

کانه‌زایی تنگستن (مس - طلا) چاه پلنگ جنوبی: کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و داده‌های ایزوتوپی

سامان قادری^۱، ابراهیم راستاد^۲ و نعمت‌اله رشیدنژاد عمران^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۷

چکیده

کانه‌زایی تنگستن (مس - طلا) کانسار چاه پلنگ جنوبی، در بخش میانی بلوک یزد، به‌صورت رگه - رگچه‌ای در پهنه‌های گسلی عادی قطع‌کننده ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شمشک (ژوراسیک پیشین) رخ داده است. رگه - رگچه‌های کانه‌دار بر حسب پاراژن کانه‌ها، نوع کانی‌های کوارتز و رنگ و بافت آنها به چهار نوع (۱) رگه - رگچه‌های کوارتز شیری - سفید دارای آپاتیت نسل اول - فلدسپار پتاسیم، (۲) رگه - رگچه‌های کوارتز سفید - آپاتیت دار نسل دوم، (۳) رگه - رگچه‌های کوارتز - هماتیت و (۴) رگه - رگچه‌های تأخیری کربناتی تقسیم می‌شوند. کانه اصلی تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی ولفرامیت است که همراه با رگه - رگچه‌های نوع ۱ رخ داده است. بلورهای ولفرامیت غنی از آهن بوده و بیشتر ترکیب فربریتی دارند. شلیت به عنوان کانه بعدی تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی در ۲ نسل رخ داده و غنی‌شدگی قابل توجهی از آرسنیک از خود نشان می‌دهد. شلیت نسل ۱ به‌صورت همراه با ولفرامیت در رگه - رگچه‌های نوع ۱، و شلیت نسل ۲ به‌صورت جانشینی در حاشیه ولفرامیت، درون شکستگی‌های کوارتز و همراه با فازهای آرسنیک‌دار، در رگه - رگچه‌های نوع دوم رخ داده است. طلا در کانسار چاه پلنگ جنوبی به‌صورت ادخال‌های ریز و یا به‌صورت همراه با شلیت‌های نسل ۲ تشکیل شده است. سولفیدهای فلزات پایه و آهن، کبالتیت، نیکلین، سولفیدهای مس - نیکل - آهن و بیسموت طبیعی نیز از دیگر کانه‌های تشکیل شده در رگه - رگچه‌های نوع دوم هستند. رگه - رگچه‌های نوع سوم کوارتز - هماتیت و نوع چهارم کربناتی بدون کانه‌زایی تنگستن (مس - طلا) هستند. سیال‌های کانه‌دار در کانسار چاه پلنگ جنوبی دارای شوری پایین و اسیدی بوده و تحت تأثیر واکنش با سنگ‌های دیواره، سبب فروشویی فلزات قلیایی و گسترش دگرسانی کلریتی در آنها شده‌اند. الگوی عناصر REE در رگه - رگچه‌های نوع اول و دوم، تحت تأثیر حضور کانی‌های آپاتیت و شلیت (جذب‌کننده عناصر MREE) به‌صورت محدب رو به پایین (بیشترین تحدب در محل عنصر Sm) و در رگه - رگچه‌های نوع سوم به دلیل نبود کانی‌های یادشده محدب رو به بالاست. الگوی مسطح عناصر REE در رگه - رگچه‌های نوع اول در نتیجه حضور کانی ولفرامیت است. رگه - رگچه‌های کانه‌دار نسبت به عناصر LREE دارای غنی‌شدگی هستند. تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی شبیه کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای، دارای همبستگی مثبت با بیسموت و بدون همبستگی با قلع و مولیبدن است. طلا نیز همبستگی مثبت با تنگستن، بیسموت و آرسنیک دارد. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سیال‌های کانه‌ساز که کوارتزهای شیری - سفید، کوارتز سفید و ولفرامیت از آن‌ها تشکیل شده‌اند، به‌ترتیب برابر با ۷.۹۱-۸.۶۱‰، ۵.۸۶-۶.۷۶‰ و ۳.۴۴-۶.۹۴‰ است. بر پایه مطالعات ایزوتوپی اکسیژن، منشأ اولیه سیال‌های کانه‌دار ماگمایی بوده که در اثر آمیختگی پیش‌رونده با آب‌های جوی محتوای فلزی خود را در رگه - رگچه‌ها ته‌نشست داده‌اند.

کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی رگه - رگچه‌ای تنگستن (مس - طلا)، ولفرامیت، شلیت، سیال‌های ماگمایی - جوی، چاه پلنگ جنوبی، بلوک یزد، ایران.

E-mail: Rastad@modares.ac.ir

*نویسنده مسئول: ابراهیم راستاد

۱- پیش‌نوشتار

بیشتر کانسارهای تنگستن در جهان، در ارتباط با توده‌های نفوذی فلسیک مزوزوییک رخ داده‌اند (BGS, 2011). در ایران با وجود گسترش این سنگ‌ها در مزوزوییک (پهنه سندج - سیرجان میانی، خاور ایران و ایران مرکزی)، به‌جز معادن نظام‌آباد، چاه کلب و چاه پلنگ جنوبی، معادن مهمی از تنگستن گزارش نشده و کانه‌زایی این عنصر بیشتر به‌صورت رخداد‌های معدنی چند فلزی همراه با سولفیدهای فلزات پایه و بدون ارزش اقتصادی، صورت گرفته است. کانسار تنگستن (مس - طلا) چاه پلنگ جنوبی در ۶۸ کیلومتری جنوب خاور انارک و ۸۶ کیلومتری شمال اردکان قرار دارد. استخراج مس و احتمالاً طلا از کانسار چاه پلنگ جنوبی از دیرباز مورد توجه بوده درحالی که استخراج تنگستن از این کانسار همزمان با فعالیت کارشناسان آلمانی در ایران در سال ۱۳۱۶ آغاز شده است. کارهای انجام شده در محدوده کانسار چاه پلنگ جنوبی بیشتر شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های مختلف، مطالعات عیارسنجی و کانی‌شناسی بوده که توسط Technoexport (1982) و جهانگیری و منصوری (۱۳۸۶) صورت گرفته است. در این پژوهش سعی شده است همراه با داده‌های جدیدی از کانی‌شناسی، برای اولین بار داده‌هایی از ژئوشیمی، منشأ و ماهیت سیال‌های کانه‌ساز کانسار چاه پلنگ جنوبی نیز ارائه شود.

۲- روش مطالعه

در این پژوهش پس از مطالعات صحرایی و بازبینی نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، ژئومتری کانه‌زایی در مقیاس رخنمون، ساخت و بافت کانه‌ها در مقیاس نمونه دستی، و بافت و کانی‌شناسی کانه‌ها و کانی‌ها در مقیاس میکروسکوپی با تهیه و مطالعه ۳۰ عدد مقطع نازک - صیقلی توسط میکروسکوپ پلاریزان نوری مورد بررسی قرار گرفته است. تجزیه شیمیایی کمی کانه‌ها به روش SEM-EDS، مطالعه ۷۰ نقطه به روش تصویربرداری SEM-BSE در آزمایشگاه MMI دانشگاه New Brunswick کانادا، تجزیه ۱۲ نمونه به روش ICP-MS و XRF به ترتیب در آزمایشگاه LabWest استرالیا و شرکت زرآزما و تجزیه ۸ نمونه کوارتز و ۷ نمونه ولفرامیت به منظور مطالعه ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در آکادمی علوم زمین چین از دیگر مطالعات صورت گرفته در این پژوهش بوده است.

۳- زمین‌شناسی

بخش میانی بلوک یزد که کانسار چاه پلنگ جنوبی در آن قرار دارد، دارای پی‌سنگ نوپروتوزوییک پسین - کامبرین پیشین است (شکل ۱). این بلوک در آن زمان در موقعیت کمان ماگمایی قاره‌ای قرار داشته (Ramazani & Tucker, 2003) و در

به سوی شمال خاور است. افزون بر کانسار اصلی، ۶ رخداد معدنی نیز در منطقه چاه پلنگ جنوبی گزارش شده است که پراکنندگی آنها در شکل ۲ مشخص شده است. بزرگ‌ترین این رخدادهای، که کانه‌زایی در آنها نیز به صورت رگه-رگچه‌ای رخداد داده است، رخدادهای معدنی شماره ۳ و ۵ هستند. بزرگ‌ترین رگه‌های کانهدار در رخدادهای معدنی طول ۱۰۰ متر و عرض ۷۰ سانتی‌متر دارند.

۴-۱. انواع رگه-رگچه‌های کانهدار

نظر به رخداد کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌ای در منطقه چاه پلنگ جنوبی، این رگه-رگچه‌ها از دید کانی‌شناسی، پاراژنر کانی‌ها، نوع کان‌های تنگستن و همراهی یا عدم همراهی کانی‌های سولفیدی مورد مطالعه قرار گرفته و انواع رگه‌ها، به ۴ دسته تقسیم شده‌اند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می‌شود؛ الف) رگه-رگچه‌های کوارتز شیری-سفید دارای ولفرامیت و شلیت که فراوان‌ترین رگه-رگچه‌های کانهدار در کانسار چاه پلنگ جنوبی هستند (شکل ۴-الف). کانی‌های باطله این نوع رگه-رگچه‌ها شامل کوارتز و به مقدار کمتر آپاتیت و فلدسپار پتاسیم هستند. ولفرامیت، شلیت و اذخال‌های ریز آرسنوپیریت، پیریت و کالکوپیریت درون ولفرامیت از کان‌های تشکیل شده در این نوع رگه-رگچه‌ها هستند؛ ب) رگه-رگچه‌های کوارتز سفید دارای شلیت-طلا و کانی‌های سولفیدی که کوارتز و به مقدار کمتر آپاتیت، کانی‌های باطله آنها را تشکیل می‌دهند (شکل ۴-ب). شلیت، طلا، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، پیرویت، فازهای آرسنیک‌دار، سولفیدهای مس-نیکل-آهن، نیکلین، کبالتیت، بیسموت طبیعی و اسفالریت، کان‌های تشکیل شده در این نوع رگه‌ها هستند؛ پ) رگه-رگچه‌های کوارتز-هماتیت که کوارتز سفید کانی باطله اصلی و هماتیت تنها کان موجود در این رگه-رگچه‌ها هستند (شکل ۴-ج). این نوع رگه-رگچه‌ها در درزه‌ها و شکستگی‌های هسته تاقدیس اصلی و به مقدار محدود در رگه-رگچه‌های کانسار چاه پلنگ جنوبی رخ داده‌اند و ت) رگه-رگچه‌های تأخیری کربناتی که جوان‌ترین رگه-رگچه‌های تشکیل شده در کانسار چاه پلنگ جنوبی هستند. این رگه‌ها به صورت مقاطع با رگه-رگچه‌های پیشین تشکیل شده‌اند (شکل ۴-د). این نوع رگه-رگچه‌ها بی‌بار و بدون کان‌زایی و کلسیت و دولومیت کانی‌های سازنده این رگه-رگچه‌ها هستند.

۴-۲. ساخت و بافت

در رگه-رگچه‌های کانهدار کانسار چاه پلنگ جنوبی، به ترتیب اهمیت و فراوانی، بافت‌های پرکننده فضای خالی، برشی (کاتاکلاستیکی)، جانشینی و دانه‌پراکنده انتشاری قابل مشاهده است.

– **بافت پرکننده فضای خالی:** این بافت اصلی‌ترین و مهم‌ترین بافت کان‌ها در کانسار چاه پلنگ جنوبی است و در رگه-رگچه‌های کوارتز کانهدار به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۵-الف). در این بافت، فضای خالی میان بلورهای کوارتز توسط ولفرامیت و کانی‌های سولفیدی پر شده است. در مواردی که مقدار کان‌های موجود در فضای خالی فزونی می‌یابد، این بافت حالت توده‌ای و نیمه‌توده‌ای به خود می‌گیرد.

– **بافت برشی (کاتاکلاستیکی):** این بافت به صورت برش‌های کوارتزی دارای خاموشی موجی، بلورهای ولفرامیت و پیریت دارای بافت کاتاکلاستیکی در رگه-رگچه‌های نوع اول و دوم رخ داده است (شکل ۵-ب). فعالیت گسل‌های عادی همزمان و پس از تشکیل کانی‌ها، سبب گسترش بافت برشی شده است.

– **بافت جانشینی:** جانشینی آپاتیت و فلدسپار پتاسیم که در مراحل اولیه رخداد رگه-رگچه‌های نوع اول تشکیل شده‌اند، توسط کلریت، کوارتز و ولفرامیت در سطح گسترده‌ای در کانسار چاه پلنگ جنوبی رخ داده است (شکل ۵-ج). بافت جانشینی همچنین در سنگ دیواره رگه-رگچه‌های کانهدار رخ داده است.

– **بافت دانه‌پراکنده انتشاری:** این بافت در سنگ دیواره پیرامون رگه-رگچه‌های کانهدار رخ داده است. ولفرامیت با بافت دانه‌پراکنده انتشاری در سنگ‌های به شدت

طول پالئوزوئیک-تریاس میانی توسط رسوبات سکویی (پلاتفرمی) و فلات قاره‌ای پوشیده شده است (Wendt et al., 2005). مجموعه گوه‌های برافزاینده پالئوتیتس (دونین پسین-تریاس میانی) نیز که در نتیجه فروانش صفحه اقیانوسی پالئوتیتس به زیر صفحه قاره‌ای توران تشکیل شده‌اند، در بخش میانی این بلوک قرار گرفته‌اند و گسترش و ستبرای قابل توجهی دارند (Bagheri & Stampfli, 2008). در تریاس پسین، این بخش به دنبال برخورد با صفحه توران، به عنوان پیش‌بوم رشته‌کوه‌های کیمرین رفتار کرده و محل تجمع رسوبات فلیشی و مولاسی گروه شمشک (تریاس پسین-ژوراسیک پیشین) شده است (Wilsen et al., 2009; Zanchi et al., 2009). دگرشکلی و دگرگونی رسوبات گروه شمشک و سنگ‌های کهن‌تر به دنبال فروانش صفحه اقیانوسی نوتیتس به زیر صفحه قاره‌ای ایران مرکزی در ژوراسیک میانی رخ داده است (Agard et al., 2011; Sheibe et al., 2010; Mahmoudi et al., 2010). قرار گرفتن بخش میانی بلوک یزد در بالای پهنه فروانش نوتیتس، سبب ایجاد کشش در موقعیت پشت کمان ماگمایی شده است. نخستین فاز کششی ایجاد شده در ژوراسیک پسین سبب گسترش ساختارهای کششی همچون گسل‌های عادی شده است (Bagheri & Stampfli, 2008; Agard et al., 2011). فرایندهای ماگمایی در این بخش، در ژوراسیک فعال بوده است که از آن جمله می‌توان به توده‌های گرانیتوئیدی شیرکوه یزد (Sheibe et al., 2010)، زرین (Valizadeh et al., 2002) و آثار جزیری رخنمون یافته از آن در منطقه چاه پلنگ جنوبی اشاره کرد.

کانسار چاه پلنگ جنوبی در یال جنوب باختری یک تاقدیس بزرگ با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری قرار گرفته است (شکل ۲). سنگ درونگیر کانسار، ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شمشک است که در رخساره‌های پایین شیب سبز دگرگون شده و دگرشکلی قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهند. درجه دگرگونی سنگ‌ها پایین بوده، به طوری که بافت‌های رسوبی به خوبی حفظ شده‌اند (Technoexport, 1982). رخنمون سنگ‌های آذرین در منطقه چاه پلنگ جنوبی دیده نمی‌شود. با این وجود، قطعاتی از سنگ‌های گرانیتی پورفیری کان‌زایی شده (Technoexport, 1982)، سنگ‌های داسیت پورفیری دارای پیریت‌های اکسید شده و قطعات گرانیتی دگرسان شده دارای کان‌زایی ولفرامیت در دمپ کارهای کهن دیده شده‌اند. در بخشی از توده گرانیتوئیدی زرین نیز (در ۵۰ کیلومتری جنوب خاور کانسار چاه پلنگ جنوبی) کان‌زایی طلا (تنگستن) رخ داده که آثار معدن کاری کهن به صورت کنده کاری‌های بسیار و کارهای کهن در این محدوده گسترش دارد. گسل‌های موجود در محدوده کانسار چاه پلنگ جنوبی بر پایه نوع سازوکار و نوع حرکت به ۳ سامانه اصلی تقسیم می‌شوند (شکل ۲)؛ الف) گسل‌های امتدادلغز راست‌بر دارای مؤلفه رانندگی که دارای امتداد شمال باختری-جنوب خاوری و شیب زیادی (۸۰ درجه) هستند؛ ب) گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر دارای مؤلفه رانندگی که دارای امتداد کلی شمال خاوری-جنوب باختری هستند و سبب جابه‌جایی چین‌ها و گسل‌های نوع الف شده‌اند؛ پ) گسل‌های عادی که امتداد آنها شمال باختری-جنوب خاوری و شمالی-جنوبی است. پهنه برشی چاه پلنگ جنوبی با راستای شمال باختر-جنوب خاور و سوی برش مورب‌لغز (امتدادلغز دارای مؤلفه رانندگی) توسط گسل‌های سامانه الف ایجاد شده که سبب دگرشکل شدن سنگ‌های سازند شمشک شده است.

۴-کانه‌زایی

کانه‌زایی در کانسار چاه پلنگ جنوبی به صورت رگه-رگچه‌ای رخ داده است (شکل ۳-الف). بزرگ‌ترین رگه‌ها دارای طول ۳۰۰ متر و عرض ۲ متر هستند که راستای آنها شمال باختر-جنوب خاور بوده و مطابق بر گسل‌های عادی منطقه هستند (شکل ۳-ب). مقدار شیب این گسل‌ها میان ۶۵ تا ۸۰ درجه متغیر و شیب آنها

دگرسان شده دارای آپاتیت و کلریت تشکیل شده است (شکل ۵-د). کبالتیت با بافت انتشاری در پیرامون رگه- رگچه های سولفیدی رخ داده است.

۵- کانی شناسی

۵-۱. کانه نگاری

مطالعات کانه نگاری توسط میکروسکوپ پلاریزان نوری (دانشگاه تربیت مدرس) و تصویربرداری SEM-BSE با میکروسکوپ الکترونی مدل JEOL JSM6400 (دانشگاه New Brunswick کانادا) انجام شده است.

– **ولفرامیت:** ولفرامیت، اصلی ترین و فراوان ترین کانه تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی است. این کانی در فضای خالی وسط رگه- رگچه های کوارتز شیری- سفید تشکیل شده (شکل ۵-الف) و اندازه بلورهای آن از چند میلی متر تا بیشینه ۵ سانتی متر متغیر است. ولفرامیت به صورت هم رشد با شیلیت های نسل اول نیز دیده می شود و این کانه همراه با کلریت، جانشین بلورهای آپاتیت و فلدسپار پتاسیم شده است (شکل ۶-الف). بلورهای ولفرامیت دارای ادخال های ریز آرسنوپیریت، پیریت و کالکوپیریت بوده و در امتداد شکستگی ها و حاشیه های خود توسط شیلیت نسل دوم و اکسیدهای آهن جایگزین شده است (شکل ۶-ب).

– **شیلیت:** شیلیت از دید فراوانی دومین کانه تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی بوده و دارای ۲ نسل است. شیلیت نسل اول به صورت بلورهای کاملاً خود شکل و درشت هم رشد با ولفرامیت در رگه- رگچه های کوارتز شیری- سفید تشکیل شده است (شکل ۷-الف). شیلیت نسل دوم به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا بی شکل در شکستگی های کوارتز (شکل ۷-ب)، ادخال در فازهای آرسنیک دار (شکل ۷-ج) و جانشینی در حاشیه بلورهای ولفرامیت (شکل ۶-ب) تشکیل شده است. همراهی نزدیک با فازهای غنی در آرسنیک و کانه زایی طلا از ویژگی های شیلیت نسل دوم است.

– **طلا:** طلا به صورت دانه های بی شکل تا شکل دار و یا به صورت رشته های طولی، در اندازه متوسط میان ۲۰ تا ۱۵۰ میکرون رخ داده است. طلا در کانسار چاه پلنگ جنوبی رابطه نزدیکی با شیلیت های نسل ۲ دارد و به صورت هم رشد در شکستگی های کوارتز (شکل ۸-الف) و یا به صورت ادخال در آنها (شیلیت نسل ۲ که همراه با فازهای آرسنیک دار تشکیل شده اند) رخ داده است (شکل ۸-ب). طلا همچنین همراه با مجموعه شیلیت نسل ۲ و اکسیدهای آهن، که در حاشیه ها جانشین بلورهای ولفرامیت شده اند (شکل های ۸-ج و د) تشکیل شده است.

– **کالکوپیریت:** کالکوپیریت اصلی ترین و فراوان ترین کانه مس، در کانسار چاه پلنگ جنوبی بوده و در ۲ نسل رخ داده است. اولین نسل کالکوپیریت به صورت ادخال های ریز بی شکل درون ولفرامیت های موجود در رگه- رگچه های کوارتز شیری- سفید و یا در کانی های باطله همراه با ولفرامیت تشکیل شده است. کالکوپیریت نسل دوم بافت پرکننده فضای خالی دارد و همراه با رگه- رگچه های کوارتز سفید رنگ رخ داده است. کالکوپیریت نسل ۲ به صورت تک کانی دارای حاشیه کالکوسیتی و یا همراه با دیگر سولفیدها از جمله بورنیت و پیرویت رخ داده است (شکل ۹-الف). – **بورنیت:** بورنیت پس از کالکوپیریت، دومین کانه فراوان مس در کانسار چاه پلنگ جنوبی است و همراه با دیگر کانی های سولفیدی و آرسنیدی در رگه- رگچه های کوارتز سفید رخ داده است. این کانی بیشتر با پیرویت، سولفیدهای مس- نیکل- آهن و کالکوپیریت همراه بوده و در حاشیه ها به کوولیت تبدیل شده است (شکل ۹-الف). در حالی که، به صورت بی شکل در فضای میان بلورهای پیرویت دیده می شود، دارای تیغه های بسیار نازکی است که مقدار مس در آنها کمتر است (شکل ۹-ب).

– **فازهای دارای آرسنیک:** کانی های آرسنیک دار در کانسار چاه پلنگ جنوبی در ۲ نسل تشکیل شده اند. نسل اول به صورت ادخال های ریز آرسنوپیریت درون

بلورهای ولفرامیت تشکیل شده است (شکل ۱۰-الف). نسل دوم به صورت فازهای آرسنیک دار (آرسنات های مس- آهن- کبالت) همراه با شیلیت های نسل دوم رخ داده است. فازهای آرسنیک دار دارای ادخال های شیلیت، درون بلورهای درشت کلریت و در شکستگی های ولفرامیت تشکیل شده اند (شکل ۱۰-ب).

– **پیریت:** پیریت در کانسار چاه پلنگ جنوبی در ۲ نسل رخ داده است. نسل اول به صورت ادخال های ریز (شکل ۱۱-الف) درون بلورهای ولفرامیت تشکیل شده است. نسل دوم به صورت رگچه های نازک پیریتی در سنگ های دیواره ماسه سنگی تشکیل شده است (شکل ۱۱-ب).

– **پیرویت:** پیرویت به صورت بلورهای درشت خود شکل رخ داده است که دارای شکستگی های فراوان است. فضاهای خالی میان بلورهای پیرویت توسط بورنیت پر شده است. این کانی همچنین با کالکوپیریت، اسفالریت و سولفیدهای مس- نیکل- آهن همراه است.

– **سولفیدهای مس- نیکل- آهن:** سولفیدهای مس- نیکل- آهن به مقدار خیلی کم، همراه با بورنیت و پیرویت در کانسار چاه پلنگ جنوبی رخ داده اند (شکل ۱۲-الف).

– **نیکلین و کبالتیت:** نیکلین به مقدار خیلی محدود همراه با بورنیت و پیرویت تشکیل شده است (شکل ۱۲-ب). کبالتیت به صورت افشان در پیرامون رگچه های پیریتی درون سنگ دیواره رخ داده است (شکل ۱۲-ج).

– **بیسموت طبیعی:** بیسموت طبیعی در کانسار چاه پلنگ جنوبی به صورت اشکال تیغ ماهی مانند همراه با بورنیت، کالکوپیریت و پیرویت رخ داده است (شکل ۱۲-د).

– **اسفالریت:** اسفالریت به صورت خیلی کم رخ داده و شکستگی های پیرویت را پر کرده است (شکل ۹-ب).

۵-۲. کانی های سنگ ساز

– **کوارتز:** کوارتز در ۳ نسل در کانسار چاه پلنگ جنوبی رخ داده است. نسل اول شامل کوارتزهای شیری- سفید رنگ بوده و همراه با آپاتیت های نسل اول و فلدسپار پتاسیم در رگه- رگچه های نوع اول رخ داده است. نسل دوم و سوم شامل کوارتزهای سفید رنگ بوده که در رگه- رگچه های نوع دوم همراه با آپاتیت های نسل دوم (کوارتز نسل دوم)، و همراه با هماتیت در رگه- رگچه های نوع سوم (کوارتز نسل سوم) تشکیل شده است.

– **آپاتیت:** آپاتیت در ۲ نسل رخ داده است. نسل اول همراه با فلدسپار پتاسیم در رگه- رگچه های نوع اول تشکیل شده که توسط ولفرامیت و کلریت جانشین شده است (شکل ۶-الف). نسل دوم همراه با شیلیت های نسل دوم در رگه- رگچه های نوع دوم رخ داده است (شکل ۷-ب).

– **فلدسپار پتاسیم:** فلدسپار پتاسیم در یک نسل و همراه با آپاتیت های نسل اول در رگه- رگچه های نوع اول تشکیل و بعداً توسط کلریت و ولفرامیت جانشین شده اند (شکل ۵-ج).

۵-۳. شیمی کانه ها

ترکیب شیمیایی کانه های موجود در کانسار چاه پلنگ جنوبی به روش تجزیه کمی SEM-EDS با استفاده از میکروسکوپ الکترونی در دانشگاه New Brunswick مشخص شده است.

– **ولفرامیت:** کانی ولفرامیت در کانسار چاه پلنگ جنوبی، از انواع غنی از آهن سری ولفرامیت بوده و ترکیب آن شامل ۹۱.۸٪ کانی فربریت و ۸.۲٪ کانی هوبنریت است. غنی شدگی عنصر آرسنیک به طور میانگین تا ۰.۴۲٪ در کانی ولفرامیت، قابل توجه است. بلورهای ولفرامیت در کانسار چاه پلنگ جنوبی بدون منطقه بندی بوده و ترکیب آنها در هسته و حاشیه ها یکسان است (جدول ۱).

– **شیلیت:** شیلیت نسل ۱ به طور غیر عادی، غنی در آرسنیک (۲.۳۶٪) است. این نسل از شیلیت دارای مقدار کمی آهن و منگنز است و بدون منطقه بندی مشخص است.

(Fresh sandstone) رسم شده‌اند (شکل ۱۴). نمونه ماسه‌سنگ دارای دگرسانی خفیف، کمی افزایش حجم از خود نشان می‌دهد، در حالی که نمونه ماسه‌سنگ به‌شدت دگرسان شده بدون تغییر حجم است. با وجود تفاوت در تغییرات حجم در ماسه‌سنگ‌های دارای دگرسانی خفیف و شدید، الگوی تغییرات عناصر در آنها، تقریباً مشابه است و تنها در میزان تغییر غلظت عناصر آنها تفاوت‌های کمی دیده می‌شود. مقدار CaO ، MgO ، Fe_2O_3 و P_2O_5 و مواد فرار (L.O.I.) در ماسه‌سنگ‌های دارای دگرسانی شدید افزایش یافته است که نسبت به افزایش این اکسیدها در ماسه‌سنگ‌های کم‌دگرسان، کمی بیشتر است. مقدار اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 و Na_2O و K_2O در نمونه‌های دگرسان شده کاهش یافته است. به‌طور کلی مقدار عناصر کانسار ساز چاه پلنگ جنوبی در ماسه‌سنگ‌های دگرسان شده نسبت به ماسه‌سنگ‌های سالم و بدون دگرسانی افزایش یافته است. مقدار عناصر تنگستن، مس، آرسنیک، کبالت، نیکل، بیسموت به‌ترتیب دارای بیشترین افزایش و مقدار عناصر قلع، اسکاندیم، نیویم، تانتالیم دارای افزایش به‌نسبت کمتری هستند (شکل ۱۴).

۶-۲. ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب (REE) در رگه-رگچه‌های کانه‌دار

به منظور مطالعه رفتار ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب، در انواع رگه-رگچه‌های کانه‌دار کانسار چاه پلنگ جنوبی، ۶ نمونه به روش ICP-MS تجزیه و نتایج به‌دست آمده، بر حسب مقادیر و نسبت‌های شهاب‌سنگ کندرینی (Nakamura, 1974) بهنجار و نمودارهای مربوط رسم شد (شکل ۱۵).

الگوی عناصر خاکی کمیاب در رگه-رگچه‌های کوارتز-ولفرامیت-و کوارتز-سولفید به‌صورت محدب و خمیده رو به پایین و در رگه-رگچه‌های کوارتز-همانیت محدب رو به بالاست (شکل ۱۵). مقدار ΣREE در رگه-رگچه‌های کانه‌دار متغیر و شامل ۶۹ تا ۲۵۲ در رگه-رگچه‌های کوارتز-ولفرامیت، ۴۰ در رگه-رگچه‌های کوارتز-سولفید و ۲۰ در رگه-رگچه‌های کوارتز-همانیت است. نسبت CeN/LuN همه نمونه‌های رگه-رگچه‌های کانه‌زایی شده بالاتر از ۱ است که نشان‌دهنده غنی بودن سیال کانه‌ساز در عناصر LREE نسبت به عناصر HREE است. میزان تفريق این عناصر که توسط نسبت LaN/YbN بیان می‌شود به ترتیب در انواع رگه-رگچه‌های کانه‌دار برابر ۲.۵۹-۶.۷۸، ۷.۶۵ و ۲.۶۶ است. مقدار بی‌هنجاری عنصر Eu (Eu/Eu*) در همه انواع رگه-رگچه‌ها، خیلی پایین و بیشتر نزدیک به ۱ است.

۶-۳. همبستگی عناصر کانسار ساز

شبهات در الگوهای همبستگی میان دو یا چند عنصر مشخص، نشان‌دهنده رفتار ژئوشیمیایی یکسان آنها در نتیجه فرایندهای ژئوشیمیایی است (Rollinson, 1993). Cox & Clifford (1982) روشی را برای نمایش نموداری داده‌های ضریب همبستگی پیشنهاد کردند. روش آنها که کاملاً توصیفی است، شامل استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و نمایش حجم زیادی از داده‌ها به‌صورت نمودار است. در محور Y عنصر مورد نظر و در محور X مجموعه عناصری که ضریب همبستگی آنها با عنصر قرار گرفته در محور Y مد نظر است قرار می‌گیرد. ضریب همبستگی برای هر عنصر اختیاری در بازه ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرد.

برای بررسی میزان همبستگی عناصر کانسار ساز کانسار چاه پلنگ جنوبی، ۴۵ نمونه کانه‌زایی شده از دیوهای معدنی کهن، رگه‌های سیلیسی دارای اکسیدهای آهن ثانویه و کنده‌کاری‌های کهن بخش جنوبی که به روش Atomic Absorption در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی (جهانگیری و منصوری، ۱۳۸۶) تجزیه شده بودند، انتخاب و الگوی همبستگی عناصر رسم شد (شکل ۱۶).

تنگستن همبستگی مثبتی با طلا و آرسنیک دارد و در میان عناصری که به‌طور معمول در کانسارهای تنگستن رخ می‌دهند، با بیسموت دارای همبستگی مثبت و با قلع و مولیبدن بدون همبستگی است. طلا با بیسموت، تنگستن و آرسنیک همبستگی مثبت دارد و با عناصر مس، قلع، نیکل و روی بدون همبستگی است. عناصر مس

مقدار غنی‌شدگی عنصر آرسنیک در شلیت نسل ۲، نسبت به شلیت نسل ۱ کمتر (1.59%) است. مقدار آهن شلیت‌های نسل دوم، نسبت به انواع نسل اول بیشتر است (جدول ۲).

— **طلا:** دانه‌ها و رشته‌های طلای آزاد، دارای همراهی نزدیکی با شلیت‌های نسل دوم و کانی‌های سولفیدی آرسنیک‌دار (آرسنوپیریت و فازهای آرسنیک‌دار) هستند. نتایج تجزیه ذرات طلا، نشان‌دهنده درجه خلوص (Fineness) بالا (۹۹۸) بوده و مقدار عنصر نقره این ذرات به شدت پایین است (جدول ۳).

— **دیگر کانه‌ها:** محتوای فلزات گرانبه‌های کانه‌های سولفیدی و آرسنیدی موجود در کانسار چاه پلنگ جنوبی خیلی ناچیز و کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده است. پیرویت ترکیب به‌نسبت یکنواخت و مقادیر متفاوتی از مس (بین 0.61 تا 1.81 درصد) دارد. بلورهای بورنیت ترکیب یکسانی دارد و بدون عناصر جزئی و کمیاب هستند. کالکوپیریت‌های کانسار چاه پلنگ جنوبی، بدون عناصر جزئی بوده و تنها در دو نمونه غنی‌شدگی قابل توجهی از نیکل (0.1 و 0.25 درصد) رخ داده است. بلورهای پیریت بدون عنصر آرسنیک و مقدار عناصر گرانبه‌های آنها نیز پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بوده است. اسفالریت دارای غنی‌شدگی بالایی در عنصر مس (۵ درصد) است. بلورهای کبالتیت دارای غنی‌شدگی شدیدی در نیکل (۶ درصد) بوده و مقدار کبالت آنها به‌نسبت پایین (۲۵ درصد در مقابل ۳۵ درصد در بلورهای کامل کبالتیت) است. همچنین بلورهای کبالتیت دارای مقدار بالایی آهن (۴ درصد) هستند. سولفیدهای مس-نیکل-آهن، غنی‌شدگی بالایی در کبالت (۷ درصد) از خود نشان می‌دهند. آرسنات‌های همراه با شلیت‌های نسل دوم دارای مقدار زیادی کلسیم (۱۵ درصد)، آهن، مس (۹ درصد) و کبالت (۴ درصد) هستند.

۵-۴. توالی پاراژنی

بر پایه مطالعات انجام شده در مقیاس صحرایی، نمونه دستی، میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی و نتایج تجزیه کمی SEM-EDS، توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌های کانسار تنگستن (مس-طلا) چاه پلنگ جنوبی با توجه به ارتباط انواع رگه-رگچه‌های کانه‌دار با یکدیگر رسم شده که در شکل ۱۳ آورده شده است.

۶-ژئوشیمی

۶-۱. بررسی تغییرات (موازنه) جرم در سنگ دیواره رگه-رگچه‌های کوارتز شیری-سفید دارای ولفرامیت و شلیت

اساس موازنه جرم امروزی را Gresens (1967) بر پایه تغییرات متقابل حجم، ترکیب و چگالی سنگ‌های دگرسان شده نسبت به سنگ‌های اولیه بنا نهاد. Grant (1986 & 2005) با جایگزین کردن حجم و چگالی به وسیله جرم، نسخه جدیدتری از معادله موازنه جرم گرزنز (Gresens) ارائه کرد، که در آن مقایسه مستقیم جرم انتقال یافته در سنگ‌های اولیه و دگرسان شده به وسیله نمودارهای ISOCON امکان‌پذیر است. در این نمودار مقادیر عنصری سنگ‌های اولیه و دگرسان شده در برابر هم رسم می‌شود. عناصر غیر متحرک در نمودارهای ISOCON روی یک خط مستقیم که از مبدأ عبور می‌کند، قرار می‌گیرند، که این خط ISOCON (خط هم غلظت) نامیده می‌شود. عناصری که در بالای خط هم غلظت قرار می‌گیرند، در طی دگرسانی غنی و عناصری که در زیر این خط قرار می‌گیرند، دچار تهی‌شدگی شده‌اند (Grant, 1986). در کانسار چاه پلنگ جنوبی، عناصر تیتانیم (TiO_2) و آلومینیم (Al_2O_3) غیر متحرک هستند و خط هم غلظت توسط محل قرارگیری آنها در روی نمودار مشخص می‌شود.

به منظور بررسی تغییرات جرم در ماسه‌سنگ‌های میزبان رگه-رگچه‌های کوارتز-ولفرامیت و تعیین ماهیت شیمیایی سیال‌های کانه‌ساز، یک نمونه ماسه‌سنگ دارای دگرسانی خفیف (Weakly altered) و یک نمونه به‌شدت دگرسان شده (Highly altered) در برابر نمونه ماسه‌سنگ سالم و بدون دگرسانی

چیره از کوارتز و کانی‌های سری ولفرامیت (هونریت، ولفرامیت و فربریت) تشکیل شده است. در برخی کانسارها شیلیت و طلا نیز دیده می‌شود (BGS, 2011; Schubert et al., 2006). مولیبدنیت، آرسنوپیریت، پیریت، پیرویت، سولفیدهای فلزات پایه، کانی‌های بیسموت، هماتیت و سولفوسالت‌ها، از دیگر کانه‌های موجود در کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای هستند (Elliot et al., 1986). در کانسار چاه پلنگ جنوبی، کانه اصلی تنگستن ولفرامیت است که توسط مقدار کمتری شیلیت همراهی می‌شود. بلورهای ولفرامیت چاه پلنگ جنوبی نسبت به آهن غنی‌تر هستند و ترکیب فربریتی دارند. شیلیت در ۲ نسل در کانسار چاه پلنگ جنوبی رخ داده است. نسل اول به‌صورت هم‌رشد با ولفرامیت و نسل دوم همراه با فازهای آرسنیک‌دار و طلا تشکیل شده است. یکی از ویژگی‌های شیلیت‌های کانسار چاه پلنگ جنوبی غنی‌شدگی قابل توجه آنها در آرسنیک است (قادری، ۱۳۹۱). وجود مقادیر بالای آرسنیک در شیلیت، به دلیل جانشینی این عنصر به جای تنگستن موجود در شیلیت است (Brugger et al., 1998). کانه‌زایی طلا در کانسار چاه پلنگ جنوبی ارتباط نزدیکی با شیلیت‌های نسل دوم داشته و به‌صورت ادخال یا هم‌رشد با آنها تشکیل شده است. اصولاً کانه‌زایی طلا در کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای همراه با شیلیت و آرسنوپیریت (Nekrasov, 1996) و در برخی حالات به‌صورت ادخال درون شیلیت (Graupner et al., 2010) صورت می‌گیرد.

۸-۲. ژئوشیمی

افزایش مقدار اکسیدهای عناصر منیزیم، آهن، فسفر و کلسیم در سنگ دیواره (ماسه‌سنگ) دگرسان شده نشان‌دهنده رخداد دگرسانی کلریتی و تشکیل آپاتیت است. از سوی دیگر کاهش میزان سیلیس و اکسید عناصر سدیم، پتاسیم و آلومینیم در ماسه‌سنگ‌های دگرسان شده نشان‌دهنده ناپایدار شدن و انحلال آلپیت و فلدسپار پتاسیم است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سیال‌های گرمایی ماهیتی اسیدی داشته و در نتیجه واکنش این سیال‌های اسیدی با سنگ‌های دیواره، انحلال عناصر قلیایی از جمله سدیم و پتاسیم صورت گرفته، که در پایان سبب افزایش pH سیال و گسترش دگرسانی کلریتی در سنگ‌های دیواره شده است. مطالعات تجربی ثابت کرده است که محلول‌های شور، احیایی و اسیدی دارای بیشترین حلالیت نسبت به تنگستن هستند و این عنصر در آنها به‌صورت کمپلکس‌های تنگستات ساده حمل می‌شود (Wei et al., 2011). شکل ۱۴ نشان می‌دهد که مقدار عناصر کانسار ساز در ماسه‌سنگ‌های دگرسان شده افزایش یافته، که این خود دلیلی بر غنی بودن سیال‌های کانه‌ساز از این عناصر است. تنگستن و مس به‌ترتیب دارای بیشترین افزایش در سنگ‌های دگرسان شده هستند. آرسنیک، کبالت، نیکل و بیسموت افزایش متوسطی از خود نشان می‌دهند. افزایش کم عناصر Nb، Ta و Sc را می‌توان به جانشینی این عناصر در شبکه ولفرامیت (Guoliang & Zhixiong, 1992) نسبت داد.

الگوی عناصر REE در رگه- رگچه‌های کوارتز- ولفرامیت و کوارتز- سولفید به‌صورت محدب و خمیده رو به پایین (بیشترین تحدب در محل عنصر Sm) و در رگه- رگچه‌های کوارتز- هماتیت محدب رو به بالاست. کانی‌های موجود در رگه- رگچه‌های نوع اول شامل کوارتز شیری- سفید، آپاتیت، ولفرامیت و شیلیت نسل اول و کانی‌های سازنده رگه- رگچه‌های نوع دوم کوارتز سفید و به مقدار کمتری آپاتیت نسل دوم و شیلیت نسل دوم هستند. فرایند جانشینی عناصر خاکی کمیاب به جای عنصر کلسیم در شبکه کانی‌های آپاتیت و شیلیت تقریباً مشابه بوده و تابع میزان شوری سیال‌های کانه‌ساز است؛ به‌طوری که در سیال‌های شور، الگوی عناصر خاکی کمیاب در کانی‌های یادشده به‌صورت کاملاً محدب است، در حالی که در سیال‌های دارای شوری پایین میزان تحدب عناصر خاکی کمیاب کاهش پیدا می‌کند. هر دو کانی MREE را جذب می‌کنند، با این حال در کانی آپاتیت بیشترین تحدب در محل عنصر Sm و در کانی شیلیت بیشترین تحدب در محل عناصر Dy و Er است (Ghaderi et al., 1999; Roeder et al., 1987; Hughes et al., 1991).

و قلع دارای همبستگی مثبت قوی با یکدیگر و با عناصر دیگر بدون همبستگی هستند. آرسنیک بیشترین همبستگی را با بیسموت و نیکل و همبستگی خفیفی نیز با تنگستن و طلا دارد. آرسنیک بدون همبستگی با قلع و مس و دارای همبستگی منفی با مولیبدن و روی است. نیکل به‌جز عنصر مولیبدن که دارای همبستگی منفی خفیفی است، با عناصر دیگر همبستگی مثبت خفیفی دارد. بیسموت به‌ترتیب دارای بیشترین همبستگی مثبت با طلا، تنگستن و آرسنیک است و با نیکل و مس همبستگی مثبت ضعیفی را نشان می‌دهد؛ همچنین همبستگی منفی خفیفی با روی و مولیبدن دارد.

۷- مطالعات ایزوتوپی اکسیژن

نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعات ایزوتوپی اکسیژن، شامل ۸ نمونه کوارتز و ۷ نمونه ولفرامیت است که به روش دستی در زیر میکروسکوپ دوچشمی جدا شده‌اند. استخراج اکسیژن از کوارتز و ولفرامیت، توسط BrF_5 و با توجه به روش Clayton & Mayeda (1963) صورت گرفته است. اندازه‌گیری نسبت‌های ایزوتوپی اکسیژن موجود در نمونه‌های فرستاده شده، با استفاده از طیف‌سنج جرمی MAT 253 با محدوده خطای $\pm 0.2\%$ در آزمایشگاه ایزوتوپ‌های پایدار آکادمی علوم زمین چین در پکن انجام شده است. مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ کانی‌ها نسبت به استاندارد میانگین آب اقیانوس (SMOW) گزارش شده است. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سیال گرمایی با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کانی‌های کوارتز و ولفرامیت به‌ترتیب با استفاده از معادله‌های (Zhang et al., 1989 & 1994) محاسبه شده است.

مقادیر اندازه‌گیری شده $\delta^{18}\text{O}$ روی کانی کوارتز میان 15.7% تا 16.9% و کانی ولفرامیت میان 2.2% تا 5.7% متغیر است (جدول ۴). به‌طوری که دیده می‌شود کانی کوارتز دارای غنی‌شدگی بسیار بالایی در ^{18}O نسبت به کانی ولفرامیت است. بر پایه Hoefs (2009) کانی کوارتز نسبت به سیالی که از آن متبلور می‌شود، دارای غنی‌شدگی در ^{18}O و کانی ولفرامیت نسبت به سیالی که از آن متبلور می‌شود، دارای تهی‌شدگی در ^{18}O است. همان‌گونه که در جدول ۴ دیده می‌شود $\delta^{18}\text{O}$ سیال گرمایی از 7.91% تا 8.61% در رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید، 5.86% تا 6.76% در رگه- رگچه‌های کوارتز سفید و 3.44% تا 6.94% برای ولفرامیت در تغییر است. این مقادیر ^{18}O در محدوده آب‌های ماگمایی و جوی (Rollinson, 1993) و سیال‌های کانسار ساز ذخایر تنگستن نوع رگه‌ای (Zhang, 1988) قرار می‌گیرد.

۸- بحث

۸-۱. کانی‌شناسی و مراحل کانه‌زایی

به‌طور کلی، کانه‌زایی در کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای شامل ۳ مرحله (الف) مرحله سیلیکات- تنگستات؛ (ب) مرحله سولفیدی؛ (پ) مرحله تأخیری (هماتیتی) کربناتی است (BGS, 2011; Schubert et al., 2006; Liu & Ma, 1993; Sinclair, 1996; Elliot et al., 1986; Pirajno, 2009; Ball et al., 1985). در کانسار چاه پلنگ جنوبی نیز کانه‌زایی از سیال‌های گرمایی کانه‌دار در ۳ مرحله رخ داده است. (الف) مرحله ۱: در این مرحله کانی‌های سیلیکاتی کوارتز شیری- سفید، آپاتیت نسل اول و فلدسپار پتاسیم به همراه ولفرامیت و شیلیت نسل اول تشکیل شده‌اند؛ (ب) مرحله ۲: در این مرحله کوارتز سفید، آپاتیت نسل دوم، شیلیت نسل دوم، طلا، کانی‌های سولفیدی، آرسنیدی و بیسموت طبیعی تشکیل شده‌اند؛ (پ) مرحله ۳: این مرحله خود به ۲ زیر مرحله کوارتز- هماتیت و کربناتی تأخیری تقسیم می‌شود (قادری، ۱۳۹۱). رگچه‌ها و آغشتگی‌های هماتیت همراه با مراحل پایانی فعالیت گرمایی در سامانه‌های کانه‌زایی تنگستن- قلع تشکیل می‌شوند. به‌طور کلی، رگه- رگچه‌های کوارتز- هماتیتی، همزمان با ورود گسترده آب‌های جوی اکسیدی به درون سامانه گرمایی تشکیل می‌شوند (Pirajno, 2009). کانی‌شناسی کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای ساده یا بسیار پیچیده بوده و به‌طور

گرمایی (تشکیل کوارتز شیری- سفید رنگ) سیال‌های با ترکیب ایزوتوپی (%7.91 تا %8.61) ماهیت ماگمایی دارند و تطابق خوبی با سیال‌های ماگمایی گرانیت‌های قلع و تنگستن دار (Zhang, 1988) نشان می‌دهند (شکل ۱۹). در مرحله دوم (تشکیل ولفرامیت در فضای خالی وسط رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید و ته‌نشست کوارتزهای سفید) سیال‌های ترکیب ایزوتوپی سبک‌تری (%3.44 تا %6.94) دارند و در محدوده سیال‌های ماگمایی و آب‌های جوی (Rollinson, 1993) قرار می‌گیرند. سیال‌های مرحله دوم از دید ایزوتوپی کاملاً با سیال‌های گرمایی کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای (Zhang, 1988) مشابه هستند. بنابراین، داده‌های ایزوتوپی اکسیژن نشان‌دهنده آمیختگی پیش‌رونده آب‌های ماگمایی سنگین با آب‌های جوی سبک در کانسار چاه پلنگ جنوبی است. عموماً آمیختگی سیال‌های جوی با سیال‌های ماگمایی دارای عنصر تنگستن سبب اکسایش، کاهش دما و مقدار کلر موجود در سیال و افزایش pH آن و در پایان ته‌نشین شدن ولفرامیت می‌شود (Wei et al., 2011). با توجه به مطالب یادشده و رخداد دگرسانی در پیرامون رگه- رگچه‌های کانه‌دار کانسار چاه پلنگ جنوبی، می‌توان آمیختگی سیال‌های ماگمایی با آب‌های جوی و واکنش سیال‌ها با ماسه‌سنگ‌های دیواره را فرایندهای اصلی ته‌نشست ولفرامیت و دیگر کانه‌ها در نظر گرفت (قادری، ۱۳۹۱).

۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

کانه اصلی تنگستن در کانسار چاه پلنگ جنوبی، همانند کانسارهای شاخص تنگستن نوع رگه‌ای، ولفرامیت است که با مقدار کمتری شیلیت همراهی می‌شود. بلورهای ولفرامیت ترکیب غنی از آهن دارند و به عضو انتهایی فربریت از سری ولفرامیت نزدیک‌تر هستند. شیلیت در دو نسل رخ داده و غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای در آرسنیک از خود نشان می‌دهد. شیلیت نسل ۱ به‌صورت همرشد با ولفرامیت و شیلیت نسل ۲ همراه با فازهای آرسنیک‌دار، در شکستگی‌های کوارتز و در حاشیه‌های ولفرامیت تشکیل شده است. کانه‌زایی طلا همراه و به‌صورت ادخال‌های ریز درون و همرشد با شیلیت‌های نسل ۲ رخ داده است. محتوای فلزات گرانبه‌های کانی‌های سولفیدی در کانسار چاه پلنگ جنوبی بسیار ناچیز است. کبالتیت، نیکلین، سولفیدهای مس- نیکل- آهن، بیسموت طبیعی و سولفیدهای فلزات پایه از دیگر کانه‌های تشکیل شده در کانسار چاه پلنگ جنوبی هستند.

سیال‌های اسیدی و دارای شوری پایین دارای تنگستن و دیگر عناصر کانسار ساز در کانسار چاه پلنگ جنوبی در اثر واکنش با سنگ‌های دیواره (ماسه‌سنگ)، سبب فروشویی عناصر قلبایی و توسعه دگرسانی کلریتی در سنگ‌های دیواره شده‌اند. انحلال عناصر قلبایی سبب افزایش pH سیال‌ها شده است؛ در نتیجه کمپلکس‌های حمل‌کننده فلزات ناپایدار شده و محتوای فلزی خود را در رگه- رگچه‌های کانه‌دار ته‌نشست داده‌اند. الگوی محذب رو به پایین عناصر خاکی کمیاب، در رگه- رگچه‌های نوع اول و دوم، در نتیجه جذب MREE‌ها توسط آپاتیت و به مقدار کمتر شیلیت و الگوی تقریباً مسطح HREE‌ها نتیجه جذب این عناصر توسط ولفرامیت بوده است. با توجه به غنی‌شدگی رگه- رگچه‌های کانه‌دار در عناصر LREE می‌توان نتیجه گرفته که در تشکیل کانسار چاه پلنگ جنوبی گوشته و پوسته دخالت داشته‌اند. در کانسار چاه پلنگ جنوبی، تنگستن در میان عناصری که به‌طور معمول در کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای رخ می‌دهند، دارای بیشترین همبستگی با بیسموت و بدون همبستگی با قلع و مولیبدن است. در این کانسار طلا نیز دارای همبستگی مثبتی با تنگستن، آرسنیک و بیسموت است.

بر پایه داده‌های ایزوتوپی اکسیژن، سیال‌های کانه‌ساز کانسار چاه پلنگ جنوبی در مراحل اولیه سامانه گرمایی (تشکیل کوارتز شیری- سفید) ماگمایی بوده و به تدریج در مراحل بعدی (تشکیل کوارتز سفید و کانه‌زایی تنگستن و فلزات همراه) با آب‌های جوی آمیختگی پیدا کرده‌اند. سیال‌های کانه‌دار مسئول کانه‌زایی در کانسار چاه پلنگ

بنابراین با توجه به میزان تحذب پایین الگوی عناصر REE در رگه- رگچه‌های نوع اول و دوم، می‌توان نتیجه گرفت که شوری سیال‌هایی که کانی‌های آپاتیت و شیلیت از آنها متبلور شده‌اند به‌نسبت پایین بوده است. از سوی دیگر با توجه به این که بیشترین تحذب الگوی REE در رگه- رگچه‌های نوع اول و دوم در محل عنصر Sm قرار دارد، می‌توان نقش آپاتیت را در جذب بیشتر MREE‌ها نسبت به شیلیت در نظر گرفت. فرایند جانشینی REE در کانی ولفرامیت با کانی‌های آپاتیت و شیلیت کاملاً متفاوت بوده و مستقل از شوری سیال‌های کانه‌ساز است. جانشینی REE در شبکه ولفرامیت توسط غلظت عناصر کمیابی همچون Ta, Nb و Sc کنترل می‌شود؛ به‌طوری که عناصر یادشده در شبکه ولفرامیت جانشین تنگستن، آهن و منگنز می‌شوند (Guoliang & Zhixiong, 1992). برخی از پژوهشگران غنی‌شدگی HREE‌ها را در کانی ولفرامیت گزارش کرده‌اند (Guoliang & Zhixiong, 1992; Raimbault et al., 1993) که تشابه شعاع یونی تنگستن با عناصر HREE تأیید کننده مطلب بالاست. بنابراین الگوی مسطح عناصر HREE در رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید را می‌توان به جذب این عناصر توسط کانی ولفرامیت نسبت داد (قادری، ۱۳۹۱).

Yuxue et al. (1990) کانسارهای تنگستن را بر پایه مقادیر LREE، MREE و HREE به ۲ دسته تقسیم کرده‌اند؛ الف) کانسارهایی که در تشکیل آنها گوشته و پوسته دخالت دارند و توسط غنی‌شدگی در مقادیر (ΣLa-Nd) LREE‌ها مشخص می‌شوند؛ ب) کانسارهایی که در تشکیل آنها تنها پوسته دخالت دارد و توسط غنی‌شدگی در مقادیر (ΣEr-Lu) HREE‌ها شناسایی می‌شوند (شکل ۱۷). بنابراین با توجه به غنی بودن رگه- رگچه‌های کانه‌دار کانسار چاه پلنگ جنوبی از عناصر LREE نسبت به عناصر HREE، این کانسار را در رده کانسارهایی که در تشکیل آنها گوشته و پوسته دخالت دارند قرار می‌گیرد.

بسیاری از کانسارهای تنگستن نوع رگه‌ای در جنوب چین یک پهنه‌بندی (Zoning) عمودی از دید شکل (Morphology) رگه، انواع دگرسانی و محتوای عناصر کانسار ساز، از خود نشان می‌دهند (شکل ۱۸). در بخش‌های بالایی این کانسارها رگچه‌های موازی دارای عرض کمتر از ۱ سانتی‌متر تشکیل می‌شوند که به تدریج به سوی ژرفا و توده گرانیتیوییدی مسئول کانه‌زایی، ستبرای رگه- رگچه‌ها افزایش و تا بیش از ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. از دید محتوای فلزی نیز، از سوی توده گرانیتیوییدی به سوی بخش‌های کم‌ژرفا، توالی مولیبدن، تنگستن، بیسموت، قلع دیده می‌شود. دگرسانی‌های رخ داده در بخش‌های نزدیک به توده گرانیتیوییدی بیشتر شامل گرایزنی شدن و دگرسانی پتاسیک است و به تدریج به سوی بخش‌های میانی و بالایی به ترتیب انواع دگرسانی‌های بیوتیتی، مسکووتی، کلریتی، تورمالینی و فلوریتی رخ می‌دهند. دگرسانی سیلیسی در همه پهنه‌ها گسترش دارد (Sinclair, 1996; Liu & Ma, 1993). بر این اساس و با توجه به همبستگی بالای تنگستن با عنصر بیسموت، وجود دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، کلریتی و پهنای متوسط رگه- رگچه‌های کانه‌دار که میان ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر است، می‌توان نتیجه گرفت که کانسار چاه پلنگ جنوبی در بخش میانی سامانه‌های تنگستن رگه‌ای (پهنه تنگستن- بیسموت) جای گرفته است (شکل ۱۸). در نتیجه احتمال وجود بخش‌های غنی در تنگستن و مولیبدن در ژرفا دور از انتظار نیست (قادری، ۱۳۹۱).

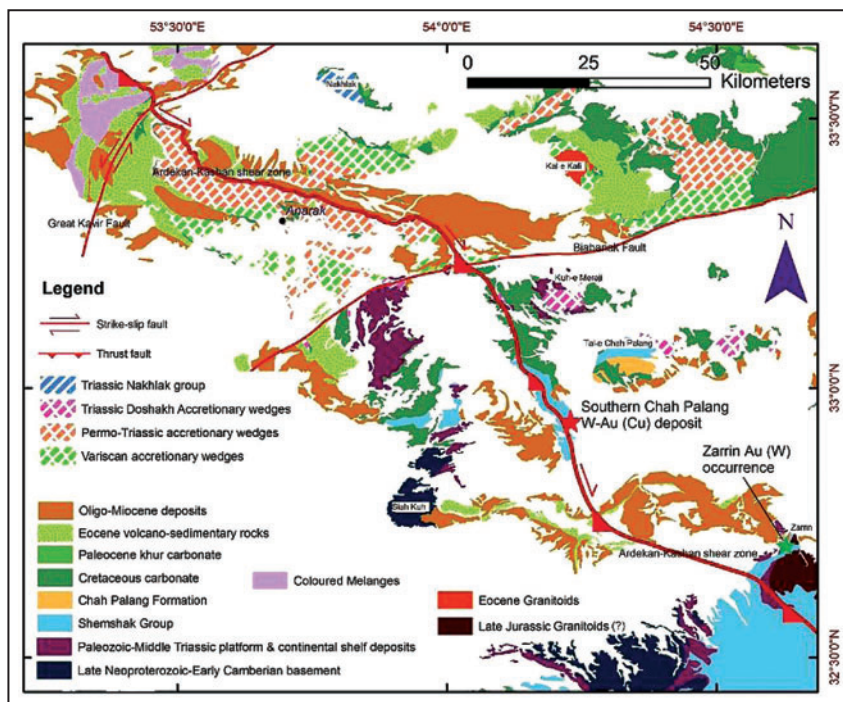
۸-۳. منشأ سیال‌های کانه‌ساز و فرایندهای ته‌نشست کانه‌ها

فرایندهای مختلفی ته‌نشینی ولفرامیت را از محلول‌های گرمایی کنترل می‌کنند که از آن جمله می‌توان به کاهش فشار، سردشدگی سیال کانه‌دار، دگرسانی سنگ دیواره، جوشش محلول‌های گرمایی و آمیختگی سیال‌های ماگمایی با سیال‌های جوی اشاره کرد که در این میان نقش فرایندهای جوشش و آمیختگی سیال‌ها از دیگر عوامل بیشتر است (Wei et al., 2011; Sushchevskaya et al., 2012; Sadequi et al., 2012). در کانسار چاه پلنگ جنوبی، در مرحله اول سامانه

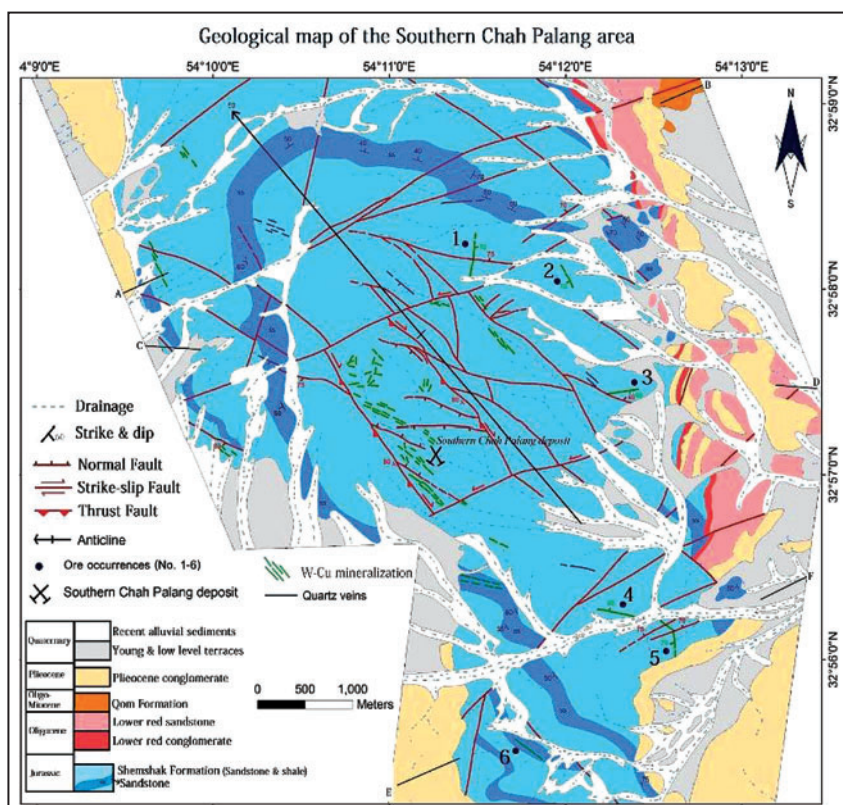
سیاسگزاری

بر خود لازم می دانیم تا از آقایان پروفسور David R. Lentz از دانشگاه New Brunswick کانادا و پروفسور Jingwen Mao از آکادمی علوم زمین چین که ما را به ترتیب در انجام مطالعات SEM و ایزوتوپ های پایدار اکسیژن یاری رساندند، تشکر و قدردانی نماییم.

جنوبی کاملاً مشابه با سیال های گرمایی کانسارهای تنگستن نوع رگه ای هستند. کانسارهای تنگستن نوع رگه ای در ایران -مانند کانسار چاه پلنگ جنوبی- همراه با کانه زایی طلا هستند که توجه به پتانسیل طلا در این نوع رگه ها و اکتشاف آنها در توده های گرانیتی و همراه آنها، پیشنهاد و بر آن تأکید شده است (قادری و همکاران، ۱۳۹۰).

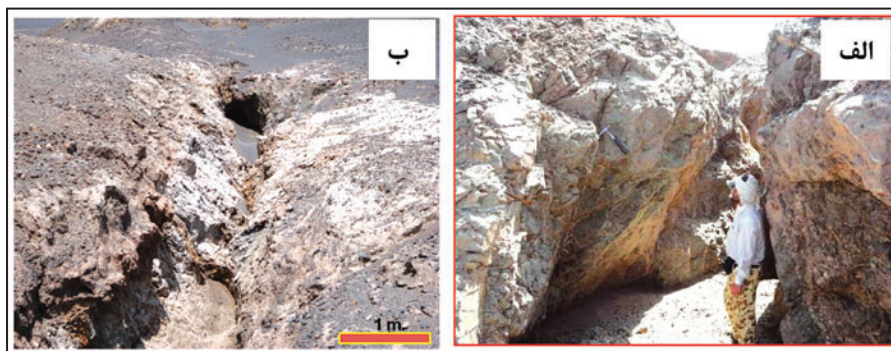


شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساده شده بخش میانی بلوک یزد که در آن موقعیت کانسار تنگستن- طلا (مس) چاه پلنگ جنوبی و اندیس طلا (تنگستن) زرین مشخص شده است (بر پایه نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ اردکان (Haghipour et al., 1972)، انارک (Sharkovski et al., 1979) و خور (Perfiliev et al., 1979, Ramazani & Tucker, 2003; Bagheri & Stampfli, 2008; Bagheri et al., 2009).

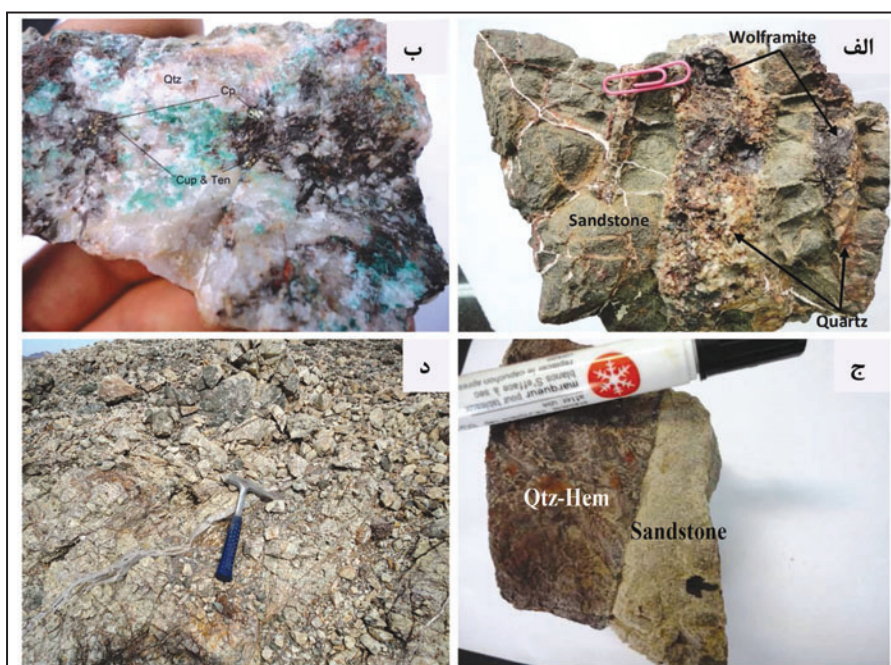


شکل ۲- نقشه زمین شناسی- ساختاری ۱:۲۰۰۰۰ کانسار چاه پلنگ جنوبی و موقعیت کانسار چاه پلنگ جنوبی و رخدادهای معدنی در آن (با تغییرات از Technoexport, 1982).

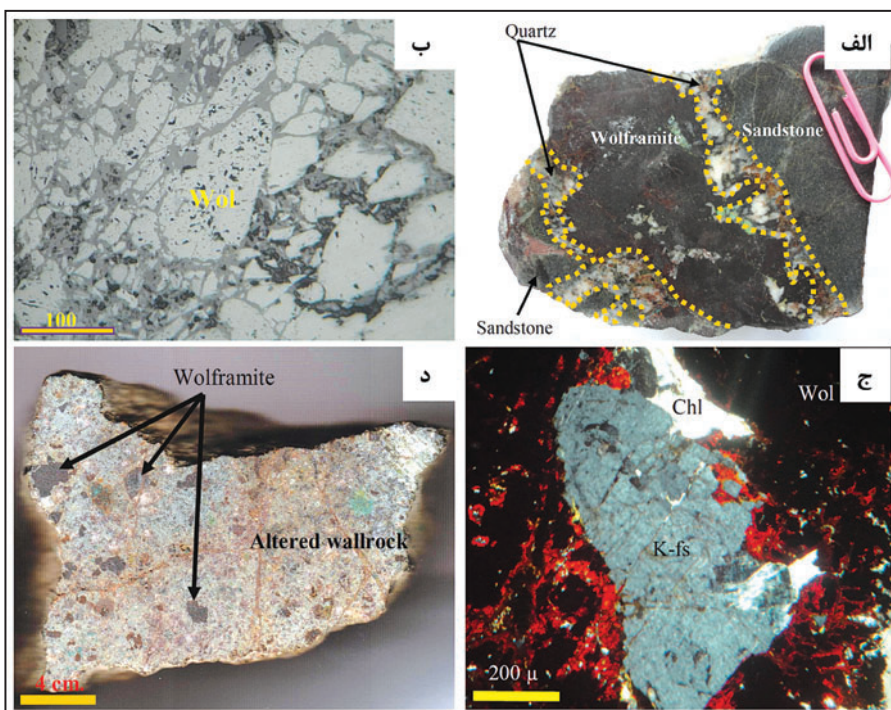
شکل ۳- الف) نمایی از کارهای استخراجی کهن در بخش جنوبی کانسار چاه پلنگ جنوبی که به موازات گسل عادی تشکیل شده است (دید به سوی جنوب خاور)؛ ب) نمایی از کارهای کهن انجام شده در بخش شمالی کانسار چاه پلنگ جنوبی که در آن پهنه کانه‌زایی شده دارای ستبرای ۲ متر است (دید به سوی شمال باختر).



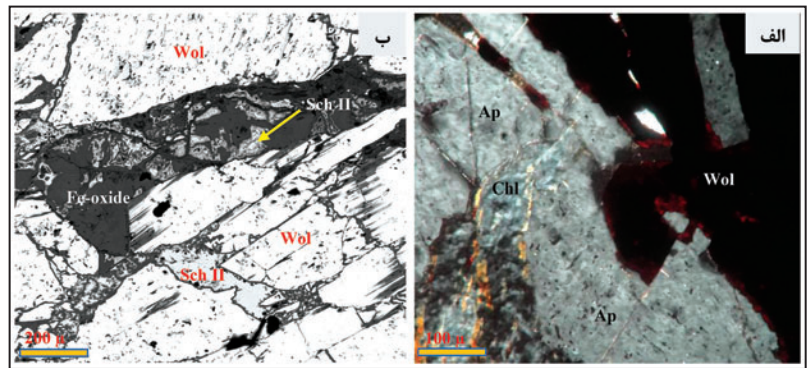
شکل ۴- رخنمون و نمونه دستی انواع رگه- رگچه‌های کانه‌دار در کانسار چاه پلنگ جنوبی. الف) نمونه دستی از رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید نوع اول با سنگ میزبان ماسه‌سنگی که دارای ولفرامیت است؛ ب) نمونه دستی از رگه- رگچه‌های کوارتز سفید نوع دوم که دارای شیلیت، طلا و کالکوپریت (Cp) است؛ ج) نمونه دستی از رگه- رگچه‌های کوارتز- هماتیت نوع سوم که کانه اصلی آن هماتیت است؛ د) نمایی از رگه- رگچه‌های کربناتی تأخیری نوع چهارم که قطع‌کننده رگه- رگچه‌های سیلیسی است.



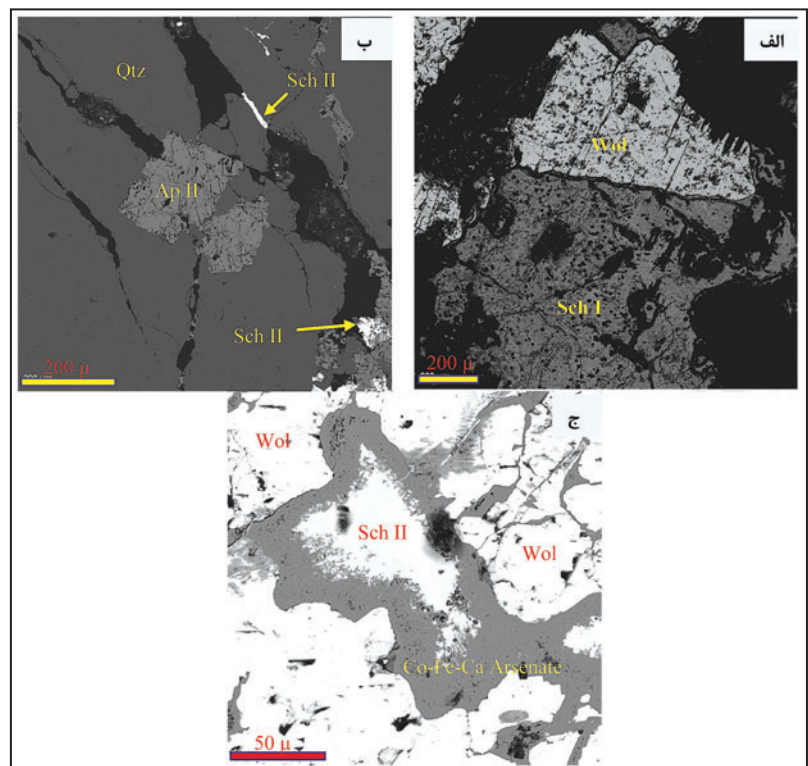
شکل ۵- انواع ساخت و بافت‌های موجود در کانسار چاه پلنگ جنوبی. الف) ولفرامیت با بافت پرکننده فضای خالی در رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید نوع اول که در آن بلورهای کوارتز حاشیه رگه و ولفرامیت در فضای خالی وسط رگه تشکیل شده است؛ ب) ولفرامیت با بافت برشی (کاتاکلاستیکی) در رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید نوع اول؛ ج) جانشینی بلورفلدسپاریتاسیم توسط ولفرامیت و کلریت در رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید نوع اول؛ د) ولفرامیت با بافت دانه پراکنده انتشاری در زمینه‌ای از ماسه‌سنگ دگرسان شده.



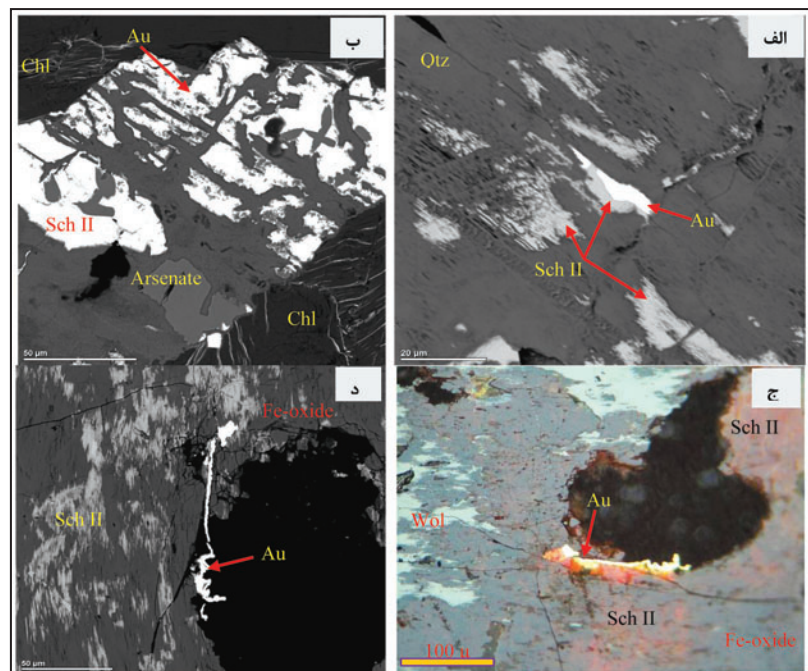
شکل ۶- الف) جانشینی بلورهای آپاتیت توسط ولفرامیت و کلریت؛ ب) تصویر SEM-BSE که در آن جانشینی بلورهای ولفرامیت توسط شیلیت نسل دوم و اکسیدهای آهن دیده می‌شود.



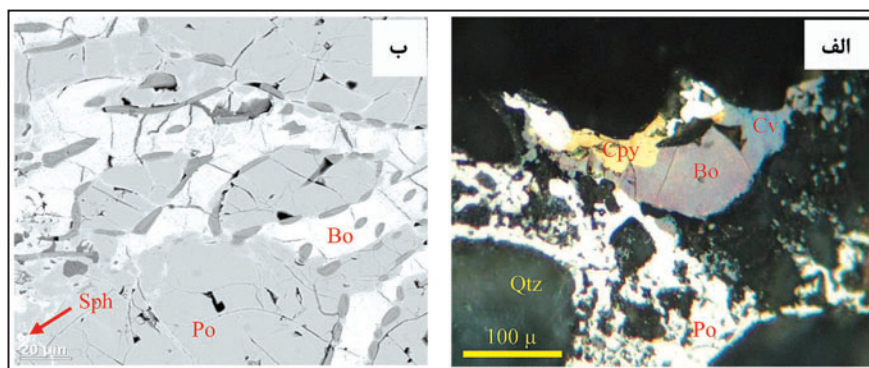
شکل ۷- تصاویر SEM-BSE: الف) هم‌رشدی شیلیت نسل اول با ولفرامیت؛ ب) بلورهای بی‌شکل شیلیت نسل دوم در شکستگی‌های کوارتز؛ ج) شیلیت نسل دوم درون فاز آرسنیک‌دار.



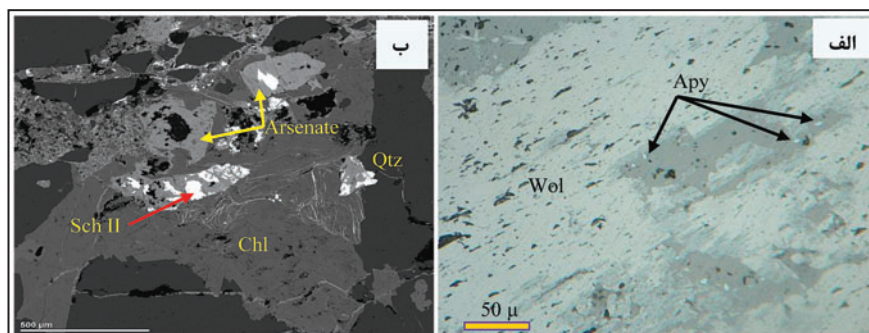
شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی نوری و SEM-BSE: الف) دانه‌های طلای هم‌رشد با شیلیت نسل دوم در شکستگی‌های کوارتز؛ ب) ادخال طلا درون شیلیت نسل دوم همراه با فاز آرسنیک‌دار؛ ج و د) رشته طولیل طلا همراه با شیلیت نسل دوم و اکسیدهای آهن جانشین شده در حاشیه‌های ولفرامیت (ج؛ عدسی Oil میکروسکوپ نوری).



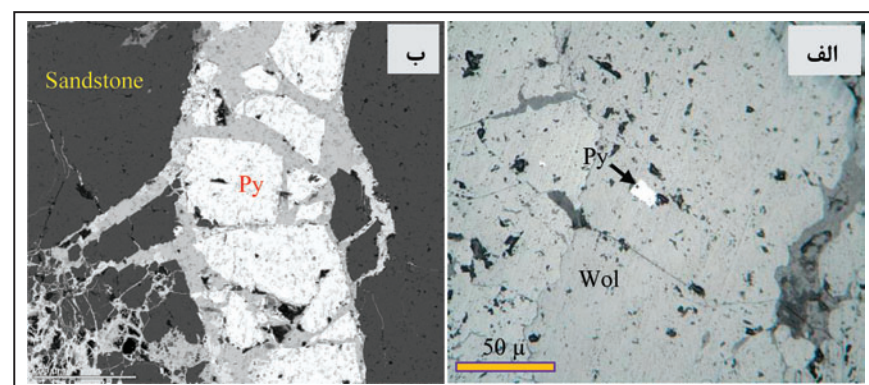
شکل ۹- الف) بورنیت همراه با پیروتیت، کولیت و کالکوپیریت نسل دوم که در رگه- رگچه‌های کوارتز سفید نوع دوم رخ داده است؛ ب) تصویر SEM-BSE که در آن بورنیت در فضای میان بلورهای پیروتیت تشکیل شده و دارای تیغه‌های نازکی (تیره رنگ) از جنس خود بورنیت است که مقدار آهن آنها بیشتر است. رشته نازکی از اسفالریت (گوشه پایین سمت چپ) در شکستگی پیروتیت رخ داده است.



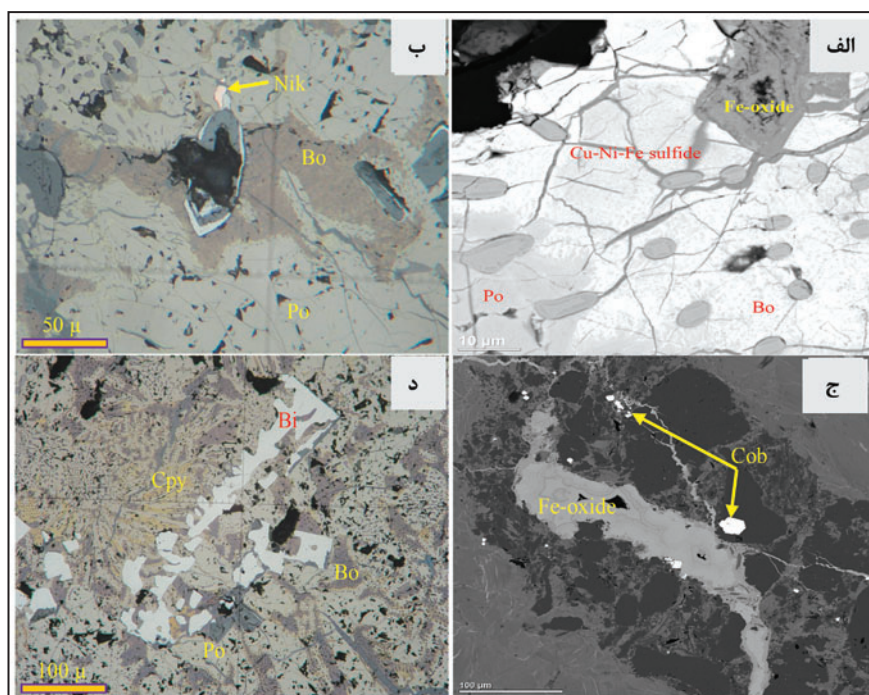
شکل ۱۰- الف) ادخال‌های ریز آرسنوپیریت درون ولفرامیت؛ ب) تصویر SEM-BSE از فازهای آرسنیک‌دار دارای ادخال‌های شیلیت نسل دوم درون بلورهای کلریت که در رگه- رگچه‌های کوارتز سفید نوع دوم تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۱- الف) ادخال ریز پیریت نسل ۱ درون ولفرامیت؛ ب) تصویر SEM-BSE از پیریت نسل ۲ که به صورت رگچه‌ای در سنگ دیواره ماسه‌سنگی تشکیل شده است.

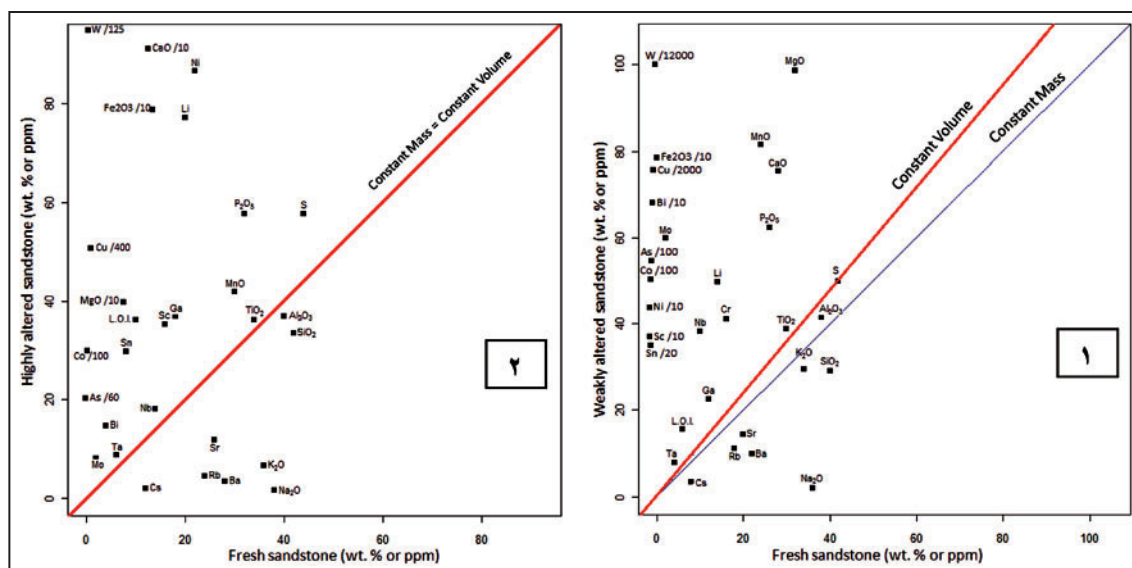


شکل ۱۲- الف) تصویر SEM-BSE از سولفیدهای مس- نیکل- آهن همراه با بورنیت و پیروتیت که در رگه- رگچه‌های کوارتز سفید نوع دوم تشکیل شده‌اند؛ ب) رخداد کانی نیکلین به همراه بورنیت و پیروتیت در رگه- رگچه‌های کوارتز سفید نوع دوم؛ ج) تصویر SEM-BSE از دانه‌های خودشکل کبالتیت که به صورت انتشاری در پیرامون رگچه‌های سولفیدی اکسید شده (رگه- رگچه‌های نوع دوم) در سنگ دیواره رخ داده است؛ د) رخداد بیسموت طبیعی (Bi) به صورت اشکال تیغ ماهی مانند همراه با کالکوپیریت، پیروتیت و بورنیت در رگه- رگچه‌های کوارتز نوع دوم.

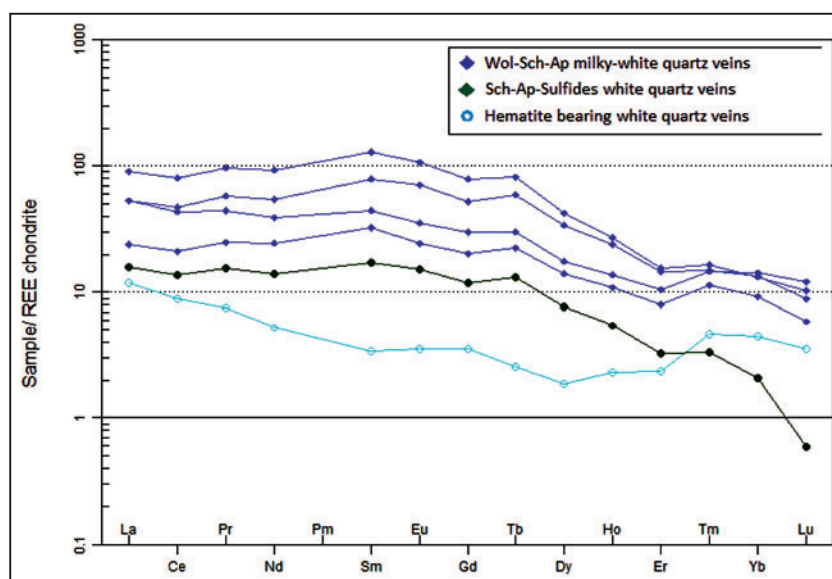


Stages	Hydrothermal assemblages				Supergene
	Early	Intermediate	late		
	Qtz-Wol-Sch-Ap v.	Qtz-Sch-Au-Sul. v.	Hematite-quartz v.	Carbonate v.	
Minerals					
Flourapatite	████				
K-feldspar	████				
Wolframite	████████████				
Scheelite	┐	██			
Gold	?─	██			
Pyrite	┐	██			
Arsenopyrite	┐	██			
Chalcopyrite	┐	██			
Pyrrhotite		██			
Bornite		██			
Native bismuth		██			
Niccolite		██			
Cu-Fe-Ni sulfide		██			
Cobaltite		██			
Sphalerite		─			
Hematite			██████████		
Covellite					██
Chalcocite					██
Cuprite & Tenorite					██
Malachite & Azurite					██████
Goethite					██████████
Maghemite					─
Milky-white quartz (I)	██████████				
White quartz (II)		██████████			
White quartz (III)			██████████		
Calcite & dolomite			─	██████████	
Kaolinite	██				
Clinocllore	██████████	██████████			
Sericite			██████████		

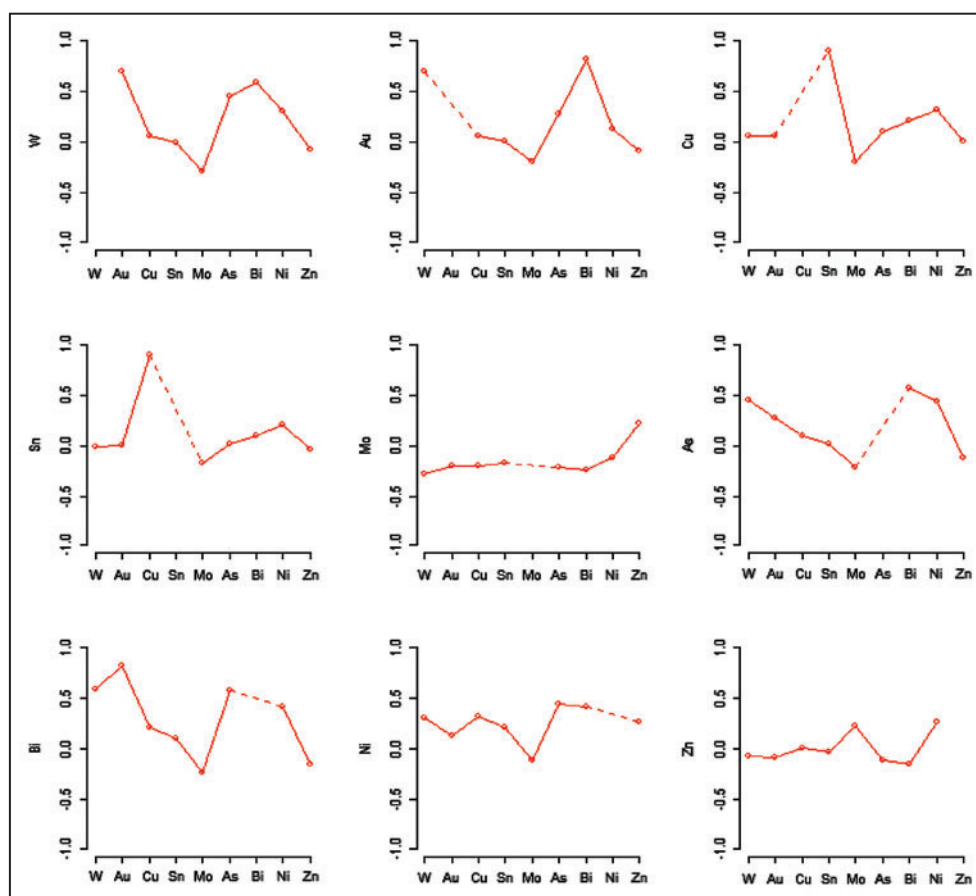
شکل ۱۳- توالی پاراژنزی کانه‌ها و کانی‌ها و مراحل کانه‌زایی در کانسار چاه پلنگ جنوبی.



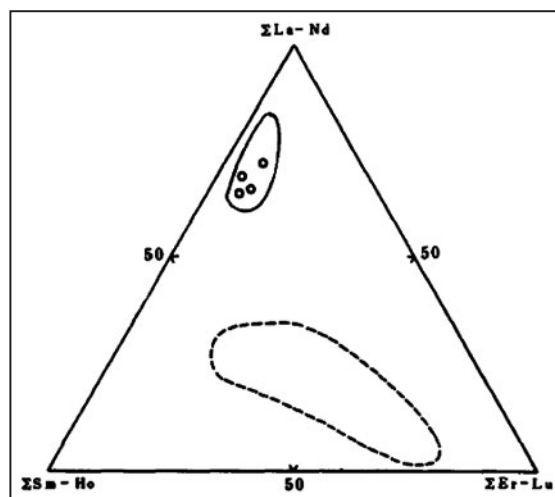
شکل ۱۴- نمودار غلظت عناصر در ماسه‌سنگ‌های سالم و بدون دگرسانی (Fresh sandstone) در برابر (۱) ماسه‌سنگ‌های دارای دگرسانی خفیف (Weakly altered)؛ (۲) ماسه‌سنگ‌های به‌شدت دگرسان شده (Highly altered) میزبان رگه- رگچه‌های کوارتز شیری- سفید نوع اول.



شکل ۱۵- الگوی عناصر خاکی کمیاب (REE) در رگه- رگچه‌های کانه‌دار کوارتز- ولفرامیت نوع اول (Wol. Bearing milky-white quartz)، کوارتز- سولفید نوع دوم (Sulfide bearing white quartz) و کوارتز- هماتیت نوع سوم (Hematite bearing white quartz) کانسار چاه پلنگ جنوبی.



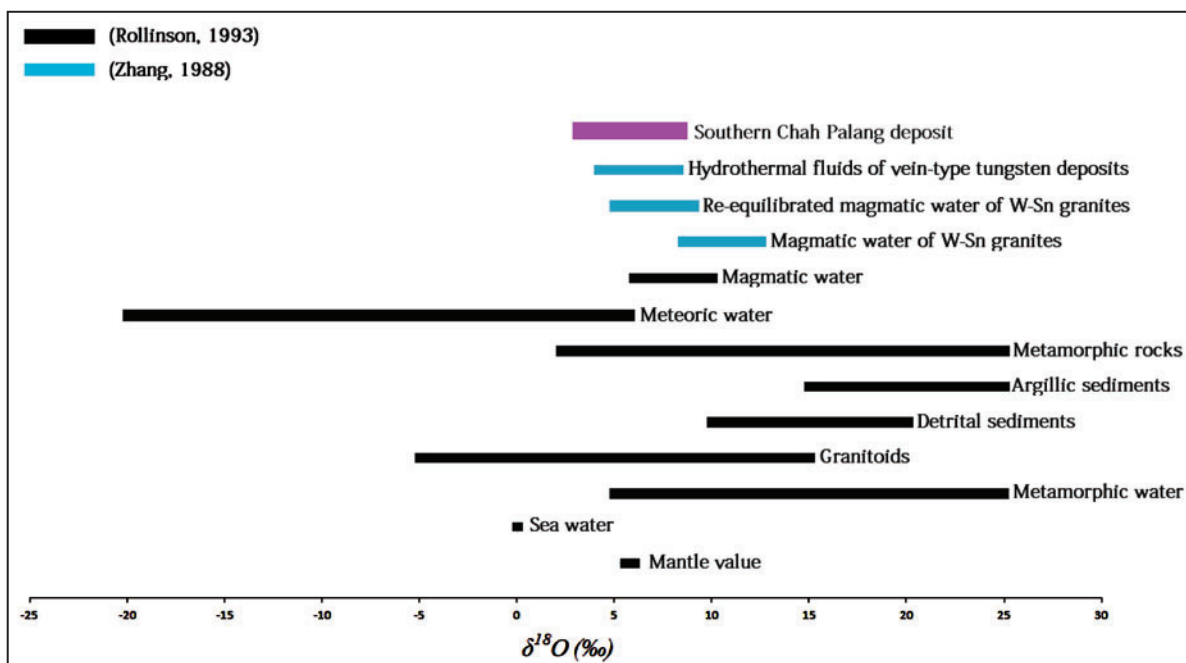
شکل ۱۶- الگوی همبستگی عناصر کانسار ساز در کانسار چاه پلنگ جنوبی.



شکل ۱۷- قرارگیری نمونه‌های کانسار چاه پلنگ جنوبی (دایره‌های توخالی) در محدوده کانسارهای تنگستن دارای منشأ گوشته‌ای- پوسته‌ای (محدوده دارای خط ممند). محدوده دارای خط چین کانسارهای تنگستن دارای منشأ پوسته‌ای را مشخص می‌کند (بر پایه Yuxue et al., 1990).

Vertical extent	Vein width		Metal zoning	Alteration zoning	
100-200 m	<1 cm		Sn (W)	Tourmalinization Muscovitization Flouritization	
50-150 m	1-10 cm		W, Sn	Muscovitization Silicification Tourmalinization	
150-250 m	10-50 cm		W Bi	Silicification Sericitization Chloritization Biotitization	Southern Chah Palang deposit
200-450 m	>50 cm		W (Mo)	Silicification Muscovitization Biotitization	
>50 m	1-50 cm		Mo (W)	Silicification Greisenation K-feldspathization	

شکل ۱۸- نمودار پهنه‌بندی عنصری و دگرسانی در کانسارهای تنگستن رگه‌ای چین و موقعیت قرارگیری کانسار چاه پلنگ جنوبی در پهنه تنگستن- بیسموت (بر پایه Sinclair, 1996; Liu & Ma, 1993).



شکل ۱۹- مقایسه ترکیب $\delta^{18}O$ سیال‌های کانه‌ساز چاه پلنگ جنوبی با مقادیر سنگ‌ها، آب‌ها و سیال‌های موجود در طبیعت.

جدول ۱- نتایج تجزیه کمی بلورهای ولفرامیت کانسار چاه پلنگ جنوبی به روش SEM-EDS

	Wolframite	As ₂ O ₃	WO ₃	CaO	MnO	FeO
1		0.45	76.41	0	1.78	21.98
2		0.32	76.92	0	1.68	22.86
3		0.64	76.75	0.39	2.35	22.38
4		0.37	76.72	0.31	1.99	22.4
5		0.4	76.65	0	1.55	21.63
6		0.38	75.71	0.38	2.65	22.44
Average		0.42	76.52	0.18	2	22.28

جدول ۲- نتایج تجزیه کمی بلورهای شلیت کانسار چاه پلنگ جنوبی به روش SEM-EDS

	Scheelite	As ₂ O ₃	WO ₃	CaO	MnO	FeO
I 1		2.31	74.57	20.64	0.38	0.37
I 2		2.42	75.61	20.93	0	0.25
Average		2.36	75.09	20.78	0.19	0.31
II 1		2.35	74.63	21.05	0.13	0.4
II 2		2.58	74.75	21.01	0.2	0.6
II 3		2.03	75.57	20.81	0	0.57
II 4		2.39	74.31	20.93	0.1	0.3
II 5		1.02	75.2	20.61	0.29	2.53
II 6		0.85	79.75	21.76	0.33	0.6
II 7		1.51	75.65	20.82	0.24	1.77
II 8		0.94	75.81	21.1	0	0
II 9		0.65	75.76	21	0.19	0.24
Average		1.59	75.71	21.01	0.16	0.77

جدول ۳- نتایج تجزیه کمی دانه‌ها و رشته‌های طلای آزاد کانسار چاه پلنگ جنوبی به روش SEM-EDS

	Gold	Au	Ag
1		98.57	0.93
2		99.06	0
3		99.45	0
4		98.91	0
5		98.98	0
6		99.66	0
7		99.63	0
8		98.7	0.14
Average		99.12	0.13

Sample no.	Vein type	Mineral	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Mineral}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluid}}$
Ch-130	Milky-white Q.	Quartz	16.3	8.01
Ch-126	Milky-white Q.	Quartz	16.9	8.61
Ch-127	Milky-white Q.	Quartz	16.3	8.01
Ch-132	Milky-white Q.	Quartz	16.2	7.91
Ch-129	White Q.	Quartz	16.1	6.26
Ch-125	White Q.	Quartz	15.7	5.86
Ch-128	White Q.	Quartz	16.6	6.76
Ch-131	White Q.	Quartz	16.0	6.16
Ch-133	Milky-white Q.	Wolframite	4.5	5.74
Ch-134	Milky-white Q.	Wolframite	5.7	6.94
Ch-135	Milky-white Q.	Wolframite	4.8	6.04
Ch-122	Milky-white Q.	Wolframite	5.1	6.34
Ch-124	Milky-white Q.	Wolframite	3.7	4.94
Ch-123	Milky-white Q.	Wolframite	2.7	3.94
Ch-121	Milky-white Q.	Wolframite	2.2	3.44

جدول ۴- مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ کانی‌های کوارتز (شیری-)

سفید نوع اول و سفید نوع دوم، و لفرامیت و سیال‌های

کانه‌ساز (Fluid) کانسار چاه پلنگ جنوبی.

کتابنگاری

جهانگیری، ح. و منصوری، ا.، ۱۳۸۶- گزارش اکتشاف قلع و تنگستن در منطقه چاه پلنگ جنوبی، طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
قادری، س.، ۱۳۹۱- کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر و ژنز کانسار تنگستن (مس- طلا) چاه پلنگ جنوبی، جنوب خاور انارک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۸۵ صفحه.
قادری، س.، راستاد، ا.، قادری، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و محجل، م.، ۱۳۹۰- کانه‌زایی رگه‌ای و چینه کران تنگستن (مس- طلا) در ایران، با تأکید بر کانسار چاه پلنگ جنوبی، جنوب خاور انارک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. & Wortel, R., 2011- Zagros orogeny: a subduction-dominated process, Cambridge University Press, Geological Magazine, p. 1-34.
- Bagheri, S. & Stampfli, G. M., 2008- The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relations and tectonic implications, Tectonophysics, 451, p. 123-155.
- Bagheri, S., Stampfli, G. M., Patrice, M. & Bakhshi, M. R., 2009- Khur platform: Tectonic evolution of a part of Neo-Tethyan back-arc, 7th Swiss Geoscience Meeting, Abstract Volume.
- Ball, T. K., Fortey, N. J. & Shepherd, T. J., 1985- Mineralisation at the Carrock Fell tungsten mine, N. England: Paragenetic, fluid inclusion and geochemical study, Mineralium Deposita, 20, p. 57-65.
- BGS (British Geological Survey), 2011- Tungsten, Mineral profile, p. 1-32.
- Brugger, J., Gieré, R., Grobety, B. & Uspensky, E., 1998- Scheelite-powellite and paraniite-(Y) from Fe-Mn deposit at Fianel, Eastern Swiss Alps, American Mineralogist, 83, p. 1100-1110.
- Clayton, R. N. & Mayeda, T. K., 1963- The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis, Geochimica et Cosmochimica Acta, 27, p. 43-52.
- Cox, K. G. & Clifford, P., 1982- Correlation coefficient patterns and their interpretation in three basaltic suites, Contribution in Mineralogy and Petrology, 79, p. 268-278.
- Elliot, J. E., Kamilli, R. J., Miller, W. R. & Livo, K. E., 1986- Vein and greisens Sn and W deposits (Models 15a-c), In: Cox, D.P., Singer, D.A. (eds.), Mineral Deposits models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 62-69.
- Ghaderi, M., Palin, J. M., Campbell, I. H. & Sylvester, P. J., 1999- Rare earth elements systematic in scheelite from hydrothermal gold deposits in the Kalgoorlie-Norseman region, Western Australia, Economic Geology, 94, p. 423-437.
- Grant, J., 1986- The isocon diagram- a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration, Economic Geology, 81, p. 1976-1982.
- Grant, J., 2005- Isocon analysis: A brief review of the method and application, Physics and Chemistry of the Earth, 30, p. 997-1004.
- Graupner, T., Niedermann, S., Rhede, D., Kempe, U., Seltmann, R., Williams, T. C. & Klemd, R., 2010- Multiple sources for mineralizing fluids in the Charnitán gold (-tungsten) mineralization (Uzbekistan), Mineralium Deposita, 45, p. 667-682.
- Gresens, R. L., 1967- Composition-volume relationships of metasomatism, Chemical Geology, 2, p. 47-65.
- Guoliang, G. & Zhixiong, C., 1992- Compositional characteristics of wolframite in tin deposits, Dupangling, Guangxi, Chinese Journal of Geochemistry, 11, p. 156-167.
- Haghipour, A., Pelissier, G., Blourchi, M. H., Valeh, N. & Aghanabati, A., 1972- Geological map of Ardekan, 1:250000 Series Sheet, Geological Survey of Iran (GSI).

- Hoefs, J., 2009- Stable isotopes geochemistry, Sixth Edition, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 285 p.
- Hughes, J. M., Cameron, M. & Mariano, A. N., 1991- Rare-earth-element ordering and structural in natural rare-earth-bearing apatites, *American mineralogist*, 76, p. 1165-1173.
- Liu, Y. & Ma, D., 1993- Vein-type tungsten deposits of China and adjoining regions, *Ore Geology Reviews*, 8, p. 233-246.
- Mahmoudi, Sh., Masoudi, F., Corfu, F. & Mehrabi, B., 2010- Magmatic and metamorphic history of the Deh-Salm metamorphic complex, Eastern Lut block, (Eastern Iran), from U-Pb geochronology, *Earth Sciences*, 99, p. 1153-1165.
- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, p. 757-775.
- Nekrasov, I. Y., 1996- Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits, Belkema Publishers, USA.
- Perfiliev, Y., Aistov, L., Melnikov, B., Krivyakin, B., Remizov, N., Selivanov, E. & Romanko, E., 1979- Geological map of Khur, 1:250000 Series Sheet, Geological Survey of Iran (GSI).
- Pirajno, F., 2009- Hydrothermal processes and mineral systems, Springer Science-Business Media, Australia, 1241 p.
- Raimbault, L., Baumer, A., Dubru, M., Benkerrou, C., Croze, V. & Zahm, A., 1993- REE fractionation between scheelite and apatite in hydrothermal conditions, *American Mineralogists*, 78, p. 1275-1285.
- Ramazani, J. & Tucker, R., 2003- The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics, *American Journal of Science*, v. 303.
- Roeder, P. L., MacArthur, D., Ma, X. P. & Palmer, G. R., 1987- Cathodoluminescence and microprobe study of rare-earth elements in apatite, *American Mineralogist*, 72, p. 801-811.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation, London, UK, 652 p.
- Sadequi, M., Bouabdellah, M., Boushaba, A., Marcoux, E. & Cheilletz, A., 2012- Mineralogy, fluid inclusions, and oxygen isotope constraints on the genesis of the Lalla Zahra W-(Cu) deposit, Alouana district, Northeastern Morocco, *Arab Journal of Geosciences*, InPress.
- Schubert, W. D., Lassner, E. & Walser, P., 2006- Geology of tungsten, The ITIA's Technical Consultancy continues its series on the many aspects of tungsten, p. 1-10.
- Sharkovski, M., Filichev, I., Selivanov, E., Susov, M., Dvoryankin, A., Amidi, S. M., Davoudzadeh, M. & Romanko, E., 1979- Geological map of Anarak, 1:250000 Series Sheet, Geological Survey of Iran (GSI).
- Sheibe, M., Esmaeily, D., Nedelec, A., Bouchez, J. L. & Kananian, A., 2010- Geochemistry and petrology of garnet-bearing S-type Shirk uh granite, Southwest Yazd, Central Iran, *Island Arc*, 19, p. 292-312.
- Sinclair, W. D., 1996- Vein-stockwork tin, tungsten, in *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, (ed.) Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., Thorpe, R. I., Geological Survey of Canada, 8, p. 409-420.
- Sushchevskaya, T. M., Popova, J. A., Velivetskaya, T. A., Ignatiev, A. V., Matveeva, S. S. & Limantesva, O. A., 2012- Mixing of fluids in hydrothermal ore-forming (Sn,W) systems: stable isotope and rare earth elements data, *Geophysical Research Abstracts*, 14.
- Technoexport, 1982- Report on detailed geological prospecting in Anarak area (Central Iran) (Chah Palang locality).
- Valizadeh, M. V., Omrani, J. & Moritz, R. P., 2002- Petrogenesis of the Gold bearing Zarrin granite, *Iranian International Journal of Sciences*, 3, p. 171-185.
- Wei, W., Hu, R., Bi, X., Peng, J., Su, W., Song, Sh. & Shi, Sh., 2011- Infrared microthermometric and stable isotopes study of fluid inclusions in wolframite at the Xihuashan tungsten deposit, Jiangxi province, China, *Mineralium Deposita*, 47, p. 589-605.
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N. & Karimi-Bavandpur, A. R., 2005- Devonian- Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran, Part II. Northern and Central Iran, *Acta Geologica Polonica*, v. 55, no. 1, p. 31-97.
- Wilmsen, M., Fursich, F., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R. & Taheri, J., 2009- The Cimmerian Orogeny in the northern Iran: tectonic-stratigraphic evidence from the foreland, *Terra Nova*, v. 21, No. 3, p. 211-218.
- Yuxue, Z., Yimao, L., Sideng, G. & Qiguang, H., 1990- REE geochemical characteristics of tungsten minerals as a discrimination indicator of genetic types of ore deposits, *Chinese Journal of Geochemistry*, 9, p. 319-329.
- Zanchi, A., Zanchetta, S., Garzanti, E., Balini, M., Berra, F., Mattei, M. & Muttoni, G., 2009- The Cimmerian evolution of the Nakhla-Anarak area, Central Iran, and its bearing for the reconstruction of the history of the Eurasian margin, *Geological Society of London*, v. 312, p. 261-286.
- Zhang, L. G., 1988- Oxygen isotopes studies of wolframite in tungsten ore deposits of South China, *Geochemistry*, 7, 2, p. 109-119.
- Zhang, L. G., Liu, J. X., Chen, Z. S. & Zhou, H. B., 1994- Experimental investigation of oxygen isotope fractionation in cassiterite and wolframite, *Economic Geology*, 89, p. 150-157.
- Zhang, L. G., Liu, J. X., Zhou, H. B. & Chen, Z. S., 1989- Oxygen isotope fractionation in the quartz-water-salt system, *Economic Geology*, 89, p. 1643-1650.

Southern Chah Palang W (Cu-Au) Mineralization: Mineralogy, Fabric and Texture: Geochemistry and Isotopic Data

S. Ghaderi ¹, E. Rastad ^{2*} & N. Rashidnezhad-Omran ³

¹ M.Sc. Student, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2013 March 18

Accepted: 2014 July 08

Abstract

Tungsten (Cu-Au) mineralization of Southern Chah Palang (SCP) deposit, located in middle part of the Yazd block, occurred as vein-veinlet in normal fault zones, which cut the sandstones and shales of Early-Middle Jurassic Shemshak formation. Based on the mineral paragenesis and quartz type, color and texture, ore-bearing veins can be divided into 1) k-feldspar, apatite (I) bearing milky-white quartz veins, 2) white quartz veins contain apatite (II), 3) hematite- white quartz veins and 4) late carbonate veins. Wolframite is the main tungsten ore mineral in the SCP deposit, which occurred in type 1 vein. Wolframite crystals are riched in Fe and have ferberite composition. Scheelite, as next tungsten ore mineral in SCP deposit, formed in 2nd generation and show significant enrichment in As. Scheelite (I) coexist with Wolframite in type 1 veins, and Scheelite (II) replace wolframite in its fractures and rims, also with arsenic-bearing phases occurred in type 2 veins. Gold in SCP deposit occurred as coexist with and/or fine inclusions in Scheelite (II). Other ore minerals that formed in type 2 veins include base metals and Fe sulfides, cobaltite, niccolite, Cu-Ni-Fe sulfides and native bismuth. Type 3 and 4 veins are white quartz-hematite and barren carbonate veins. $\delta^{18}\text{O}$ of ore-forming fluids, which milky-white and white quartz and wolframite formed from them are 7.91-8.61‰, 5.86-6.76‰ and 3.44-6.94‰ respectively. Based on the oxygen isotope studies, progressive mixing of original magmatic fluids with meteoric waters cause precipitation of metals in veins.

Keywords: Vein-type W (Cu-Au) mineralization, Wolframite, Scheelite, Magmatic-meteoric fluids, Southern Chah Palang, Yazd block, Iran.

For Persian Version see pages 271 to 286

*Corresponding author: E. Rastad; E-mail: Rastad@modares.ac.ir