

کانه‌زایی بروندمی-آتشفشان‌زاد چینه‌سان تنگستن (مس-روی) در کانسار چاه کلپ، (جنوب بیرجند) و افقهای کانهدار آن

نوشته: علی شعله*، ابراهیم راستاد* و علیرضا باباخانی**

*بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. **سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

Stratiform Exhalative-Volcanogenic Tungsten (Cu-Zn) Mineralization in Chah-Calap Deposit and its Ore-Bearing Horizons

By: A. Shoale*, E. Rastad* & A. R. Babakhani**

* Department of Geology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

** Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۰۹/۰۵

چکیده

کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ در محدوده بلوک لوت قرار دارد. این بلوک جزئی از سکوی پالئوزویک ایران مرکزی است، که به شدت تحت تأثیر حرکات کوهزایی کیمبرین پسین قرار گرفته است. توالی آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک که کانهدار چاه کلپ را در بر دارد، تا حد رخساره شیست سبز-آمفیبولیت پایینی دگرگون شده است. این توالی، از قدیم به جدید شامل شیست متاپلیتی سیلیسی، توف فلسیک دگرگون شده زیرین، آهک دگرگون شده با میان لایه‌هایی از متاچرت (که افق کانهدار اصلی در قاعده آن تشکیل شده است)، تناوب سنگ آهک میکریتی و اسپاریتی دگرگون شده، توف فلسیک دگرگون شده بالایی و ریولیت میلونیتی است. در سنگ آهک دگرگون شده، سه رخساره مختلف تشخیص داده شد که کانهدار چاه کلپ به بخشهای چرتی رخساره سنگ آهک چرت‌دار است. در محدوده کانسار چاه کلپ، توده نفوذی بروند نداشت و دو سامانه گسل امتداد لغز، با راستای شمال باختر-جنوب خاور و شمال خاور-جنوب باختر در منطقه دیده می‌شود.

کانهدار چاه کلپ به وضوح چینه‌سان بوده و با شکل لایه‌ای و عدسی شکل تا دو کیلومتر قابل پی‌گیری است. بر اساس مطالعات انجام شده، شش افق کانهدار در توالی آتشفشانی-رسوبی منطقه معدنی چاه کلپ مشاهده شده است که از قدیم به جدید عبارتند از: افق کانهدار سولفیدی I با سنگ درونگیر شیست متاپلیتی سیلیسی، افق کانهدار سولفیدی II با سنگ درونگیر توف فلسیک دگرگون شده زیرین، افق کانهدار سولفید-شیلیت III که سنگ درونگیر آن سنگ آهک دگرگون شده حاوی عدسیها، ریزلایه‌ها و نوارهای متاچرتی است که در قاعده آهکها قرار دارد. افق کانهدار سولفید-شیلیت IV که در بخشهای میانی سنگ آهک دگرگون شده قرار دارد. افق کانهدار سولفید-شیلیت V که در بالاترین بخش سنگ آهک دگرگون شده و در مرز بالایی سنگ آهک دگرگون شده و توف فلسیک قرار دارد و بالاخره افق کانهدار سولفیدی VI که در داخل ریولیت میلونیتی قرار می‌گیرد. کانهدار اقتصادی کانسار چاه کلپ به سبب متغیر چند سانتی متر تا ۶ متر در مرز پایینی سنگ آهک چرت‌دار دگرگون شده با توف فلسیک دگرگون شده و در داخل سنگ آهک دگرگونی رخ داده است. بخشهای چرت‌دار دگرگون شده، که به صورت یک افق کلسیمی-سیلیکاتی، همراه با آهک دگرگون شده تشکیل شده، در اثر دگرگونی ناحیه‌ای حاوی ترمولیت، اکتینولیت، دیوپسید، هیدنبرژیت و گراسولار شده است. بافت ماده معدنی در افقهای کانهدار به صورت توده‌ای، دانه پراکنده، ریزلایه، پرکننده فضاهای خالی و برشی بوده و کانی‌شناسی آن شامل شیلیت، کلکوپیریت، اسفالریت، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، کوولیت، بورنیت، کلکوسیت، آزوریت، مالاکیت و اکسید-هیدروکسیدهای

آهن است. محیط تشکیل کانسار چاه کلپ، حوضه کافت درون قاره‌ای بوده است که محیط مناسبی را برای فعالیت آتشفشانی زیر دریایی و نهشت مجموعه‌های آتشفشانی-رسوبی فراهم نموده است. در کانسار چاه کلپ، کانه‌زایی به صورت دور دست و همزمان با رسوبگذاری برون‌دمیها (Exhalites) رخ داده است. فرایند دیاژنز موجب تبلور و تمرکز کانه‌ها گردیده و سپس دگرگونی ناحیه‌ای تمرکز بیشتر کانه‌ها را موجب گردیده است.

کلیدواژه‌ها: کانسار تنگستن (مس-روی)، توالی آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک، کانه‌زایی برون‌دمی-آتشفشان‌زاد، چینه‌سان، افق‌های کانه‌دار، چاه کلپ، بیرجند

Abstract

Chah-Calap W (Cu-Zn) deposit is located in Lut Block. It is a part of Central Iran Paleozoic platform which has been subjected to late Cimmerian orogenic movements. Chah-Calap ore-bearing volcano-sedimentary sequence of upper Triassic-Jurassic age was metamorphosed to green schist-lower amphibolite facies. This sequence includes siliceous meta-pelite, lower meta-felsic tuff, meta-limestone with meta-chert interlayers, (main mineralized horizon occurred at the base of it) alternation of micritic and sparitic limestone, upper meta-felsic tuff and mylonitic rhyolite. In meta-limestone, 3 facies were recognized, in which the mineralization corresponds only to meta-chert bearing facies. No intrusive body outcrops in the study area. Two NW-SE and NE-SW trending fault systems can be observed in Chah-Calap mining region.

The stratiform mineralization with layering and lenticular geometry has 2 kilometer length. Based on these investigations, six mineralized horizons can be distinguished in Chah-Calap volcano-sedimentary rocks: siliceous meta-pelite (ore horizon I), lower meta-felsic tuff (ore horizon II), calc-silicate layers, bands and lenses occurring at the contact between meta-limestone and lower meta-felsic tuff (ore horizon III), at the middle of meta-limestone layer (ore horizon IV) and at the upper contact between meta-limestone and upper meta-felsic tuff (ore horizon V) and mylonitic rhyolite host rocks (ore horizon VI). Main mineralized horizon in Chah-Calap occurred at the base of meta-cherty limestone, at lower contact between meta-carbonate and lower meta-felsic tuff. Regionally metamorphosed chert-bearing parts of meta-limestone, forming calc-silicate horizon, composed mainly of sparitic calcite, tremolite, actinolite, diopside, hedenbergite and grassular-rich garnet. Ore assemblage includes: scheelite, chalcopyrite, sphalerite, pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, covelite, bornite, chalcocite, azurite/malachite and iron-oxide/hydroxides having massive, disseminated, laminated, breccia like and open space filling textures. Tungsten mineralization in Chah-Calap is considered to be of distal syn-sedimentary-syn-diagenetic type with exhalative origin. Diagenetic processes lead to primary concentration of mineralization which later experienced remobilization and re-concentration during regional metamorphism.

Key words: W(Cu-Zn) deposit, Upper Triassic-Jurassic volcano-sedimentary series, Exhalative-volcanogenic, Stratiform, Ore-bearing horizons, Chah-Calap, Birjand

مقدمه

می‌گردد. زمانی که موحد اول و همکاران از سازمان زمین شناسی کشور با توجه به وجود آثار معدنکاری قدیمی در امتداد همبری سنگهای آهکی دگرگون شده و شیستهای زیرین به کانه‌زایی در منطقه پی بردند. در سال ۱۳۵۲ فعالیتهای ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی سازمان به سرپرستی تدین اسلامی و نیکلاس منجر به پیشنهاد حفاری برای بررسی کانه‌زایی در عمق و تخمین ذخیره شد (تدین اسلامی، ۱۳۵۲). بر اساس این پیشنهاد، ۷ گمانه اکتشافی حفر شد. مطالعه مغزه‌های حفاری و تخمین ذخیره کانسار توسط

کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ در ۱۰۰ کیلومتری جنوب-جنوب خاوری بیرجند و ۸۰ کیلومتری شمال باختری نهندان (تصویر ۱)، در حاشیه بلوک لوت و در توالیهای آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک قرار دارد. این منطقه، براساس تقسیمات ساختاری-رسوبی ایران در بلوک لوت و در نزدیکی محل اتصال این بلوک با حوضه فلیش کرتاسه نهندان-خاش (Berberian & King, 1981) یا زون زمین درز سیستان (Tirru et al., 1983) واقع است (تصویر ۲). پیشینه اکتشافی این کانسار به سال ۱۳۴۹ باز

دانشگاه LEOBEN اتریش با مشخصات Upgraded ARL-SEM 30 با همکاری و مساعدت پروفسور Raith و پشتیبانی مالی مؤسسه علوم زمین (کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی) Montanuniversitat، -بررسی کانی‌شناسی ماده معدنی و سنگ درونگیر بر اساس نتایج میکروپروب، -رقومی نمودن و رسم نقشه‌ها با استفاده از نرم افزارهای AutoCAD و Arcview، -رسم نمودار حفاری (log) مربوط به ۱۹ گمانه حفاری و پیمایشهای صحرایی با استفاده از نرم افزارهای Rockworks ۲۰۰۲ و Logplot ۲۰۰۳، -انطباق ستونهای چینه‌ای و نمودارهای حفاری جهت شناخت تغییرات افقهای کانه‌دار و غیر کانه‌دار و ارتباط آنها با هم در محیط Rockworks 2002.

سنگ شناسی

مجموعه آتشفشانی- رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک که کانه‌زایی تنگستن (مس-روی) چاه کلپ در آن رخ داده است (تصویر ۳)، طی حرکات کوهزایی کیمین پسین، تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته و تا حد رخساره شیست سبز- آمفیبولیت زیرین، دگرگون شده است. بیشتر واحدهای سنگی محدوده معدنی، فرسایش شدیدی را متحمل شده و رخنمون بسیار محدودی دارند.

رسوبات آواری و سنگهای کربناتی، سنگهای رسوبی این توالی آتشفشانی- رسوبی را تشکیل می‌دهند. در این توالی رسوبات، به صورت بین لایه‌ای در میان سنگهای آتشفشانی با ترکیب فلسیک و اسیدی قرار گرفته‌اند. واحد سنگی که به خوبی در منطقه برونزد دارد، افق کربنات دگرگون شده است که به صورت تیغه‌ای، با شیب زیاد به سمت جنوب، تا دهها کیلومتر قابل تعقیب است (تصویر ۳). توالی آتشفشانی- رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک به ترتیب از قدیم به جدید شامل شیستهای متاپلیتی ماسه‌ای، آتشفشانی و توفهای فلسیک دگرگون شده زیرین، سنگ آهک دگرگون شده با میان لایه‌های چرتی- که افق کانه‌دار اصلی در قاعده آن تشکیل شده است، تناوب سنگ آهکهای میکریتی و اسپاریتی دگرگون شده، توفهای فلسیک دگرگون شده بالایی و ریولیت‌های میلونیتی (تصویر ۴) است که به ویژگیهای هر واحد سنگی به اختصار در زیر اشاره می‌شود.

متاپلیت ماسه‌ای

این سنگها در منطقه معدنی از شیستهای کوارتز، سریست و کلسیت دار با پیش سنگ پلیتی تشکیل یافته‌اند که کانیهای فرعی آنها مسکوویت، اسفن و به ندرت آنالسیم است. این سنگها، دگرگونی ناحیه‌ای تا حد رخساره

شهید اکرمی انجام گردید؛ اما متأسفانه گزارش مطالعات وی مفقود گردید. مؤمن زاده و همکاران در سال ۱۳۵۳ بازدیدی از کانسار چاه کلپ انجام داده و این کانسار را یک کانسار چندفلزی چینه‌سان و چینه‌کران معرفی کردند. کانی‌شناسی این کانسار در سال ۱۳۶۲ توسط خویی مطالعه و با توجه به پاراژنز کانه‌ها و دما بالا بودن آنها، کانه‌زایی کانسار چاه کلپ از نوع اسکارن و در ارتباط با توده‌های نفوذی در نظر گرفته شد (خویی، ۱۳۶۲). از سال ۱۳۸۰ پروژه اکتشاف کانسار چاه کلپ، بار دیگر توسط سازمان زمین‌شناسی فعال شد که نتیجه آن حفر ۲۰ گمانه اکتشافی (در حدود ۱۷۵۰ متر) و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- معدنی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ بوده است. مقاله حاضر عمدتاً با استفاده از نتایج حاصل از مطالعه مغزه‌های حفاری تدوین شده است. در این مقاله سعی شده است، تا ضمن بحث در مورد منشأ پروندمی- آتشفشان‌زاد کانسار چاه کلپ، برای نخستین بار ویژگیهای افقهای ۶ گانه کانه‌دار مورد بررسی و تدقیق قرار گیرد.

شایان ذکر است که علاوه بر کانسار چاه کلپ، کانه‌زایی تنگستن (مس-روی) در توالی رسوبی- آتشفشانی تریاس بالایی- ژوراسیک، به تازگی در کانسار بامسر در پهنه سنندج- سیرجان (عزیزپور، ۱۳۷۸) نیز گزارش گردیده است. لذا به نظر می‌رسد مطالعه کانسار چاه کلپ در بلوک لوت از ایران مرکزی، بتواند داده‌های جدیدی از این کانه‌زایی در ایران زمین را ارائه کند. نظر بر این که این کانسار در گذشته فعال بوده است و از آنجا که معدن فعالی از تنگستن در کشور وجود ندارد، لذا بررسی ویژگیهای این کانسار می‌تواند از جهت اکتشاف کانسارهای مشابه نیز اهمیت قابل توجهی داشته باشد.

روش تحقیق

در این مطالعه شامل مراحل زیر بوده است:

- مطالعات صحرایی به منظور بازبینی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰۰ زمین‌شناسی و ۱:۱۰۰۰ زمین‌شناسی- معدنی منطقه چاه کلپ،
- تهیه مقاطع نازک (۴۲ عدد)، صیقلی (۱۲ عدد) و نازک-صیقلی (۱۴ عدد) برای مطالعه بافت، کانی‌شناسی و بررسی توالی پاراژنز کانه‌ها و همچنین مطالعه ارتباط کانه‌ها با کانیهای سنگ ساز،
- تجزیه ۲۲ نمونه به روش XRF در دانشگاه تربیت مدرس (شعله و همکاران، ۱۳۸۳)، تجزیه ۶ نمونه به روش XRD در دانشگاه تربیت مدرس با دستگاه MPD X'PERT PHILIPS برای تشخیص کانیها (شعله و همکاران، ۱۳۸۳)،
تجزیه ۷ نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALCHEMEX کانادا برای مطالعه ژئوشیمی عناصر خاکی کیمیا (شعله و همکاران، ۱۳۸۳) و همچنین تجزیه EMP ۱۵۰ نقطه (شعله و همکاران، ۱۳۸۳) در آزمایشگاه میکروپروب

سنگی با پیش سنگ آتشفشانی در این واحد، می توان به کوارتز- بیوتیت- کالک شیست، کوارتز- بیوتیت- آلپیت شیست، سریسیت- کالک شیست و سریسیت - کلریت- کالک شیست اشاره کرد. کانیهای کدر با بافت دانه پراکنده به همراه بلورهای کوارتز و کلسیت در زمینه این سنگها دیده می شوند.

ریولیت میلوئیتی

این واحد به طور عمده از کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز و سریسیت تشکیل شده است. کانیهای فرعی شامل سریسیت، لوکوکسن و کلسیت است. نبود کانیهای مافییک و حضور درشت بلورهای باقیمانده و پورفیر و کلاستهای پلاژیوکلاز سدیم و فلدسپار قلیایی و بلورهای کوارتز، تداعی کننده پیش سنگ ریولیتی است.

در این سنگ، اثراتی از بلورهای فلدسپار، که با بافت موزاییکی در کنار هم قرار گرفته اند، قابل مشاهده است، که البته در اثر دگرگونی ناحیه ای، خاموشی موجی و ماکل سرنیزه ای پیدا کرده اند.

به نظر می رسد پیش سنگ این واحد، یک ریولیت بوده است که به صورت هم روند با لایه بندی، میلوئیتی شده است. هم روندی این واحد با واحدهای مجاور، عدم وجود دگرگونی همبری و هاله گرمایی و عدم گسترش دگرسانی گرمایی و درزه و شکستگیهای مرتبط با جایگیری توده های گرانیتی، از جمله شواهدی هستند که ریولیت بودن این واحد را تأیید می کنند.

ساخار

مجموعه آتشفشانی- رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک در منطقه چاه کلب توسط گسلهای امتداد لغزی با راستای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر جابه جا شده است. گسلهای شمال باختر- جنوب خاور عمدتاً راستگرد بوده و جابه جایی واضحی را در مجموعه آتشفشانی- رسوبی به میزان چند ده متر تا ۱۰۰ متر ایجاد کرده اند، در حالی که گسلهای شمال خاور- جنوب باختر چپگرد بوده و جابه جایی مشخصی در اطراف آنها مشاهده نمی شود. محیط تشکیل کانسار چاه کلب حوضه کافت درون قاره ای (Tirrul et al., 1983) بوده است که محیط مناسبی را برای فعالیت آتشفشانی زیر دریایی و رسوبگذاری مجموعه های رسوبی فراهم کرده است. وجود مقادیر زیادی از توفهای اسیدی، سنگهای آتشفشانی و سنگهای رسوبی دگرگون شده در توالی آتشفشانی- رسوبی چاه کلب، مؤید وجود یک حوضه کافتی است؛ هرچند که عدم برونزد سنگهای آتشفشانی بازی، این نظر را با سؤال روبه رو می سازد.

شیست سبز پایینی یا سریستوشیست را متحمل شده اند. مواد رسوبی این سنگها، مواد پلیتی، آرژیلی و ماسه ای بوده که در یک حوضه آتشفشانی- رسوبی ته نشین می شده است. کوارتز، سریسیت و مسکوویت در این سنگها فراوان است که این کانیهها بر گوارگی سنگ را ایجاد نموده اند.

توف فلسیک دگرگون شده پایینی

این واحد دارای رنگ خاکستری روشن بوده و از کوارتز، سریسیت، کلسیت، کلریت و آلپیت تشکیل یافته است. ستبرای آن ۵ تا ۱۰ متر بوده و به شدت تغییر رخساره جانبی و قائم را نشان می دهد. نکته جالب توجه این که میزان آهک از پایین به سمت بالا افزایش می یابد، به گونه ای که در قسمتهای بالایی این واحد، میزان کلسیت به حدی افزایش می یابد که نامگذاری آن به کالک شیست بی مناسب نیست. در برخی گمانه ها، تناوبی از توفهای فلسیک و سنگ آهک دگرگون شده (گمانه شماره ۷ و ۱۱ و ۱۲) و همچنین تناوب متاپلیت و توفهای فلسیک، مشاهده می شود (گمانه شماره ۸، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۱۷).

سنگ آهک دگرگون شده

این واحد از سه رخساره مختلف تشکیل شده است که به طور جانبی و قائم به یکدیگر تبدیل می شوند. این رخساره ها از پایین به بالا شامل: آهک میکربیتی چرت دار دگرگون شده، آهک اسپاریتی چرت دار و آهک ناخالص میکربیتی دگرگون شده است. مرز این واحد با شیستهای فلسیک پایینی و بالایی تدریجی است. در بخشهای میانی واحد سنگ آهک دگرگون شده، تناوب آهکهای اسپاریتی با رنگ روشن و آهکهای میکربیتی خاکستری رنگ، مشاهده می شود. مرز این واحد با شیستهای فلسیک پایینی و بالایی تدریجی است. بافت این سنگ موزاییکی است و در برخی قسمتها حالت اولیه میکربیتی آن قابل مشاهده است. این سنگ از کلسیت تبلور دوباره یافته تشکیل شده که رگه های سیلیسی جهت داری آن را قطع کرده اند.

توف فلسیک دگرگون شده بالایی

این سنگها مجموعه ای از آتشفشانیهایی فلسیک و توفهای اسیدی است که به شدت تغییر رخساره جانبی و قائم نشان داده و دگرگون، خرد شده و دگرسان هستند. مرز این واحد با سنگ آهکهای دگرگونی تدریجی بوده و محتوای کربنات آن به سمت واحد سنگ آهکی افزایش می یابد. در نزدیک مرز قطعاتی از سنگهای کربناتی درون سنگهای آتشفشانی دگرگون شده و نیز قطعاتی از اینها درون واحد سنگ آهک مشاهده می شود. از رخساره های

افق‌های کانهدار

بر اساس مطالعات کانه‌نگاری، سنگ‌نگاری و تحلیل رخساره‌ای، افق‌های کانهدار متعددی در کانسار چاه کلب تشخیص داده شده است که هر کدام جایگاه مشخصی را در ستون چینه‌ای به خود اختصاص داده اند (تصویر ۴ و ۵). این افق‌ها از پایین به بالا عبارتند از:

افق کانهدار (سولفیدی) I

این افق در واحد متاپلیتی کوارتز، کلسیت، سریسیت، بیوتیت دار رخ داده است (تصویر ۴). متاپلیت‌ها غنی از کلسیت بوده و هر جا در مجاورت واحدهای آتشفشانی بوده، کانهدار شده است. رنگ این افق خاکستری مایل به سیاه بوده و ۲ تا ۴ متر ستبراً دارد. رنگ تیره این افق مرهون مواد آلی موجود در افق متاپلیتی است که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای تنها اثراتی از آنها باقی مانده است. ساخت و بافت‌های رسوبی اولیه این واحد به خوبی حفظ شده است. متاپلیت‌ها عموماً با توفهای فلسیک دگرگون شده، بویژه در بخش بالایی آن، تناوب دارند (در گمانه شماره ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۱۷).

در گمانه شماره ۱۷، تناوب متاپلیت‌ها و آتشفشانیه‌ها، اعم از توف فلسیک و ریولیت میلوئیتی، وجود دارد. در این گمانه، افق کانهدار I، تنها در نزدیکی همبری متاپلیت با ریولیت تشکیل شده است (تصویر ۶).

در متن سنگ و به موازات لایه‌بندی، عدسیه‌هایی از کوارتز تبلور دوباره یافته درشت بلور، با بافت موزاییکی دیده می‌شود. پاراژنز کانهدار شامل سولفیدهای مس و آهن بخصوص کلکوپیریت و پیریت است که دارای بافت‌های دانه پراکنده، ریزلایه‌ای (تصویر ۷) و پرکننده فضاهای خالی می‌باشند. کلکوپیریت دانه پراکنده، در تمام متن سنگ در مغزه‌های حفاری مشاهده شده است. سولفیدها، نیمه شکل دار تا بی‌شکل بوده و به صورت پراکنده، درون متن سنگ دیده می‌شوند. سولفیدهای فلزات پایه، تحت اثر نیروهای زمین‌ساختی، به موازات لایه‌بندی ظرف سنگ، کشیده شده و به همراه لایه‌های اولیه چین خورده‌اند. کانهدار موجود در این سنگ، شرایط مشابهی را از نظر دگرگونی و دگرشکلی با کانیهای سنگ ساز گذرانده‌اند.

افق کانهدار (سولفیدی) II

سنگ درونگیر این افق، توفهای فلسیک دگرگون شده پایینی است (تصویر ۴). ستبرای افق کانهدار II، به‌طور متوسط ۱/۵ تا ۲ متر است. کانه‌زایی در این افق، شامل کلکوپیریت، پیریت، پیریت اکسیده و هماتیت می‌باشد که دارای بافت‌های دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی هستند. این افق نسبت به عناصر فلزی مس، روی، تنگستن، قلع و سرب غنی شدگی نشان می‌دهد؛ هر چند

که کانه‌زایی شیلیت در این افق مشاهده نشده است.

افق کانهدار اصلی (سولفیدی-شیلیت) III

کانه‌زایی شیلیت در کانسار چاه کلب با رخساره سنگ آهک چرت دار دگرگون شده در ارتباط است. این رخساره بخصوص در همبری زیرین و بالایی سنگ آهک‌های دگرگون شده با توفهای فلسیک دگرگون شده تشکیل شده است (تصویر ۴). بخش چرت‌دار که به صورت یک افق همراه با سنگ آهک دگرگون شده تشکیل شده است، در واقع افق اصلی کانهدار تنگستن (مس-روی) چاه کلب می‌باشد.

رخساره دربرگیرنده افق کانهدار III، سنگ آهک چرت دار دگرگون شده است. ستبرای این افق از ۶ متر تا ۰/۱ متر متغیر است. ستبرای افق کانهدار از خاور به باختر کانسار به تدریج کاهش یافته و در سمت باختری کانسار جایی که کرنات‌ها بیشترین ستبراً را دارند، افق ماده معدنی به کلی محو می‌گردد. شکل این افق چینه‌سان، چینه کران و به صورت عدسیه‌های همخوان با لایه‌بندی است. پاراژنز کانهدار شامل شیلیت، کلکوپیریت، پیریت، اسفالریت و ملاکیت است. این کانهدار دارای بافت توده‌ای (تصویر ۸)، ریزلایه (تصویر ۹ و ۱۰)، نواری، برشی و پرکننده فضاهای خالی هستند. سولفیدهای با بافت توده‌ای در مغزه‌های گمانه‌ها به خوبی دیده می‌شوند. شیلیت به صورت دانه پراکنده در متن سنگ و درون عدسیه‌ها و نوارهای چرتی ریزلایه و برشی در این افق قابل مشاهده است. در گمانه‌های شماره ۱، ۳، ۶، ۱۰، ۱۱ (تصویر ۵)، ۱۵ و ۱۶ این افق، در محل تماس پایینی سنگ آهک‌های چرت دار دگرگون شده با توفهای فلسیک دگرگون شده رخ داده است.

تقریباً در همه حفاری‌های انجام شده، اثراتی از این افق کانهدار اصلی مشاهده شده است. بخش چرتی در مرز پایینی و گاه در مرز بالایی کرنات‌های دگرگونی و در مواردی به صورت ریزلایه در بین واحد سنگ آهکی رخ داده است و در محل این بخش‌های چرتی در اثر دگرگونی ناحیه‌ای، افق‌های کلسیمی-سیلیکاتی ایجاد شده است. در این افق تغییر رخساره از سنگ آهک به چرت دیده می‌شود. میزان شیلیت در این افق، عدسیه‌ها و نوارهای کوارتزی حاوی گروسولار، دیوپسید، ترمولیت، اکتینولیت و کلسیت است که به موازات روندهای سنگ آهک تشکیل شده و با سنگ درونگیر چین خورده‌اند. ریزلایه‌ها عموماً بین ۲ تا ۵ میلی متر ستبراً دارند (تصویر ۱۰). با توجه به شکل عدسی مانند و نواری این بخش‌های کوارتزی شیلیت دار و همچنین سنگ‌شناسی بخش‌های میانی این افق، به نظر می‌رسد این عدسیه‌ها و نوارهای کوارتزی ماهیت چرتی داشته‌اند، که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای تبلور دوباره یافته و به کوارتز متوسط تا درشت بلور تبدیل شده‌اند.

افق کانهدار (سولفیدی) VI

این افق درون توفهای فلسیک دگرگون شده بالایی و گاه درون عدسیهای ریولیت میلونیتی، که به صورت بین لایه‌ای در این واحد قرار گرفته است، دیده می‌شود (تصویر ۴). پاراژنز کانها شامل پیریت و به ندرت کلکوپیریت است که به صورت دانه پراکنده در واحد کوارتز-سریسیت-کالک شستی رخ داده است. بافت پرکننده فضاهای خالی و برشی (تصویر ۱۵) نیز در این افق مشاهده می‌شود. کانهای زایی در قسمتهای پایین این افق پر بارتر است. ستبرای افق کانهدار VI حداکثر به ۲/۵ متر می‌رسد.

شکل و ساخت و بافت ماده معدنی

افقهای کانهدار در منطقه چاه کلب عموماً حالت چینه‌سان دارند. شکل ماده معدنی عدسی شکل، ورقه‌ای و صفحه‌ای و هم‌خوان و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ‌آهک و برگوارگی غالب شست‌هاست. به نظر Zierenberg et al. (1993) شکل صفحه‌ای و ورقه‌ای پیکره‌های معدنی، یک ویژگی رسوبی اولیه است. Maiden (1981)، ماهیت لایه‌ای ظریف کانهای زایی شلیت را نشانه‌ای قاطع بر آتشفشانی-رسوبی بودن کانهای زایی تنگستن در نظر گرفته است. بر اساس Slack et al. (2001) چینه‌سان بودن توده‌های معدنی و همچنین دارا بودن شرایط دگرگونی یکسان سنگهای میزبان بامواد معدنی، نشانه تشکیل کانسار به صورت همزمان با رسوبگذاری و آتشفشانی زیر دریایی است.

در کانسار چاه کلب بافتهای توده‌ای (تصویر ۸)، ریزلایه (تصویر ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲)، دانه پراکنده (تصویر ۱۳)، نیمه توده‌ای (تصویر ۱۴)، برشی (تصویر ۱۵) و پرکننده فضاهای خالی (تصویر ۱۶) در افقهای کانهدار قابل مشاهده است. سولفیدهای با بافت توده‌ای و نیمه توده‌ای از جمله شواهد فعالیت برون‌دمی آتشفشانهای زیر دریایی در منطقه بوده و در افق کانهدار اصلی به فراوانی قابل مشاهده است.

بافت دانه پراکنده کانهای شلیت (تصویر ۱۳) در افقهای کانهدار III، IV و V و در ریزلایه‌های متاچرت رخساره سنگ‌آهک چرت دار دگرگون شده، می‌تواند نشانه ته‌نشست اولیه ماده معدنی و تبلور آن در مرحله دیاژنز باشد. این بافت، نشان دهنده همزمانی تشکیل و تمرکز کانها با کانهای سنگ درونگیر خود است. بافت دانه پراکنده، از گسترش زیادی در تمامی افقهای کانهدار کانسار چاه کلب برخوردار است و دانه‌های پراکنده شلیت، کلکوپیریت، اسفالریت و دیگر سولفیدها به فراوانی در افقهای کانهدار رخ داده است.

رخداد بافت ریزلایه‌ای (تصویر ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲)، که از بافتهای رسوبی-

به رغم غنی‌شدگی همه سنگهای آتشفشانی-رسوبی منطقه از تنگستن، در کانسار چاه کلب، کانهای زایی شلیت از گسترش کمتری نسبت به کانهای زایی سولفیدی برخوردار است و تنها در افقهای کانهدار III، IV و V با سنگ میزبان آهک چرت دار، کانهای زایی شلیت دیده می‌شود.

افق کانهدار (سولفیدی-شلیت) IV

سنگ دربرگیرنده این افق، همانند افق کانهدار III، رخساره سنگ‌آهک چرت دار دگرگون شده است (تصویر ۴). ستبرای این افق از ۲ تا ۵ متر متغیر است. در این افق ریزلایه‌های بسیار زیبایی از شلیت، درون باندها و عدسیهای متاچرتی در زیر نور UV قابل مشاهده است (تصویر ۱۱). ستبرای این ریزلایه‌ها در حد چند میلی‌متر تا یک سانتی‌متر است. این لایه‌ها با هیچ گونه شکستگی در ارتباط نبوده، محدود به رخساره سنگ‌آهک چرت دار بوده، موازی با آن قرار گرفته و با آن چین خورده‌اند (تصویر ۱۲). اندازه بلورهای شلیت، درون ریزلایه‌ها ریزتر از شلیت دانه پراکنده در متن سنگ است (تصویر ۱۱). شلیت، کلکوپیریت، اسفالریت و پیریت دارای بافت دانه پراکنده (تصویر ۱۳) در این افق قابل مشاهده است. کانی‌شناسی ماده معدنی شامل شلیت، کلکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و مالاکیت است.

افق کانهدار (سولفیدی-شلیت) V

این افق، در بالاترین بخش کربناتهای دگرگون شده و قبل از واحد آتشفشانی فلسیک قرار گرفته است (تصویر ۴). پیش سنگ این افق نیز سنگ‌آهک چرت دار دگرگون شده است. به طور متوسط، افق کانهدار V، ۲ متر ستبرا دارد. پاراژنز کانها شامل شلیت، کلکوپیریت، پیریت، اسفالریت، پیروتیت و مارکاسیت است. این کانها دارای بافت دانه پراکنده، برشی، پرکننده فضاهای خالی و به طور استثنایی در گمانه شماره ۱۷ دارای بافت نیمه توده‌ای است (تصویر ۱۴). در گمانه‌های شماره ۱۱ و ۱۳ (تصویر ۵)، در محل تماس بالایی سنگ‌آهکهای چرت دار دگرگون شده و توف فلسیک دگرگون شده، تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای مجموعه‌ای از کانهای کلسیمی-سیلیکاتی تشکیل شده است.

در این دو گمانه، افق کانهدار از نظر ویژگیهای سنگ‌شناسی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی کانها و کانهای سنگ ساز کاملاً مشابه افقهای کانهدار III و IV است.

(Burchard, 1972) King Island تاسمانیا و (Holl et al., 1972) است.

کانی‌شناسی باطله، شامل کلسیت، کوارتز، پیروکسن، گارنت، ولاستونیت، آمفیبول، اپیدوت، پره‌نیت و آنورتیت است. کانی‌شناسی سنگ درونگیر در کانسار چاه کَلپ، شبیه کانیهای سنگ ساز در کانسار Austroalpine Crystalline Complex (Raith, 1991) است.

بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانه‌ها و مطالعه دقیق ارتباط کانه‌های فلزی و کانیهای سنگ ساز و با کمک گرفتن از داده‌های مربوط به تجزیه میکروپروپ کانیهای مختلف، توالی پاراژنز کانه‌ها برای کانسار چاه کَلپ در ۳ مرحله پیشنهاد شد (شعله و همکاران، ۱۳۸۳). این سه مرحله شامل ۱- مرحله رسوبگذاری و دیاژنز ۲- مرحله دگرگونی ناحیه‌ای (اولیه و تأخیری) و ۳- مرحله هوازدگی است. (تصویر ۱۷).

آیا کانسار چاه کَلپ، یک کانسار دور منشأ و یا نزدیک منشأ است؟

تقسیم بندی کانسارهای تنگستن برون‌دمی بر اساس فاصله زمانی و مکانی از مرکز آتشفشانی به نزدیک منشأ و دور منشأ به طور عمده توسط Plimer و Cheillettz صورت گرفته است. کانسار تنگستن Broken Hill استرالیا، توسط (Plimer, 1994, 1988, 1987)، به عنوان یک کانسار برون‌دمی دور منشأ معرفی شده است. Cheillettz نیز در مقاله خود، با عنوان مروری بر کانسارهای تنگستن چینه‌سان، ضمن برشمردن ویژگیهای تپهای مختلف تنگستن چینه‌سان، تقسیم‌بندی جامعی از این کانسارها ارائه می‌دهد (Cheillettz, 1988). وی کانسارهای Felbertal اتریش، Tatra در چکسلواکی سابق و کانسارهای تنگستن برون‌دمی زیمبابوه را به عنوان مثالی از کانسارهای تنگستن برون‌دمی نزدیک منشأ و کانسارهای Broken Hill استرالیا، کانسار Kleinarltal اتریش و بی‌هنجاریهای چینه‌سان سپر کامبرو- اردووسین Catalan Cordillera اسپانیا و بی‌هنجاریهای جنوب باختری Sardinia در ایتالیا را به عنوان مثالی از کانسارهای تنگستن برون‌دمی دور منشأ معرفی می‌کند (Cheillettz, & Giuliani, 1988).

در کانسارهای نزدیک منشأ، نزدیکی به مرکز آتشفشان با شواهدی مانند شدت فعالیت انفجاری آتشفشانی، نسبت بالای سنگهای آتشفشانی به رسوب، رخداد پلوتونیسیم و توسعه دگرسانی سنگ دیواره مشخص می‌شود (Cheillettz, 1988; Plimer, 1978). در کانسار چاه کَلپ، فعالیت انفجاری شدید، پلوتونیسیم و دگرسانی شدید سنگ دیواره رخ نداده است و از سوی دیگر حجم سنگهای رسوبی در توالی آتشفشانی-رسوبی نیز بالاست. بنا براین شواهد فوق می‌تواند نشانه‌ای از دوردست بودن این کانسار باشد.

دیاژنتیک است، در افقهای کانه دار III، IV و V نشان دهنده تشکیل ماده معدنی همزمان با کانیهای تشکیل دهنده سنگ درونگیر خود است. در سنگ درونگیر ماده معدنی، ریزلایه‌های بسیار زیبایی از شلیت درون نوارها و عدسیهای متاچرت در زیر نور UV قابل تشخیص است. این ریزلایه‌ها با هیچ گونه شکستگی در ارتباط نبوده، محدود به یک لایه رسوبی بوده، موازی با آن قرار گرفته و با آن چین خورده‌اند (تصویر ۱۰). اندازه بلورها در این بافت، ریزتر از بافتهای دیگر است. این ریزلایه‌ها حاوی شلیت هستند. ستبرای نوارهای متاچرتی تا چند میلی‌متر می‌رسد. (Holl, 1986, 1970)، رخداد ریزلایه‌های بین چینه‌ای حاوی شلیت در نوارهای متاچرت را دلیلی واضح بر همزاد بودن کانسار Felbertal در نظر گرفته است.

بافت برشی برجا (تصویر ۱۵)، یکی از بافتهای شاخص کانسارهای آتشفشانی-رسوبی است. این بافت در افقهای کانه دار کانسار چاه کَلپ به ندرت قابل مشاهده است ولی بیشترین گسترش آن مربوط به افق کانه دار VI است. کانی‌شناسی قطعات برشی و کانه‌های دانه پراکنده موجود در متن سنگ یکسان بوده و این نکته، تأیید کننده منشأ آتشفشانی-رسوبی این بافت است.

بافت پرکننده فضاهای خالی (تصویر ۱۶) نیز به فراوانی برخوردار داشته و به ندرت در افقهای کانه دار III و IV قابل مشاهده است. در این بافت، شلیت به همراه کانه‌های سولفیدی حفره‌ها و شکستگیهای سنگها را پر کرده است. ساخت و بافتهای مشاهده شده در کانسار چاه کَلپ، همگی خاص کانسارهای همزاد آتشفشانی-رسوبی است که در کانسارهای تنگستن چینه‌سان آلپ خاوری (Raith & Prochaske, 1995, Raith, 1991; Holl, 1975, 1976; Maucher, 1976). بروکن هیل و بوهمین مسیف استرالیا و (Plimer, 1987, 1994; Kwak, 1987; Barnes, 1983; Beran et al., 1985) و Austroalpine Crystalline Complex Mittersill اتریش (Raith, 1991; Thalhammer et al., 1989)، نیز مشاهده و گزارش شده است.

کانی‌شناسی

کانه‌های تشخیص داده شده در مطالعات میکروسکوپی و تجزیه‌های XRD و EMP شامل شلیت، کلکوپیریت، اسفالریت، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، کوولیت، بورنیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آزوریت-مالاکیت و کلکوسیت است (شعله و همکاران، ۱۳۸۳). کانی‌شناسی ماده معدنی در کانسار چاه کَلپ شبیه به کانسارهای تنگستن چینه‌سان آلپ خاوری

کانه‌زایی، تنها با برون‌دمهای منشأ گرفته از سنگهای آتشفشانی مربوط به مراحل پایانی هر دوره آتشفشانی دیده می‌شود. برون‌دمهای حاصل از این آتشفشانها، به رسوبات شیمیایی، یا زیست شیمیایی که در یک محیط آرام ته‌نشین می‌شده‌اند، افزوده شده (Barnes, 1983) و همراه با آنها رسوب کرده و در طی مراحل مختلف دیاژنز، کانه‌ها، تحرک دوباره پیدا کرده و تبلور یافته‌اند. بر اساس (Raith, 1991)، پیش‌تمرکز تنگستن، به فرایندهای همزمان با رسوبگذاری - دیاژنز مرتبط است.

کانه‌زایی در کانسار چاه کلب از نظر سنگ درونگیر، رخساره دگرگونی، موقعیت زمین‌ساختی، آتشفشانی هم‌منشأ، کانی‌شناسی ماده معدنی، گسترش کانه‌زایی، شکل ماده معدنی، ساخت و بافت و منشأ کانه‌زایی شباهت بسیاری با کانسار تنگستن چینه‌سان بروکن هیل (Plimer, 1994; Plimer, 1987; Kwak, 1987; Barnes, 1983) و Austroalpine Crystalline Complex اتریش (Raith, 1991) دارد (جدول ۱). علاوه بر کانسارهای یاد شده، کانسار چاه کلب با کانسارهای ایالت شیلیت Serido در شمال برزیل (Salim et al., 1991)، کانسار Montane Noire فرانسه (Gibert et al., 1992)، کانسار New Mexico (Fulp & Renshaw, 1985) و هندوکش پاکستان (Leake et al., 1989) شباهتهای گسترده‌ای دارد. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین کانسار چاه کلب، با کانسارهای دور منشأ و نزدیک منشأ شاخص دنیا Broken Hill، ACC، Felberttal، Kleinartal و کانسار بامسر انارک انجام شده است. بر اساس تقسیم‌بندی کانسارهای تنگستن چینه‌سان که در سال ۱۹۸۸ توسط Cheillettz پیشنهاد شده است، کانه‌زایی چاه کلب در ردیف کانسارهای تنگستن چینه‌سان برون‌دمی-آتشفشان‌زاد دور منشأ قرار می‌گیرد که در مجموعه آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک رخ داده است. شواهد تأیید کننده زایش پیشنهادی عبارتند از:

- حضور سنگهای آتشفشانی در توالی آتشفشانی-رسوبی منطقه معدنی
- رخداد کانه‌زایی در همبری کربناته‌های دگرگونی با توفهای فلسیک دگرگون شده که تأمین کننده عناصر کانه‌ساز بوده‌اند.
- شکل چینه‌سان، چینه کران و عدسیهای همخوان با لایه بندی ماده معدنی و قرارگیری شیلیت و سولفیدها در شش افق کانه دار.
- وجود نوارهای چینه‌ای و ریزلایه‌ای شیلیت و سولفیدهای فلزهای پایه به صورت بین لایه‌ای با سنگ آهکهای چرت دار دگرگون شده.
- رخداد سولفید توده‌ای در افق کانه دار اصلی.
- عدم ارتباط زمانی و مکانی افقهای کانه دار با توده‌های نفوذی.
- عدم پیروی کانه‌زایی از گسلها و شکستگیهای محلی. درزه‌ها و شکستگیها

کانسارهای نزدیک منشأ، معمولاً با دودکشهای دگرسان شده فرودیواره، زون رگه-رگچه‌ای و منطقه کانه‌های دانه پراکنده و فراوانی مجموعه‌های غنی از کوارتز-سریسیت و منیزیم همراهی می‌شوند، درحالی که دگرسانی ضعیف کوارتز-سریسیت و آهن دار به کانسارهای دوردست مرتبط است (Plimer, 1978). در کانسار چاه کلب، سنگهای آتشفشانی، دگرسانی در حد سریسیتی شدن را نشان می‌دهند. در این کانسار، عدم مشاهده زون رگه و رگچه‌ای، زون استوک و روک و دودکشهای دگرسان شده، نزدیک منشأ بودن این کانسار را با تردید رو به رو می‌سازد.

کانسارهای دور منشأ با توفهای کلسیمی-قلیایی و تولیتی و شیلهای سیاه همراهند (Cheillettz, 1988). کانه‌زایی در کانسار چاه کلب نیز با توفهای فلسیک و متاپلیت همراه است.

در کانسارهای دور منشأ، کانه‌زایی لایه‌ای تنگستن-سرب-روی-مس به صورت بین لایه‌ای و همراه با چرت، آهک، دولمیت، باریت و تورمالینیت دیده می‌شود (Cheillettz, 1988)؛ در کانسار چاه کلب نیز کانه‌زایی لایه‌ای و ریزلایه‌ای تنگستن، مس و روی به صورت بین لایه‌ای و در چرت‌های همراه با آهکها تشکیل شده است. از سوی دیگر، رخداد همزمان شیلیت و سولفید توده‌ای و نیمه توده‌ای در افقهای کانه دار III، IV و V کانسار چاه کلب شبیه کانسار دور منشأ بروکن هیل استرالیا است (Plimer, 1994). به هر حال، بر اساس مقایسه‌ای که بین کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلب و کانسارهای نزدیک منشأ و دور منشأ شاخص صورت گرفت (جدول ۱)، کانسار چاه کلب، شباهت بیشتری با کانسارهای دور منشأ دارد؛ هر چند برخی از ویژگیهای این کانسار، به کانسارهای نزدیک منشأ نیز بی‌شباهت نیست. در تصویر ۱۸ مدل تشکیل احتمالی کانسار چاه کلب نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعات و بررسیهای انجام شده در کانسار چاه کلب نشان داد که کانه‌زایی تنگستن (مس-روی) در کانسار چاه کلب، همزمان با رسوبگذاری توالی آتشفشانی-رسوبی و با شکل عدسی همخوان با لایه‌بندی و به صورت چینه‌سان و چینه کران در محل تغییر رخساره سنگهای آتشفشانی به سنگ آهکهای چرت‌دار رخ داده است. البته شایان ذکر است که کانه‌زایی سولفیدی به صورت دانه پراکنده در درون متافلسیک توف و متاریولیتها نیز در توالی آتشفشانی-رسوبی به‌خوبی دیده می‌شود. در کانسار چاه کلب، به مانند کانسار ACC اتریش، برون‌دمها (Exhalites)، تأمین کننده اصلی عناصر کانه‌ساز تنگستن، مس، روی، آهن و ... بوده‌اند (Raith, 1988, 1991). به عقیده (Saez et al., 1999)، در کانسارهای برون‌دمی-آتشفشان‌زاد

سریه‌های آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی تا ژوراسیک در ایران مرکزی و سندج-سیرجان احتمالاً می‌توانند از پتانسیل خوبی برای کان‌زایی تیپ چاه کلپ برخوردار باشند. بر این اساس سریه‌های فوق باید برای پی‌جویی و شناسایی کان‌زایی تنگستن، مورد توجه جدی قرار گیرند.

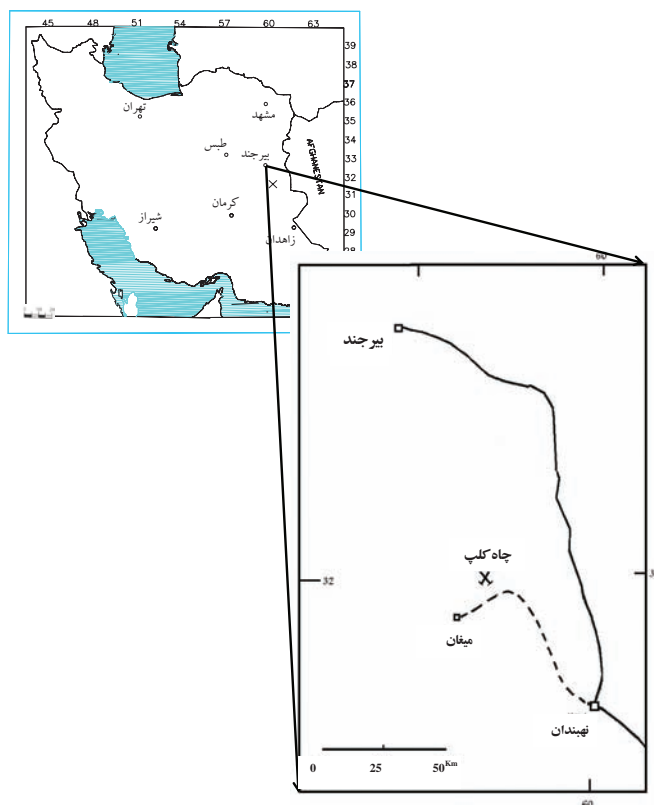
سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله برای انجام این پژوهش از حمایت‌های معاون پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس برخوردار بوده‌اند که از ایشان قدردانی و سپاسگزاری می‌گردد. از مدیریت محترم سازمان زمین‌شناسی مرکز مشهد و کارشناس مسئول پروژه اکتشافی چاه کلپ، مهندس عسکری به خاطر همکاری‌های صمیمانه و در اختیار قرار دادن مغزه‌های گمانه‌های حفاری صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد. از پروفسور Raith استاد دانشگاه Leoben اتریش، برای راهنمایی‌های ارزنده ایشان در طول مراحل مطالعه مقاطع و تجزیه میکروپروب بیش از ۱۵۰ نقطه، مسئولین محترم آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه Leoben اتریش بابت حمایت‌های مالی و از آقایان پروفسور Meinert، پروفسور Plimer و دکتر Cheilletz که همواره پرسش‌های علمی را، در کوتاه‌ترین زمان ممکن، پاسخ داده‌اند، صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

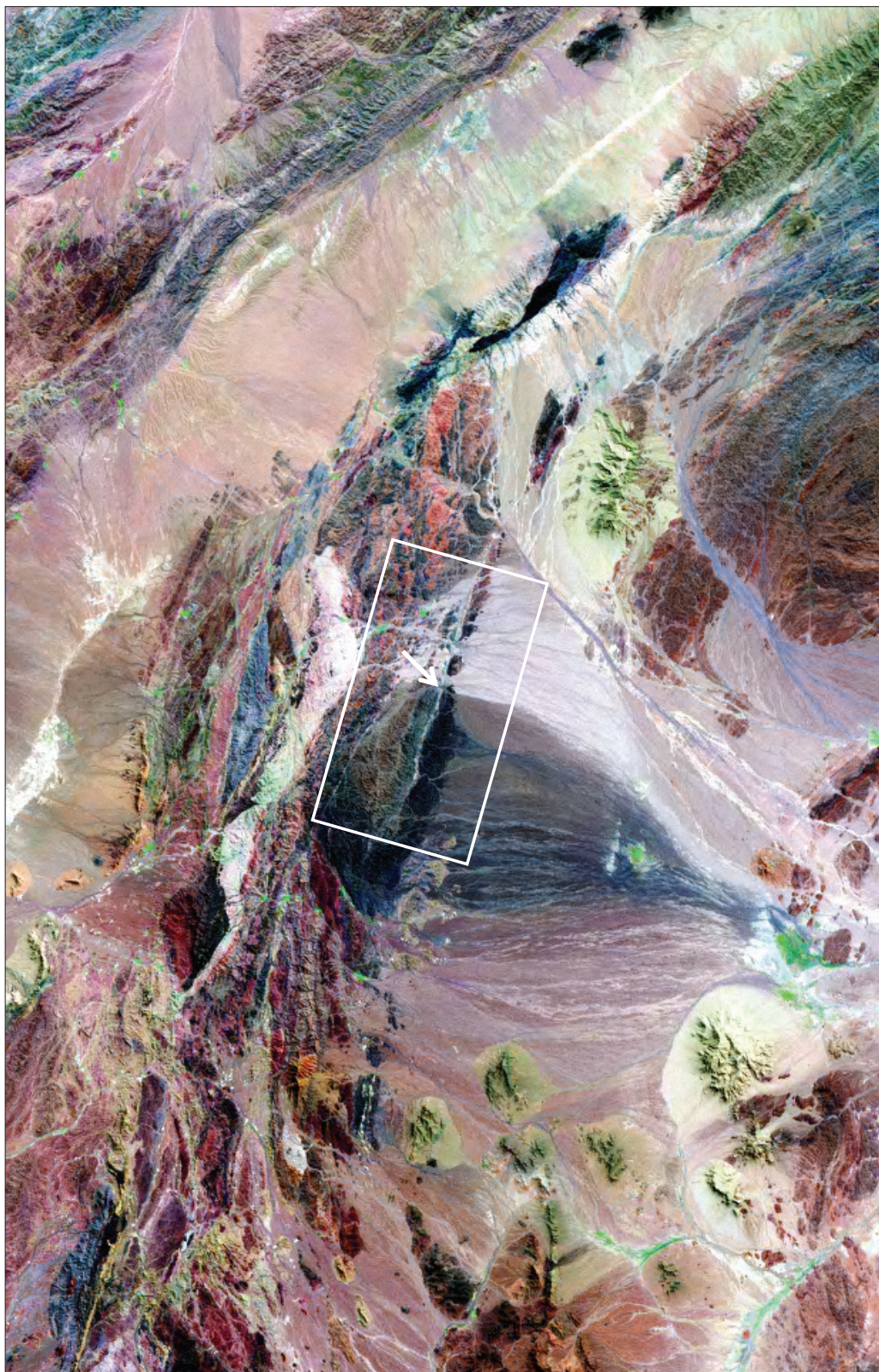
وقتی کان‌دار هستند که از محدوده مرز پایینی کربنات‌ها و متافلسیک آتشفشانیها (محل افق کان‌دار اصلی) عبور می‌کنند، به طوری که شکستگیها با دور شدن از محل افق کان‌دار، بی‌بار می‌شوند.

- شباهتهای بسیار کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ با کانسارهای تنگستن چینه‌سان برون‌دمی شاخص از نظر سنگ‌درونگیر، شکل، بافت و ساخت، ترکیب کانی‌شناسی، پاراژنز و محیط زمین‌ساختی.

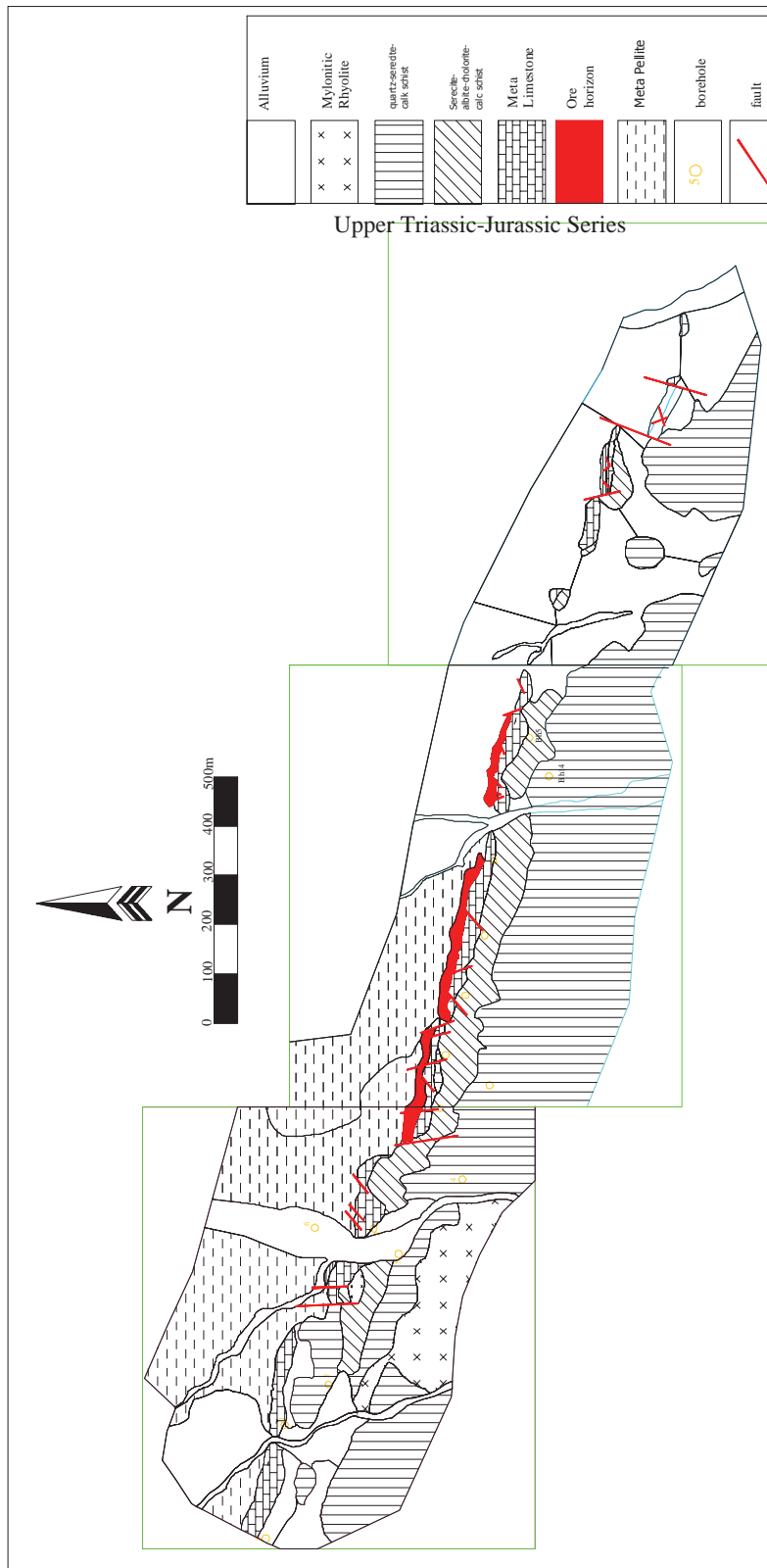
شایان ذکر است که کان‌زایی تنگستن (مس-روی) چینه‌سان چاه کلپ را نمی‌توان جدا از دیگر رخداد‌های تنگستن ایران، که در همین توالی آتشفشانی-رسوبی تشکیل شده‌اند، در نظر گرفت. در واقع کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ، بخشی از کان‌زایی تنگستن-مس-روی همزمان با رسوبگذاری مجموعه آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک ایران است، که در نقاط مختلف ایران از جمله در کانسار تنگستن چینه‌سان بامسر اراک در زون سندج-سیرجان (عزیزپور، ۱۳۷۸) و چاه پلنگ جنوبی انازک در ایران مرکزی (کریمی بافقی، ۱۳۶۷) گزارش شده است. به تازگی براساس اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، بی‌هنجاریهایی از تنگستن و فلزهای پایه در واحدهای آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک قروه نیز گزارش شده است (حسینی پاک، ۱۳۸۱). بر اساس این شواهد می‌توان پیش‌بینی نمود که



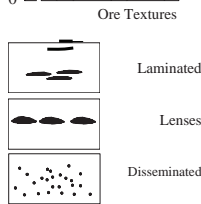
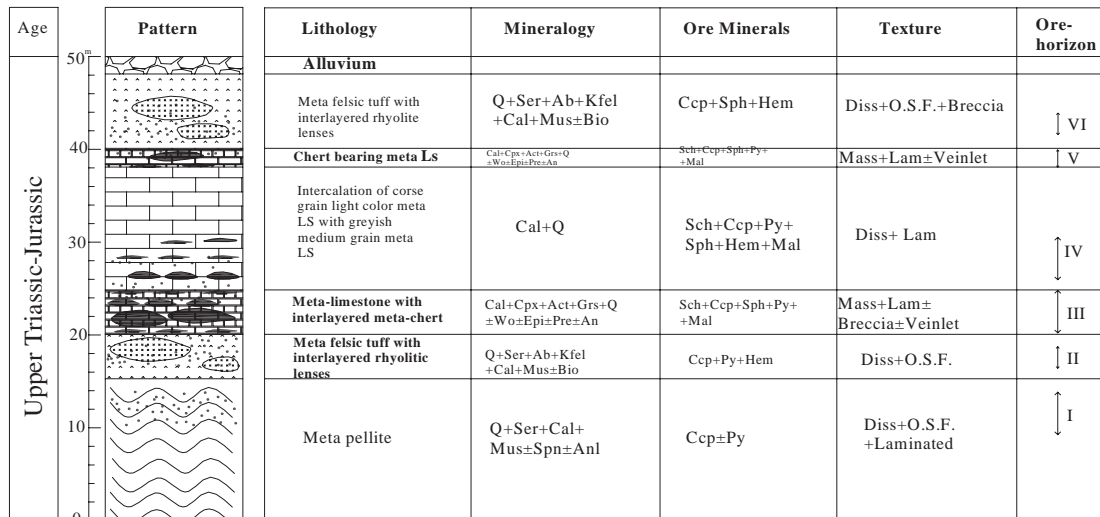
تصویر ۱- موقعیت کانسار چاه کلپ و راه‌های دسترسی به آن



تصویر ۲- موقعیت کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ و توالی آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک (مستطیل سفید رنگ) در عکس ماهواره‌ای (تصویر Landsat TM منطقه ایران، ۱۹۹۰) نسبت به بلوک لوت و زون نهندان-خاش یا زمین درز سیستان (Tirrul et al., 1981).



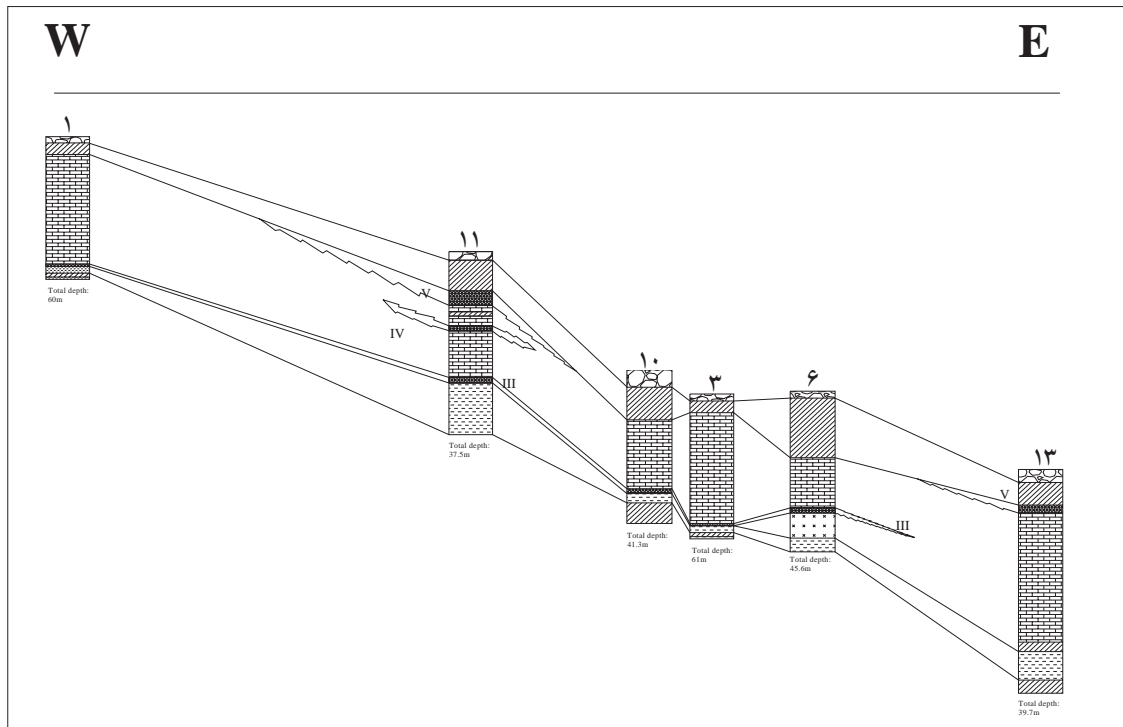
تصویر ۳- نقشه زمین شناسی منطقه معدنی چاه کلب



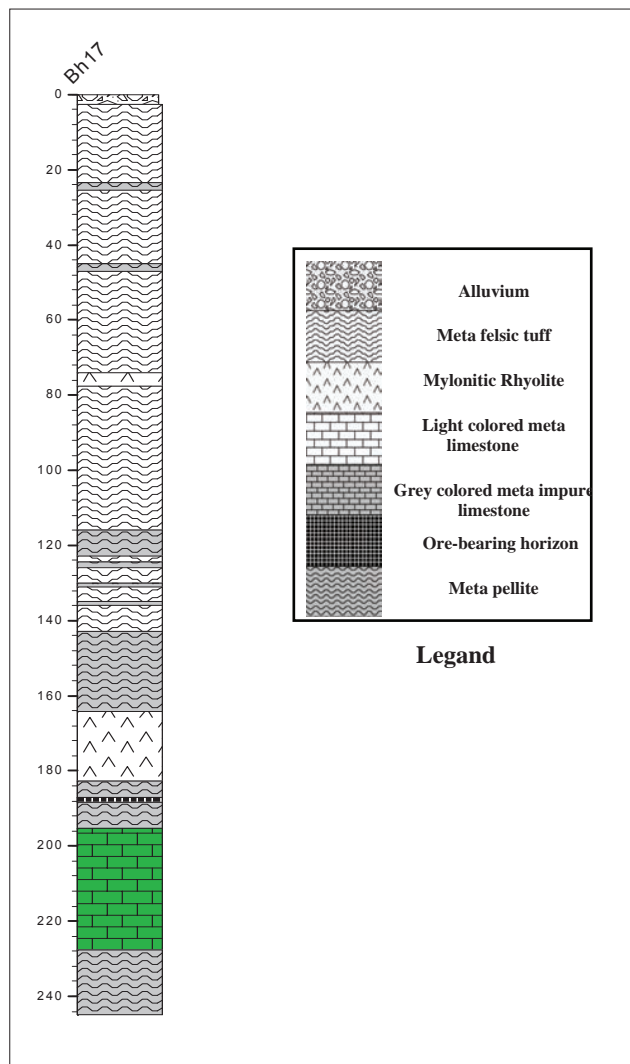
تصویر ۴- نمای عمومی از موقعیت و ویژگیهای افقهای کانه‌دار در توالی واحدهای آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک کانسار چاه کلب. این تصویر، بر اساس مطالعه مغزه‌های ۱۷ گمانه اکتشافی تهیه شده است.

Q: Quartz, K fel: K Feldspar, Pl: Plagioclase, Ser: Serecite, Cal: Calcite, Ch: Cholorite, Ab: Albite, Dio: Diopside, Hdn: Hedenbergite, Gr: Grasular, Wo: Wolastonite, Tre: Tremolite, Act: Actinolite, Ep: Epidote, Per: Perenite, Zo: Zoicite, CZo: clinozoicite, Sch: Scheelite, Ccp: Chalcopyrite, Py: Pyrite, Sph: Sphalerite, Diss: Disseminated, OSF: Open space filling, Mass: Massive, Lam: laminated, Ls: limestone

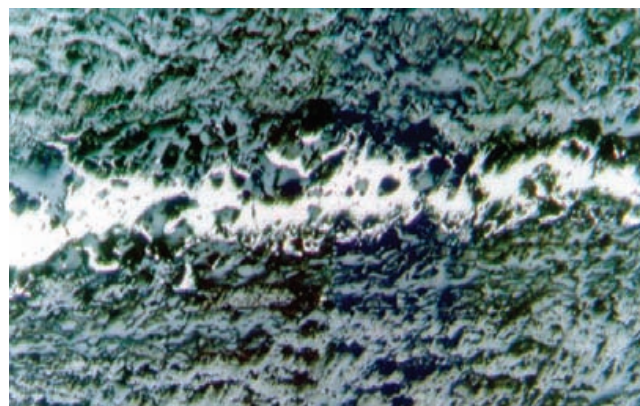
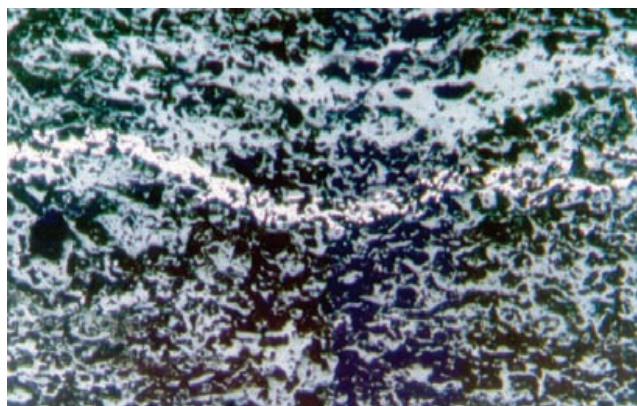
تصویر ۴- نمای عمومی از موقعیت و ویژگیهای افقهای کانه‌دار در توالی واحدهای آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک کانسار چاه کلب. این تصویر، بر اساس مطالعه مغزه‌های ۱۷ گمانه اکتشافی تهیه شده است.



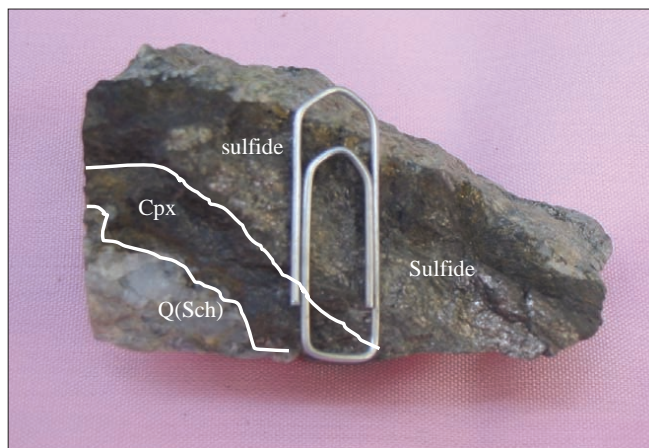
تصویر ۵- موقعیت افقهای کانه‌دار III، IV، V و تغییرات جانبی آنها در ستونهای چینه‌ای گمانه‌های اکتشافی شماره ۱، ۳، ۶، ۱۰، ۱۳، ۱۱. فاصله گمانه ۱ تا ۱۳ در حدود ۱۰۰۰ متر می باشد (برای راهنما به تصویر ۱۱ مراجعه شود).



تصویر ۶- ستون چینه‌ای مربوط به گمانه اکتشافی شماره ۱۷ و جایگاه افق کانه دار I در میان متاپلیتها



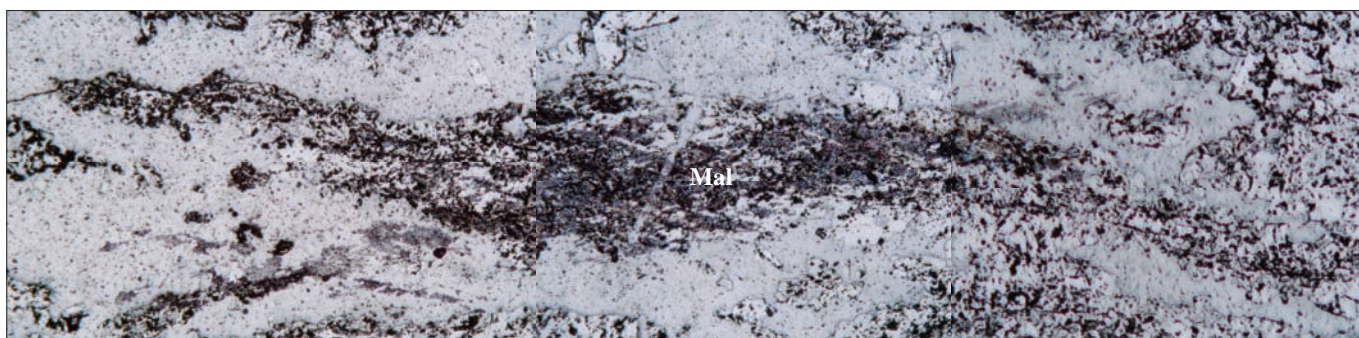
تصویر ۷- پیریت بدون شکل با بافت ریزلایه (نوار سفید رنگ) در افق کانه دار I که همروند و به موازات لایه بندی ظریف توفهای فلسیک دگرگون شده دراز شده است. (نور بازتابی، دو نیکل عمود بر هم، بزرگنمایی 10X)



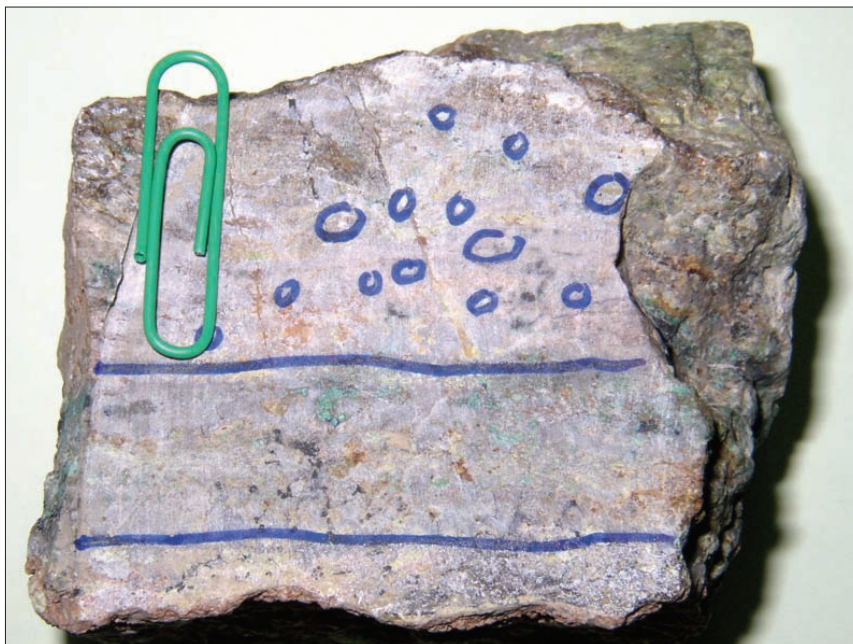
تصویر ۸- سولفید توده‌ای در افق کان‌دار III. بیش از ۷۰ درصد این نمونه از سولفید (کلکوپیریت و اسفالریت) تشکیل شده است. نوار سفید رنگ، باند سیلیسی حاوی شیلیت (Sch) و نوار سیاه رنگ تجمع کانیهای کلیسمی-سیلیکاتی و بخصوص کلینوپیروکسن (Cpx) است.



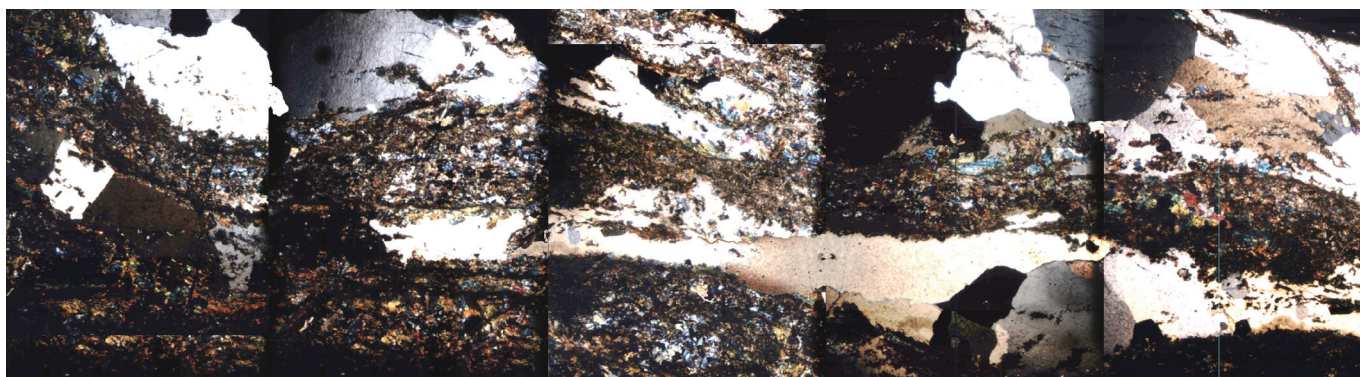
تصویر ۹- بافت ریز لایه در نمونه‌ای از افق کان‌دار III در این تصویر بخشهای روشن، عدسیهای متاچرتی حاوی زیر لایه‌های شیلیت دار هستند. ریز لایه‌های شیلیت به تبع از سنگ درونگیر چین خورده‌اند.



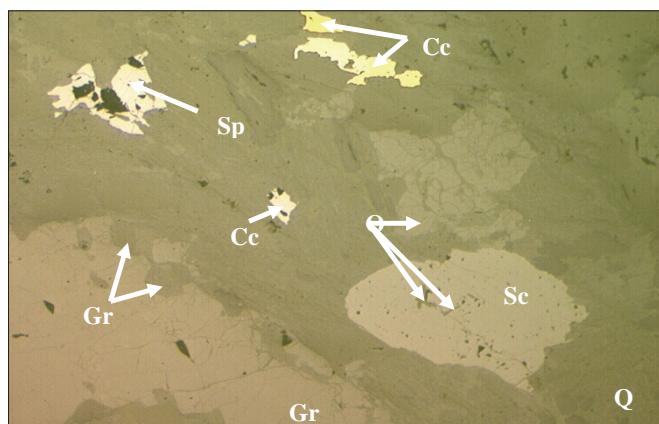
تصویر ۱۰- بافت ریز لایه‌ای مالاکیت (Mal) حاصل از تجزیه کلکوپیریت در افق کان‌دار III. بخشهای روشن از کوارتز، کلسیت، گارنت و اپیدوت تشکیل شده است. (نور بازتابی طبیعی، بزرگنمایی 5X)



تصویر ۱۱- بافت ریزلایه از شیلیت و مالاکیت (حاصل تجزیه کلکوپیریت در افق کان‌دار IV). سنگ درونگیر ماده معدنی در این افق، آهک چرت‌دار (افق کلسیمی-سیلیکاتی) است. در بخشهایی که با دایره مشخص شده‌اند، شیلیت دانه پراکنده و بخشی که با خط ممتد مشخص شده است، شیلیت با بافت ریزلایه تشکیل شده است.



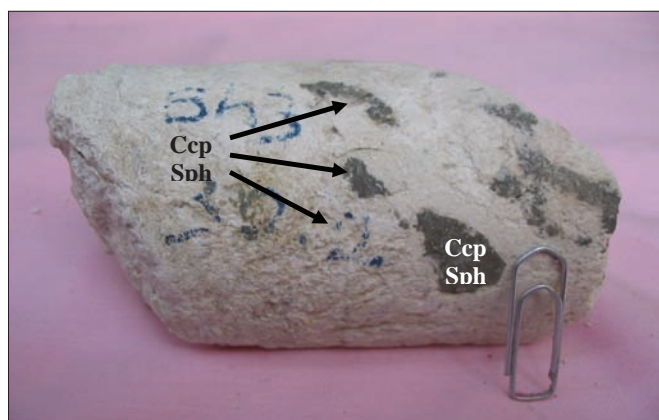
تصویر ۱۲- تصویر میکروسکوپی پاناروما از نمونه‌ای از سنگ درونگیر افق کان‌دار شماره IV. در این تصویر عدسیها و نوارهای متاچرتی (Q) حاوی شیلیت (Sch) به خوبی نمایان است. ریزلایه‌های شیلیت در زیر نور UV در این مقطع شناسایی شد. در این مقطع که از نمونه سنگی تصویر ۴-۶ تهیه شده است، تناوب نوارهای متاچرتی و بخشهای کلسیت، کلینوزویست، پره‌نیت‌دار قابل مشاهده است. در این سنگ رخداد شیلیت محدود به بخشهای چرتی است. (نور عبوری، دو نیکل عمود بر هم، بزرگنمایی 2.5X).



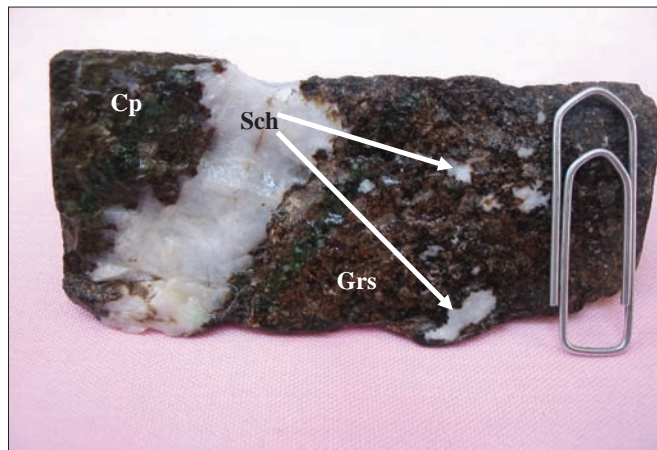
تصویر ۱۳- بافت دانه پراکنده در افق کان‌دار IV. در این تصویر بافت دانه پراکنده کلکوپیریت (Ccp)، اسفالریت (Sph) و شیلیت (Sch) قابل مشاهده است. در این نمونه کانیهای باطله عمدتاً از کوارتز (Q) و گروسولار (Grs) تشکیل شده‌اند. (تصویر نور بازتابی میکروپروپ، بزرگنمایی 20X)



تصویر ۱۴- بافت نیمه توده‌ای کلکوپیریت (Ccp) در افق کان‌دار V در همبندی بالایی آهک‌های دگرگون شده و توفهای فلسیک. بخشهای زرد رنگ، کلکوپیریت است.



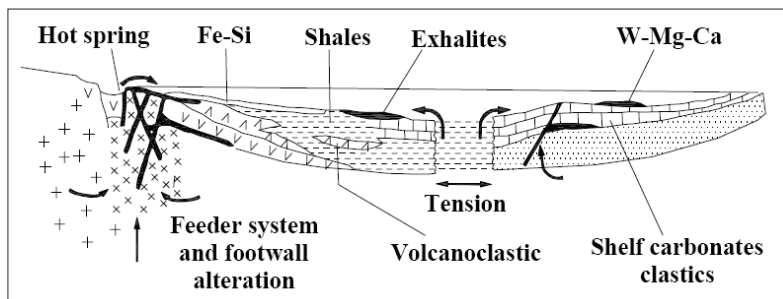
تصویر ۱۵- برش درون سازندی در افق کان‌دار VI با میزبان توف فلسیک دگرگون شده. بخشهای سفیدرنگ کوارتز-سریسیتی است و لکه‌های زردرنگ، قطعات برشی حاوی کلکوپیریت (Ccp) و اسفالریت (Sph) است. در متن سنگ نیز، کلکوپیریت و اسفالریت دانه پراکنده وجود دارد.



تصویر ۱۶- بافت پرکننده فضاهای خالی شلیت‌ها (Sch) درون بخش‌های کوارتزی (سفید رنگ) در افق کان‌دار III. سنگ درونگیر این افق، سنگ آهک چرت‌دار دگرگون شده گراسولار (Grs) و کلینوپیروکسن (Cpx) دار است.

Mineral	Deposition & Diagenesis	Regional metamorphism		Weathering
		Early	Late	
Scheelite	—	—	—	
Chalcopyrite	—	—	—	
Sphalerite	—	—	—	
Pyrite	—	—	—	
Arsenopyrite	—	—		
Pyrrhotite		—		
Covelite				—
Iron oxides and hydroxides				—
Azurite				—
Malachite				—
Chalcocite				—
Calcite	—	—	—	
Quartz	—	—	—	
Diopside		—	—	
Grasularite		—	—	
Wolastonite			—	
Actinolite		—	—	
Epidote		—	—	
Prehenite				—
Textures	Disseminated	—	—	—
	Massive	—	—	
	Laminated	—		
	Open Space Filling			—

تصویر ۱۷- توالی پاراژنتیک کان‌ها و کانیه‌ها در افق‌های کان‌دار کانسار تنگستن (مس-روی) چاه کلپ



تصویر ۱۸- مدل تشکیل احتمالی کانسار تنگستن (مس-روی) برون‌دمی-آتشفشان‌زاد دور منشأ چینه‌سان چاه کلب، جنوب بیرجند (بر گرفته از Cheilietz, 1988) مجموعه داده‌ها (جدول ۱) حاکی از آن است که موقعیت کانسار چاه کلب بیشتر در بخش دور منشأ قرار دارد.

جدول ۱- مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار چاه کلب با Broken Hill استرالیا، کانسارهای Kleinartita و Felbertal، و ACC اتریش و کانسار بامسر اراک

کانسار	Broken Hill استرالیا	Kleinartita اتریش	Felbertal اتریش	Austroalpine Crystalline Complex اتریش	بامسر اراک	چاه کلب بیرجند
سنگ درونگیر	کوارتز-فلدسپار-پیوتیت گیس، تورمالین، آمفیبول، تخیربهای دگرگون‌شده	سنگ آهک، نوارهای کوارتزی، سیاه، دولومیت	نوارهای کوارتزی درون سنگ‌های متلازی	مرمر، تورمالین، رگه‌های کوارتزی	دیوپسید-کوارتز طبیعت آهکی، سنگ آهک چرنی اکتینولیت و دیوپسیددار دگرگون	سنگ آهک دگرگون‌شده با میان-لایه‌های کوارتزی اکتینولیت، ترمولیت، دیوپسید دار
سن سنگ‌میزبان	پروتوزویک میانی	پالئوزویک پایینی	پالئوزویک پایینی	پالئوزویک پایینی	تریاس بالایی-ژوراسیک پایینی	تریاس بالایی-ژوراسیک پایینی
رخساره دگرگونی	آمفیبولیت بالایی-گراتولیت	آلماندین-خیست سبز	آلماندین-خیست سبز	آمفیبولیت پایینی	خیست سبز-آمفیبولیت زیرین	خیست سبز-آمفیبولیت زیرین
موقعیت زمین‌ساختی	کافت درون قاره‌ای	فلات قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای
آتشفشانی همراه	آتشفشانی تولیتی داسیتی، ریوداسیتی	اسیدی	تاروپ آتشفشانی فوق-بازی، بازی و اسیدی با ماهیت تولیتی و کلسیمی-قلیایی	اسیدی تا حد واسط	اسیدی-بازی	اسیدی
کانی‌شناسی ماده معدنی	شیلیت، گالن، اسفالریت، کلکوپیریت، مارکانسیت، کولیت، پیریت، پیرویت، آرسنوپیریت، مولیدینیت	شیلیت	شیلیت، پیرویت، کلکوپیریت، مولیدینیت، بریل، بیسموتیت، بیسموت خالص، نقره و طلا	شیلیت، گرافیت، ایلمنیت	شیلیت، آرسنوپیریت، کلکوپیریت، پیریت، اسفالریت، کاسیت، کلکوسیت، کولیت، بیسموتیت	شیلیت، آرسنوپیریت، اسفالریت، کلکوپیریت، پیریت
گسترش کانه‌زایی	۲ کیلومتر	؟	۲/۵ کیلومتر	۲ کیلومتر	۱/۵ کیلومتر	۲ کیلومتر
شکل ماده معدنی	چینه‌سان و چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌سان و چینه‌کران	چینه‌سان و چینه‌کران	چینه‌سان
ساخت و بافت	لایه‌ای، دانه پراکنده، توده‌ای (سولفید)، رگه‌ای	لایه‌ای، ریزلایه و عدسیه‌های همخوان، رگه و رگچه‌ای	لایه‌ای، ریزلایه، عدسیه‌های همخوان	ریز لایه، دانه پراکنده، رگه‌ای	دانه پراکنده، ریزلایه و رگه‌ای	دانه پراکنده، ریزلایه، توده‌ای (سولفید)، برشی
مراحل تشکیل	۱- رسوبی-دیازینیک ۲- دگرگونی ناحیه‌ای	۱- رسوبی-دیازینیک ۲- دگرگونی ناحیه‌ای	۱- برون‌دمی-رسوبی ۲- دیازین ۳- دگرگونی ناحیه‌ای	۱- برون‌دمی-رسوبی ۲- دیازین ۳- دگرگونی ناحیه‌ای	۱- رسوبی-دیازینیک ۲- دگرگونی ناحیه‌ای	۱- رسوبی-دیازینیک ۳- دگرگونی ناحیه‌ای
منشأ	فرایندهای برون‌دمی-رسوبی و تبخیری	فرایندهای برون‌دمی زیردریایی	فرایندهای برون‌دمی زیردریایی	فرایندهای برون‌دمی، گرمایی	فرایندهای برون‌دمی-رسوبی	فرایندهای برون‌دمی-رسوبی
تیب	بروندیمی آتشفشان‌زاد دور منشأ	بروندیمی آتشفشان‌زاد دور منشأ	بروندیمی آتشفشان‌زاد نزدیک منشأ	بروندیمی آتشفشان‌زاد نزدیک منشأ	بروندیمی آتشفشان‌زاد	بروندیمی آتشفشان‌زاد دور منشأ
منبع	Plimer, 1994	Holl et al., 1972	Holl & Schenk, 1987	Raith, 1991	عزیزپور مفون، ۱۳۷۸	شعله، ۱۳۸۴؛ شعله و همکاران، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳

کتابنگاری

- تدین اسلامی، ا.، ۱۳۵۲- گزارش اکتشافی معدن چاه کلپ و لاج سفید، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰ص.
- حسینی پاک، ع.ا.، ۱۳۸۱- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ قروه خوی، ن.، ۱۳۶۲- کانی‌سازی چاه کلپ و شرایط تشکیل آن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲ص.
- شعله، ع.، راستاد، الف.، باباخانی، ع. و عسکری، ع.، ۱۳۸۲- کانه‌زایی تنگستن-قلع (مس-روی-طلا) چینه‌سان در منطقه چاه کلپ، جنوب بیرجند. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- شعله، ع.، راستاد، الف.، باباخانی، ع. و عسکری، ع.، ۱۳۸۳- ساخت و بافت و کانی‌شناسی کانسار تنگستن-قلع (مس-روی-طلا) در توالی آتشفشانی-رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک در منطقه چاه کلپ، جنوب بیرجند. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- شعله، ع.، راستاد، الف.، باباخانی، ع. و عسکری، ع.، ۱۳۸۳- ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب در ماده معدنی و سنگ‌های همراه کانسار تنگستن-قلع (مس-روی-طلا) چاه کلپ، جنوب بیرجند. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- شعله، ع.، ۱۳۸۴- کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ساخت و بافت و ژنز کانسار تنگستن-قلع (مس-روی-طلا) چاه کلپ، جنوب بیرجند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- عزیزیور مغوان، م.، ۱۳۷۸- ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنز اثرهای معدنی تنگستن اسکارنی بامسر و رگه‌ای روش و مقایسه آنها با کانسار تنگستن نظام آباد (شازند اراک). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۴۶ ص.
- کریمی بافقی، م. ر.، ۱۳۶۷- گزارش تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار تنگستن چاه پلنگ جنوبی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- مؤمن زاده، م.، اکریمی، م. و مباشر، ا.، ۱۳۵۳- گزارش بازدید معدن چاه کلپ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰ص.

References

- Barnes, R. G., 1983- Stratiform and Stratabound tungsten mineralization in the Broken Hill Block, N.S.W., J. Geol. Soc. Austr., 30: 225-239
- Beran, A., God, R., Gotzinger, M. & Zemann, J., 1985- A scheelite mineralization in calc-silicate rocks of the Moldanubicum (Bohemian Massif) in Australia, Mineral. Dep. 20: 16-22
- Berberian, M., King, G. C., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Can. J. Earth Sci., 18: 210-265
- Burchard, U., 1972- Geologische Untersuchungen zur genese der scheelitelagerstatter King Island/Tasmanien. Inaug. Diss., 88 p., Univ. Munich
- Cheilletz, A., 1988- Stratiform Tungsten Deposits: a review. Geologie en Mijnbouw, 67: 293-311
- Cheilletz, A., Giuliani, G., 1988- Epigenesis versus syngenesi: a contribution to the debate based on the stratiform tungsten skarn mineralization of Djebel Aouam, central Morocco. Seventh quadrennial IAGOD symposium, D-7000 Stuttgart
- Fulp, M. S. & Renshaw, J. L., 1985- Volcanogenic exhalative tungsten mineralization of Proterozoic age near Santa Fe, N.M., and Implication for Exploration. Geology, 13: 66-69.
- Gibert F., Moine, B., Schott, G. & Dandurand, G. L., 1992- Modeling of transport and deposition of tungsten in the scheelite-bearing calc-silicate gneisses of the Montagne Noire, France. Contr. Mineral. Petrol., 112: 371-384
- Holl, R., 1970- Scheelite prospektion und scheelite vorkommen im Bundesland, Salzburg, osterreich. Chem. Erde., 28: 185-03
- Holl, R., 1975- Die scheelit-lagerstatter Felbetal und der vergleich mit anderen scheelitvorkommen in den Ostalpen: Bayrischen Akademie der Wissenschaften Abhandlungen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, 157A: 1-114
- Holl, R., 1976- The strata-bound ore deposits in the eastern Alps. in K.H. Wolf (ed.), Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Elsevier, Amsterdam, 5: 1-36

- Holl, R., 1986- Nature and origin of the tungsten deposit Felbertal, Austria. In: colloque Europeen gisements de tungstene. Tolouse, Univ. Paul Sabatier, 12-14 Mai, (Abstr): 7
- Holl, R., Maucher, A. A. & Westenberger, H., 1972- Syn-sedimentary diagenetic ore fabrics in the strata and time-bound scheelite deposits of Kleinarlal and Felbertal in the eastern Alps. Mineral. Dep., 7: 217-226
- Kwak, T. A. P., 1987- W-Sn Skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids, Elsevier, 451p.
- Leake, R. C., Fletcher, C. J. N., Haslam, H. W., Khan, B. & Shakiarullah, 1989- Origin and tectonic setting of startabound tungsten mineralization within the Hindu Kush of Pakistan. J. Geol. Soc. Lon., 146: 1003-1016
- Maiden, K. J., 1981- A discussion of the paper by I. R. Plimer 'Exhalative Sn and W deposits associated with mafic volcanism as precursors to Sn and W deposits associated with granites'. Mineral. Dep., 16: 455-456
- Maucher, A., 1976- The strata-bound cinnabar-stibinite-scheelite deposits. In K.H. Wolf (ed.): Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Elsevier, Amsterdam, 7: 477-503
- Plimer, I. R., 1978- Proximal and distal startabound ore deposits. Mineral. Dep., 13: 345-353
- Plimer, I. R., 1987- Remobilization in high-grade metamorphic environment. Ore Geol. Rev., 2: 231-245
- Plimer, I. R., 1987- The association of tourmalinite with stratiform scheelite deposits. Min. Dep., 22: 282-291
- Plimer, I. R., 1988- Broken Hill, Australia and Bergslagen, Sweden- why God and Mammon bless the Antipodes. In: J.H. Baker & R. H. Hellingwerf (eds.), The Bergslagen Province, central Sweden- structure, stratigraphy and ore-forming processes. I. G. C. P. project 247-Geol. Mijnbouw, 67: 265-278
- Plimer, I. R., 1994 - Stratabound scheelite in meta-evaporites, Broken Hill, Australia. Eco. Geol., 89: 423-437
- Raith, J. G. & Prochaska, W., 1995- Tungsten deposits in the wolfram schist Namaqualand, South Africa: startabound versus granite-related genetic concepts. Econ. Geol., 90: 1934-1954
- Raith, J. G., 1988- Tourmaline rocks associated with strata-bound scheelite mineralization in the Austroalpine crystalline Complex, Austria. Min. Petrol., 39: 265-288
- Raith, J. G., 1991- Stratabound tungsten mineralization in regional metamorphic Calc-Silicate rocks from the Austroalpine Crystalline Complex, Austria. Mineral. Dep., 26: 72-80
- Saez, R., Pascual, E., Toscano, M. & Almodovar, G. R., 1999- The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulfide deposits. Mineral. Dep., 34: 549-570
- Salim, J., Legrand, J., Verkaeren, J. & Salemink, J., 1991- Some geological and petrological aspects of scheelite skarn formation in the Serido region, northeastern Brazil. In M. Pagel & J. L. Leroy (eds.), Source, transport and deposition of metals: 131-134
- Slack, J. F., Offield, T. W., Woodruff, L. G., Shanks, W. C., 2001- Geology and geochemistry of Besshi-type massive sulfide deposits, Economic Geologists, Guidebook Series
- Thalhammer, O. A. R., Stumple, E. F. & Jahoda, R., 1989- The Mittersill scheelite deposit, Austria, Econ. Geol., 81: 1153-1171
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. & Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran. Geol. Soc. Amer. Bull. 194: 134-150
- Zierenberg, R. A., Koski, R. A., Morton, J. L., Bouse, R. M. & Shanks, W. C., 1993- Genesis of massive sulfide deposits. In a sediment-covered spreading center Skanaba through, southern Gorda ridge. Econ. Geol., 88: 2069-2098