کلیدواژه‌ها: کانه‌نگاری، ژئوشیمی، میانبار سیال، مس نوع مانتو، خانکشی.

*نویسنده مسئول: علیرضا جعفری‌راد

E-mail: alirad@yahoo.com

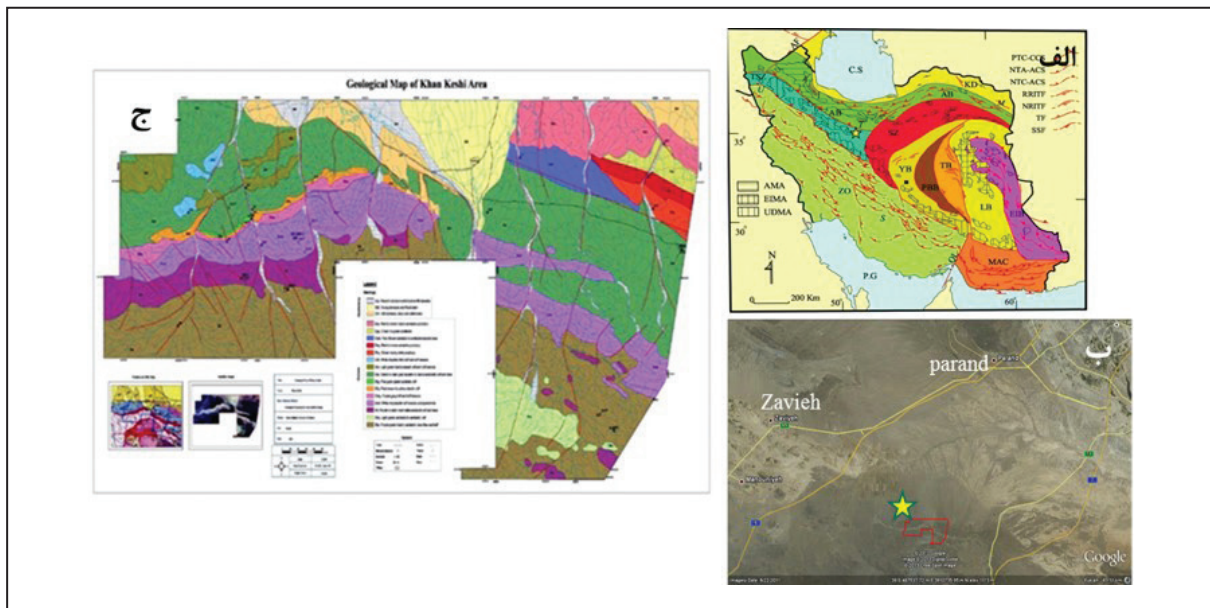
۱- پیش‌نوشتار

کمبرند ماگمایی ارومیه-دختر مهم‌ترین و غنی‌ترین منطقه مس در ایران محسوب می‌شود. خصوصیات زمین‌شناسی و پراکندگی گسترده سیستم‌های متنوع مس از جمله ذخایر معدنی مس پورفیری و رگه‌ای به همراه سایر عناصر و نشانه‌های معدنی، این زون را تبدیل به یک واحد فلززایی منحصر به فرد کرده است. به لحاظ اهمیت زیاد، ارزش اقتصادی و مصرف روزافزون فلز استراتژیک مس، نیاز به اکتشاف ذخایر جدید مس از تیپ‌های شناخته شده و نیز تیپ‌های شناخته نشده این فلز در کشور ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر کانسارهای مس پورفیری در کمان ماگمایی ارومیه-دختر، سری دیگری از کانه‌زایی‌های مس، در این کمان ماگمایی و دیگر پهنه‌های ساختاری ایران شناسایی شده که در ارتباط با گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌هاست. این تیپ کانسارها به کانسارهای تیپ مانتو معروف هستند و از ویژگی‌های شاخص آنها محدود بودن کانه‌زایی به یک واحد چینه‌ای خاص (چینه‌کران) است. ذخایر نوع مانتو یا نوع شیلی (Chilean Type) واژه‌ای است که برای اولین بار در شیلی و برای ذخایر مس چینه‌کران (Strata-bound) با سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی استفاده شده و در ناحیه کردیلرای ساحلی و کردیلرای مرکزی کمربند فلززایی مهمی از مس را ایجاد کرده است (Kojima et al., 2008). این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای IOCG، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به شمار می‌آیند. بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. مهم‌ترین

کانسارهای تیپ مانتو شناخته شده در ایران، کانسارهای مس منطقه عباس‌آباد در شمال زون سبزواری است (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳). از دیگر کانسارهای نوع مانتو شناخته شده در ایران می‌توان به کانسارهای ورزگ (علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، قبه بولاغ (بهزادی، ۱۳۷۳)، کشکویه (ابولی‌پور، ۱۳۹۱)، کشت مهکی (بویری کناری و همکاران، ۱۳۹۳)، وشنو (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) و نارباغی شرقی (فاضلی و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره کرد. کانسار خانکشی در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران واقع در استان مرکزی است و در شمال کمان ماگمایی ارومیه-دختر رخنمون دارد (شکل‌های ۱-الف و ب). هر چند که معدن مس خانکشی دارای پیشینه کهنی بوده اما مطالعات چندانی روی آن صورت نگرفته است. مطالعات انجام شده تنها با هدف پی‌جویی در منطقه بوده و شامل مطالعات دورسنجی توسط سازمان زمین‌شناسی به عنوان پروژه اکتشافات سراسری ذخایر معدنی «پروژه کمربند ارومیه-دختر» و همچنین تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اسواه توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش پایان عملیات اکتشاف مس یونس‌آباد (خانکشی) توسط فرشیدنژاد (۱۳۸۸) و مطالعه کانه‌زایی مس چینه‌کران تیپ مانتو نارباغی شرقی در توالی آتشفشانی رسوبی ائوسن در شمال شرق ساوه توسط فضلی و قادری (۱۳۹۳) است. هدف از مطالعه اخیر ارائه الگویی از چگونگی تشکیل کانسار مس خانکشی با

بارسازی و به شناخت ویژگی‌ها، منشأ و تکوین سیال گرمابی کانه‌زا و در نهایت ژنز کانسنگ کمک کند.

کمک مطالعات مینرالوگرافی، داده‌های ژئوشیمیایی سنگی و نتایج مطالعه میانبارهای سیال است که می‌تواند عوامل فیزیکی- شیمیایی حاکم بر محیط تشکیل کانسار را



شکل ۱- الف) زون‌های ساختاری ایران (آقاناتی، ۱۳۸۳)؛ ب) راه‌های دسترسی به محدوده معدنی بر روی تصویر Google Earth؛ محدوده خانکشی با ستاره مشخص شده است؛ ج) نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ محدوده خانکشی (جباری و شیرخانی، ۱۳۹۳).

۲- روش مطالعه

یکی از گسترده‌ترین و طولی‌ترین مناطق ساختاری ایران زمین است. این کانسار در پهنه ساختاری کوشک نصرت، در بخش خاوری نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی زاویه از توابع استان مرکزی و جنوب خاور ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه قرار دارد. مجموعه سنگ‌های ائوسن پایانی بیشترین برونزد را در محدوده معدنی خانکشی به خود اختصاص می‌دهند (شکل‌های ۱- ج و ۲).

این مطالعه بر پایه مشاهدات صحرایی، بازنگری نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه، بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده معدنی خانکشی و انجام نمونه‌برداری جهت مطالعات آزمایشگاهی گوناگون استوار است. نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف شامل رخنمون‌های منطقه معدنی، حفاری‌های سطحی و گمانه‌هاست. برای مطالعات سنگ‌نگاری، شناسایی مجموعه‌های دگرسانی و بررسی روند کانه‌زایی، نمونه‌برداری از سنگ‌های آتشفشانی همراه با کانه‌زایی و بدون کانه‌زایی انجام شده و با استفاده از روش‌های میکروسکوپی نوری بازتابی و عبوری مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در مرکز آزمایشگاهی زرآرما ایران انجام شد. نمونه‌های انتخابی شامل ۶ نمونه جهت آنالیز اکسیدهای اصلی به روش XRF و ۶۲ نمونه جهت آنالیز عناصر کمیاب به روش ICP-AES است. همچنین برای آگاهی از ماهیت و ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی سیالات کانه‌ساز ۶ نمونه مقطع دو برصیقل از کلسیت به عنوان کانی باطله اصلی کانسار تهیه و برای مطالعه میانبارهای سیال در آزمایشگاه شرکت آدین زمین پویا مطالعه شد. این مطالعات به منظور تعیین شرایط فیزیکی- شیمیایی سیالات عامل کانه‌سازی و دگرسانی، مثل شوری، فشار، دما و نیز تعیین مراحل تکامل سیستم گرمابی و کانه‌سازی مرتبط با آن استفاده شد که پس از انجام پتروگرافی میانبارهای سیال، اندازه‌گیری‌های میکروتومتری بر روی آنها انجام گرفت. گستره دمایی اندازه‌گیری دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و خطای اندازه‌گیری دستگاه در حد ± 0.1 درجه سانتی‌گراد است. در مجموع، بر روی ۶۰ میانبار سیال اندازه‌گیری‌های میکروتومتری انجام و شوری میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار بر اساس معادله Bodnar (1993) و بر اساس دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Tmice) محاسبه شد.

Age	Lithology
Quaternary	Q ¹ : Terraces and flood plains.
Late Eocene	E ^{1a} : Red to brown trachyandesite porphyry.
	E ^{1b} : Cream to green andesite.
	E ^{2a} : Red to brown andesite porphyry.
	E ^{2b} : Green trachylite porphyry.
	E ^{3a} : Pale brown andesite to andesitic basalt lava flow.
	E ^{3b} : White rhyolitic tuff and tuff breccias.
	E ^{4a} : Light green trachybasalt tuff and tuff breccia.
	E ^{4b} : Green to dark gray basalt to trachyandesitic tuff and lava.
	E ^{5a} : Fine grained green andesitic tuff.
	E ^{5b} : Pale brown to yellow dacitic tuff.
E ^{6a} : Purple gray tuff and tuff breccia.	
E ^{7a} : White rhyodacitic tuff breccia and ignimbrite.	
E ^{8a} : Purple to dark violet mega-porphyrific latiteandesite associated with stratabound copper mineralization.	
E ^{8b} : Purple-green trachyandesitic lava flow and tuff.	
E ^{9a} : Light green andesite to andesitic tuff interbedded with micritic carbonates.	

شکل ۲- ستون چینه‌شناسی محدوده معدنی خانکشی.

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

بر اساس تقسیم‌بندی محیط‌های ساختاری- رسوبی ایران زمین، محدوده مس خانکشی در شمال زون ارومیه- دختر قرار دارد که ادامه شمال باختری این زون

ایگنمبریتی بوده که گستره آن بیشتر در بخش میانی نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ خانکشی و معمولاً به حالت صخره‌ساز است و به صورت همشیب با واحدهای زیرین و بالای خود برونزد دارد. قطع‌شدگی این واحد توسط گسل‌های عرضی باعث شده تا روند آن از سمت شمال شرق - جنوب غرب به سمت شمال غرب - جنوب شرق در بخش خاوری نقشه تغییر کند. واحد E^{hp} شامل لاپیلی توف، آگلومرا و توفیت با ترکیب لایت‌آندزیت همراه با لامینه‌های آهکی نومولیت‌دار بیشتر محدود شده شمال باختری نقشه ۱/۵۰۰۰ خانکشی را شامل شده است. واحد E^{lv} با ترکیب لیتیک توف داسیتی در بخش شمال غرب نقشه و به طور همشیب بر روی واحد E^{td} قرار گرفته است و به طور جانبی با واحد E^{bp} ترادف چینه‌ای دارد. از ویژگی‌های واحد E^{lv} ، رخداد دگرسانی گرمایی شدید است. واحد E^{ts} شامل توف ریزدانه سبز رنگ بوده و واحد E^{st} با ترکیب بازالت تا تراکی‌آندزیت همراه با پیروکلاستیک‌های وابسته بیشترین گستره شمال نقشه ۱/۵۰۰۰ خانکشی را فرا گرفته و توسط گسل‌های عرضی به صورت قائم و نرمال جابه‌جا شده است. مهم‌ترین فعالیت معدنی قدیمی در معدن خانکشی در راستای گسلی قائم و در واحد E^{st} صورت گرفته است. واحد توف ریولیتی (E^{rt}) به صورت بین لایه‌ای درون واحد لایت‌آندزیت (E^{st}) برونزد دارد. دیگر واحدهای زمین‌شناختی واحد توف آندزیتی (E^{abl})، واحد E^{sp} از نوع لایت تا تراکی‌آندزیت سبز رنگ، واحد E^{sp} از نوع آندزیت پورفیری، واحد E^{sc} از نوع آندزیت و واحد تراکی‌آندزیت پورفیری (E^{ra}) هستند. تمامی واحدهای فوق نشان‌دهنده ترادف چینه‌ای جانبی هستند و به طور ناهمگون توسط پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر (Q^1) و با شیب کم فرا گرفته شده‌اند.

قدیمی‌ترین واحد سنگی مربوط به واحد E^{ta} در جنوب خاوری محدوده معدنی خانکشی بوده که با مورفولوژی ملایم و رنگ روشن، شاخص حوضه‌ای با فعالیت خاکسترهای آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری و فعالیت بروندها ($Exhalites$) است. در این راستا، توف‌های سبز با لایه‌بندی ظریف همزمان با کربنات‌های میکروکریستالین نوع میکرایتی، در این حوضه شکل گرفته‌اند. از طرفی حضور آهک‌های میکرایتی همراه با پیریت‌های فراموبیدال در این واحد، توجیه‌کننده محیط احیایی در رخداد کانه‌زایی سولفیدی و حاکی از فعالیت بروندها به مانند ژل سولفیدی است که می‌تواند منبع تغذیه‌کننده سولفور در کانه‌زایی سولفیدی تیپ مانتو این منطقه باشد. دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی شدن در برخی نقاط این واحد حضور دارد. واحد E^{ts} شامل جریان‌های گدازه تراکی‌آندزیت به رنگ سبز - صورتی همراه با پیروکلاستیک‌های وابسته از نوع برش‌های ولکانیکی و توف برشی است. واحد E^{st} ترکیب لایت‌آندزیت و بافت مگاپورفیریتیک دارد که در آن درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از تیغه‌های ریز پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. این واحد از دیدگاه کانه‌زایی مس شاخص بوده (شکل ۳- الف) و شامل پارائز کانیایی کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولویت و مالاکیت و همراه با رگچه‌های دولومیتی - دولواسپاریتی است. در واقع این واحد به همراه پیروکلاستیک‌های توف و توف برشی وابسته (واحد E^{ta})، نماینده یک سیکل ولکانیکی بوده که در آن کانه‌زایی مس به صورت چینه‌کران رخ داده (شکل ۳- ب) و از ویژگی‌های آن وجود دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی در تماس با زون کانه‌زایی است. واحد E^{td} شامل توف اسیدی ریوداسیتی با فابریک



شکل ۳- الف) نمونه سنگی از واحد E^{st} با ترکیب لایت‌آندزیت به عنوان زون کانه‌زایی (ب) نفوذ سیال هیدروترمال کانه‌ساز به صورت ساب و لکانیک (واحد E^{st}) با رنگ روشن تر به داخل توده قدیمی ولکانیکی با رنگ تیره تر (واحد E^{ta}).

۴- انواع دگرسانی، ساخت و بافت

(شکل‌های ۶- الف و ج) نشانگر ورود سیالات اکسیدان و تشکیل کانه‌های اکسید مس در سنگ میزبان کانه‌زایی است که نشانه مهمی در رخداد کانه‌زایی مس پس از تشکیل پیریت اولیه به شکل کلوفرم به حساب می‌آید.

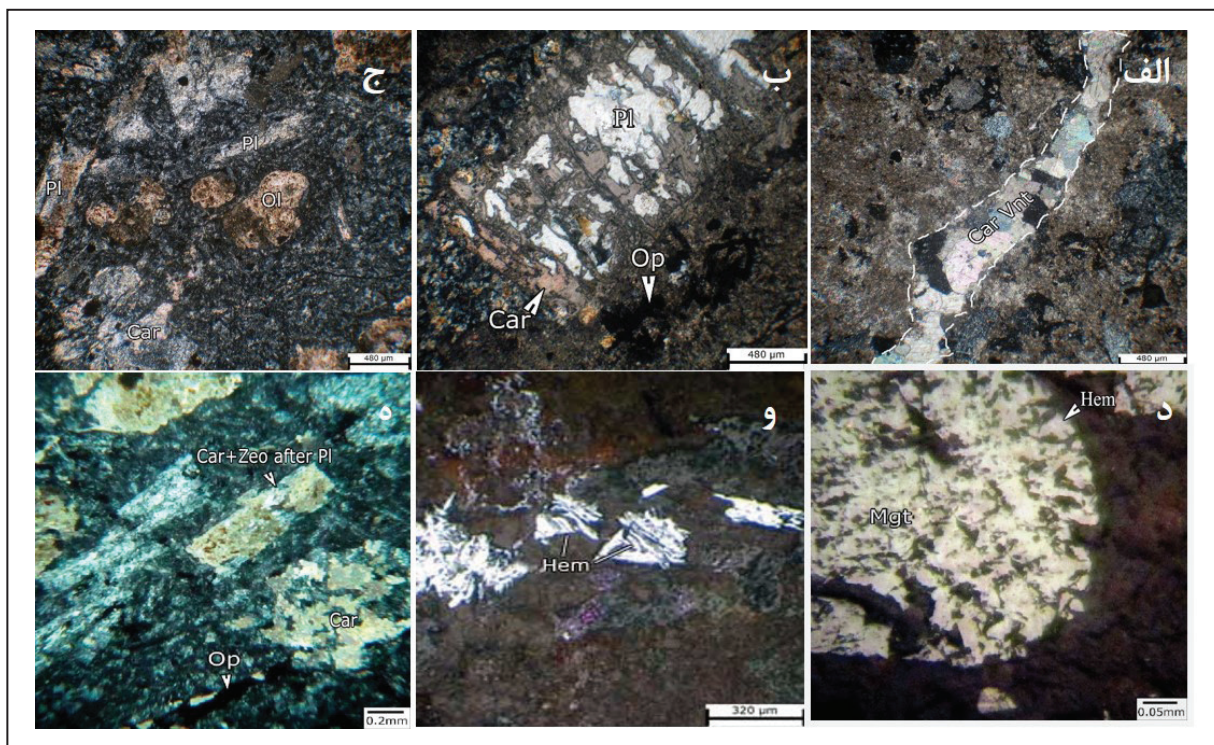
بر پایه مطالعات صحرایی، سنگ‌های ولکانیکی دارای دگرسانی با گسترش محلی هستند. دگرسانی پروپیلتیک در جوار دیگر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی است و که شدت آن در سنگ میزبان کانه‌زایی و حاشیه رگه - رگچه بیشتر است. با توجه به حضور کانی‌های همیافت دگرسانی پروپیلتیک و اینکه گانگ اصلی همراه با رگه‌های سولفیدی در منطقه مورد مطالعه از نوع کربنات است، به همان دلیل شدت دگرسانی پروپیلتیک در واحد سنگی لایت‌آندزیت به عنوان سنگ میزبان زیاد است. سایر دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی با میزان کمتر شامل هماتیته شدن و به میزان کمتر سرسیتی، آرژیلی و زولیتی شدن است (شکل‌های ۴ و ۵). سنگ‌ها دارای بافت پرکننده فضای خالی، رگه - رگچه‌ای، جانشینی، دانه‌پراکنده و شکافه‌پرکن هستند (شکل ۶). جانشین شدن پیریت و سولفیدهای مس توسط هیدروکسیدهای آهن از جمله گوتیت یکی از مهم‌ترین بافت‌های ثانویه در این دو رخداد سولفیدی است. وجود بافت جانشینی پیریت و سولفیدهای مس توسط هیدروکسیدهای آهن

۵- ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی و محیط زمین‌شناختی

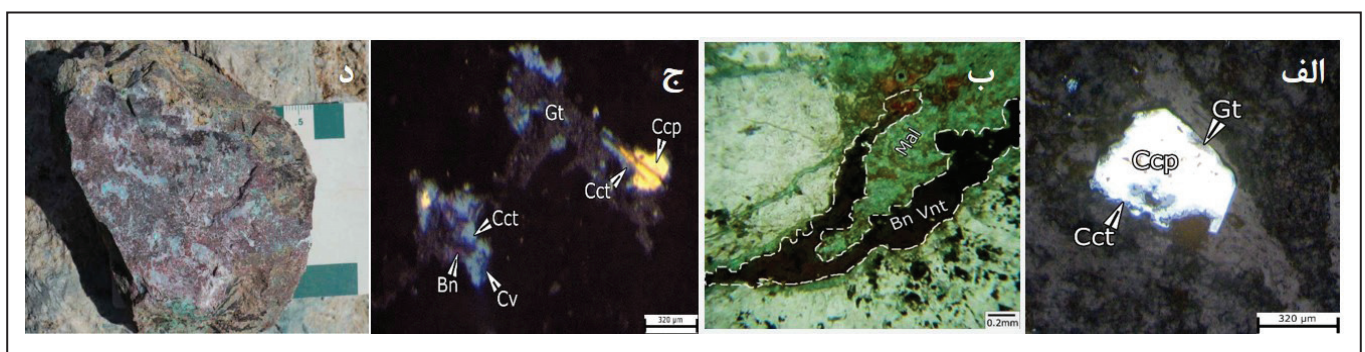
به منظور رده‌بندی سنگ‌شناختی، از واحدهای سنگی مختلف نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها پس از خردایش در مجموعه آزمایشگاهی زرآزما ایران، تجزیه XRF و ICP-AES شدند و نتایج ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب، مورد تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). بر مبنای نتایج حاصل از جدول ۱، جهت تعیین سری ماگمایی در نمودار سیلیس در برابر قلیایی‌ها (Irvine and Baragar, 1971)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده آلکالین قرار گرفته و در این نمودار دو دسته آلکالین و ساب‌آلکالین از هم تفکیک شده‌اند. همچنین بر پایه نمودار



شکل ۴- الف) دگرسانی کلریتی در محدوده مطالعاتی (Chloritization)؛ ب) دگرسانی آرژیلیک (Argilic) و اکسیداسیون آهن (Oxidation).



شکل ۵- الف) نمایی از یک رگه کلسیت (Car Vnt) که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است؛ ب) نمایی از واپاشی فنوکریست پلاژیوکلاز (Pl) و جانشینی آن توسط کربنات (Car)؛ ج) نمایی از بافت پورفیرتیک که در آن درشت بلورهای مافیگ اولیون (Ol) توسط کربنات جانشین شده‌اند؛ د) یک بلور مگنتیت (Ma) که همانیتی/ماریتی (Hem) شده است؛ و) بلورهای سوزنی تا تیغه‌ای هماتیت (Hem) که در سطح مقطع پراکندگی دارند؛ ه) نمای کلی از نمونه نشانگر بلورهای فنوکریست پلاژیوکلاز با دگرسانی کربناتی و زئولیتی (Car+Zeo) در یک خمیره میکرولیتی-شیشه‌ای.

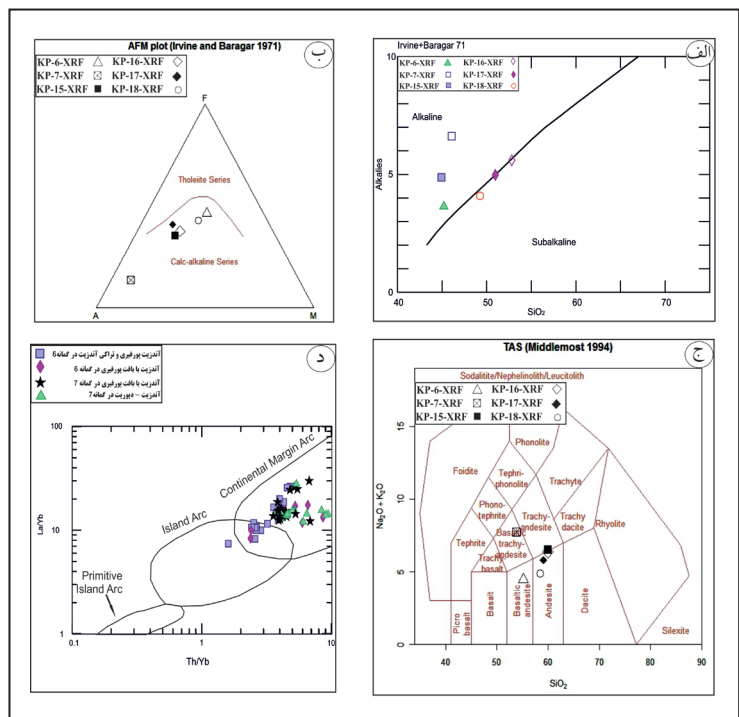


شکل ۶- الف) بافت جانشینی حاشیه‌ای بخشی از کالکوپیریت (Ccp) توسط لفافه‌ای از کالکوسیت (Cct) و هیدروکسید آهن (Gt)؛ ب) شکل‌گیری رگچه بورنیت (Bn Vnt) در امتداد سطوح شکستگی با جانشینی توسط مالاکیت (Mal)؛ ج) بلورهای کوولیت (Cv) و کالکوسیت (Cct) که کوولیت جانشین بلورهای کالکوسیت و در پاره‌ای نقاط به گوتیت تبدیل شده است؛ د) نمونه گدازه آندزیتی با بافت پرکننده فضای خالی به فرم حفره‌ای.

مطالعاتی از این عناصر غنی شده و سنگ تحت تأثیر تبلور تقریبی (حدود ۹۰ درصد) قرار گرفته است. همین‌طور داشتن شیب کاملاً منفی و مقادیر بالای روییدیم نشان می‌دهد که این سنگ‌ها ضمن صعود، دچار آلودگی نشده‌اند. کاهش اختلاف تقریبی بین غنی‌شدگی عناصر متحرک و عناصر نامتحرک، نشانگر افزایش نسبی درجه ذوب بخشی بوده که در منطقه، سنگ‌های آندزیت و تراکی آندزیت کانه‌دار را به وجود آورده است. در درجات ذوب بخشی ساده و بدون رخداد آلودگی همواره در مقدار عناصر متحرک و LREE یک افزایش و در عناصر نامتحرک (MREE و HREE) به نسبت عناصر متحرک، روند کاهشی وجود دارد؛ لذا چنانچه ضمن رخداد پدیده ذوب بخشی، مواد مذاب دچار متاسوماتیسم و یا آلودگی‌های پوسته‌ای شوند، مقادیر LREE و یا HREE دچار تغییر می‌شوند و نمودار از حالت شیب مثبت خارج می‌شود. بالا بودن میزان باریم و توریم، تأثیر پوسته اقیانوسی را برای تشکیل مذاب در حوضه کششی منطقه افزایش می‌دهد. در نمودار بهنجار شده سنگ‌ها در برابر گوشته اولیه (شکل ۸) (Sun and Mc McDonough, 1989) نیز غنی‌شدگی در عناصر متحرک و فقیرشدگی در عناصر غیر متحرک دیده می‌شود. به‌طور کلی داده‌های ژئوشیمی در محدوده خانکشی، نشانگر رخداد ولکانیسم و تشکیل واحدهای سنگی آتشفشانی در این منطقه، تحت تأثیر فرایند کششی است. در شکل‌های ۷ و ۸، با توجه به تعداد محدود نمونه‌های برداشت شده سطحی جهت آنالیز ICP-AES، از نتایج حاصل از آنالیز ICP-AES موجود در گمانه‌های ۶ و ۷ استفاده شد.

(AFM) Irvine and Baragar, 1971، بیشتر نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند. با توجه به نمودار (TAS) Middlemost, 1994، نمونه‌ها عمدتاً در محدوده آندزیت تا تراکی آندزیت قرار دارند. منشأ و محل تولید سنگ‌های آذرین با اختصاصات ژئوشیمیایی مشابه را می‌توان به موقعیت‌های تکتونیکی خاص مربوط دانست و در نتیجه جایگاه زمین‌ساختی منطقه را تعیین کرد (شکل‌های ۷-الف، ب و ج). نتایج حاصل از آنالیز ICP-AES، در نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb (Dostal et al., 1996) نشان می‌دهد که نمونه‌ها در محدوده حاشیه حوضه پشت کمانی قرار گرفته‌اند (شکل ۷-د). به منظور بررسی ترکیب و تحولات گوشته از الگوهای پراکندگی عناصر کمیاب در نمودارهای ژئوشیمیایی از نتایج حاصل از آنالیز ICP-AES و با استفاده از نمودارهای عنکبوتی استفاده شد. داده‌های ژئوشیمیایی عناصر ناسازگار در نمودار عنکبوتی حاکی از آن است که عناصر متحرک و نامتحرک در این سنگ‌ها رفتارهای ژئوشیمیایی متفاوتی نشان می‌دهند. در نمودارهای بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه و کندریت، تمام واحدهای آتشفشانی محدوده مطالعاتی، دارای غنی‌شدگی در عناصر متحرک نسبت به عناصر نامتحرک هستند (شکل ۸). همچنین عناصر کمیاب موجود در سنگ‌های محدوده مطالعاتی با مقادیر کندریت (Sun, 1980) بهنجار و مقایسه شده‌اند. عناصر سمت چپ نمودار عمدتاً متحرک و عناصر سمت راست عمدتاً نامتحرک هستند. مقادیر بهنجار شده عناصر متحرک، تقریباً در بالای خط ۱۰۰ قرار می‌گیرند که نشان می‌دهد ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های محدوده

شکل ۷- الف) ماهیت آلکان سنگ‌های آتشفشانی، بر پایه نمودار سیلیس در برابر قلیایی‌ها (Irvine and Baragar, 1971)؛ ب) ماهیت کالک‌آلکان سنگ‌های آتشفشانی بر مبنای نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971)؛ ج) ترکیب عمدتاً آندزیت تا تراکی آندزیت سنگ‌ها در نمودار TAS (Middlemost, 1994)؛ د) قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در موقعیت حوضه پشت کمانی بر روی نمودار La/Yb و Th/Yb.

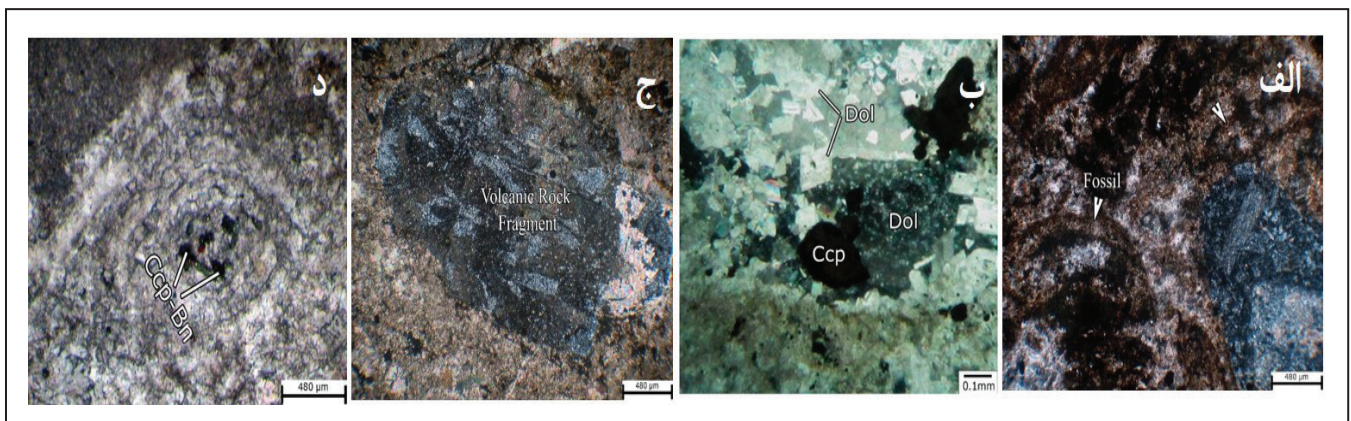


شکل ۸- الگوهای پراکندگی عناصر کمیاب در کانسار خانکشی در نمودارهای ژئوشیمیایی (Sun and McDonough, 1989).

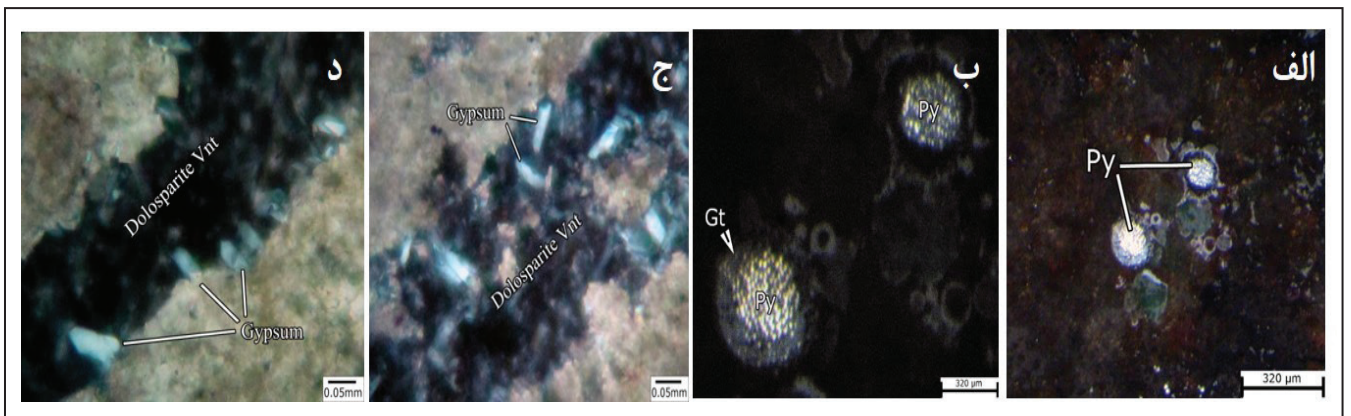
۶- مطالعات مینرالوگرافی و تعیین نوع کانه‌زایی

را نشان می‌دهند که همزمان با تشکیل سنگ میزبان رسوبی بوده است. کربنات میکرایتی و میکرودايت فسیل‌دار در یک محیط کم انرژی تشکیل شده که در هنگام رسوب‌گذاری، سنگ‌شدگی و دیاژنز، فعالیت‌های زیر دریایی آتشفشانی رخ داده و ضمن تغییر PH باعث تشکیل پیریت فرامبوئیدال به صورت سین‌ژنتیک شده است (شکل‌های ۱۰- الف و ب). با توجه به اینکه تشکیل تجمع‌های پیریت نسبت به کانه‌زایی تقدم دارد و از طرفی سین‌ژنتیک است، بنابراین می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی و آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی‌های بعدی به شکل ذخایر تیپ مانتو و استراتایاند باشد. گوگرد مورد نیاز جهت تولید پیریت فرامبوئیدال می‌تواند از سولفات موجود در آب دریا باشد که حضور دولومیت و ژپس، شهادی بر این ماجراست. حضور بلورهای ژپس درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار نقش سولفات آب دریا را در تأمین گوگرد طی مراحل کانه‌زایی سولفیدی را نشان می‌دهد که طی فرایند احیای باکتریایی در مرحله دیاژنز اولیه گوگرد لازم جهت تولید پیریت‌های اولیه را فراهم می‌کند (Wilson and Zentilli, 2006) (شکل‌های ۱۰- ج و د). سیالات کانه‌ساز می‌توانند حاصل از سیالات دیاژنتیک یا درون حوضه‌ای حاصل از آب دریا باشند، چرا که این سیالات منیزیم بالایی دارند و در مراحل بعدی فعالیت‌های هیدروترمال، میکرایت‌ها به رگه و رگچه‌های دولواسپارایتی تبدیل می‌شوند که در نتیجه فرایندهای ثانویه دیاژنز بوده است.

بررسی‌های صورت گرفته در کانسار مس خانکشی نشان‌دهنده این است که واحد E^{1a} به عنوان سنگ میزبان کانه‌زایی در این کانسار از نوع لایت‌آندزیت با بافت مگاپورفیریتیک بوده و از دیدگاه کانه‌زایی مس شاخص است و وضعیت چینه‌کران در آن به خوبی تشخیص داده می‌شود. واحد E^{1a} به صورت توف‌های آندزیتی سبز رنگ و همراه با کربنات‌های میکروکریستالین نوع میکرایتی و در بخش زیرین واحد E^{1a} قرار گرفته است؛ به این معنا که درون این واحد سنگی، کربنات میکرایتی از گروه وکستون‌های تبلور یافته فسیل‌دار و دولومیتی شده به همراه مقادیر کمتری از خرده‌های سنگی ولکانیکی است و به دلیل وضعیت احیایی خود (وجود آهک‌های میکرایتی همراه با پیریت‌های فرامبوئیدال، توجیه‌کننده محیط احیایی در رخداد کانه‌زایی سولفیدی و حاکی از فعالیت برون‌دم‌ها به مانند ژل سولفیدی بوده است) می‌تواند منبع تغذیه‌کننده سولفور در کانه‌زایی سولفیدی تیپ مانتو این منطقه باشد. در برخی از نقاط، واحد سنگی E^{1a} با بخش‌هایی از آهک میکرایتی فسیل‌دار اختلاط یافته و در نهایت سنگی را به وجود آورده است که در گروه سنگ‌های پیریت رده‌بندی می‌شود. وجود چنین سنگ‌هایی ارتباط بین محیط تشکیل سنگ میزبان کربناتی با فعالیت‌های آتشفشانی در یک توالی آتشفشانی-رسوبی را نشان می‌دهد (شکل ۹- الف). الگوی پیشنهادی برای ژنز کانسار خانکشی را می‌توان طی دو مرحله برای رخداد کانه‌زایی در نظر گرفت. مرحله اول شامل دیاژنز اولیه که در آن فعالیت‌های ماگمایی با تشکیل مگنتیت به صورت ارتوماگمایی خود



شکل ۹- الف) آهک میکرایتی فسیل‌دار که با گدازه‌های آرژیلی اختلاط یافته و سنگی به نام پیریت ایجاد کرده است؛ ب) رگچه دولواسپارایت (Dol) متشکل از بلورهای درشت دولومیت که بلورهای کالکوپیریت (Ccp) در زمینه آنها تشکیل شده است؛ ج) یک فرگمنت ولکانیکی که پلاژیوکلایزهای آن با فرم تیغه‌ای منشوری کاملاً آرژیلیک شده‌اند؛ د) فسیل میکرایتی نومولیتس همراه با رسوبات میکرایتی حاوی دانه‌های کروی کالکوپیریت و بورنیت که پس از پیریت فرامبوئیدال تشکیل شده است.



شکل ۱۰- الف و ب) تجمع پیریت فرامبوئیدال در داخل رسوبات میکرایتی؛ ج و د) بلورهای ژپس درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار.

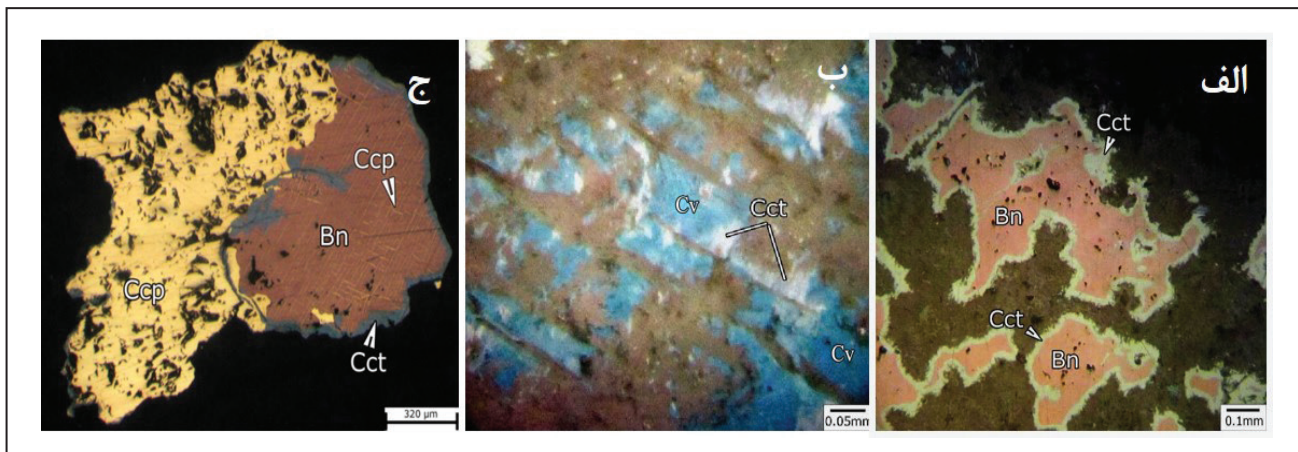
لذا دو رخداد فاز کانه‌زایی مس برای کالکوپیریت و بورنیت وجود دارد. رگچه‌های دولواسپاریت حاوی کانه کالکوپیریت در امتداد سطح شکستگی جایگزین شده‌اند و به همین دلیل می‌توان گفت تولید کانی‌زایی می‌تواند متأثر از آب‌های درون رسوبات باشد که توسط ماگما یا توده ماگمایی بعدی گرم شده است.

همچنین بررسی درجه شوری متوسط میانبراهای سیال نشان‌دهنده یک اختلاط نسیبی بین سیال دیاژنتیک (آب دریا) و سیال گرمایی است که می‌تواند توسط یک توده نفوذی به عنوان موتور حرارتی گرم شده و شاهدهی در این زمینه باشد. صعود و نفوذ سیالات گرمایی بالارونده در داخل رسوبات میکرایتی با حضور رگه و رگچه های کلسیتی و دولواسپاریتی به صورت ریزشکاف‌ها نمایان می‌شود که سنگ میزبان میکرایتی را قطع و در نتیجه محلول‌های هیدروترمال کانه‌ساز به طرف بالا صعود می‌کنند و به عنوان سیال کانه‌ساز وارد شکستگی‌ها می‌شوند. نفوذ سیال حاوی آهن، مس و گوگرد باعث تولید کالکوپیریت و بورنیت به صورت مستقل و یا به صورت جانشینی در پیریت فرامبوئیدال می‌شود. کالکوپیریت و بورنیت توسط رگه‌های کلسیتی و دولواسپاریتی کنترل شده و در داخل آنها به صورت همزیست زایش پیدا کرده‌اند و لذا دگرزاد یا اپی‌ژنتیک هستند. حاصل رخداد فرایندهای دیاژنز اولیه و تدفینی تشکیل بافت‌های دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی، قطع شدگی و جانشینی پیریت توسط سولفیدهای مس، اشکال جانشینی پیریت و تشکیل رگه-رگچه‌های حاوی سولفیدهای مس در سنگ لایت‌اندزیت میزبان کانه‌زایی است.

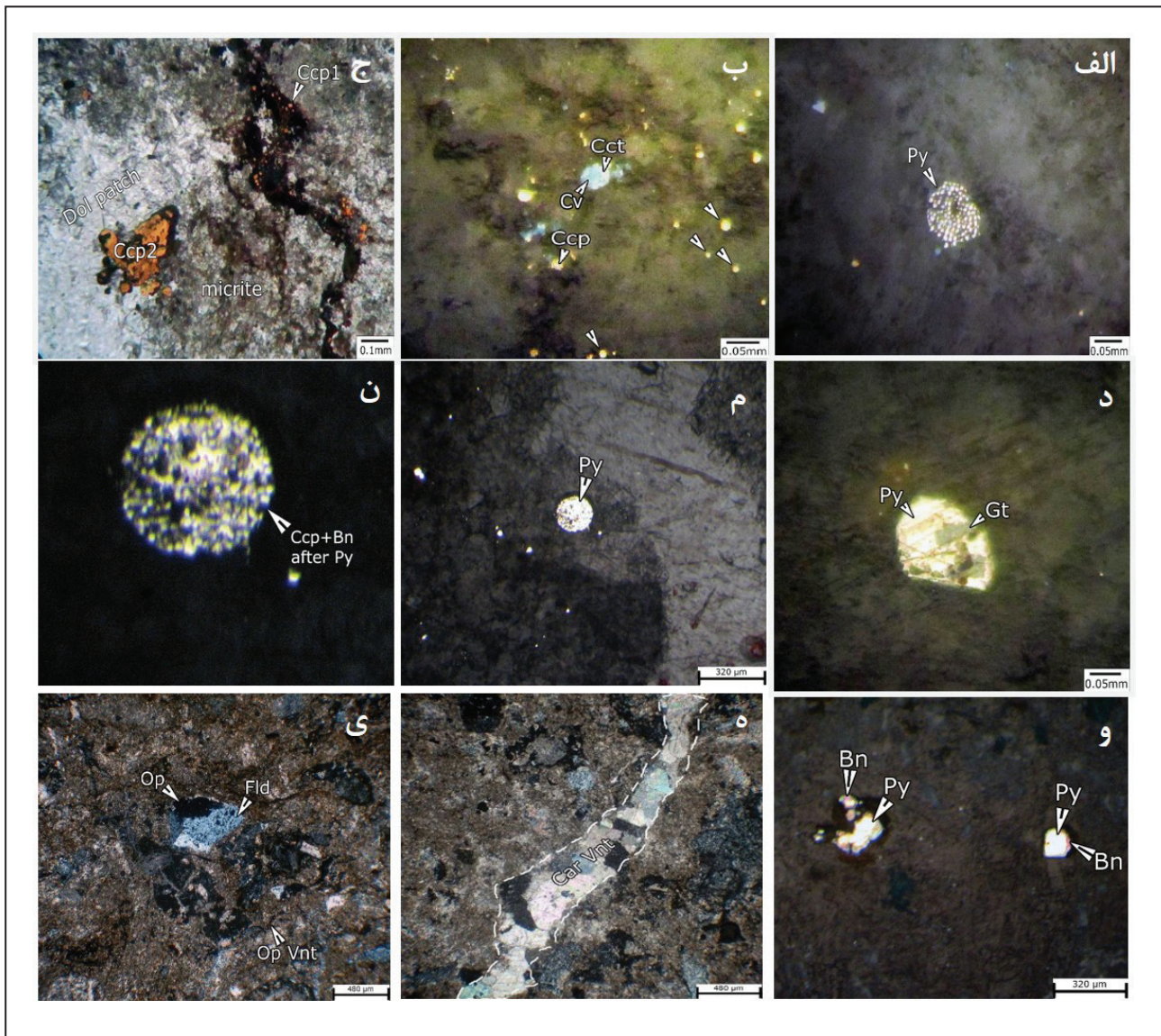
یکی از ویژگی‌های کانسارهای استراتاباند اپی‌ژنتیک بودن آنهاست که باعث ایجاد کانه‌زایی‌های مس به صورت کالکوپیریت و بورنیت به عنوان فاز یک (شکل‌های ۱۲-ب، ج، م، ن و و) و فاز دو اپی‌ژنتیک (شکل‌های ۱۱-الف، ج) و کالکوسیت و کوولیت به عنوان فاز دو اپی‌ژنتیک می‌شود (شکل‌های ۱۱-الف، ب). حضور این کانی‌ها در واحد ولکانیکی لایت‌اندزیت با بافت مگاپورفیرتیک معرف آن است که این واحد بهترین شاخص تپ‌چینه‌کران و کانه‌زایی اپی‌ژنتیک در منطقه است و بی‌ارتباط با یک مجرای دودکش مانند هیدروترمال نیست. فرایند سوپرژن باعث تشکیل بافت جانشینی شده که محصول آن حاشیه کوولیت-کالکوسیت در اطراف هر دو کانی کالکوپیریت و بورنیت است. در یک مرحله پیشرفته‌تر بلورهای کالکوسیت در نهایت توسط کانی کوولیت جانشین شده‌اند.

کانسار مس خانکشی با توجه به نوع ساخت و بافت، نوع سنگ درونگیر، محیط زمین‌ساختی و نوع دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع مانتو نشان می‌دهد.

مرحله دوم مرحله تدفین است. در محیط‌های کشتی به دلیل فعالیت آتشفشانی وسیع، توالی ضخیمی از واحدهای آتشفشانی-رسوبی تشکیل میشود که این توالی میزان بالایی از حرارت را در میان خود حفظ میکند (Kirkham, 1996). در محدوده خانکشی، فرایند ولکانیسم سبب تدفین سریع واحدهای سنگی موجود در منطقه شده است. وجود ژئولیت در واحد سنگی، پیشرفت تدفین واحدهای سنگی تا مرحله دیاژنز تدفینی را نشان می‌دهد (شکل ۵-ه). دفن شدگی واحدهای آتشفشانی منطقه و افزایش فشار و همچنین وجود مخزن ماگمایی یا موتور حرارتی در زیر واحدهای سنگی منطقه سبب تحرک سیالات اکسیدان شوراها (Boric et al., 2002) در میان توالی آتشفشانی می‌شود. این سیالات به دلیل دمای بالای محیط و چرخش در میان واحدهای سنگی آتشفشانی بازالت و آندزیت‌های زیردریایی از مس غنی می‌شوند. سیالات اکسیدان غنی از مس به سمت نقاط کم‌فشار و واحدهای بالایی حرکت می‌کنند. با توجه به شوری و دمای سیالات کانه‌ساز در کانسار مس خانکشی، مس به شکل عمدتاً توسط کمپلکس‌های کلریدی حمل شده است. ورود سیالات غنی از مس به واحد لایت‌اندزیت غنی از پیریت موجب احیا شدن آنها و ته‌نشست مس به شکل سولفیدی می‌شود. برخورد سیالات اکسیدان با پیریت سبب آزاد شدن آهن و جانشینی مس به جای آن می‌شود که آهن آزاد شده در نزدیک سولفیدهای مس گویت را تشکیل می‌دهد. در بخش‌هایی که شدت فرایند اکسیداسیون سیال زیاد است، پیریت‌ها به طور کامل توسط اکسیدهای آهن جانشین می‌شوند. میزان بالای گویت در مجاورت سولفیدهای مس در واحد آندزیتی میزبان حاصل این فرایند است (Wilson and Zentilli, 1999 and 2006; Wilson et al., 2003; Haggan et al., 2003). همچنین کاهش دمای سیالات اکسیدان عامل دیگری برای تخریب کمپلکس‌های کلریدی حمل‌کننده و ته‌نشست سولفیدهای مس به حساب می‌آید. این کاهش دما می‌تواند تحت تأثیر برخورد سیال اکسیدان با آب‌های بین‌منفذی موجود در واحد لایت‌اندزیت (آب دریای به دام افتاده) رخ دهد (Boric et al., 2002). بلورهای کروی کالکوپیریت و بورنیت به صورت مشخص و گسترده جانشین تجمع‌های پیریت فرامبوئیدال شده‌اند (شکل‌های ۱۲-ب، م، ن و و). در برخی از نقاط، جانشینی کالکوپیریت به جای پیریت به صورت بخشی صورت گرفته است. به گونه‌ای که دانه‌های ریز پیریت فرامبوئیدال هنوز در زمینه اشکال کروی کالکوپیریت در زمینه سنگ کربناتی اولیه دیده می‌شوند (شکل ۱۲-ب)؛ علاوه بر این در برخی نقاط کالکوپیریت و بورنیت به صورت بلورهای درشت ساب‌هدرال در زمینه رگه-رگچه‌های دولواسپاریت تشکیل شده‌اند (شکل ۹-ب)؛



شکل ۱۱- الف) بلورهای بورنیت با حاشیه کالکوسیتی شده؛ ب) جانشینی کوولیت به کالکوسیت؛ ج) همزیستی دو بلور کالکوپیریت و بورنیت.



شکل ۱۲- الف) تجمع کروی شکل از بلورهای ریز پیریت فراموبیدال در زمینه آهک میکرایتی؛ ب) جانشینی کالکوپیریت توسط کانی‌های کوولیتو کالکوسیت که خود قبلاً جانشین خوشه‌های کروی شکل پیریت فراموبیدال به صورت بخشی شده‌اند؛ ج) بلورهای ریز و کروی شکل کالکوپیریت نسل اول (Ccp1) به صورت یک نوار فلزی دگرشکل یافته در بخش میکرایتی نمونه به رنگ تیره و بلور درشت کالکوپیریت نسل دوم (Ccp2) در زمینه یک پیچ درشت بلور دولواسپارایتی که درون زمینه میکرایتی اولیه به صورت ثانویه جانشین شده است؛ د) بلور پیریت که به طور بخشی گوتیتی شده است؛ م) پیریت فراموبیدال که در مرحله بعدی کانی‌سازی توسط کالکوپیریت و بورنیت جانشین شده است؛ ن) تصویر زوم شده شکل م؛ و) جانشینی پیریت فراموبیدال توسط بورنیت؛ ه) رگه دولواسپارایتی که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است و می‌تواند به صورت اپی‌ژنتیک حامل کانه‌زایی باشد؛ ی) کانی‌های اپاک (سولفیدی) در متن میکرایت که به فرم رگچه‌ای مواد میکرایتی را به صورت اپی‌ژنتیک قطع کرده اند.

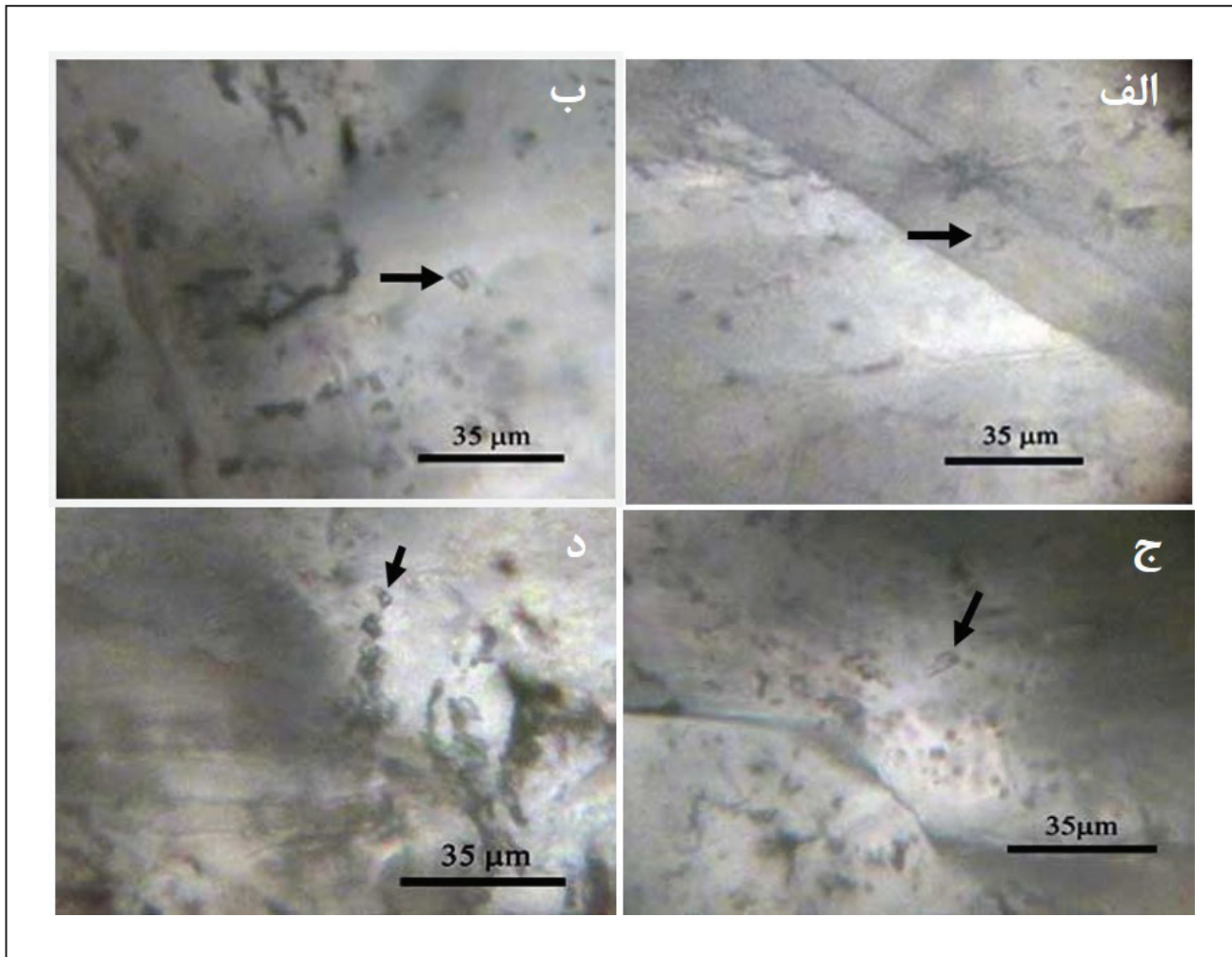
۷- مطالعات دما- فشارسنجی (ترموبارومتري) میانبارهای سیال

میانبارهای دوفازی غنی از مایع، دارای بیشترین فراوانی هستند و همه اندازه‌گیری‌ها روی این میانبارها انجام شده است. ۷۵ تا ۹۰ درصد حجم این میانبارها را فاز مایع تشکیل می‌دهد و همگن‌شدگی در این میانبارها در فاز مایع صورت می‌گیرد. دمای همگن‌شدگی میانبارهای دوفازی مطالعه شده بین ۱۲۹/۴ تا ۲۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است. از این میان، دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین فراوانی است که نشان می‌دهد دمای سیالات کانه‌دار در این کانسار در محدوده دیاژنز تدفینی قرار دارد. درجه شوری میانبارهای سیال از ۱/۹۱ تا ۱۳/۴ درصد وزنی نمک طعام تغییر می‌کند و به طور متوسط بیشترین میزان شوری در محدوده های ۱۲ درصد وزنی نمک طعام است. با مطالعه میانبارهای سیال از رگچه‌های کلسیتی همراه با کانی‌سازی

برای بررسی سیالات درگیر کانسار مس منطقه خانکشی ۵ نمونه از کلسیت‌های همراه با رگه‌های سولفیدی مورد بررسی قرار گرفت. این رگه‌ها همراه با کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت هستند. مطالعه میانبارهای سیال به منظور تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات عامل کانه‌ساز مثل شوری، فشار، دما و تعیین مراحل تکامل سیستم گرمایی و کانه‌سازی مرتبط با آن استفاده شد. برای مطالعات میانبارهای سیال، ۶ مقطع دوبر صیقلی تهیه و پس از انجام پتروگرافی میانبارهای سیال بر روی آنها، ۴ نمونه برای اندازه‌گیری‌های میکروترمومتري انتخاب شد. بیشتر میانبارها کروی، انهدرال، ساب‌هدرال، یوهدرال و کشیده هستند (شکل ۱۳). این میانبارها به صورت اولیه، ثانویه و شبه‌ثانویه و به صورت مجزا و اجتماع انکلوزیونی واحد وجود دارند.

تدفینی است. از طرفی این شوری حمل‌شدگی مس توسط لیگاندهای کلریدی را نشان می‌دهد. بنابراین محدوده مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. همپوشانی آشکاری میان محدوده دما و شوری محدوده خانکشی با محدوده کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد.

مس در محدوده خانکشی مشخص شد که سیال تشکیل‌دهنده این رگه‌ها، دمای متوسط حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و شوری متوسط حدود ۱۲ درصد وزنی معادل نمک طعام داشته است که می‌تواند نشانگر منشأ گرفتن سیالات از آب‌های درون حوضه‌ای با شوری متوسط باشد که تأییدی بر منشأ گرفتن سیالات از فرایندهای



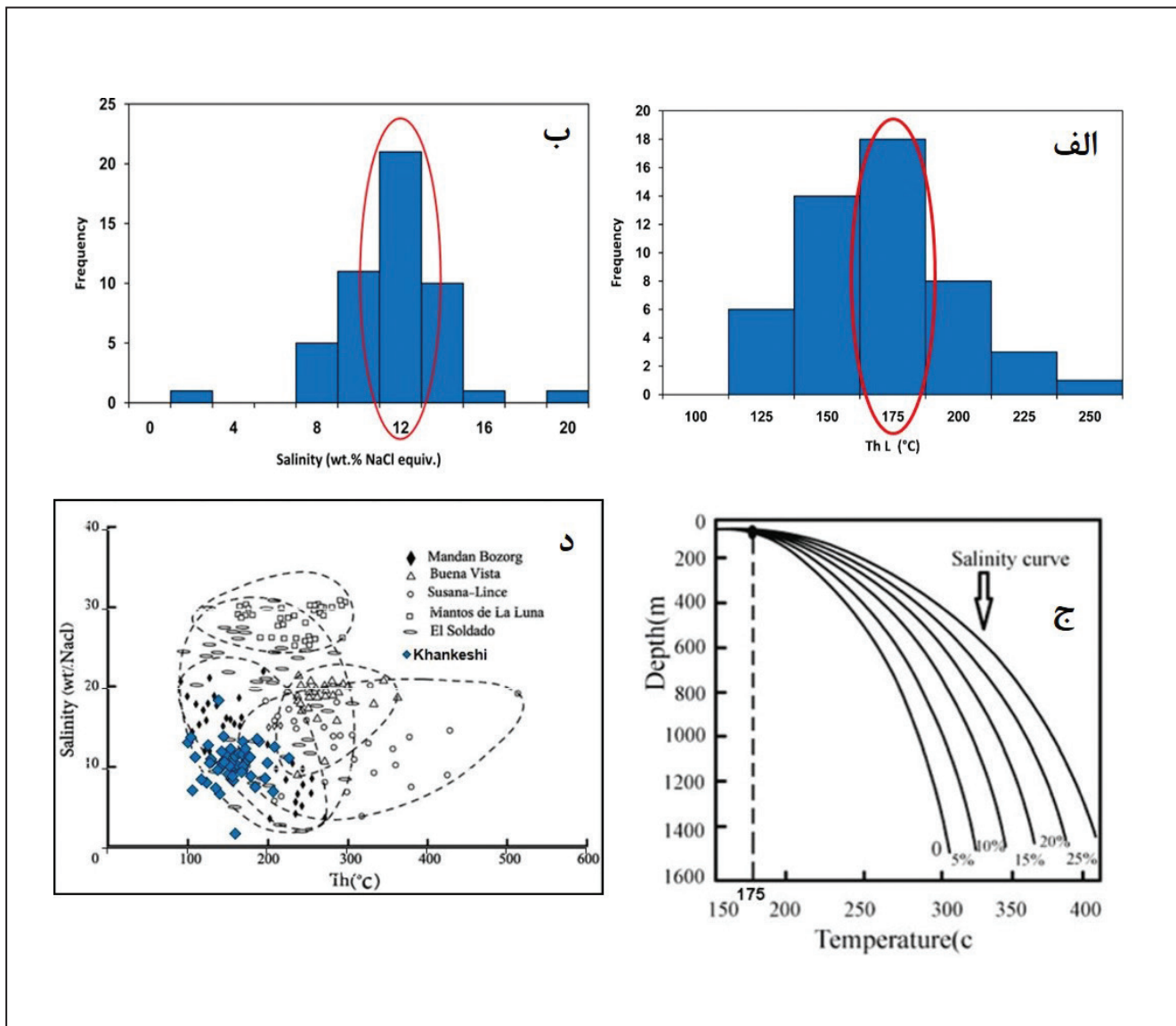
شکل ۱۳- الف) میانبار دوفازی غنی از مایع منفرد؛ ب) میانبار تک‌فازی مایع منفرد؛ ج) میانبار دوفازی غنی از مایع منفرد؛ د) دو میانبار تک‌فازی مایع منفرد.

آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی‌های بعدی به شکل ذخایر تیپ مانتو باشد. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی میانبارهای سیال در رگچه‌های کلسیتی مرتبط با کانی‌سازی سولفیدی و بررسی عمق به دام‌افتادگی سیالات نشان می‌دهد که محدوده مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط بوده است. مهم‌ترین عامل ته‌نشست کانسنگ مس فرایند آمیختگی ایزوترمال با سیالات دیاژنزی با شوری پایین‌تر است. از طرفی نزدیکی و همپوشانی آشکاری میان محدوده دما و شوری محدوده خانکشی با محدوده کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد و نشان می‌دهد که این محدوده قابل مقایسه با کانسارهای نوع مانتو است. در کمان ماگمایی ارومیه - دختر کانه‌زایی تیپ مانتو کمتر مورد توجه بوده است، در حالی که می‌تواند به عنوان دومین الگوی اکتشافی مهم مس پس از کانسار مس پورفیری در ایران مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه سن ائوسن واحدهای سنگی محدوده مطالعاتی، بخش‌هایی از کمان ماگمایی ارومیه - دختر که در آن رخداد کشش عامل تشکیل ولکانیک‌های ائوسن بوده است، می‌تواند برای اکتشاف کانسارهای تیپ مانتو مستعد باشند.

این محدوده با توجه خصوصیات سیالات و کانه‌زایی، قابل مقایسه با معدن بزرگ مس عباس‌آباد، شاهرود و ذخایر نوع مانتو شیلی است (شکل ۱۴-د). دامنه تغییرات دمایی تشکیل این کانسارها از ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد و دارای فشار پایین و نزدیک به منحنی جوشش است (Kojima et al., 2003). دامنه تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ تا ۶۲ درصد وزنی معادل نمک طعام است. تغییرات در دمای هموزن سیالات و شوری کانسارهای مس نوع شیلی نشانه منشأ آنها از شورابه‌های حوضه‌ای است (شکل ۱۴).

۸- نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته در محدوده معدنی خانکشی، نقش مهم واحدهای E^{1a} و E^{1b} را نشان می‌دهد. پی‌جویی این رخساره‌های سنگی می‌تواند منجر به اکتشاف کانسارهای مس از این تیپ در کمان ماگمایی ارومیه - دختر شود. با توجه به اینکه تشکیل تجمع‌های پیریت نسبت به کانی‌زایی تقدم دارد و از طرفی سین‌ژنتیک است، بنابراین می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی و



شکل ۱۴- الف) توزیع فراوانی دمای همگن شدگی در محدوده مس خانکشی؛ ب) هیستوگرام مقادیر شوری در محدوده مس خانکشی؛ ج) داده‌های میانبار سیال در محدوده مس خانکشی روی نمودار ژرفای به دام افتادن میانبارهای سیال (Haas, 1971)؛ د) محدوده دما و شوری میانبارهای سیال در محدوده خانکشی و مقایسه آن با داده‌های دما و شوری معدن بزرگ عباس‌آباد و چند کانسار مس تپ مانتو در شیلی (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Boric et al., 2002; Kojima et al., 2003 and 2008).

سپاسگزاری

آقای حسینی و نیز جناب آقای دکتر حاج ملاعلی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های بی دریغ مالی و همکاری‌های همه جانبه گروه معدنی جدیدگستر سیرجان، بالاخص جناب

کتابنگاری

- ابولی‌پور، م.، ۱۳۹۱- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئزکانه‌زایی مس چینه‌کران در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن در منطقه کشکوییه، باختر رفسنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۰۱ ص.
- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- بویری کناری، م.، استاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۳- کانه‌زایی مس نوع Volcanic Red Bed در کانسار کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر، پهنه سندیج- سیرجان جنوبی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۳، ص. ۱۹ تا ۳۶.
- بهزادی، م.، ۱۳۷۳- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس قبله بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی- استان زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- جباری، م. و شیرخانی، ر.، ۱۳۹۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ محدوده خانکشی استان اراک.
- صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س.، کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۴- کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۹۸، ص. ۹۳ تا ۱۰۴.
- علیزاده، و. مؤمن‌زاده، م. و امامی، م. ا.، ۱۳۹۱- سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه‌زایی کانسارمس ورزگ قاین، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۶، ص. ۴۸ تا ۵۸.
- فرشیدنژاد، ل.، ۱۳۸۸- گزارش پایان عملیات اکتشاف مس یونس آباد (خانکشی).
- فضلی، ن. و قادری، م.، ۱۳۹۳- کانه‌زایی مس چینه‌کران تیپ مانتو نارباغی شرقی در توالی آتشفشانی رسوبی ائوسن، شمال شرق ساوه، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین.
- مغفوری، س.، موحدنیا، م. و لای، چ. ک.، ۱۳۹۳- زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسارهای مس عباس‌آباد شاهرود و مقایسه آنها با کانسارهای مس تیپ مانتو، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. مهربایی، ب. و فاضلی، آ.، ۱۳۸۰- بررسی تیپ کانی‌سازی مس در کانسار و شونه (جنوب استان قم)، بیستمین گردهمایی علوم زمین.

References

- Bodnar, R. J., 1993- Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V.57, 683- 684.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F. and Zentilli, M., 2002- The Geology of the El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, V. 2, PGC Publishing, Adelaide 163- 184.
- Dostal, J., Keppie, B. L., Cousens, J. B. and Murphy, J. B., 1996- 550-58- Ma magmatism in Cape Breton Island (Nova Scotia, Canada): the product of NW-dipping subduction during the final stage of amalgamation of Gondwana, *precambrian Research* 76, 93113.
- Haas, J. L., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, *Economic Geology* 66:940- 946.
- Haggan, T., Parnell, J. and Cisternas M. E., 2003- Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiap district, North Central Chile, *J. Geoch. Exp.* 78-79: 631- 635
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth sciences*, v. 8, p.523- 548.
- Kirkham, R. V., 1996- Volcanic red bed copper, *Geol.Sur. of Canada, Canadian mineral deposit types*, 8: 241- 252.
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista', D. and Hayashi, K., 2003- Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile, *Mineralium Deposita* 38: 208- 216.
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D. and Hayashi, K., 2008- Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits, *Resource Geology* 59(1): 87- 98.
- Middlemost, E. A. K., 1994- Naming materials in the magma/igneous rock system, *Earth-Science Reviews* 37, 215- 224.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in ocean basins: Geological society of London Special Publications* 42, 313- 345.
- Sun, S. S., 1980- Lead isotope study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 297:409- 445.
- Wilson, N. S. F. and Zentilli, M., 1999- The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Econ Geol*, v. 94, p. 1115- 1136.
- Wilson, N. S. F. and Zentilli, M., 2006- Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile, *International Journal of Coal Geology* 65:158- 169.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003- A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanichosted El Soldado Manto-type Cu deposit, Chile: The essential role of bacteria and petroleum, *Econ Geol* 98: 163- 174.

The study on mineralization of Khankeshi copper deposit by using mineralogy, geochemical and fluid inclusion data, Markazi province

R. Pourmasoomi¹, A. R. Jafari rad^{2*}, M. Lotfi³ and P. Afzal⁴

¹Ph.D.Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴Associate Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2016 July 27

Accepted: 2017 January 04

Abstract

The Khankeshi stratabound copper deposit is located in Markazi province, 80 Km SW of Tehran. The area is covered by a sequence of E-W trending lava flows and pyroclastic of Late Eocene age. The volcanic rocks can be classified as trachyandesite and andesite. The rocks contain a high fraction of potassium calc-alkaline and their geochemical characteristics attribute them to back arc basin and extensional processes. The oldest rocks of the study area are Elta unit, composed of green andesitic tuff located in south eastern of the khankeshi. This part indicates a basin with volcanic activities and exhalites, and green tuff with thin lamination combined with microcrystalline carbonates. On the other hand, presence of carbonate of micrite with framboidal pyrite in this part indicated reducing environment and Exhalites activity by source of sulfur in manto type mineralization in the khankeshi. The host rock is Elt type latite andesite with mega porphyritic texture and involved major ore chalcopyrite, bornite with pyrite and minor chalcocite, covellite, hematite, Goethite and malachite with dolomite and dolosparite veins. Framboidal pyrite is replaced with forms of fine and circle chalcopyrite and bornite in primary micritic background and subhedral crystals into dolosparite veins of crystallized micritic carbonate micrite in forms of epigenetic that produce the supergene secondary production. This unit with pyroclastics and tuff breccias (Elta unit), indicated volcanic cycle that mineralization of copper, in forms of stratabound, has taken place in it. Local alteration associated with copper mineralization includes weak chloritization, oxidation with local argillic, sericitic and zeolitic. Mineralization is stratabound and copper mineralization occurs as disseminated, vein-veinlet, open space fillings and replacements. Based on fluid inclusion studies on coexisting calcite, Homogenization temperatures are between 129.4 to 227.1 (with an average of 175°C). Salinity varies between 1.91 to 13.40 (average 12) wt% NaCl eq. The depth of fluid inclusion trapping is estimated to be less than 200 meters and ore formation has occurred at pressure values less than 74 bars. Geological, ore mineralogy, ore texture, structures and fluid inclusions characteristics in the khankeshi deposit are similar to those reported from Manto type copper deposits.

Keywords: Mineralography, Geochemistry, Fluid Inclusion, Manto Type Copper, Khankeshi.

For Persian Version see pages 129 to 140

*Corresponding author: A. R. Jafari rad; E-mail: alirad@yahoo.com