

# کانسار طلای اخترچی با میزبان کربناته؛ زمین‌شناسی، مینرالوگرافی و مطالعات الکترون‌میکروپروب (EPMA)

محمدامین نظیری<sup>(۱\*)</sup>، ایرج رسا<sup>۲</sup> و محمد یزدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۰

## چکیده

کانسار طلای اخترچی با میزبان کربناته در جنوب شرق محلات، استان مرکزی و در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد. سنگ میزبان شامل سنگ‌های کربناته ناخالص پرمین می‌باشد و در پهنه‌های کانه‌زایی تحت تأثیر انحلال (کربنات‌زدایی) و برشی شدن قرار دارد. کانه‌زایی به صورت ساختاری کنترل شده است و ارتباط مکانی بین گسل‌ها و کانه‌زایی وجود دارد. مهم‌ترین دگرسانی‌ها شامل سیلیسی، هماتیتی، دولومیتی، کربنات‌زدایی و رسی می‌باشند. کانه‌زایی طلا به سه صورت همراه با اکسیدهای آهن، نوع سیلیسی (ژاسپروئیدی) و نوع پلاستی ایجاد شده است. پنج نوع رگه کانه‌دار در منطقه شناسایی شده‌اند که عبارتند از رگه‌های اکسید آهن طلا‌دار، سیلیسی-اکسید آهنی طلا‌دار، سیلیسی-اکسید آهنی مس‌دار، سیلیسی-پیریتی و کوارتزی شیری رنگ می‌باشد. بر اساس مطالعات میکروپروب طلا به صورت ذرات میکروسکوپی درون اکسیدهای آهن و به صورت نامرئی درون اکسیدهای آهن، آهن-منگنز، کربنات‌ها، کانی‌های ثانویه مس‌دار و سولفیدها وجود دارد. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، ساختاری، دگرسانی، مینرالوگرافی و میکروپروب ویژگی‌های کانسار اخترچی بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای کارلین دارد.

واژه‌های کلیدی: اخترچی، پهنه سنندج-سیرجان، تیپ کارلین، سنگ میزبان کربناته، طلا.

## مقدمه

کانسار طلای اخترچی با میزبان کربناته، در ۲۰ کیلومتری جنوب شرق محلات، استان مرکزی و پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد. پهنه سنندج-سیرجان یک زون دگرگونی در کوهزایی زاگرس از منشاء گندوانایی است (Fergusson et al., 2016). در این پهنه، پدیده‌های دگرگونی، ماگماتیسم و زمین‌ساخت پی‌درپی و هماهنگ با فازهای زمین‌ساختی شناخته شده در مقیاس جهانی در بیشترین مقدار رخ داده است. از همین رو، این پهنه ناآرام‌ترین و به عبارتی پویاترین پهنه زمین‌ساختی ایران است (آقاناتی، ۱۳۸۳). بر اساس داده‌های شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی سنگ کل، سنگ‌های دگرگون در پهنه سنندج-سیرجان به محیط زمین‌ساختی فرورانش و کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای تعلق دارند (رحمانی جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۹). ناحیه اخترچی از نظر تنوع مواد معدنی قابل توجه است، به طوری که کانه‌زایی‌های مختلفی از قبیل طلا، مس، روی،

\* نویسنده مرتبط: naziri.ma@gmail.com

دانش ما از نوع کانه‌زایی، ژنز و کنترل‌کنندگان کانه‌زایی در کانسار اخترچی، در این مقاله زمین‌شناسی، دگرسانی، تکتونیک، مینرالوگرافی و در نهایت ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانی‌ها و کانه‌های میزبان طلا با استفاده از ترکیب مطالعات میکروسکوپی و نتایج الکترون‌میکروپروب<sup>۱</sup> بررسی شد.

### روش مطالعه

بعد از پیمایش‌های زمین‌شناسی از پهنه، نمونه‌برداری از سنگ‌های میزبان دگرسان و غیر دگرسان و نیز بخش‌های مختلف کانسنگ‌های گستره اخترچی صورت پذیرفت. بعد از بررسی نمونه‌های دستی، نمونه‌های مناسب برای تهیه مقاطع نازک (۵۶ عدد)، نازک-صیقلی (۱۴ عدد) و صیقلی (۱۲ عدد) انتخاب شد. بعد از تهیه مقاطع، مطالعه پتروگرافی و مینرالوگرافی مقاطع با استفاده از میکروسکوپ نوری در دانشگاه شهید بهشتی صورت پذیرفت. تجزیه الکترون‌میکروپروب شامل تصویربرداری بک‌اسکتر<sup>۲</sup> و تجزیه نقطه‌ای کانی‌ها و کانه‌های میزبان طلا برای تایید ماهیت کانه‌ها و تعیین مقدار طلا و دیگر عناصر در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. برای مطالعات میکروپروب، ابتدا مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های منتخب با کربن مورد پوشش قرار گرفت و سپس به‌وسیله دستگاه میکروپروب مدل CAMECAX100 با شرایط ۲۰ کیلو الکترون‌ولت (Kev) و ۲۰ نانوآمپر (nA) و با پرتو به قطر یک تا پنج میکرون مورد مطالعه قرار گرفت. کانه‌های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، کالکوسیت و ذرات طلا به همراه سیلیکات مس، اکسیدهای آهن و آهن-منگنز، کوارتز، باریت و کربنات‌ها، مواردی بودند که بر روی آنها تجزیه صورت گرفت (۱۳۷ نقطه).

### بحث

#### زمین‌شناسی منطقه اخترچی

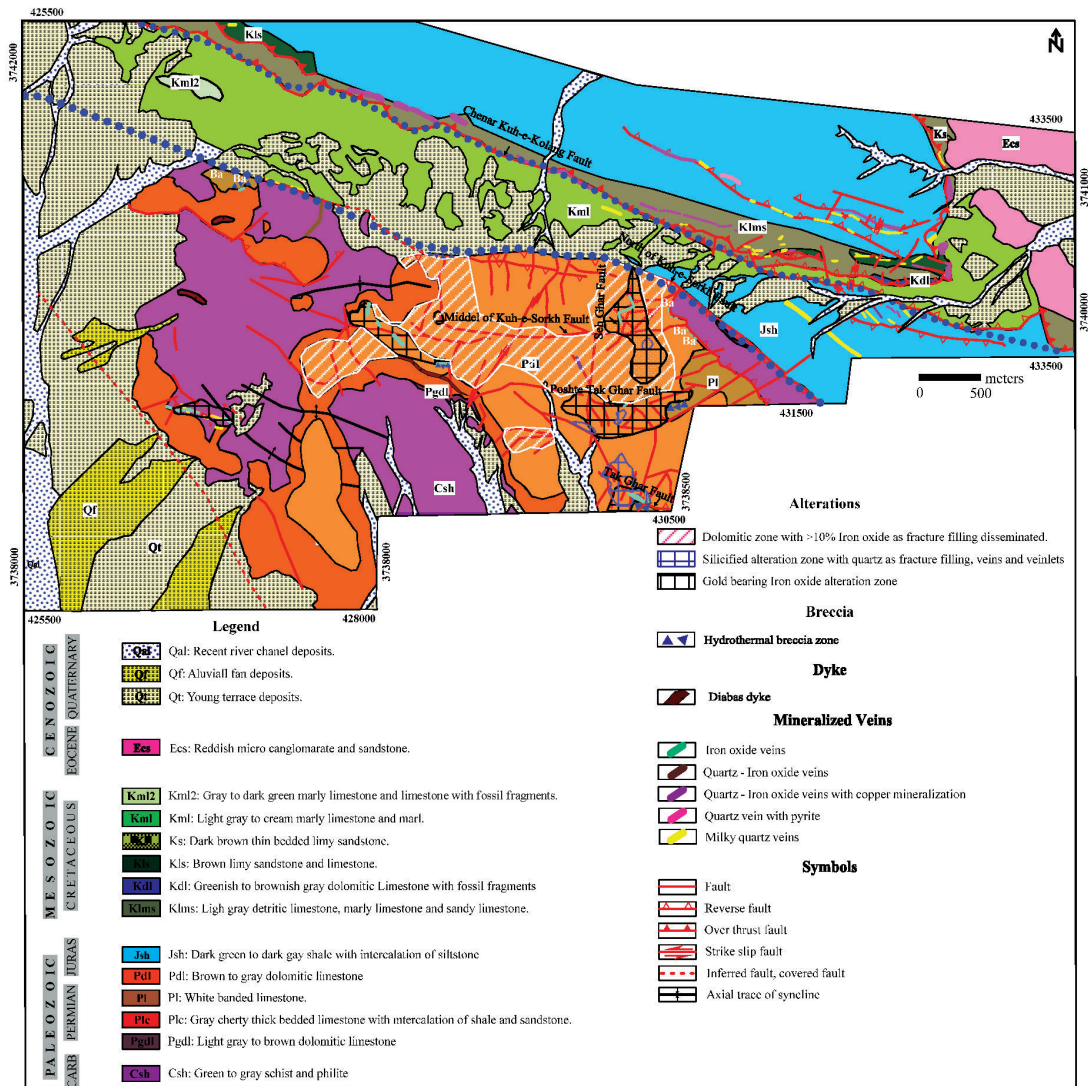
واحدهای منطقه از قدیم به جدید عبارتند از (شکل ۱، شرکت مشاور پارسی کانی کاو، ۱۳۹۳ با تغییرات):  
۱. واحد شیبست و فیلیت‌های سبز تا خاکستری متمایل

آهن، منگنز، فلوریت، و باریت در این منطقه گزارش شده است. این منطقه در محل برخورد پهنه سندانج-سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است؛ بنابراین علاوه بر تنوع مواد معدنی، تیپ‌های مختلفی از کانسارها همانند کانسارهای مس-طلای پورفیری دالی و طلای کوهزایی در سنگ‌های پالئوزوئیک میانی تا بالائی موه در این منطقه تشکیل شده است (جزبی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مهربانی و طالع فاضل، ۱۳۹۵؛ نوریان رامشه و همکاران، ۱۳۹۵؛ ثابت‌ور نامخواستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ سخدری و همکاران، ۱۳۹۰؛ مهوری و همکاران، ۱۳۹۰؛ نظیری، ۱۳۹۰؛ طورچی و نصرافهانی، ۱۳۷۶). از آنجایی که اغلب کانسارهای طلا با میزبان رسوبی بسیار ریزدانه هستند (Arehart, 1996; Wells and Mullens, 1973) و در مقیاس کانسار به صورت دانه پراکنده وجود دارند (Christensen, 1996; Christensen, 1993)، تشخیص و اکتشاف این کانسارها مشکل است. به‌جز کانسار طلای اخترچی، تاکنون کانسار طلای دیگری با میزبان کربناته در این منطقه گزارش نشده است. دولومیت ضخیم لایه تا توده‌ای، مهم‌ترین سنگ میزبان این کانسار است. سنگ‌آهک با تبلور مجدد در اغلب محل‌های کانه‌زایی طلا به صورت کمر پایین حضور دارد. از ویژگی‌های سنگ میزبان، وجود حفرات انحلالی حاصل از شستشوی اسیدی آب‌های فرورو می‌باشد. کلسیت و آراگونیت در این حفرات تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی، ترکیب کانی‌شناسی ساده‌ای دارد و ترکیبات پیچیده عناصر همراه طلا، همچون آنتیموان، آرسنیک و جیوه گسترش چندانی ندارند و یا در مقادیر بالا حضور ندارند. طی مطالعات زمین‌شناسی، منطقه اخترچی از نظر ساختاری به سه بخش سه‌غار، پشت‌تک‌غار و تک‌غار تقسیم شد (شکل ۱).

از آنجایی که کانسارهای طلا با میزبان رسوبی، منابع مهم طلا در مقیاس جهانی می‌باشند (Hofstra and Cline, 2000; Arehart, 1996). از این‌رو از اهداف اکتشافی مهم به حساب می‌آیند و مطالعات زیادی بر روی این کانسارها صورت پذیرفته است (Muntean, 2018 Muntean and) (Cline, 2018; Clark Maroun et al., 2017; Vaughan et al., 2016; Hickey et al, 2014). برای افزودن بر

1. Electron microprobe

2. Backscatter



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه اخترجی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ که بر روی آن واحدهای سنگی، دگرسانی‌های گرمایی، انواع گسل‌های رخ داده، کانه‌زایی‌ها و ارتباط بین پدیده‌های مختلف در سه بلوک شمالی، مرکزی و جنوبی نشان داده شده است (برگرفته از شرکت مشاور پارسی کانی کاو، ۱۳۹۳ با تغییرات)

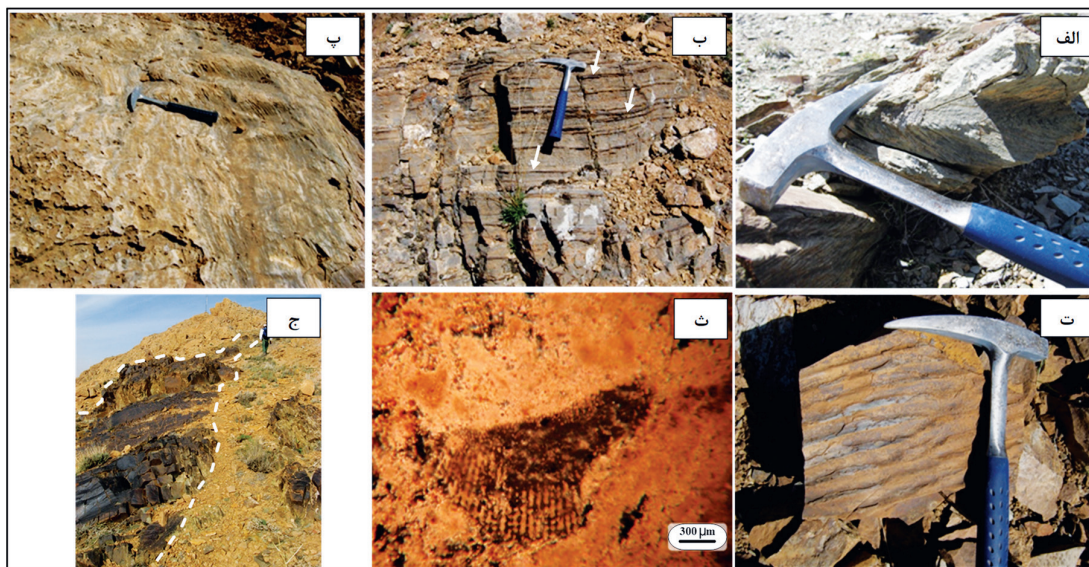
ب-سنگ‌آهک رسی نازک تا ضخیم لایه چرتی (pgdl)، خاکستری با میان لایه‌های شیل و ماسه‌سنگ (Plc) (شکل ۲-ب)، پ-سنگ‌آهک نواری سفید تا شیری با تبلور مجدد (Pl) می‌باشد. از ویژگی‌های این واحد، ساخت نواری است که در اثر تبلور مجدد تغییر یافته است (شکل ۲-پ) و در تمامی رخنمون‌ها همراه با کانه‌زایی است و ت-سنگ‌آهک دولومیتی قهوه‌ای تا خاکستری تیره (Pdl). سطوح چروکیده حاصل از دولومیتی شدن، از ویژگی‌های این واحد می‌باشد؛

به سبز کربونیفر (Csh). از ویژگی‌های این واحد تزریق رگه‌های کوارتز و کوارتز-اکسید آهن شیری رنگ به درون لایه‌بندی این واحد می‌باشد. به نظر می‌رسد واحد شیست و فیلیت کربونیفر تحت تاثیر دو نسل فشارش قرار دارد که حاصل آن وجود دو جهت برگوارگی، به اصطلاح برگوارگی کنگره‌ای، می‌باشد (شکل ۲-الف)؛  
۲. مهم‌ترین واحد میزبان کانه‌زایی طلا در گستره اخترجی، مجموعه واحدهای پرمین می‌باشد. این مجموعه متشکل از الف-سنگ‌آهک دولومیتی قهوه‌ای روشن



خاکستری تیره با قطعات فسیلی (Kml2)؛  
 ۵. تنها واحد مربوط به زمان ائوسن، واحد میکروکنگلومرتا تا ماسه سنگ قرمز (Ecs) می باشد. این واحد متشکل از میکروکنگلومرای پلی زنتیک با قطعات آتشفشانی، آهکی و ماسه سنگی و نیز ماسه سنگ درشت دانه می باشد؛  
 ۶. واحدهای کواترنری به سه بخش تقسیم شده اند. الف- نهشته های پادگانه ای جوان (Qt)، ب- نهشته های پادگانه آبرفتی (Qf) و پ- نهشته های آبرفتی کانال رودخانه (Qal). با توجه به کانه زایی طلا در ارتفاعات و فرسایش و حمل سنگ ها به داخل مسیل رودخانه ها امکان تشکیل ذخایر پلاسر طلا در این نهشته ها وجود دارد؛  
 ۷. دایک های دیابازی خاکستری تیره تا سبز تیره با روند شمال غربی- جنوب شرقی بیشتر در جنوب غرب گستره که مجموعه کربونیفر- پرمین را قطع کرده اند. این دایک ها اغلب ابعاد کوچکی دارند (شکل ۲-ج).

۳. واحد شیل سبز تا خاکستری تیره میان لایه های سیلتستون ژوراسیک (Jsh) (شکل ۲-ت)؛  
 ۴. مجموعه واحدهای کرتاسه در گستره اخترچی به دو واحد و چهار زیر واحد تقسیم شده است. الف- واحد سنگ آهک تخریبی، سنگ آهک مارنی و سنگ آهک ماسه ای خاکستری روشن (Klms)، ب- زیر واحد سنگ آهک دولومیتی با قطعات فسیلی خاکستری متمایل به سبز تا قهوه ای (Kdl)، پ- ماسه سنگ آهکی و سنگ آهک قهوه ای (Kls). وجود ریپل مارک در این زیر واحد (شکل ۲-ت) نشان دهنده عمق کم محیط تشکیل آن می باشد، ت- زیر واحد ماسه سنگ آهکی نازک لایه قهوه ای تیره (Ks)، ث- واحد مارن و سنگ آهک مارنی کرم تا خاکستری روشن (Kml). در این واحد قطعات فسیلی نیز حضور دارند (شکل ۲-ث) و ج- زیر واحد سنگ آهک مارنی و سنگ آهک



شکل ۲. تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی گستره اخترچی، الف) واحد شیست کربونیفر (Csh) در جنوب غرب پهنه و برگواگی کنگره ای در آن، ب) تشکیل چرت در بین لایه های نازک کربنات در واحد Plc، پ) وجود ساخت نواری در سنگ آهک نواری واحد PI، ت) ریپل مارک های موجود در ماسه سنگ های زیر واحد (Kls)، ث) تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از سنگ آهک دارای قطعات فسیل بریزوند دولومیتی شده در واحد (Kml)، ج) برون زد دایک دیابازی (دید به سمت شمال غرب)

### تکتونیک منطقه

کم و چین ها از نوع باز می باشند. گسل های اصلی از نوع معکوس با روند شرقی- غربی است. شیب گسل های معکوس در حدود ۷۵-۵۵ درجه به سمت جنوب می باشد. گسل های معکوس متعدد حاشیه جنوبی بلوک شمالی به موازات

از نظر ساختاری گستره معدنی اخترچی را می توان به سه بلوک شمالی، جنوبی و مرکزی تقسیم کرد (شکل ۱). بلوک شمالی: شدت چین خوردگی در بلوک شمالی

جنوب غربی از نوع پرشیب می‌باشد و میزان شیب آن بیش از ۶۵ درجه است. وسعت کمربند برشی آن در حدود ۵۰ متر است و رگه‌های متعددی در کمربند برشی مشاهده می‌شود. پیچ و تاب‌های متعددی در مسیر گسل دیده می‌شود و توسط گسل‌های امتدادلغز و کششی متعددی قطع شده است. شیب گسل شرقی-غربی پشت تک غار، ۶۸-۷۲ درجه به سمت جنوب است و ادامه غربی این گسل به دو شاخه شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود. گسل میانی کوه سرخ باروند شرقی-غربی به طول تقریبی ۲/۵ کیلومتر بر روی محور ناودیس واقع شده است. گسل امتدادلغز سه غار با روند شمالی-جنوبی دارای شیب ۶۵ تا ۷۵ درجه به سمت شرق می‌باشد. گسل معکوس شمال کوه سرخ با روند شرقی-غربی و شیب بیش از ۷۵ درجه به سمت جنوب، از مهم‌ترین گسل‌های معکوس گستره اخترچی محسوب می‌شود. طول گسل بیان شده بیش از پنج کیلومتر است و سرتاسر گستره اکتشافی اخترچی را قطع می‌کند. حرکت معکوس آن سبب شده است که واحدهای سنگی کربونیفر و پرمین، بر روی واحدهای سنگی کرتاسه بالایی قرار گیرند.

کنترل ساختاری دگرسانی‌ها و کانه‌زایی‌های گستره حاکی از اهمیت ساختارها در تشکیل این کانسار است. گسل‌های معکوس و امتدادلغز از اهمیت زیادی در منطقه برخوردار هستند. مهم‌ترین گسل‌هایی که در برنزد و تغییرات بعدی واحدهای سنگی منطقه نقش داشته‌اند، گسل‌های شرقی-غربی و شمال غربی-جنوب شرقی هستند. روندهای شمال غربی-جنوب شرقی از اهمیت بیشتری در ارتباط با کانه‌زایی برخوردار هستند. تغییر جهت نیروها در طول زمان سبب شده است که بردار حرکتی برخی از گسل‌های راستالغز در بلوک جنوبی تغییر کند. به همین دلیل گسل‌های راستالغز با روند شمال غرب-جنوب شرق در اثر عملکرد فازهای کوهزایی جوان، دارای بازشدگی بیشتری شده و کانه‌زایی در طول آنها رخ داده است. باین حال، روندهای شمالی-جنوبی در بخش سه غار، شرقی-غربی در منطقه پشت تک غار و شمال غربی-جنوب شرقی در تک غار نیز کنترل کننده کانه‌زایی می‌باشند. شیب گسل‌ها در پهنه همگی بیش از ۵۰ درجه است. شاید همین شیب زیاد باعث

یکدیگر بوده و رگه‌های متعدد اکسیدهای آهن و سیلیس با آثاری از کانه‌های مس قابل مشاهده است.

**بلوک مرکزی:** شدت تغییر شکل در بلوک مرکزی با وجود چین‌های فشرده، گسل‌های معکوس و رورانده زیاد است. بخش عمده بلوک مرکزی شامل یک برگه رورانده می‌باشد و گسل‌های معکوس توسط این برگه پوشیده شده‌اند. تطابق جهت تمایل چین‌ها با روراندگی اصلی در جبهه روراندگی، گواهِ هم‌زمانی ایجاد چین برگشته با روراندگی است. یک گسل رورانده با جهت متمایل به سوی جنوب، شیب سطح متغیر و با انحنایی در مسیر با امتداد عمومی ۷۰ درجه به سمت شمال غرب در این بلوک وجود دارد که با امتداد گسل‌های معکوس بلوک جنوبی و شمالی هماهنگی ندارند. گسل رورانده اصلی واقع در پیشانی برگه تراستی تحت عنوان گسل رورانده اخترچی نام‌گذاری شده است. بخش شرقی کمربند تراستی دارای گسل‌های رورانده متعددی می‌باشد از شرق به غرب از تعداد گسل‌های رورانده کم می‌شود. ادامه غربی این کمربند به یک گسل رورانده به نام گسل کوه کلنگ چنار تبدیل می‌شود. گسل‌های کوچک فرعی همگی به دو گروه اصلی الف) گسل‌های برشی مزدوج راستالغز و ب) گسل‌های کششی تقسیم می‌شوند.

**بلوک جنوبی:** بلوک جنوبی یک بخش بالا آمده متشکل از چین با محورهای ملایم است. روند محور چین‌ها شرقی-غربی و چین‌های اصلی شامل تاقدیس می‌باشند که توسط گسل‌های معکوس قطع شده‌اند. تاقدیس جنوبی بلوک از نوع باز و تاقدیس شمالی در مجاورت گسل کوه سرخ از نوع نامتقاطع تا برگشته می‌باشد و جهت تمایل آن به سمت شمال است. تراکم گسل‌ها در بلوک جنوبی زیاد است و دگرشکلی عمده این بلوک توسط گسل‌ها ایجاد شده است. گسل‌های اصلی از نوع معکوس و دارای شیب بیش از ۵۰ درجه می‌باشند. امتداد گسل‌های معکوس بیشتر شرقی-غربی است. در حدفاصل این گسل‌های رانده، گسل‌های امتدادلغز و کششی کوچک مقیاس قابل مشاهده است. از مهم‌ترین گسل‌های این کمربند می‌توان به گسل تک‌غار، پشت تک‌غار، گسل میانی کوه سرخ و گسل شمال کوه سرخ اشاره کرد (شکل ۱). گسل تک غار با روند شمال شرقی-

شکستگی‌ها و پراکنده رخ داده است. اگرچه گسترش این دگرسانی توسط واحد زمین‌شناسی کنترل شده است ولی گاهی واحد سنگ‌آهک نواری (PI) نیز توسط این دگرسانی متاثر شده است. گسل‌ها نیز در بسیاری از موارد کنترل‌کننده مرز دگرسانی هستند. در سطح زمین وجود رنگ‌های کرم تا قهوه‌ای، شکستگی سنگ‌ها با لبه‌های تیز، سخت‌شدگی سنگ و خردشدگی شدید آن و سطح چروکیده سنگ‌ها بر فرآیندهای دولومیتی دلالت دارد. دولومیتی شدن سنگ‌های کربناته می‌تواند منجر به افزایش تخلخل سنگ شود.

دگرسانی سیلیسی در سنگ میزبان کربناتی پرمین و هم در سایر واحدها مشاهده می‌شود (شکل ۱). با توجه به حضور رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در گستره اخترچی و افزایش شدت دگرسانی در سنگ‌های اطراف رگه‌ها، به نظر می‌رسد بخشی از دگرسانی در ارتباط با ورود محلول‌های دارای سیلیس هستند. دگرسانی سیلیسی به صورت کوارتز پراکنده شکستگی، رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و سیلیس توده‌ای مشاهده می‌شود. رگه‌های کوارتز شیری، به نظر می‌رسد در ارتباط با ساختارهای برشی باشند. بخش‌های سیلیسی گاه گستره‌های وسیعی را تشکیل می‌دهند و به صورت پهنه‌های سیلیسی در مناطق کانه‌دار تشکیل شده‌اند. این نوع دگرسانی به صورت جایگزینی سنگ‌های کربناتی توسط کوارتز خودشکل نیز مشاهده می‌شود. ژاسپروئید قرمز تا بنفش نیز همواره به صورت ریزبلور تشکیل شده است.

باریم به صورت باریت (شکل ۳-پ) در مراحل پایانی کانه‌زایی تشکیل شده است. باریت در موقعیت چینه‌شناسی و ساختاری خاص تشکیل شده است. مهم‌ترین مناطق تشکیل باریت عبارتند از الف- باریت شکافه پرکن، لکه‌ای و عدسی در طول ۵۰۰ متر از ساختار اصلی منطقه با روند شمال غربی- جنوب شرقی در موقعیت زیرین واحد سنگ‌آهک نواری در شرق سه‌غار می‌باشد. باریت توده‌ای نیز در فضاهای باز تشکیل شده است، ب- باریت شعاعی و توده‌ای در فضاهای باز در شمال غرب منطقه دیده می‌شود (شکل ۱).

بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، سه نوع برش در منطقه تشکیل شده است. الف- برش نوع اول، برش‌های تشکیل شده در محیط رسوبی و پس از

نفوذ محلول‌های گرمابی از میان ساختارها به عنوان مجاری عبوری و تشکیل کانه‌زایی (از نوع کنترل‌کننده ساختاری) در گستره شده باشد.

## دگرسانی‌ها

دگرسانی‌ها در منطقه اخترچی شامل انحلال کربنات (کربنات‌زدایی)، اکسیداسیون آهن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و رسی شدن کانی‌های آلومینوسیلیکاته (آرژیلیک) می‌باشند.

انحلال از پدیده‌های معمول در سنگ‌های کربناته می‌باشد (شکل ۳-الف). حفرات انحلالی حاصل از شستشوی اسیدی سنگ میزبان توسط آب‌های فرورو موجب آماده‌سازی سنگ زمینه برای تشکیل ذخیره هستند. کلسیت و آراگونیت در این حفرات تشکیل شده‌اند. تشکیل پهنه‌های سیلیسی و اکسیدآهنی در مناطق انحلالی معمول می‌باشد.

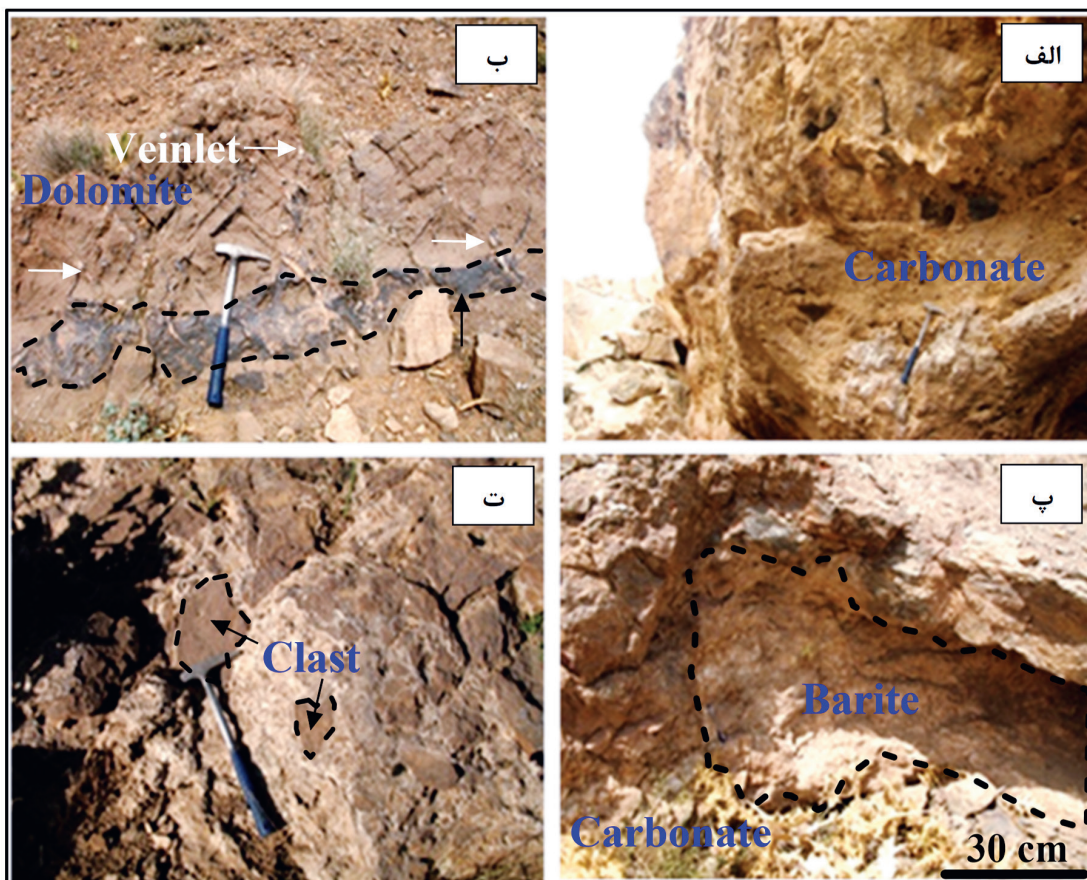
مهم‌ترین دگرسانی کنترل‌کننده کانه‌زایی، پهنه‌های اکسیدآهنی هستند (شکل ۱)، شدت پهنه‌های اکسید آهن کنترل‌کننده میزان کانه‌زایی می‌باشد دگرسانی‌های اکسید آهن حاصل از هوازدگی سولفیدها می‌باشد (شکل ۳-ب). مهم‌ترین ویژگی این دگرسانی، جاننشینی بخش زیادی از فضاهای خالی حاصل از پدیده دولومیتی شدن و نیز جاننشینی دولومیت توسط اکسیدهای آهن است. اکسیدهای آهن نهشته شده در فضاهای خالی گاه بافت نواری ظریفی نشان می‌دهند. اکسیدهای آهن رگه‌ای نیز دیده می‌شوند که حاکی از تمرکز آنها در ساختارها و روندهای مشخص است. کوارتز جاننشینی، رگچه‌ها و رگه‌های کوارتزی نیز همراه اکسید آهن مشاهده می‌شوند. کوارتز از متبلور تا شیری رنگ و مخفی بلور متغیر است. گاه کوارتز حفره‌ای و ژاسپروئید نیز تشکیل شده است. مقطع عرضی هوازدگی و گسترش پهنه‌ها در منطقه اخترچی، نشان‌دهنده مهیا بودن سنگ‌های میزبان برای ورود آب‌های اکسیدی به‌خاطر عملکرد نکتونیک هستند.

بخش مهمی از واحد سنگ‌آهک دولومیتی (PdI) توسط دگرسانی دولومیتی با بیش از ۱۰٪ اکسید آهن متاثر شده است (شکل ۱). دگرسانی دولومیتی به صورت پراکنده



مهم‌ترین آنها، برش‌های گرمایی مرتبط با تشکیل دگرسانی و کانه‌زایی می‌باشند (شکل ۱). مشخصه این برش‌ها زمینه اکسیدآهنی و سیلیسی در بین قطعاتی از جنس سنگ میزبان است (شکل ۳-ت).

تشکیل سنگ است. این برش شاید به‌خاطر انحلال کربنات و فرونشست رخ داده است. این نوع برش بیشتر از قطعات هم‌جنس مجموعه سنگ‌آهک یا سنگ‌آهک دولومیتی تشکیل شده است، ب- برش‌های گسلی در امتداد گسل‌ها تشکیل شده‌اند و فراوانی زیادی دارند، پ- نوع سوم و



شکل ۳. تصاویر صحرایی الف) انحلال و نهشت رسوبات در کارست قدیمی ایجاد شده و پدیده سیلیسی شدن در همان محل، ب) جانشرینی سنگ‌آهک دولومیتی پرمین توسط رگچه‌های اکسیدآهن و کوارتز در پهنه دگرسان اکسیدآهنی، پ) تشکیل باریت به‌صورت پرکننده فضاهای خالی در شرق سه‌غار، ت) برش گرمایی با کلستهایی از جنس سنگ میزبان تشکیل شده در پهنه‌های دگرسانی-کانه‌زایی

### کانه‌زایی

کانه‌زایی طلا در بخش‌های مختلف منطقه اخترچی به سه صورت وجود دارد:

الف- کانه‌زایی طلا همراه با اکسیدهای آهن حاصل از هوازدگی سولفیدها و رگه‌های کوارتزی در سنگ میزبان کربناته پرمین می‌باشد. همراهی تنگاتنگی بین کوارتز و اکسیدآهن در این نوع کانه‌زایی وجود دارد (شکل ۴-الف). کوارتز رگه‌ای، رگچه‌ای و حفره‌ای معمول است.

بخش عمده سولفیدها اکسید شده است و مقطع عرضی اکسیدی، گسترش مناسبی در منطقه دارد. اکسیدهای آهن به سه حالت دیده می‌شوند. حالت اول اکسیدهای آهن انتشاری در متن سنگ‌آهک دولومیتی که موجب تغییر رنگ سنگ شده است. افزایش مقدار این نوع اکسیدآهن گاه باعث تشکیل اکسیدآهن اسفنجی شده است (شکل ۴-ب). شکل دوم به‌صورت اکسیدهای آهن رگچه‌ای می‌باشد (شکل ۴-پ). شکل سوم به‌صورت

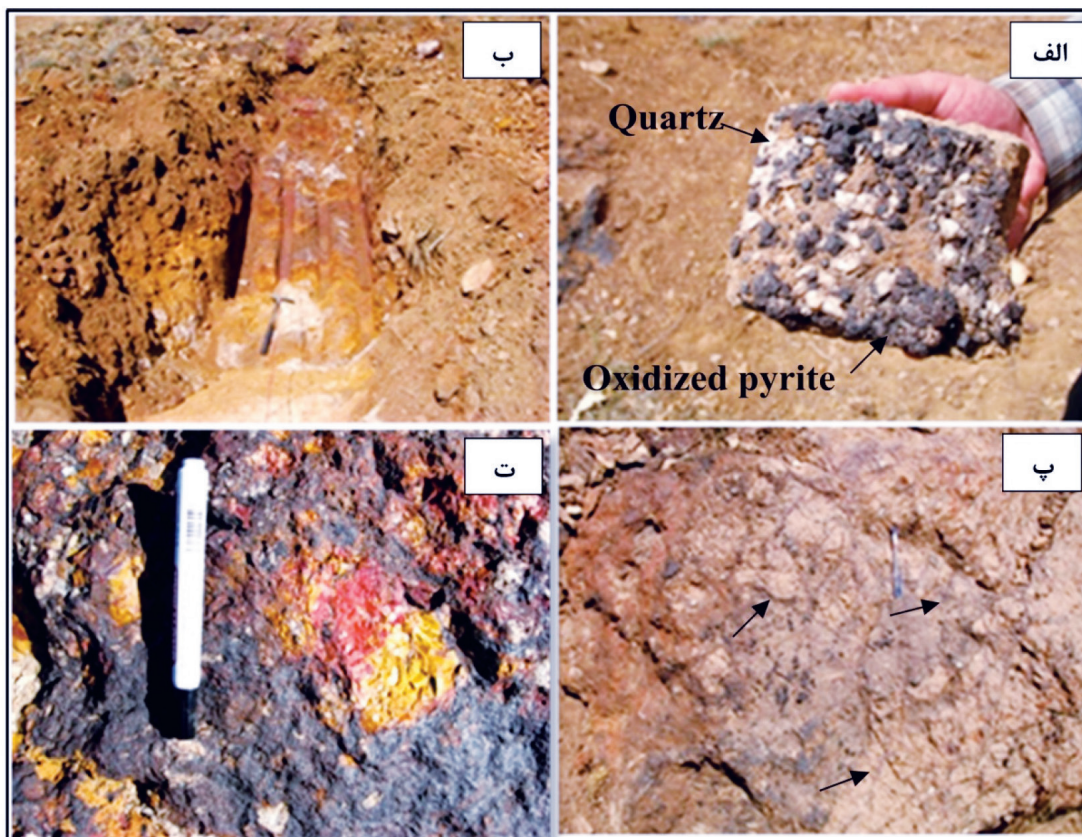
این مناطق حضور اکسیدهای آهن و رگه‌های سیلیسی چشمگیر است. این رگه‌ها همواره دارای کانه‌زایی کمتری هستند. کوارتز شیری و مخفی بلور با ساخت رگه‌ای و توده‌ای با کانه‌زایی مس همراه است. سنگ میزبان این رگه‌ها از شیبست‌های کربونیفر، شیل‌های ژوراسیک و سنگ‌آهک کرتاسه متغیر است.

پ- ذخیره پلاسری طلا با عیار ppm ۱/۷ حاصل از فرسایش بخش‌های کانه‌دار و حمل آنها در محیط رودخانه‌ای است. این نوع با توجه به گسترش اکسیداسیون شدید و توسعه مقطع عرضی اکسیدی که باعث آزادسازی طلا شده است اهمیت زیادی دارد (نیاز به مطالعه دقیق اکتشافی دارد).

بلورهای پیریت اکسید شده پراکنده در متن سنگ است (شکل ۴-الف).

از ویژگی‌های کانه‌زایی طلا همراه با اکسید آهن و کوارتز می‌توان به تشکیل کانه‌زایی در روندهای خاص، وجود سنگ‌آهک نواری با تبلور مجدد در کنار پهنه‌های اکسید آهن طلا دار، حضور باریت در بخش زیرین واحد سنگ‌آهک نواری، ارتباط با ساختارهای فشارشی و گسلش معکوس، عادی و امتداد لغز اشاره کرد.

ب- کانه‌زایی طلائی نوع سیلیسی (ژاسپروئید) (شکل ۴-ت)، کانه‌زایی طلا همراه با رگه‌های سیلیسی در سرتاسر منطقه شکل می‌گیرد. مهم‌ترین رخداد این کانه‌زایی در جنوب غرب منطقه مشاهده می‌شود. در



شکل ۴. انواع اکسید آهن در کانه‌زایی طلا همراه با اکسیدهای آهن حاصل از هوازدگی سولفیدها و رگه‌های کوارتزی در سنگ میزبان کربناته پرمین، (الف) نمونه دستی از تبلور بلورهای کوارتز به همراه بلورهای پیریت اکسید شده (قالب بلورهای پیریت حفظ شده‌اند)، (ب) تصویر صحرایی از تشکیل آهن اسفنجی در رگه‌های اکسید آهن طلا دار، (پ) تصویر صحرایی از فاز اکسید آهن رگه‌ای، (ت) نمائی نزدیک از ژاسپروئیدهای زرد و قرمز طلا دار در منطقه اخترچی



به مراتب کمتر است و در بسیاری از نواحی پیریت و کالکوپیریت در سطح نیز قابل مشاهده‌اند.

۵. رگه‌های کوارتزی شیری‌رنگ: فراوان‌ترین رگه‌های کوارتزی منطقه، رگه‌های کوارتزی شیری رنگ با بافت ریزبلور هستند. این رگه‌ها حاوی کانه‌زایی طلا و کانه‌زایی ضعیف مس می‌باشند.

کانه‌زایی در کانسار اخترچی ترکیب کانی‌شناسی ساده‌ای دارد. پیریت فراوان‌ترین کانه سولفیدی می‌باشد و به صورت شکل دار تا بی‌شکل مشاهده می‌شود. این کانه در ابعاد متفاوت از بلورهای بسیار ریز پنج میکرونی تا ۲۰۰ میکرون دیده می‌شود (شکل ۵-الف). کالکوپیریت دومین کانه سولفیدی فراوان است و به صورت بلورهای شکل دار و در ابعاد متفاوت دیده می‌شود. در برخی مقاطع بلورهای آن به نسبت درشت است و تا حدود ۲۰۰ میکرون می‌رسد (شکل ۵-ب). گالن به ندرت و با اندازه حدود ۱۰۰ میکرون مشاهده می‌شود (شکل ۵-پ). ذرات طلا توسط میکروسکوپ نوری مشاهده نشد. کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن به نسبت فراوان هستند و اغلب در اثر اکسیداسیون پیریت تشکیل شده‌اند. هماتیت (شکل ۵-ت) فراوان‌ترین کانی اکسیدی آهن می‌باشد. مالاکیت فراوان‌ترین کانی کربناتی مس با گسترش زیاد است و اغلب به صورت پرکننده فضاهای خالی در درزه‌ها تشکیل شده است.

کانه‌نگاری و پاراژنز سامانه کانه‌زایی اخترچی از طریق رخنمون‌های سطحی، نقشه‌برداری صحرایی و چاه‌پیمایی مغزه‌های حفاری توصیف و تعریف شدند. خلاصه‌ای از توالی پاراژنتیکی در شکل ۶ ارائه شده است. پاراژنز شامل دو مرحله هیپوژن و سوپرژن می‌باشد. زمان‌بندی نسبی رخدادهای متوالی توسط پاراژنز در سامانه اخترچی شرح داده می‌شود.

### مطالعات الکترون میکروپروب کانه‌زایی

تشخیص طلا در کانسنگ کانسارهای طلای کارلین از نظر متالورژی از اهمیت زیادی برخوردار است چون بخش زیادی از طلا به صورت ذرات نامرئی در کانی‌های دیگر رخ می‌دهد. مطالعات میکروسکوپی و الکترون‌ماکروپروب

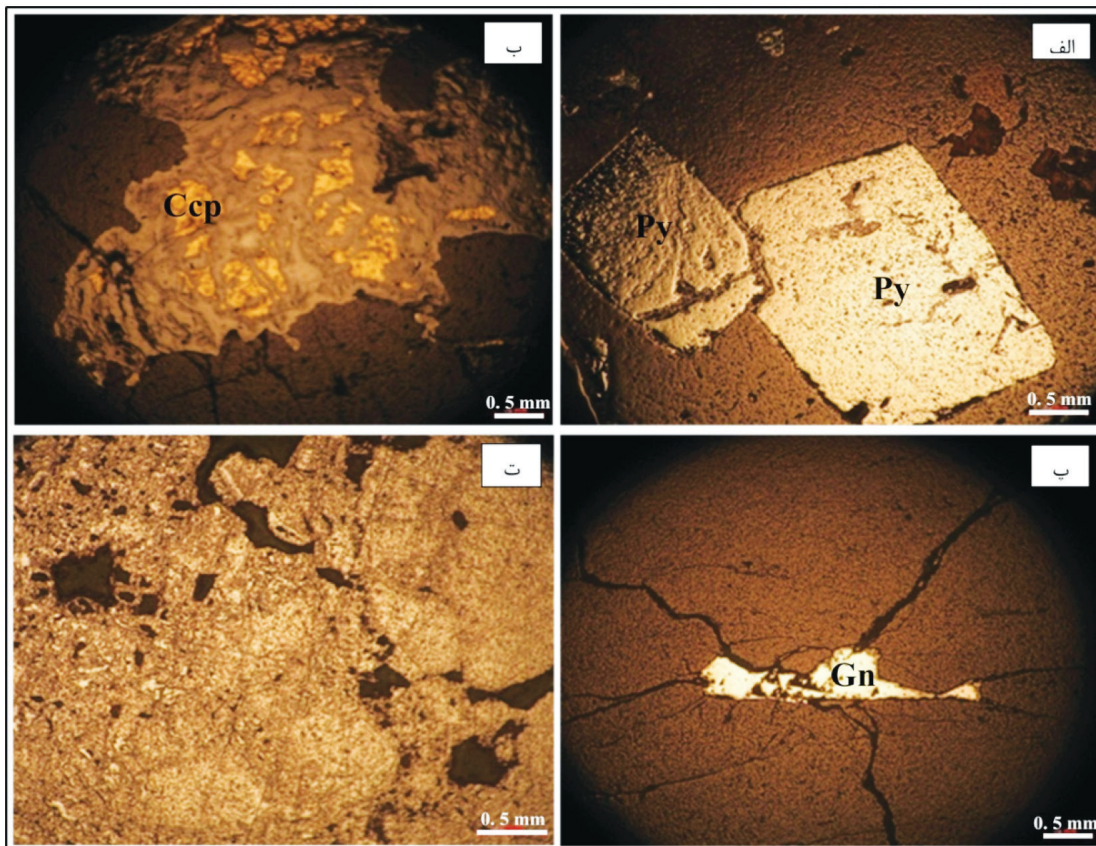
کانه‌زایی مس نیز در گستره وسیعی از پهنه دیده می‌شود اما در سنگ میزبان کربناته (طلادار) گسترش کمتری دارد. مهم‌ترین رخداد کانه‌زایی مس همراه با رگه‌های کوارتزی است. یکی از رگه‌های اصلی سیلیسی با کانه‌زایی طلا و مس در امتداد گسل چنار-کوه کلنگ با طول تقریبی پنج کیلومتر و به صورت ناپیوسته است (شکل ۱). رگه‌های کوارتزی درزه‌های کمتری دارند و در نتیجه آب‌های جوی کمتری در آنها نفوذ می‌کنند بنابراین عمق مقطع عرضی اکسیدی در این رگه‌ها چندان زیاد نیست. به طور کلی رگه‌های کانه‌دار موجود در گستره اخترچی (شکل ۱) عبارتند از:

۱. رگه‌های اکسید آهنی طلادار: این رگه‌ها بیشتر در مجموعه‌های دگرسانی اکسید آهنی با میزبان سنگ‌آهک دولومیتی پرمین تشکیل شده‌اند. روند آنها اغلب شمال غربی-جنوب شرقی تا شرقی-غربی است. هماتیت، گوتیت و لیمونیت به ترتیب فراوان‌ترین کانی‌های آهن دار در این رگه‌ها می‌باشد.

۲. رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی طلادار: فراوان‌ترین رگه‌ها در گستره می‌باشند. تعدادی از رگه‌های سیلیسی دارای مقادیر بالایی از اکسیدهای آهن هستند. هم‌رشدی و تشکیل هم‌زمان سیلیس و اکسید آهن در رگه‌ها قابل مشاهده است. این رگه‌ها علاوه بر سنگ‌های کربناتی پرمین، در سایر واحدها به ویژه در شیل‌های ژوراسیک نیز دیده می‌شوند.

۳. رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی مس دار: این رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی، دارای کانه‌زایی مس هستند. مهم‌ترین این رگه‌ها، در واحدهای کرتاسه تشکیل شده‌اند. این رگه‌ها در امتداد گسل‌ها تشکیل شده‌اند.

۴. رگه‌های سیلیسی-پیریتی: مشاهدات صحرایی و حضور قالب‌های پیریتی و مطالعه مقاطع صیقلی نشان می‌دهند، بخش زیادی از اکسیدهای آهن موجود در رگه‌ها و زون‌های اکسید آهنی به صورت اولیه پیریت هستند. رگه‌های سیلیسی به دلیل مقاومت بیشتر سیلیس در مقابل هوازگی و نفوذ کمتر آب‌های جوی به درون بخش‌های سیلیسی، عمق گسترش اکسید



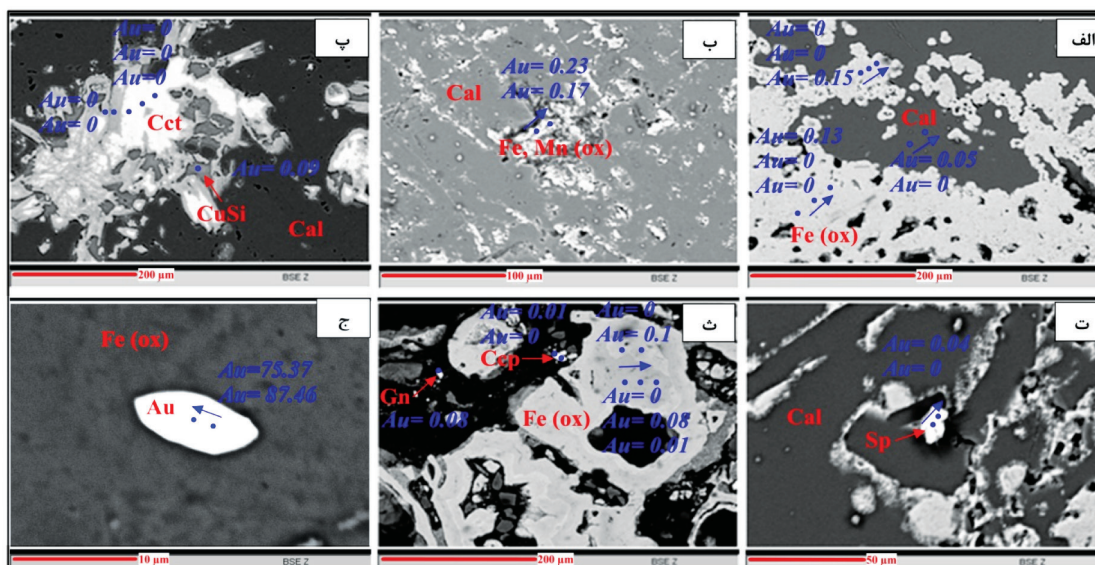
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی با نور انعکاسی از الف) بلورهای پیریت به طور کامل وجه دار، ب) تشکیل کانه کالکوپیریت و خردشدگی و هوازدگی آن در امتداد درزه‌ها، پ) بلورهای گالن تشکیل شده در درزه‌ها، ت) کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن بخش زیادی از سنگ را تشکیل می‌دهد و قالب‌های پیریت محفوظ مانده (نشانه‌های اختصاری از Py, Whitney and Evans, 2010: پیریت؛ Ccp: کالکوپیریت؛ Gn: گالن)

Minerals	Hypogene stage		Supergene stage
	First stage	Second stage	
Quartz			
Calcite			
Dolomite			
Barite	—————		
Magnetite		—————	
Pyrite	—————		
Gold		—————	
Galena		-----	
Chalcopyrite		—————	
FeO and Fe(OH)			—————
Malachite			—————
Covellite			—————

شکل ۶. نمودار توالی پاراژنری کانسار اخترچی

بسیار ریز با پراکندگی نامنظم وجود داشته است. طلایی که توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی دیده نمی‌شود به‌عنوان طلای نامرئی شناخته می‌شود. همواره ذرات ریز مجزا (با قطر کمتر از ۱/۰ میکرومتر) درون کانه‌های سولفیدی می‌باشند. اصلی‌ترین شکل طلا در کانسارهای طلای تیپ کارلین می‌باشند (Wang et al., 1994; Cabri et al., 1989; Hausen et al., 1986; Radtke, 1985 Hausen, 1981). ذرات طلا با ابعاد تا چند میکرون به‌صورت ادخال داخل اکسید آهن وجود دارند (بیشینه تا ۸۷/۴۶ درصد وزنی)، که در ترکیب آنها نقره و آرسنیک نیز وجود دارند (شکل ۷ و جدول ۱). فرآیند تشکیل این طلاها در داخل اکسیدهای آهن می‌تواند به‌دلیل رخدادهای گرمایی بعدی باشد. وجود آب‌های اسیدی یا اکسیدی احتمالی قادر به انحلال و اکسیداسیون پیریت بوده‌اند.

مقاطع صیقلی نشان می‌دهد طلا در اخترچی در مقیاس میکروسکوپی و ریزتر از میکروسکوپی رخ داده است. طلای ریزتر از میکروسکوپی یا نامرئی در اکسید آهن، اکسید آهن-منگنز، ترکیبات ثانویه مس، کربنات، کانه‌های سولفیدی کالکوپیریت، اسفالریت و گالن نیز با مقادیر کم رخ داده است (بیشینه تا ۲۳/۰ درصد وزنی در اکسیدهای آهن-منگنز). اکسیدهای آهن، حاصل اکسیداسیون پیریت‌های طلا دار می‌باشند و در برخی بخش‌های کانسار، قالب‌های پیریت باقی‌مانده‌اند (شکل ۴-الف). بنابراین شاید پیریت مهم‌ترین کانه طلا دار اولیه در کانسار اخترچی است. طلای مشاهده شده در پهنه اکسیدی تاکید می‌کند، طلا تحرک یافته و متمرکز شده است. داده‌های مطالعات الکترون ماکروپروب، مقادیر بسیار متغیری از طلا را در نقاط مختلف در اکسیدهای آهن نشان می‌دهد. این حقیقت نشان می‌دهد شاید طلا در پیریت به‌صورت ادخال‌های طلای



شکل ۷. تصاویر بک اسکتر\* از انواع کانی‌های میزبان طلای نامرئی در کانسار اخترچی به‌همراه محل نقاط تجزیه شده و مقادیر طلای اندازه‌گیری شده برحسب درصد وزنی به‌وسیله دستگاه الکترون ماکروپروب، الف) اکسید آهن و کلسیت، ب) اکسید آهن و منگنز، پ) کانی‌های ثانویه مس، ت) اسفالریت، ث) کالکوپیریت و گالن، ج) دانه طلای با ابعاد میکرومتری در زمینه اکسید آهن (نشانه‌های اختصاری از Whitney and Evans, 2010): کلسیت؛ Fe(ox): اکسید آهن؛ Fe, Mn(ox): اکسید آهن-منگنز؛ Cct: کالکوسیت؛ CuSi: سیلیکات مس؛ Sp: اسفالریت؛ Ccp: کالکوپیریت؛ Gn: گالن؛ Au: طلا

\* Back Scatter



جدول ۱. مقدار طلا و برخی از عناصر همراه با آن بر اساس نتایج تجزیه مایکروپروب برحسب درصد وزنی در کانی‌ها و کانه‌های سولفیدی کانسار اخترچی (فقط نقاطی که حاوی طلا بودند در این جدول نشان داده شده است)

ردیف	کانی	Au	Ag	As	Cu	Se	Te
۱	اکسید آهن	۰/۱۳	۰	۰/۲	۰	۰	۰/۰۲
۲	اکسید آهن	۰/۱۵	۰	۰/۲۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۱
۳	اکسید آهن	۰/۰۳	۰/۰۴	۰	-	-	۰
۴	اکسید آهن	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۷	۰
۵	اکسید آهن	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۰۳	۰
۶	اکسید آهن	۰/۱	۰	۰	-	-	۰
۷	اکسید آهن	۰/۰۹	۰	۰/۴۱	-	-	۰/۰۲
۸	اکسید آهن	۰/۱۶	۰/۰۳	۱/۳۳	-	-	۰/۰۲
۹	اکسید آهن	۰/۱۲	۰	۰/۲۳	-	-	۰
۱۰	اکسید آهن	۰/۰۸	۰	۰	۰/۰۴	-	-
۱۱	اکسید آهن	۰/۱	۰/۰۲	۰	۰	-	-
۱۲	اکسید آهن	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۸	-	-
۱۳	اکسید آهن	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	-	-
۱۴	اکسید آهن، منگنز	۰/۱۷	۰	۰	۰/۲۲	۰	۰
۱۵	اکسید آهن، منگنز	۰/۲۳	۰	۰	۰/۱۳	۰	۰
۱۶	کربنات	۰/۰۵	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۴	۰
۱۷	کربنات	۰/۰۵	۰	۰	۰/۱۱	۰	۰
۱۸	کربنات	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰
۱۹	کربنات	۰/۰۸	۰	۰	۰/۱۲	۰/۰۱	۰
۲۰	سیلیکات مس	۰/۰۹	۰/۱	۰	۲۵/۶۳	۰	۰
۲۱	کالکوپریت	۰/۰۱	۰/۰۶	۰	۳۵/۵۲	-	-
۲۲	گالن	۰/۰۸	۰	۰	۰/۰۵	-	-
۲۳	اسفالریت	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴	ذره طلا	۷۵/۳۷	۰/۲	۰/۱۴	-	-	۰
۲۵	ذره طلا	۸۷/۴۶	۰/۰۵	۰/۲۲	-	-	۰

## نتیجه‌گیری

گسترده سنگ‌های کانه‌دار است، به طوری که بخش مهمی از سولفیدهای اولیه به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. باریت در حاشیه و در نزدیکی مناطق کانه‌دار دیده می‌شود. ذرات طلا با ابعاد تا چند میکرون به صورت ادخال داخل اکسید آهن وجود دارند. طلائی ریزتر از میکروسکوپی یا نامرئی در کانی‌های اکسیدی، کربناتی و سولفیدی توسط مطالعات مایکروپروب تشخیص داده شد. کانسار اخترچی بیشترین شباهت را به کانه‌زایی نوع کارلین دارا می‌باشد. در ادامه برخی ویژگی‌های کانسار اخترچی با کانسار کارلین مقایسه شده است. ذخیره کارلین در طول یک شکستگی پوسته‌ای همراه با کافت پروتوزوئیک در حاشیه قاره امریکای شمالی، تشکیل شده است (Heitt et al., 2003). پهنه سندنج-سیرجان نتیجه کمپلکس دنباله‌دار پرکامبرین تا تکامل دوران سوم، همراه با تغییر شکل‌های چندگانه در

میزبان اصلی کانه‌زایی طلا در پهنه اخترچی واحدهای کربناته می‌باشد. گسل‌ها، پهنه‌های گسلی و برشی کنترل‌کننده‌های اصلی کانه‌زایی در گستره هستند و مهاجرت سیال کانه‌دار از طریق فضاهای ایجاد شده حاصل از عملکرد گسل‌ها صورت پذیرفته است. انواع دگرسانی شامل کربنات‌زدایی، سیلیسی شدن، اکسیداسیون و رسی شدن می‌باشد. همراهی مشخصی بین دگرسانی و کانه‌زایی طلا وجود دارد. پهنه‌های اکسید آهنی-سیلیسی از نظر کانه‌زایی طلا اهمیت زیادی دارند. مطالعات دگرسانی‌ها حاکی از حضور حفرات انحلالی، پهنه‌های کلسیت-آراگونیت و کارست‌ها حاکی از کربنات‌زدایی می‌باشد. انحلال کربنات، توسط ترکیب اولیه سنگ میزبان و شاید ساختارها کنترل می‌شود. از ویژگی‌های ذخیره، اکسیداسیون عمیق و

- رخساره‌های دگرگون است (Moritz et al., 2006). سنگ میزبان ذخایر طلا در منطقه کارلین واحدهای کربناته سازند پاپوویچ دونین هستند (Evans, 1980). این سازند متشکل از سنگ‌آهک میکرایتی، سیلتی و فسیل‌دار است. در معادن مختلف منطقه تغییرات اندکی در لیتولوژی سنگ میزبان وجود دارد (Teal and Jackson, 2002). بخش عمده کانه‌زایی طلای اخترچی در واحد سنگ‌آهک دولومیتی پرمین صورت می‌گیرد. اگرچه رگه‌های سیلیسی مس-طلادار در سایر واحدها نیز نفوذ کرده‌اند. نقش گسل‌ها به‌عنوان کنترل‌کننده کانه‌زایی طلا در کانه‌زایی‌های کارلین مورد پذیرش است (Palmer and kuiper, 2017; Rhy et al., 2015; Essman, 2010; Leonardson, 2010). از نظر ساختاری در منطقه کارلین، ساختارهای گسلی به‌عنوان معابر اولیه سیالات طلادار بوده‌اند و بر اساس Yigit (et al., 2003)، گسل‌های عادی پرشیب، محل اصلی کانه‌سازی هستند. برخی از آنها طی پالئوژئیک و مزوزوئیک به‌صورت یک گسل معکوس عمل کرده‌اند. یکی از سیمای مهم فرایند کانه‌زایی در ذخایر کارلین حضور برش‌های قبل از کانی‌سازی است. برش‌ها به‌عنوان کنترل‌کننده طلا در تیپ کارلین معرفی شدند (Pinet et al., 2018; Clark et al., 2017). روند گسل‌های اصلی اخترچی، شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌باشد که مهم‌ترین آنها گسل چنار-کوه‌کلنگ می‌باشد. محل کانه‌زایی‌ها به‌طور مشخص با گسلش در ارتباط است. شیب گسل‌های مرتبط با کانی‌سازی زیاد است. برش‌های قبل کانه‌زایی در منطقه مشاهده شده است.
- منابع**
- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران. ۵۸۶.
  - ثابت‌ور نامخواستی، ح.، میرنژاد، ح.، احمدی، ا. و سجادی آل‌هاشم، س.ف.، ۱۳۹۲. چگونگی شکل‌گیری کانسار منگنز بزین، اردستان (اصفهان) براساس بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های ریزکاوش الکترونی. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۱، ۵۳۷-۵۴۸.
  - جزئی، م.ا.، کریم‌پور، م.ح. و ملک‌زاده شفاوردی، ا.، ۱۳۹۵. بلورشناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی گالن، کانسار سرب نخلک (اصفهان). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۴، ۴-۱۸.
  - رحمانی جوانمرد، س.، طهماسبی، ز.، دینگ، ز. و احمدی خلجی، ا.، ۱۳۹۹. بررسی رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب خاکی در گارنت‌های موجود در سنگ‌های دگرگونی منطقه بروجرود (پهنه سهندج-سیرجان). مجله زمین‌شناسی ایران، ۵۳، ۸۷-۱۰۷.
  - سخدری، م.، یزدی، م. و بهزادی، م.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی، دگرسانی و کانی‌زایی طلا در منطقه شانق، دلیجان (اصفهان). مجله علوم زمین، ۸۱، ۷۵-۸۰.
  - شرکت مشاور پارسی کان‌کاو، ۱۳۹۳. گزارش پایان‌اكتشاف منطقه اخترچی، ۳۹۳.
  - طورچی، م. و نصراصفهان‌ی، ع.، ۱۳۷۶. بررسی زمین‌شناسی کانسارهای انجیره اصفهان. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۵، ۸۳-۹۶.
  - مهربانی، ب. و طالع‌فاضل، ا.، ۱۳۹۵. کانی‌شناسی و پارائز کانسنگ Cu-Au-Bi منطقه‌ی پی‌جویی کوه‌دم (شمال‌شرق اردستان)، مجموعه‌ی فلزایی انارک. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۴، ۶۳۵-۶۴۶.
  - مهوری، ر.، نقره‌بیان، م.، مکی‌زاده، م.ا. و پورنقشبند، غ.، ۱۳۹۰. بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی کانسار بنتونیت مهرآباد (شرق اصفهان). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۹، ۳-۱۴.
  - نظیری، م.ا.، ۱۳۹۰. اکتشافات لیتوشیمیایی طلا در آنومالی شماره ۳ کانسار کوه‌دم، اردستان، اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، تهران، ۱۸۶.
  - نوریان رامشه، ز.، یزدی، م.، رسا، ا. و مسعودی، ف.، ۱۳۹۵. توزیع طلا و عناصر فرعی در پیریت کانسار سنجده، منطقه معدنی موته، بر اساس نتایج آنالیز الکترون مایکروپروب. مجله زمین‌شناسی ایران، ۱۰، ۵۹-۷۰.
  - Arehart, G.B., 1996. Characteristic and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: a review. *Ore Geology Reviews*, 11, 383-403.
  - Arehart, G.B., Chryssoulis, S.L. and Kessler, S.E., 1993. Gold and arsenic in iron sulfides from sediment-hosted disseminated gold deposits: Implications for depositional processes. *Economic Geology*, 88, 171-185.
  - Cabri, L.J., Chryssoulis, S.L., DE Vil-

- liers, J. P.R., Laflamme, J.H.G. and Buseck, R., 1989. The nature of "invisible" gold in arsenopyrite. *The Canadian Mineralogist*, 27, 353-362.
- Christensen, O.D., 1996. Carlin Trend Geologic Overview, in *Field Trip Guide Book Compendium, Geology and Ore Deposits of the American Cordillera*, S.M. Green and E. Struhsacker, Editors, Geological Society of Nevada, 147-156.
  - Christensen, O.D., 1993. Carlin Trend Geologic Overview; in *Gold Deposits of the Carlin Trend, Nevada*, O.D. Christensen, Editor, Society of Economic Geologists. Guide book Series, 18, 12-26.
  - Clark Maroun, L.R., Cline, J., Simon, A., Anderson, P. and Muntean, J.L., 2017. High-grade gold deposition and collapse breccia formation, Cortez Hills Carlin-Type Gold Deposit, Nevada, USA. *Economic Geology*, 4, 112, 707-740.
  - Essman, J., 2010. Rain revisited: New structural and stratigraphic insights and their implications for Carlin-type deposits, In Steininger, R., Pennell, B. (Eds.), *Great Basin Evolution and Metallogeny*. Geological Society of Nevada. Symposium Proceeding, 511-535.
  - Evans, J.G., 1980. Geology of the rodeo Creek NE and Welches Canyon quadrangles, Eureka County, Nevada, *US Geology Survey Bulletin*, 1473, 81. *Gondwana Research*, 40, 43-57.
  - Fergusson, C.L., Nutman, A. P., Mohajjel, M. and Bennett, V., 2016. The Sanandaj-Sirjan zone in the Neo-Tethyan suture, western Iran: Zircon U-Pb evidence of late Palaeozoic rifting of northern Gondwana and mid-Jurassic orogenesis. *Gondwana Research*, 40, 3-57.
  - Hausen, D.M., Ahlrichs, J.W., Mueller, W. and Park, W.C., 1986. Particulate gold occurrences in three Carlin carbonaceous ores, In *Process Mineralogy VI*, ed. D. Hagni, TMS, Warrendale, PA, 193-214.
  - Hausen, D.M., 1981. Process mineralogy of auriferous pyritic ores at Carlin, Nevada, In Hausen, D.M. and Park, W.C., eds. *Process Mineralogy*, TMS, Warrendale, PA, 271-289.
  - Heitt, D.G., Dunbar, W.W., Thompson, T.B. and Jackson, R.G., 2003. Geology and geochemistry of the Deep Star gold deposit, Carlin Trend, Nevada. *Economic Geology*, 95, 1107-1135.
  - Hickey, K.A., Ahmed, A.D., Barker, S. and Leonardson, R., 2014. Fault-controlled lateral fluid flow underneath and in to a Carlin-Type Gold Deposit: Isotopic and geochemical footprints. *Economic Geology*, 109, 1431-1460.
  - Hofstra, A.H. and Cline, J.S., 2000. Characteristic and models for Carlin-type gold deposits. *Economic Geology Reviews*, 13, 163-220.
  - Leonardson, R.W., 2010. Barrick Cortez Gold Acres structure: in Steininger, R.C. and Pennell, B., eds., *Geological Society of Nevada Symposium 2010: Great Basin Evolution and Metallogeny*, Reno, Nevada, 2010, 17-29.
  - Moritz, R., Ghazban, F. and Singe, B.S., 2006. Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan Tectonic Zone, Western Iran: A Result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros orogen. *Economic Geology*, 10, 8, 1497-1524.
  - Muntean, J.L., 2018. The Carlin gold system: Applications to exploration in Nevada and elsewhere: in Muntean, J.L. (ed.), *Diversity of Carlin-Style Gold Deposits*, Society of Economic Geologists Reviews in *Economic Geology*, 19, 39-88.
  - Muntean, J.L. and Cline, J., 2018. Introduction: Diversity of Carlin-Style Gold Deposits: in Muntean, J.L. (ed.), *Diversity of Carlin-Style Gold Deposits*, Society of Economic Geologists Reviews in *Economic Geology*, 19, 1-5.



- Palmer, J.C. and Kuiper, Y.D., 2017. Structural geology of the eastern Nadaleen trend, Yukon Territory, Canada: Implications for recently discovered sedimentary rock-hosted gold. *Ore Geology Reviews*, 80, 48-60.
- Pinet, N., Sack, P.J., Mercier-Langevin, P., Lavoie, D., Dubé, B., Lane, J. and Brake, V., 2018. Breccia styles and controls on carbonate replacement-type ('Carlin-type') gold zones, Rackla belt, east-central Yukon: in Targeted Geosciences Initiative-2017 Report of Activities: Volume 1, (ed.) N. Rogers; Geological Survey of Canada, 136-168.
- Radtke, A.S., 1985. Geology of the Carlin gold deposit, Nevada. U.S. Geological Survey Professional Paper, 124.
- Rhys, D., Valli, F., Burgess, R., Heit, T.D., Griesel, G. and Hart, K., 2015. Controls of fault and fold geometry on the distribution of gold mineralization on the Carlin Trend: in Pennell, W.M. and Garside, L.J., eds., New concepts and discoveries. Geological Society of Nevada 2015 Symposium, 333-389.
- Teal, L. and Jackson, M., 2002. Geologic overview of the Carlin Trend gold deposits; in Gold deposits of the Carlin Trend, Nevada. Bureau of Mines and Geology, Bulletin, 111, 9-19.
- Vaughan, J., Hickey, K.A. and Barker S., 2016. Isotopic, Chemical, and textural evidence for pervasive calcite dissolution and precipitation accompanying hydrothermal fluid flow in low-temperature, carbonate-hosted, gold systems. *Economic Geology*, 5, 111, 1127-1157.
- Wang, K.R., Zhou, Y.Q., Sun, L.G. and Ren, C.G., 1994. Study on the gold occurrence from several typical Carlin-type gold deposits in China. Publishing House of University of Science and Technology of China, Hefei, 112
- Wang, K.R., Zhou, Y.Q., Li, F., Sun, L., Wang, J., Ren, C.G., Zhou, S.J., Tang, J.Y. and Yang, F.J., 1992. SPM and SEM study on the occurrence of micrograined gold in the Jinya gold deposit, Guangxi. *Chinese Science Bulletin*, 37, 1906-1910.
- Wells, J.D. and Mullens, T.E., 1973. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada. *Economic Geology*, 68, 187-201.
- Whitney D.L. and Evans B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Yigit, O., Nelson, E.P., Hitzman, M. and Hofstra, A.H., 2003. Structural controls on Carlin-Type Gold Mineralization in the Gold Bar District, Eureka County, Nevada. *Economic Geology*, 6, 98, 1173-1188.