

# کانسار روی - سرب چاهمیر، نمونه‌ای از کانسارهای رسوبی - بروندمی نوع Selwyn، حوضه بافق، ایران مرکزی

عبدالرحمان رجبی<sup>۱</sup>، ابراهیم راستاد<sup>۱</sup>، نعمت‌اله رشیدنژاد<sup>۱</sup> و رامین محمدی نیائی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup> شرکت معدن کاران انگوران، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۰۳

## چکیده

کانسار روی - سرب (مانند کوشک، زیرگان و دره دهو) است که در توالی رسوبی - آتشفشانی کامبرین پیشین، همزمان با رخداد اقیانوس‌های بدون اکسیژن (Oceanic anoxic event) جهان در کامبرین، در یک محیط کافت پشت کماتی، تشکیل شده است. واحدهای سنگی میزبان کانسار سیلستون سیاه دارای مواد آلی با میان لایه‌هایی از توف و توف سیلنتی هستند که توسط توف‌های کربناتی سبزرنگ پوشیده شده است. در کانسار چاهمیر، بر اساس ماهیت کانه‌زایی سولفیدی، بافت و کانی‌شناسی سولفیدها، می‌توان چهار رخساره را از هم متمایز کرد. این رخساره‌ها بر اساس جایگاه آنها نسبت به محل خروج سیال‌های کانه‌ساز عبارتند از: (۱) رخساره کانسنگ توده‌ای (رخساره دهانه‌ای) که بخش سبتر، پرعیار و توده‌ای کانسار را در خاور آن تشکیل داده و شامل دو زیررخساره سولفیدی - سیلیسی - کربناتی، در مرکز و سولفیدی - کربناتی در اطراف آن است. بافت سولفیدها در این رخساره به صورت توده‌ای، جانشینی، رگه - رگچه‌ای و کلو فرم برشی شده است. (۲) رخساره رگه - رگچه‌ای (زون تغذیه کننده) شامل رگه‌های سولفیدی و سیلیسی است که به صورت قطع کننده لایه‌بندی سنگ میزبان، در زیر رخساره کانسنگ توده‌ای تشکیل شده است. بافت‌های رگه - رگچه‌ای و جانشینی سولفیدها سیمای اصلی این رخساره را تشکیل می‌دهند. (۳) رخساره کانسنگ لایه‌ای که ستبرای کمتری نسبت به رخساره کانسنگ توده‌ای دارد و با سیمای لایه‌ای و نواری و عیار پایین ماده معدنی قابل تشخیص است. این رخساره، به صورت سولفیدهای لامینه و نواری هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان (چینه‌سان)، در بخش مرکزی کانسار تشکیل شده است. (۴) رخساره حاشیه‌ای، در بخش انتهایی باختر کانسار تشکیل شده و در واقع معادل رسوبی رخساره کانسنگ لایه‌ای را می‌سازد. مهم‌ترین ویژگی این رخساره وجود پیریت دانه‌پراکنده، نوارهای چرت و باریت است. با توجه به مهم‌ترین ویژگی‌های کانه‌زایی در منطقه چاهمیر، از جمله محیط زمین‌ساختی، سنگ دربرگیرنده، کانی‌شناسی، محتوای فلزی، حضور رخساره‌های چهارگانه و مقایسه آنها با ذخایر روی - سرب با میزبان سیلستون و شبلی نوع Sedex، می‌توان کانسار روی - سرب چاهمیر را در رده کانسارهای رسوبی - بروندمی نزدیک به دهانه بروندم (Selwyn-Type (Vent Proximal) SEDEX Deposits) در نظر گرفت و در ایران معرفی کرد.

**کلیدواژه‌ها:** کانسار روی - سرب، Sedex، Selwyn-Type، Vent Proximal، رخساره توده‌ای، رگه - رگچه‌ای، لایه‌ای، حاشیه‌ای، چاهمیر، بافق، ایران مرکزی.

E-mail: rastad@modares.ac.ir

\*نویسنده مسئول: ابراهیم راستاد

## ۱- مقدمه

(لطفی، ۱۳۸۶) با روند تقریبی خاوری - باختری و در حاشیه جنوب‌خاور پهنه ساختاری پشت‌بادام واقع شده است (شکل ۱). با توجه به گسترش این نوع کانه‌زایی در توالی رسوبی - آتشفشانی حوضه بافق و ذخیره بالای این کانسارها، مطالعه کانسار چاهمیر می‌تواند به عنوان یک الگو در اکتشاف رخساره‌های مشابه روی و سرب در این حوضه و مناطق مشابه ایران مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نوشتار حاضر تلاشی برای شناسایی هرچه بهتر این کانسارها و تعیین رخساره‌های متفاوت، فرایندهای مؤثر در تشکیل هر رخساره، نحوه زون‌بندی عناصر و معرفی رخساره‌های چهارگانه و تیپ کانسار است، که برای نخستین بار بر روی معدن روی - سرب چاهمیر صورت گرفته است.

## ۲- روش پژوهش

در انجام این پژوهش، برای بررسی رخساره‌های کانه‌زایی کانسار چاهمیر، به دلیل نبود رخنمون ماده معدنی در سطح زمین، تلاش شد تا افزون بر مطالعه برش‌های لیتوژئوشیمیایی و مطالعات صحرایی، با بررسی ۳۴ گمانه حفاری شده در این کانسار و مدل‌سازی پراکندگی فلزات پایه در آنها، بازسازی شکل کانسار انجام گیرد. بر این اساس، با تهیه ۱۰ مقطع نازک، ۳۵ مقطع نازک صیقلی، ۵ مقطع صیقلی و ۲ مقطع دوبر صیقل، مطالعات میکروسکوپی شامل کانی‌شناسی و مطالعه بافت و ساخت مواد معدنی و سنگ‌شناسی کانسار، و تعیین دمای تشکیل کانسار (مطالعه میانبراهای سیال) انجام گرفت. افزون بر آن، با انجام تجزیه به روش XRF، ۸۲۱ نمونه به روش

کانسارهای روی - سرب نوع Sedex، یکی از مهم‌ترین منابع تأمین کننده روی جهان هستند. بر اساس جدیدترین اطلاعات آماری، این کانسارها ۶۵/۱ درصد منابع روی و ۳۲ درصد تولید روی جهان را شامل می‌شوند و بیشتر ذخایر بزرگ روی جهان در این دسته از کانسارها قرار می‌گیرند (Goodfellow & Lydon, 2007). بررسی‌های صورت گرفته در حوضه بافق نشان‌دهنده چندین رخداد کانی‌سازی روی و سرب با میزبان رسوبی - آذرآواری نوع Sedex (مانند کوشک، Gibbs, 1976; Momenzadeh & Heydari, 1995؛ آذرآئین، ۱۳۷۰؛ آذرآئین، ۱۳۸۲؛ آذرآئین و آفتابی، ۱۳۸۳؛ Yaghubpur & Mehrabi, 1997؛ چاهمیر (بشکان)، دره دهو و زیرگان (Rajabi et al., 2008)) در توالی پالئوزویک پیشین (کامبرین زیرین) این ناحیه از ایران مرکزی است (شکل ۱). (Momenzadeh & Heydari (1995)) کانسارهای حوضه بافق، از جمله چاهمیر و کوشک را (به عنوان کانی‌سازی سولفید توده‌ای) با توجه به تکنونیم حوضه بافق، ماگماتیسیم قلیایی این حوضه و نقش سیال‌های گرمابی در کانه‌زایی، مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی‌های لطفی (۱۳۸۶) و رجبی و همکاران (۱۳۸۷) بر روی این کانسار، منجر به معرفی آن به عنوان کانسار Sedex نزدیک به دهانه بروندم (Vent-Proximal) شد. رجبی و همکاران (۱۳۸۷)، ضمن بررسی منطقه‌بندی ژئوشیمیایی در این کانسار، آن را به عنوان کانسار Selwyn-Type Sedex معرفی کردند. معدن روی - سرب چاهمیر، با مختصات جغرافیایی ۲' ۵۶° طول خاوری و ۳۸' ۳۱° عرض شمالی، در ۱۲۸ کیلومتری خاور بافق و ۳۰ کیلومتری جنوب بهاباد (استان یزد) قرار دارد. این معدن در واحدهای رسوبی - آذرآواری کامبرین زیرین

میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ، لیتیک آرنایت، توف ماسه‌ای، توف رسی و گدازه‌های ریولیتی است (لطفی، ۱۳۸۶). واحد دربرگیرنده کانه‌سازی سولفیدی (توالی معدنی) شامل سیلستون سیاه دارای مواد آلی با سیمان رسی-کربناتی و جورشدگی بد ذرات تا سیلت آهکی (که در بخش زیرین دارای گرهک‌های دولومیت است)، کمی توف سیلتی و میان‌لایه لیتیک‌توف است (Rajabi et al., 2008) (شکل ۲ و ۳). برش‌های رسوبی درون‌سازندی و روانه خرده‌ها (Debris flow)، مرتبط با فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری (Ireland et al., 2004a)، به صورت بین‌انگشتی با سیلستون، در بخش زیرین واحد چاهمیر، همراه این توالی در بخش خاوری کانسار قابل مشاهده است (رجبی، ۱۳۸۷). قطعات برشی شامل سیلستون، توف، چرت، بلورهای درشت فلدسپار و گاه کوارتز است (رجبی، ۱۳۸۷). زمینه این قطعات بیشتر شامل مواد رسی، سربسیت و گاه آهک است. میزان و ستبرای این برش‌ها به سمت خاور معدن (نزدیک گسل همزمان با رسوبگذاری) افزایش می‌یابد. رخداد تناوب بین‌انگشتی برش‌های رسوبی با سیلستون نشان‌دهنده فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری و نیز فرونشست حوضه رسوبی در زمان تشکیل رسوبات است (Leach et al., 2005). همچنین Goodfellow (2004) تغییر ستبرای پیدایش و بروز ناگهانی این گونه برش‌ها را درون حوضه رسوبی مرتبط با فعالیت‌های زمین‌ساختی همزمان با رسوبگذاری دانسته است. پیدایش این برش‌ها، با نزدیک شدن به گسل فعال درون حوضه‌ای افزایش می‌یابد (Lydon, 1996). وجود این گونه شواهد نشان‌دهنده فعال بودن گسل خاور کانسار چاهمیر، در هنگام رسوبگذاری و کانه‌زایی است (رجبی، ۱۳۸۷). Lydon (1996) و Goodfellow (2004) و Goodfellow & Lydon (2007) این شکستگی‌ها و گسل همزمان با رسوبگذاری را بهترین راه صعود سیال‌های کانه‌ساز در کانسارهای (Sedex) مانند چاهمیر می‌دانند. بنابراین با توجه به وجود رگه-رگچه‌های سولفیدی در محل این گسل و بافت برشی سولفیدها (به رخساره‌های کانه‌زایی مراجعه شود) در محل گسل خاور چاهمیر، این گسل و شکستگی‌های همراه، به عنوان محل خروج سیال‌های کانه‌ساز این کانسار معرفی شده است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). توالی معدنی چاهمیر، توسط توف نازک‌لایه سبز، توف دارای نوارهای چرت و لایه‌های دولومیت چرت‌دار، پوشیده می‌شود. این سنگ‌ها به طور ناپیوسته، در زیر ماسه‌سنگ‌های سرخ و شیل‌های سیلتی ماسه‌ای سری داهو قرار می‌گیرند. دایک‌های گابروی (جوان‌تر از تریاس) (لطفی، ۱۳۸۶) این مجموعه را قطع کرده‌اند (شکل ۲ و ۴).

#### ۴- کانه‌زایی و رخساره‌های کانه‌دار

در کانسار روی-سرب چاهمیر، براساس جایگاه رخساره نسبت به محل خروج سیال کانه‌ساز (گسل همزمان با رسوبگذاری چاهمیر)، نسبت ترکیبات رسوبی-آواری به ترکیبات گرمابی (سولفید، سیلیس و کربنات)، نوع و شکل کانی‌سازی، بافت ماده معدنی و عیار کانسار، می‌توان چهار رخساره متفاوت را از یکدیگر جدا کرد (شکل ۵):

##### ۴-۱. رخساره توده‌ای (مجاور دهانه برون‌دمی) (Vent Complex)

رخساره توده‌ای، که در سمت خاوری کانسار قرار داشته و بخش ستبر و عیار بالای آن را تشکیل می‌دهد، شامل کانی‌سازی سولفید توده‌ای با ماهیتی ناهمگون و چینه‌کران است (شکل ۵). از ویژگی‌های اصلی این رخساره رخداد فرایند جانشینی در حجم زیاد و نسبت بسیار پایین ترکیبات رسوبی-آواری در برابر ترکیبات برون‌دمی (Exhalative materials) (سولفید، سیلیس و کربنات) است. فرایند چیره در این گونه رخساره‌ها، واکنش سیال کانه‌ساز با سولفیدهای پیشین و در نتیجه ایجاد بافت‌های جانشینی، رگه-رگچه‌ای و توده‌ای دانسته شده است (Goodfellow, 2004 & 2005; Lydon, 1996; Goodfellow et al., 1993). با توجه به همبود (پاراژنز) کانیایی و بافت ماده معدنی، کانی‌زایی در این رخساره را می‌توان در دو زیر رخساره سولفیدی-سیلیسی-کربناتی (SSC) و سولفیدی-کربناتی (SC) مورد بررسی قرار داد:

AAS (شرکت معدن کاران انگوران)، ۱۰ نمونه به روش ALS-Chemex ICP-MS (کانادا)، ۱۰ نمونه به روش ICP-AES (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و تجزیه نقطه‌ای ۱۵ کانی مختلف توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) (دانشگاه تربیت مدرس)، سعی شد ویژگی‌های ژئوشیمیایی بخش‌های مختلف کانسار (رخساره‌های کانه‌زایی) تعیین شود و منطقه‌بندی عناصر در جهات عمودی و جانبی کانسار مورد بررسی قرار گیرد. پس از شناسایی بخش‌های مختلف کانسار و بر مبنای بررسی‌های صورت گرفته، مدل‌سازی زیر سطحی کانسار و بازسازی مدل تشکیل آن انجام گرفت.

#### ۳- زمین‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی

براساس Talbot & Alavi (1996)، پوسته قاره‌ای ایران مرکزی، طی کامبرین زیرین، تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساخت کشتی متحمل کافت ناقص (Aborted rift) در طول حاشیه عربی گندوانا شده است که رخداد ماگماتیسم کامبرین زیرین و بالا زدگی سست‌کره (Asthenospheric upwelling) را دلیل این کافت‌زایی می‌دانند. اما بررسی سنگ‌های آذرین و دگرگونی ناحیه‌ای ساغند و کاشمر-کرمان، همچنین گرانیتهای پی‌سنگ ایران مرکزی، نشان دهنده نبود رخداد کافت درون قاره‌ای در این منطقه بوده و معرف موقعیت ماگماتیسم کمانی از نوع آند (American Andes Type) است (Ramezani & Tucker, 2003; Hasanzadeh et al., 2008). این پژوهشگران معتقدند که رخداد این ماگماتیسم در پهنه پشت‌بادام و طی نئوپروتروزویک پسین تا کامبرین پیشین، همراه با کشتش پشت کمانی (کافت پشت کمانی در اثر فرورانش پوسته اقیانوسی Proto-Tethys به زیر ایران مرکزی در حاشیه شمالی گندوانا) همراه بوده است (Ramezani & Tucker, 2003). این زمین‌ساخت کشتی با فعالیت آتشفشانی نوع قلیایی و نفوذ گرانیتهای شروع شده است. نفوذ گرانیتهای پیدایش آلکالی ریولیت و توف اسیدی، تشکیل سازند تاشک و سری‌های ریزو و دسو (سازند اسفوردی)، همزمان با این فعالیت کشتی بوده است (Nadimi, 2006; Ramezani & Tucker, 2003; Momenzadeh & Heydari (1995) کانه‌زایی‌های مختلف (آهن، روی-سرب،

REE و U) صورت گرفته در حوضه بافق را در ارتباط با فعالیت آتشفشانی قلیایی و زمین‌ساخت کشتی رخ داده در آن محیط می‌دانند. کانسار چاهمیر در چنین جایگاه زمین‌ساختی، طی دوره‌ای از فعالیت‌های زمین‌ساختی، که همراه با فعالیت دوباره گسل‌های همزمان با رسوبگذاری، رسوبات آواری ناشی از فعالیت گسل‌ها، جایگزینی سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی و فرونشست رسوبات کافتی و ته‌نشست سازند اسفوردی، تشکیل شده است (رجبی، ۱۳۸۷).

در این ناحیه از ایران مرکزی، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی، آواری و کربنات (بویژه دولومیت)، با یک مرز ناپیوسته بر روی سازند تخریبی تاشک (ماسه‌سنگ و گنگلومرا به همراه مقادیری توف) با سن پرکامبرین بالایی قرار گرفته است (Ramezani & Tucker, 2003). در بیشتر گزارش‌های موجود سرشت این سنگ‌ها قلیایی گزارش شده است (Ramezani & Tucker, 2003). ترکیب سنگ‌های آتشفشانی از بازالت تا ریولیت تغییر می‌کند. اما حجم بیشتر آنها را سنگ‌های اسیدی تا متوسط تشکیل می‌دهند. این توالی با نام‌هایی همچون سری ریزو و یا سازند اسفوردی خوانده شده و به اینفراکامبرین و کامبرین زیرین نسبت داده شده است (Hukride et al., 1962). اما بررسی‌های صورت گرفته توسط Ramezani & Tucker (2003) سن این مجموعه را کامبرین زیرین نشان می‌دهد. توالی بالا در این منطقه، توسط سازند داهو متشکل از سنگ‌های تخریبی بویژه ماسه‌سنگ سرخ و کمی کنگلومرا پوشیده می‌شود. کانسار روی-سرب چاهمیر، در توالی رسوبی-آتشفشانی کامبرین زیرین حاشیه خاوری حوضه بافق واقع شده است. این توالی در بخش پایین شامل شیل‌های ارغوانی تا سبز مایل به خاکستری با

انواع ساخت‌های رسوبی قالب وزنی (Load cast)، لایه‌بندی به هم پیچیده یا حلقوی (Convolute)، چین‌خوردگی لایمه‌ها و نوارهای سولفیدی، لایمه‌های موجی و موازی و حضور قطعات آواری سولفیدی (نتیجه ریزش از مناطق مرتفع تر کانسار در حال تشکیل)، از جمله ساخت‌های رسوبی سولفیدهای این رخساره به شمار می‌روند (رجبی، ۱۳۸۷). این ساختمان‌های رسوبی همراه سولفیدها، نشان‌دهنده همزمان بودن تشکیل لایمه‌های سولفیدی با ذرات سیلت است (Large et al., 2001, 2005 & 1998; Goodfellow et al., 1993; Large & Walcher, 1999). در کانسار چاه‌میر، کانسنگ لایه‌ای، در زیر بخش‌های انتهایی رخساره توده‌ای نیز دیده می‌شود (شکل ۵). با توجه به میزان عیار ماده معدنی در این بخش از کانسار، کانسنگ لایه‌ای را می‌توان به دو بخش با عیار پایین روی و سرب در پایین (سنگ میزان سیلستون با گرهک‌های دولومیت) و بخش با عیار بالای روی و سرب در بالا (با سنگ میزان سیلستون) تقسیم کرد.

#### ۴-۳. رخساره حاشیه‌ای (Distal Hydrothermal Sediments)

رخساره حاشیه‌ای در انتهایی‌ترین بخش باختری کانسار و در واقع، معادل ادامه رسوبی رخساره کانسنگ لایه‌ای است (شکل ۵). این رخساره شامل نوارهای چرت (شکل ۸-c,d) و میزان بسیار کمی پیریت است که به صورت دانه‌پراکنده و به ندرت لایمه و فرامبویدال به همراه کانی‌های کربناتی تشکیل شده است. از ویژگی‌های این رخساره تشکیل باریت دانه‌پراکنده درون سنگ میزان است (شکل ۸-a). همچنین دولومیتی شدن در این رخساره، نسبت به رخساره‌های دیگر، دارای گسترش بیشتری است (شکل ۸-a). مرز کانسنگ لایه‌ای و رخساره حاشیه‌ای به طور کامل حالت تدریجی دارد (شکل ۵). وجود چرت و باریت به همراه دولومیت، همچنین میزان کم سولفید (پیریت) از ویژگی‌های این رخساره است.

#### ۴-۴. رخساره رگه-رگچه‌ای (Feeder zone)

رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار چاه‌میر، گسترش محدودی دارد و در پایین رخساره کانسنگ توده‌ای، به شکل شبکه‌ای از رگه و رگچه، که لامیناسیون سنگ میزان (و گاه رخساره کانسنگ لایه‌ای زیر بخش توده‌ای کانسار) را قطع می‌کند، تشکیل شده است (شکل ۵). شبکه رگه و رگچه نامنظم، متشکل از سولفیدهای پیریت ( $py_2$ )، اسفالریت ( $sph_2$ ) و گالن ( $gn_2$ ) به همراه کربنات و سیلیس است (شکل ۹). رگچه‌های ظریف سولفید (پیریت و اسفالریت) در پیرامون رگه‌های اصلی دیده می‌شوند. رگه‌های سولفیدی و سیلیس در بخش‌های برشی شده و شکستگی‌های سنگ میزان تشکیل شده‌اند (شکل ۹-d). هر رگه سولفید، از دیواره به سمت محور رگه، به طور معمول از پیریت، سپس اسفالریت و در نهایت کربنات و در مواردی کوارتز تشکیل شده است (شکل ۹-c). در این رگه‌ها نیز جانشینی اسفالریت ( $sph_2$ ) به جای پیریت ( $py_2$ ) دیده می‌شود. در بخش‌هایی که رگه‌های یاد شده به توالی لایمه‌های سولفیدی متراکم برخورد می‌کنند، موجب به هم خوردگی، جانشینی، تبلور سولفیدها و تشکیل بافت توده‌ای می‌شوند (شکل ۹-a). این پدیده در زیر بخش کانسنگ توده‌ای به خوبی دیده می‌شود. بافت برشی، در کانسنگ رگه-رگچه‌ای کانسار چاه‌میر، حامل کوارتز و سولفیدهایی است که در فضاها باز ایجاد شده در بین قطعات برشی تشکیل شده‌اند. در کانسارهای Tom و Jason نیز، رخساره رگه و رگچه‌ای، همانند کانسار چاه‌میر، همراه با بافت‌های برشی، جانشینی و دگرسانی کربناتی توصیف شده است (Turner, 1990).

#### ۵- دگرسانی

فعالیت سیال‌های گرمایی کانه‌ساز در محدوده معدنی چاه‌میر، منجر به شکل‌گیری دگرسانی‌های مختلفی در سنگ‌های درونگیر ماده معدنی، در زمان تشکیل کانسار، شده است (شکل ۱۰). شدت این دگرسانی‌ها، در محل خروج سیال‌ها (زون تغذیه‌کننده) و کانسنگ توده‌ای، بیشتر از رخساره‌های دیگر است. دگرسانی سیلیسی (کلسدونی به صورت پرکننده فضای خالی، رگه و رگچه و

– زیر رخساره سولفیدی-سیلیسی-کربناتی (SSC): این زیر رخساره، به طور معمول بخش داخلی رخساره کانسنگ توده‌ای را تشکیل می‌دهد (شکل ۵). به دلیل فراوانی میزان اسفالریت و گالن، بالاترین عیار روی و سرب کانسار در این زیر رخساره دیده می‌شود و بیشترین میزان خود را در این کانسار داراست. پیریت ( $py_2$ ) و اسفالریت ( $sph_2$ ) نسل دوم به طور عمده به صورت توده‌ای، همراه با کوارتز و گاه کلسیت، تشکیل شده‌اند (شکل ۶-b, a). اسفالریت ( $sph_2$ ) در این بخش دارای آهن بیشتری نسبت به دیگر رخساره‌ها است که در مواردی درون پیریت نسل دوم ( $py_2$ ) جانشین شده است (شکل ۶-c). گالن ( $gn_2$ ) در برخی نقاط جانشین پیریت توده‌ای شده و همراه و یا بدون سیلیس، به صورت رگه‌ای (شکل ۶-a)، سولفید توده‌ای را قطع کرده است. در بیشتر رگه‌های سولفیدی متشکل از گالن ( $gn_2$ ) و اسفالریت ( $sph_2$ )، گالن بخش مرکزی و اسفالریت پیرامون آن را تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، رگه‌های گالن نسبت به اسفالریت، تأخیری بوده و در مواردی آن را قطع کرده است (شکل ۶-a). به طور کلی نسبت گالن به اسفالریت، در بخش زیرین این زیر رخساره بیشتر است. فاز غنی از سیلیس به طور معمول همراه گالن است. کالکوپیریت به صورت هم‌رشد درون اسفالریت ( $sph_2$ ) موجود در بخش زیرین این زیر رخساره دیده می‌شود.

– زیر رخساره سولفیدی-کربناتی (SC): این زیر رخساره از کانه‌زایی در اطراف زیر رخساره سولفیدی-سیلیسی-کربناتی (SSC) و گاه میان آن تشکیل شده است (شکل ۵). با این وجود، زیر رخساره سولفیدی-کربناتی (SC) در بخش انتقال کانسنگ توده‌ای به کانسنگ لایه‌ای شهود بیشتری دارد (شکل ۵). تشکیل کربنات (کلسیت و به میزان کمتر دولومیت) در کانسارهای سولفیدی با میزان رسوبی حوضه Selwyn (کانادا) نیز، در بین رخساره سولفید توده‌ای و کانسنگ لایه‌ای بیشترین تمرکز را نشان می‌دهد (Leach et al., 2005). پیریت ملنیوکیت (mpy) به شکل توده‌ای (شکل ۶-d,e,f) و با بافت کلوform برشی شده (شکل ۶-d,f)، بخش بزرگی از این زیر رخساره را تشکیل می‌دهد. اسفالریت ( $sph_2$ ) لایه‌ای پیریت ملنیوکیت برشی شده و گاه به صورت جانشین در حاشیه آنها تشکیل شده است (شکل ۶-f). اسفالریت توده‌ای برخلاف زیر رخساره پیشین، در این بخش کمتر است و بیشتر کانسنگ توده‌ای، شامل پیریت است. اسفالریت و گالن به میزان کمتر در این رخساره تشکیل شده است.

#### ۴-۲. رخساره کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore)

رخساره کانسنگ لایه‌ای سبتری نسبت به رخساره توده‌ای دارد و شامل لایمه‌های متعدد و متناوب سولفیدی با ترکیبات سنگ میزان است و به شکل هم‌خواب با لایه‌بندی (چینه‌سان)، از انتهای بخش توده‌ای به سمت باختر کانسار، گسترش دارد (شکل ۵). سبتری این رخساره به سمت باختر کاهش می‌یابد و عیار ماده معدنی به تدریج کم می‌شود. مرز بین رخساره توده‌ای چینه‌کران و رخساره کانسنگ لایه‌ای چینه‌سان، به صورت مرز جانشینی ناهم‌شیب (Discordant replacement contact) است (شکل ۵). سولفیدها در این رخساره بیشتر به صورت لایمه (شکل ۷-f)، نواری، دانه‌پراکنده، فرامبویدال (شکل ۷-c,d,e,f) همراه با ترکیبات مواد آلی (شکل ۷-f) تشکیل شده‌اند. گالن نسل اول ( $gn_1$ ) بیشتر به صورت بافت دانه‌پراکنده در این رخساره دیده می‌شود. لایمه‌های پیریت شامل قرارگیری جانبی پیریت خود شکل و ریزدانه نسل اول (نوع یک) به همراه پیریت ملنیوکیت (mpy) با بافت فرامبویدال اسفرویدیدی، در کنار یکدیگر و به موازات لامیناسیون سنگ میزان هستند (laminated framboidal pyrite). گاه پیریت ریزدانه خود شکل نسل اول (نوع یک)، به همراه گالن گراتونیت (gt)، به صورت هسته درون پیریت ملنیوکیت با بافت فرامبویدال اسفرویدیدی قرار گرفته است (شکل ۷-c,e). اسفالریت نسل اول ( $sph_1$ ) با میزان آهن پایین همراهی نزدیکی با پیریت نشان می‌دهد و به صورت دانه پراکنده در متن سنگ و یا به صورت لایمه اسفالریت (شکل ۷-b)، تشکیل شده است.

نزدیک شدن به رخساره Vent Complex است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). از دیگر ویژگی‌های این منطقه‌بندی، کاهش عیار فلزات پایه (بویژه روی (شکل ۱۲-a)) از محل رخساره دهانه‌ای به سمت کانسنگ لایه‌ای و رخساره حاشیه‌ای است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). نسبت‌های عنصری  $\text{Cu}/(\text{Zn}+\text{Pb})$  و  $\text{Zn}/\text{Ba}$  با دور شدن از رخساره توده‌ای کاهش می‌یابند (شکل ۵) (رجبی، ۱۳۸۷). این تغییرات عنصری در ارتباط با فاصله گرفتن از محل خروج سیال‌های کانه‌ساز از محل دهانه است (Lydon, 1996; Goodfellow & Lydon, 2005). کاهش نسبت‌های  $\text{Zn}/\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{S}/\text{Al}_2\text{O}_3$  با فاصله یافتن از رخساره کانسنگ توده‌ای (شکل ۱۲-b) بیانگر کاهش ترکیبات گرمایی-بروندمی نسبت به ترکیبات رسوبی است (Lydon, 1996). همچنین میزان بیشترین عیار روی و سرب در این کانسار، بر بخش ستر آن (رخساره کانسنگ توده‌ای) منطبق است، در حالی که با دور شدن از این رخساره عیار این دو عنصر کاهش می‌یابد. میزان عناصر REE در محل رخساره کانسنگ توده‌ای بسیار کمتر از رخساره کانسنگ لایه‌ای است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۷- تیپ کانسار چاهمیر و مدل ژنتیکی آن

### ۷-۱. تیپ کانسار

(Franklin et al., 1998) با بررسی کانسارهای سولفید توده‌ای، آنها را براساس سنگ میزبان و نسبت سنگ‌های آذرین به رسوبی، به شش دسته متفاوت تقسیم کرده‌اند. بر این اساس، کانسارهای سولفید توده‌ای با میزبان رسوبی تحت عنوان کانسارهای Sedex طبقه‌بندی شدند. اما در رده‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای (Frankline et al., 2005) کانسارهای Sedex از مجموعه ذخایر VMS مجزا شده است. کانسارهای نوع Sedex با میزبان شیل سیاه، سیلتستون، توریدیت‌ها، کربنات، توف و به میزان کمتر ماسه‌سنگ (Leach et al., 2005; McGoldric & Large, 1998)، دارای کانی‌های اصلی اسفالریت و گالن بوده (Lydon, 1996) و در یک حوضه رسوبی تحت رژیم زمین‌ساخت کششی (Betts et al., 2003 & 2006)، به واسطه دمیده شدن سیال‌های گرمایی (شورابه‌های حوضه‌ای) زیردریایی تشکیل می‌شوند (Lydon, 1996; Goodfellow, 2007). این ذخایر بیشترین رخداد را در پروتروزوییک میانی، پالئوزوییک (کامبرین، سیلورین و دونین) و مزوزوییک (ژوراسیک)، همزمان با دوره‌های حوادث بدون اکسیژن اقیانوس‌ها (Oceanic anoxic events) نشان می‌دهند (Goodfellow, 1999 & 2007). وجود سنگ‌های رسوبی غنی از مواد آلی و پیریت در توالی رسوبی-آتشفشانی کامبرین زیرین حوضه باقی (تشکیل شرایط بدون اکسیژن همزمان با دوره بدون اکسیژن کامبرین در اقیانوس‌های جهانی)، موقعیت زمین‌ساخت کششی (پشت کماتی) و برون‌دمش سیال‌های گرمایی غنی از فلز در کف حوضه باقی، نشان‌دهنده ایجاد شرایط محیطی مناسب برای تشکیل کانسارهای روی-سرب Sedex در این حوضه طی کامبرین زیرین است.

شواهد موجود در کانسار چاهمیر، مانند سنگ‌میزبان سیلتستون دارای مواد آلی با میان‌لایه‌های توف، بافت و ساخت رسوبی سولفیدها، کانی‌شناسی، مطالعات ژئوشیمیایی، محیط زمین‌ساختی و ژئومتری ماده معدنی، نشانگر شباهت کانسار چاهمیر با ذخایر روی-سرب نوع Sedex است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۶; Rajabi et al., 2008). براساس مطالعات صورت گرفته توسط Cooke et al. (2000) مهم‌ترین انواع کانسارهای Sedex شامل Selwyn-Type و McArthur-Type هستند. بررسی‌های Sangster (2002) نیز سبب شناسایی کانسارهای Vent Distal (معادل McArthur Type) و کانسارهای Vent Proximal (معادل Selwyn-Type) شد. مهم‌ترین تفاوت موجود میان این دو نوع از کانسارهای Sedex، نزدیکی کانسارهای نوع Selwyn به محل خروج سیال‌های کانه‌ساز و در نتیجه تشکیل رخساره‌های Vent Complex و Feeder Zone است که خود باعث رخداد فرایند پالایشی و

همراه با سولفیدهای توده‌ای) در مرکز رخساره توده‌ای (زیررخساره SSC) تشکیل (شکل ۶-a, b) و توسط دگرسانی کربناتی (اغلب کلسیت) در زیررخساره SC (شکل ۶-d, e) احاطه شده است. دگرسانی کربناتی در کانسار چاهمیر، همانند کانسارهای Selwyn Type Sedex (Leach et al., 2005)، در حدفاصل کانسنگ توده‌ای با کانسنگ لایه‌ای و همچنین در کانسنگ لایه‌ای نزدیک رخساره توده‌ای تشکیل شده است. این دگرسانی با شدت کم به صورت دولومیتی شدن در رخساره حاشیه‌ای نیز دیده می‌شود. لازم به یادآوری است که سیلیسی شدن و کربناتی شدن به میزان کمتر در رخساره تغذیه‌کننده چاهمیر نیز حضور دارد. سیلیسی شدن و کربناتی شدن، از عمده‌ترین و معمول‌ترین دگرسانی‌های گرمایی، در کانسارهای روی-سرب Sedex هستند (Lydon, 1996; Goodfellow, 2004; Goodfellow & Lydon, 2005). دگرسانی سریستی با شدت کم در بخش زیرین کانسنگ لایه‌ای کانسار چاهمیر (سریستی شدن فلدسپارها و تبدیل کانی‌های رسی به سریستی) گسترش یافته و دگرسانی کلریتی محدود به میان لایه‌های توف نزدیک رخساره تغذیه‌کننده کانسار است (شکل ۱۰) (رجبی، ۱۳۸۷).

## ۶- منطقه‌بندی عناصر

تغییرات بافت و ساخت، کانی‌شناسی و نحوه کانی‌سازی، همراهی نزدیکی با تغییرات میزان و نوع عناصر فلزی و غیرفلزی در کانسار چاهمیر دارد. این منطقه‌بندی بیشتر به صورت تغییرات جانبی، با دور شدن از زون تغذیه‌کننده آشکار می‌شود. چنین پدیده‌ای را می‌توان به دو عامل نسبت داد (Lydon, 1996 & 2004b): الف) کاهش نسبی تولیدات گرمایی نسبت به ذرات رسوبی طبیعی سنگ میزبان، با افزایش فاصله از رخساره دهانه‌ای و زون تغذیه‌کننده که تابعی از فاصله نسبت به محل خروج سیال‌های کانه‌ساز است. ب) تغییرات منظم در نسبت تولیدات مختلف گرمایی با فاصله یافتن از محل خروج سیال‌ها که به رفتار شیمیایی متفاوت ترکیبات مختلف و تغییرات دما و pH وابسته است. منطقه‌بندی عنصری در کانسار چاهمیر، به دو صورت دیده می‌شود:

### ۶-۱. منطقه‌بندی قائم

وجود منطقه‌بندی قائم در کانسارهایی مانند چاهمیر (نوع Vent Proximal Sedex، رجبی و همکاران، ۱۳۸۶)، بویژه در محل زون تغذیه‌کننده و رخساره دهانه‌ای (کانسنگ توده‌ای)، و شباهت چنین پدیده‌ای به آنچه در رخساره تغذیه‌کننده کانسارهای VMS وجود دارد، باعث شده است تا این منطقه‌بندی را به صورت نتیجه‌ای از فرایند پالایش زیرسطحی (subsurface zone refinement) تفسیر کنند (Lydon, 1996). این زون‌بندی از یک کانسار به کانسار دیگر متفاوت است (Goodfellow & Lydon, 2005). در کانسار چاهمیر، از بخش پایین کانسار به سمت بالا، نسبت  $\text{Zn}/(\text{Zn}+\text{Pb})$ ، همانند کانسار Tom و میزان  $\text{Zn}/\text{Fe}$ ، همانند کانسار Sullivan در کانادا (Lydon, 1996) افزایش می‌یابد (شکل ۱۱) (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین منطقه‌بندی عمودی در چاهمیر شامل افزایش عیار روی و سرب و افزایش در مقدار نسبت  $\text{Zn}/(\text{Zn}+\text{Fe})$  و کاهش  $\text{Cu}/(\text{Zn}+\text{Pb})$  و  $\text{Ag}/(\text{Ag}+\text{Pb})$  از پایین به سمت بالای کانسار است (شکل ۱۱) (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). نسبت  $\text{Pb}/(\text{Pb}+\text{Zn})$  به سمت بالای کانسار کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش میزان اسفالریت در برابر گالن است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۶).

### ۶-۲. منطقه‌بندی جانبی

هوازدگی شدید در باختر محدوده معدنی و آبشست (Leaching) شدید سنگ میزبان (با توجه به شیب توپوگرافی)، باعث انحلال شدید روی و باقی ماندن سرب (قابلیت انحلال  $\text{Pb}<\text{Zn}$ ) در این بخش از کانسار شده است، بنابراین تعیین تغییرات نسبت  $\text{Pb}/\text{Zn}$  در جهت جانبی به طور دقیق ممکن نیست. اما در نواحی با هوازدگی به مراتب کمتر و هوازده نشده، مهم‌ترین بروز این منطقه‌بندی افزایش نسبت عنصری  $\text{Pb}/\text{Zn}$  از سمت کانسنگ لایه‌ای به سمت خاور کانسار است که نشان‌دهنده

نوع Vent Proximal Sedex (مانند Tom و Jason)، سیال‌های گرمایی این نوع ذخایر به دلیل شوری کم و دمای بالا (Cooke et al., 2000)، دارای چگالی کمی پایین‌تر از آب دریا هستند (Sangster, 2002)، بنابراین با فعالیت گرمایی و خروج از دهانه بروندم، به حالت ستون شناور (Buoyant plumes) در بالای کف دریا قرار می‌گیرند (Goodfellow, 2004). آمیختگی سیال گرمایی بروندم با آب دریا، موجب کاهش درجه حرارت و افزایش pH آن می‌شود. این تغییرات به همراه کاهش دما و محیط و تأمین بخش زیادی از S مورد نیاز فلزات پایه، کمپلکس‌های بی‌سولفید فلزات پایه ناپایدار شده و کانی‌های سولفید، همزمان با رسوبگذاری ته‌نشین می‌شوند. تشکیل پیریت نسل اول، اسفالریت ریزدانه ( $sph_1$ )، گالن ریزدانه ( $gn_1$ ) و ژل سولفید به صورت لامینه، نواری و دانه‌پراکنده در این مرحله صورت می‌گیرد (جدول ۲). هنگامی که این سولفیدها به صورت لامینه همراه رسوبات درحال ته‌نشست هستند، خروج سیال‌های بروندمی از دهانه (Vent) ادامه دارد. خروج مداوم سیال‌ها (همراه با فعالیت لرزه‌ای و گاه انفجاری کوچک) از محل Feeder Zone، به دلیل تغییرات دمایی، تفاوت ترکیب شیمیایی و تغییر محتوای فلزات، با پیشرفت کانه‌زایی، موجب رخداد فرایند پالایش (Refining process) می‌شود (Goodfellow, 2005). طی این فرایند، سیال‌های گرمایی جدید با لامینه‌های تشکیل شده از سیال‌های پیشین و نیز سنگ میزبان واکنش می‌دهند (Lydon, 2005; McIntyre, 1998 & 2005). این واکنش و تزریق مداوم و پیوسته (فرایند پالایش) موجب به هم ریختگی، برشی شدن سولفیدهای پیشین، تبلور و رشد سولفیدهای اولیه، جانشینی کانی‌های دما پایین با سولفیدهای دما بالا و دگرسانی سنگ‌ها می‌شود (Lydon, 1996; Goodfellow, 2004). رخداد این فرایند در چاه‌میر، همراه بالا آمدن سیال‌های گرمایی دما بالا و غنی از فلز و  $SiO_2$  موجب تشکیل رگه و رگچه‌های گالن، جانشینی سولفیدها، جانشینی عمده در ترکیبات رسوبی طبیعی، برشی شدن پیریت کلو فورم (در برشی شدن سولفیدها حرکات گسل همزمان با رسوبگذاری نیز مؤثر است)، دگرسانی سیلیسی، کربناتی، سریستی و کلریتی شده است (تشکیل  $sph_2$  جانشینی،  $gn_2$  رگه‌ای و جانشینی،  $py_2$  رگه‌ای و خود شکل (جدول ۲)). فرایند پالایش سبب سترشدگی کانسار و تشکیل Vent Complex در بالای Feeder Zone و افزایش عیار رخساره دهانه‌ای (کانسنگ توده‌ای) شده است (شکل ۵). همزمان با عملکرد فرایند پالایش در Vent Complex، در بخش‌های دور از دهانه که کانسنگ لایه‌ای تشکیل شده است، فرایندهای دیاژنز اولیه موجب شده تا پیریت نسل سوم از تجمع پیریت ملنیکویت فرامبیدال و اسفروویدی حاصل شود (شکل ۷-e-c). لازم به یادآوری است که، پیریت حاصل از رشد و تبلور پیریت فرامبیدال و ملنیکویتی در کانسار Hyc به عنوان نسل تأخیری تعریف شده‌اند (Large et al., 2005; Ireland et al., 2004b). تشکیل این دو نسل پیریت را به صورت Synsedimentary to syndiagenetic بیان کرده‌اند (Large et al., 2005). همچنین رگه- رگچه‌های سولفیدی دیاژنتیکی، شامل رگچه‌های ریز اسفالریت ( $sph_3$ ) و گالن ( $gn_3$ )، همراه با رگچه‌های کربناتی و یا سیلیس دیاژنتیکی، در رخساره کانسنگ لایه‌ای تشکیل شده‌اند. ته‌نشست نوارهای چرت به همراه پیریت دانه‌پراکنده و نوارهای کربنات در حاشیه کانسار و نیز بالای آن (همزمان با کاهش فعالیت بروندمی و خروج سیال‌های فقیر از فلز) صورت گرفته است. مدل ستون شناور، به خوبی تشکیل رخساره‌های Vent Complex و Feeder Zone (در اثر فرایند پالایش)، همچنین رخساره کانسنگ لایه‌ای و رخساره حاشیه‌ای (همزمان با رسوبگذاری) را تبیین می‌کند. وجود پدیده‌ها و شواهدی چون (۱) لامینه‌های سولفید هم‌خواب با سنگ میزبان. (۲) پیریت‌های فرامبیدال و نیز کلو فورم که نشان دهنده ته‌نشست سولفیدها در بخش کانسنگ لایه‌ای در محیطی آرام و همزمان با رسوب گذاری است. (۳) پیروی لامینه‌های سولفید از ساختمان‌های رسوبی. (۴) وجود قطعات سنگی گرد شده دارای سولفید لامینه که هنگام رسوبگذاری و تشکیل کانسار از نواحی با ارتفاع بیشتر به نواحی پست رانده شده‌اند. (۵) رابطه

منطقه‌بندی قوی عناصر (عمودی و جانبی) در این کانسارها می‌شود. این درحالی است که کانسارهای Sedex نوع McArthur فاقد رخساره تغذیه‌کننده و رخساره دهانه‌ای هستند و به دلیل دور بودن از محل خروج سیال‌های کانه‌ساز، منطقه‌بندی بسیار ضعیفی را نشان می‌دهند. بر اساس مطالعات صورت گرفته، وجود رخساره‌های دهانه‌ای و تغذیه‌کننده، ژئومتری کانسار، همچنین وجود منطقه‌بندی عمودی و جانبی قوی در کانسار چاه‌میر، تشکیل دگرسانی‌های مرتبط با محل خروج سیال‌های گرمایی، وجود بافت‌های برشی، توده‌ای و جانشینی در محل کانسنگ توده‌ای و روانه خرده‌ها، نشانگر فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری، کانی‌سازی سولفیدی در چاه‌میر، به صورت کانسار شاخص نوع Vent Proximal (Selwyn Type) Sedex است (شکل ۵ و جدول ۱).

## ۲-۷. مدل ژنتیکی کانسار

با توجه به مدل ارائه شده توسط Goodfellow (2004) برای تشکیل کانسارهای Tom و Jason (کانادا) و نوع کانه‌زایی در منطقه چاه‌میر (Type Vent Proximal Sedex) و شباهت رخساره‌های کانه‌زایی، کانی‌شناسی و شواهد بافتی در چاه‌میر با کانسار Jason نحوه تشکیل کانسار روی-سرب چاه‌میر را می‌توان به شرح زیر بیان کرد: همزمان با فرونشست رسوبات در شرایط کششی حاکم بر حوضه بافق، طی کامبرین زیرین (Ramezani & Tucker, 2003)، در اثر فشار وارده بر توالی آواری همزمان با کافت (Syn-rift clastic sequence) و افزایش حرارت زمین گرمایی حاکم بر آن، آب درون سازندی از بین رسوبات خارج شده و جریان گردش سیال‌ها را در بخش‌های نفوذپذیر توالی پرکننده کافت (سازند تاشک و بخش‌های تخریبی و آذرآواری سازند اسفوردی) ایجاد می‌کند (شکل ۱۳ و ۱۴). همچنین آب دریایی فرورفته از طریق گسل‌های نرمال موجود در کافت می‌تواند همراه آب درون سازندی، در این جریان همرفتی مشارکت داشته باشد (شکل ۱۴-a). جریان بالای گرما در محیط کافتی می‌تواند در ارتباط با فعالیت ماگمایی و بالارفتن ایزوترم، در حوضه ایجاد شود (Leach et al., 2005). به علت نبود ماسه‌سنگ‌های سرخ اکسیدان، وجود تخریبی‌های آواری دارای پیریت دیاژنتیک و مواد آلی در رسوبات پرکننده کافت ناحیه بافق، سیال شورابه‌ای حاصل، ترکیب کاهیده ( $H_2S > SO_4^{2-}$ ) خواهد داشت. حضور باریت در این کانسار نیز، نشان‌دهنده کاهیدگی و اسیدی بودن ترکیب سیال کانه‌ساز است (Cooke et al., 2000). با توجه به مطالعات میانبارهای سیال (رجبی، ۱۳۸۷)، این سیال کاهیده (احیا) و اسیدی دارای کمترین دمای حدود ۱۸۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد با شوری کم است. سیال یاد شده، فلزاتی مانند RREE, Cd, Zn, Pb و ... را از سنگ‌های آواری نفوذپذیر، توف و رپولیت شسته، فلزات پایه را به صورت کمپلکس بی‌سولفید و باریت را به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌کنند (Cooke et al., 2000). سیال‌های گرم و غنی از فلز، از طریق شگستگی‌ها و گسل همزمان با رسوبگذاری، به صورت بروندم وارد آب دریا می‌شود (Goodfellow, 2004). این شگستگی‌ها و گسل به عنوان راهی نفوذپذیر، برای صعود و خروج سیال‌های کانه‌ساز عمل می‌کنند (Canet et al., 2003 & 2004; Yang et al., 2006). گسل عادی همزمان با رسوبگذاری در منطقه چاه‌میر، در خاور کانسار و محل Feeder zone شناسایی شده است (رجبی، ۱۳۸۷). وجود رگه و رگچه‌های سولفیدی موجود در Feeder zone به عنوان مجراهای خروجی بروندم شناخته می‌شوند (Lydon, 1996). سیال‌های گرمایی وارد شده به آب دریا، به شکل Buoyant plumes (ستون شناور) (شکل ۱۴-b) در آن و در بالای محل خروج سیال‌ها (در یک حوضه رسوبی کاهیده (حضور مواد آلی)) گسترش می‌یابند (Goodfellow, 2007; Goodfellow & Lydon, 2005) (شکل ۱۴-b). بر اساس نمودارهای چگالی-دمای (Sato (1972) و بررسی‌های صورت گرفته در کانسارهای

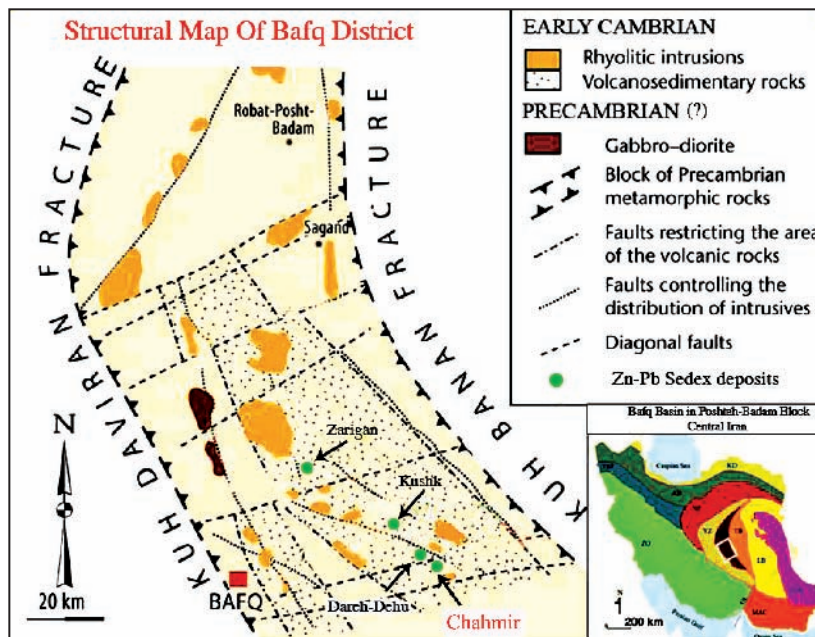
زیرین، باید مورد بررسی بیشتر قرار گرفته و با الگو قرار دادن کانسار چاهمیر و رخساره‌های کانه‌دار آن، اکتشافات این نوع از کانسارها در مقیاس ناحیه‌ای به طور جدی مورد توجه قرار گیرد.

### سپاسگزاری

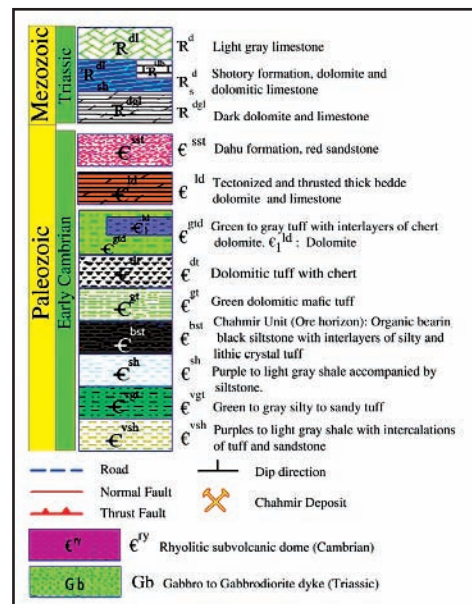
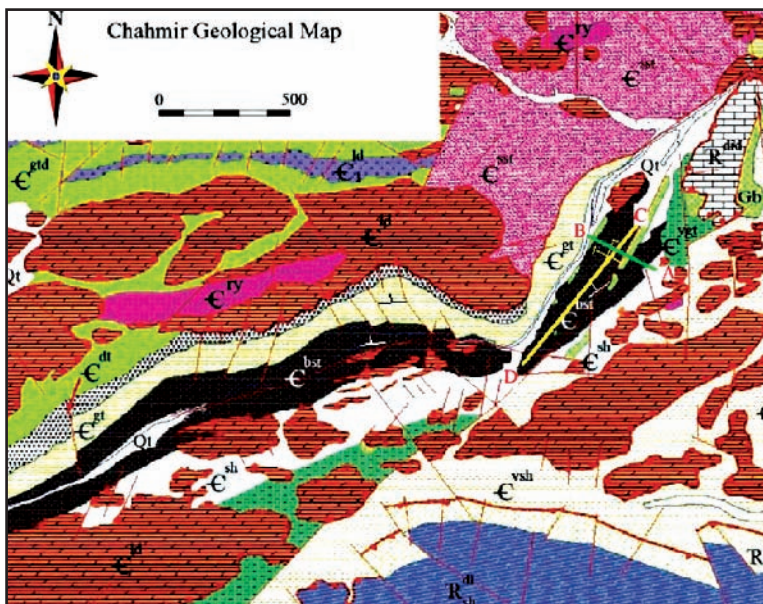
بدین وسیله بر خود لازم می‌دانیم از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که ما را در انجام این پژوهش یاری رساند، از جناب آقای دکتر لطفی در بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه، از آقای دکتر Donald F. Sangster، سازمان زمین‌شناسی کانادا، برای همکاری صمیمانه ایشان در طی مراحل مختلف پژوهش و همچنین مسئولان و کارکنان محترم شرکت معدن کاران انگوران که در فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی و اسکان، یاری رسانمان بودند، تشکر و قدردانی نمایم.

نزدیک بین ماده معدنی و برش‌های رسوبی. ۶) نبود تمرکز ماده معدنی سولفید در گسل‌های بعدی. ۷) محدود بودن بافت برشی سولفیدها به درون افق کانه‌دار، در کانسار چاهمیر افزون بر تأیید این مدل، نشان‌دهنده تشکیل همزمان با رسوبگذاری کانسار چاهمیر در رخساره کانسنگ لایه‌ای و رخساره حاشیه‌ای می‌باشند.

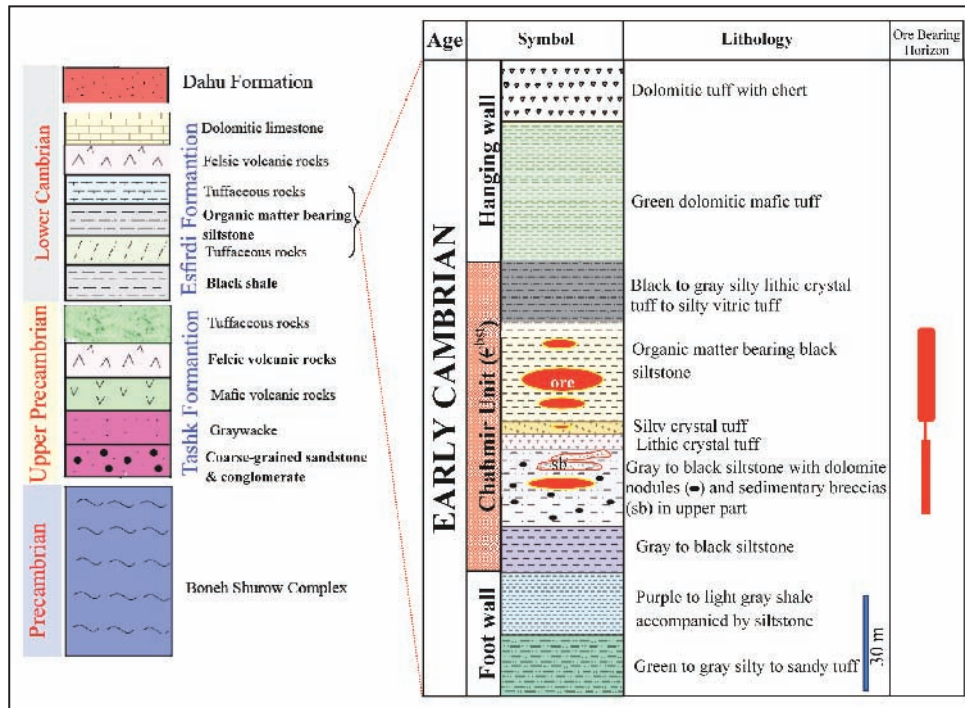
تشکیل چهار رخساره کانه‌دار و منطقه‌بندی عناصر در کانسار چاهمیر، و همراهی با دگرسانی‌های مرتبط با فعالیت گرمایی، Vent Proximal بودن این کانسار را اثبات می‌کند و مدل ستون شناور نحوه ایجاد این پدیده‌ها را به خوبی تبیین می‌کند (رجبی، ۱۳۸۷). در پایان، با توجه به تشکیل و گسترش کانسارهای روی- سرب نوع Vent Proximal (Selwyn-Type) Sedex مانند چاهمیر و سایر کانسارهای نوع Sedex مانند کوشک، دره‌دهو و زیرگان در حوضه بافق، در شرایط کنششی حاکم بر حوضه، پیشنهاد می‌شود، ویژگی‌های حوضه رسوبی بافق در زمان کامبرین



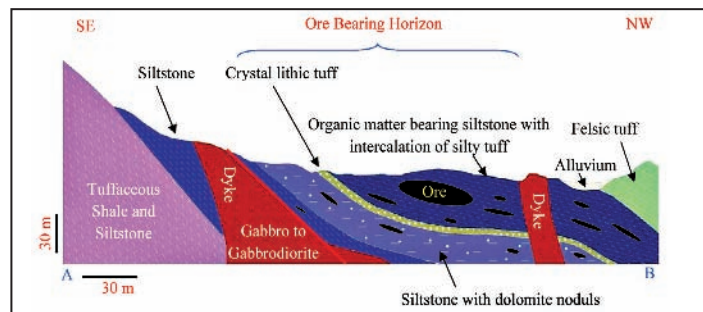
شکل ۱- نقشه ساختاری حوضه بافق و موقعیت کانسارهای روی- سرب نوع Sedex در توالی رسوبی - آتشفشانی کامبرین زیرین پهنه پشت‌بادام (برگرفته از Daliran et al., 2008 با تغییرات).



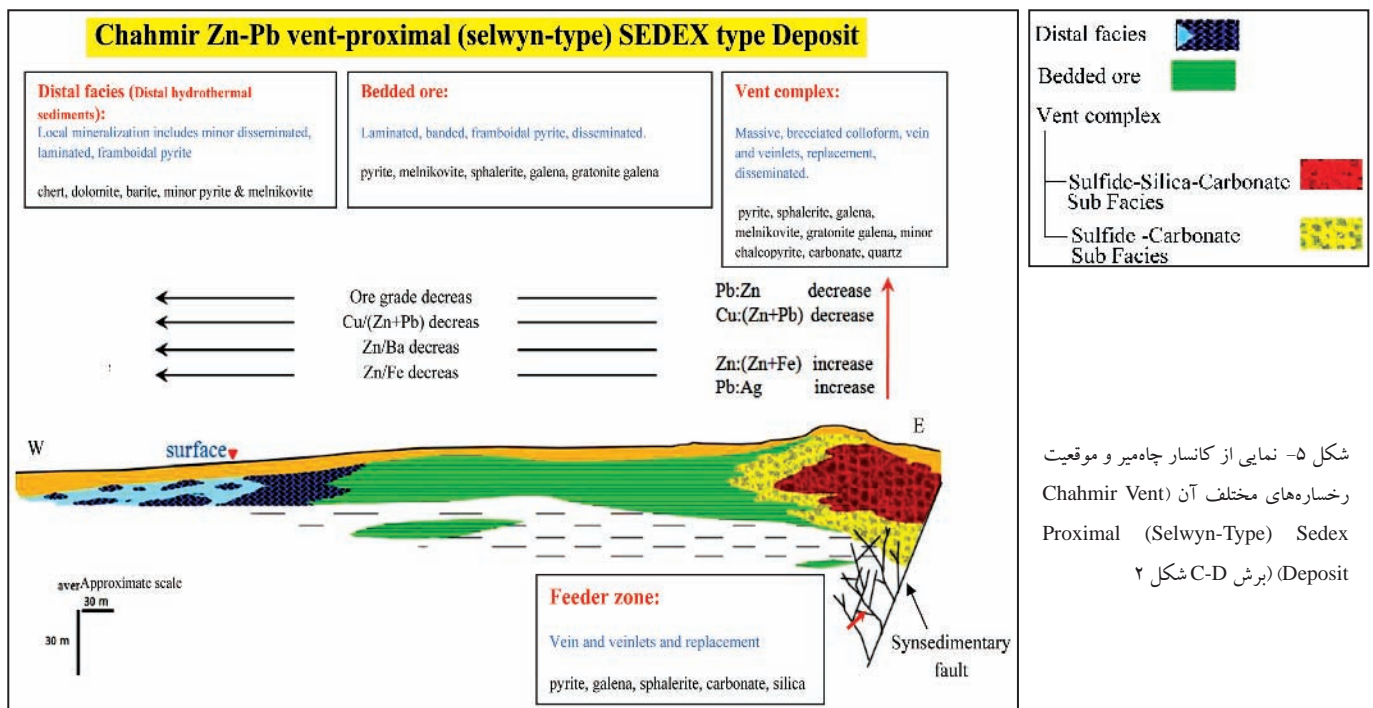
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی چاهمیر و موقعیت کانسار روی- سرب چاهمیر در توالی  $E^{bst}$  (براساس لطفی، ۱۳۸۶؛ سبزه‌تی، ۱۳۷۲ و پردازش تصویر ماهواره‌ای IRS (Lis IV)



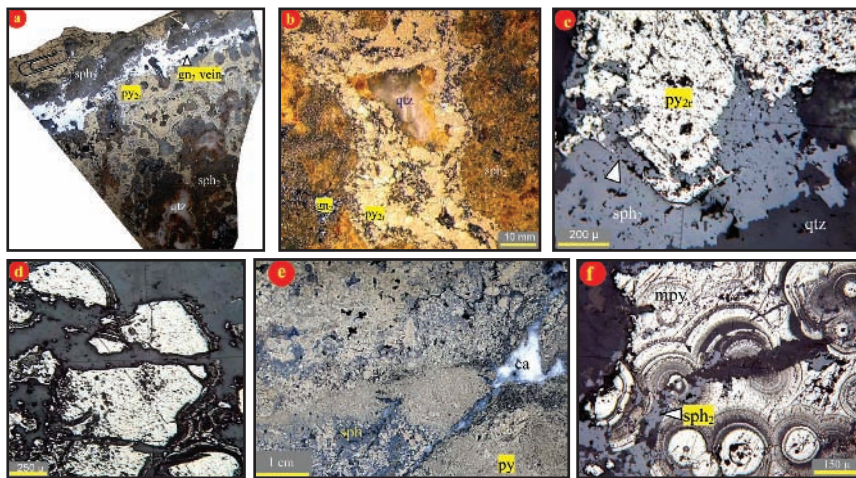
شکل ۳- توالی واحدهای سنگی در منطقه معدنی چاهمیر و موقعیت افق کانه‌دار در آن



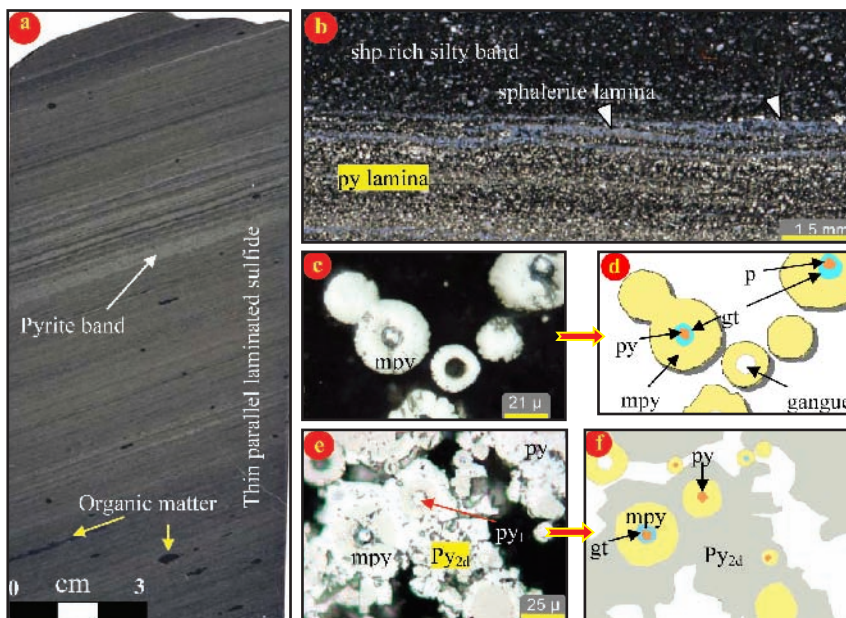
شکل ۴- مقطع عرضی از واحدهای سنگی منطقه و موقعیت افق کانه‌دار در کانسار چاهمیر (برش A-B در شکل ۲)



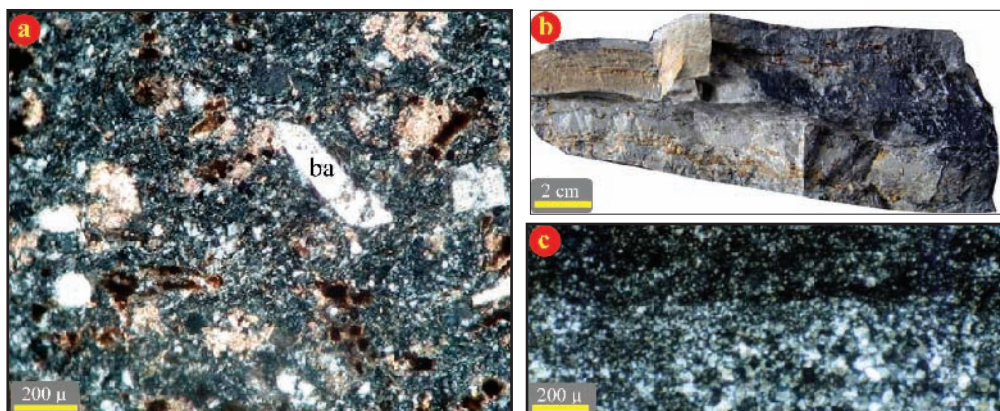
شکل ۵- نمایی از کانسار چاهمیر و موقعیت رخساره‌های مختلف آن (Chahmir Vent) Proximal (Selwyn-Type) Sedex Deposit (برش C-D در شکل ۲)



شکل ۶- نمایی از رخساره کانسنگ توده‌ای. (a,b,c) زیررخساره سولفیدی- سیلیسی-کربناتی: (a) بافت توده‌ای متشکل از پیریت، اسفالریت و گالن به همراه کوارتز. گالن به صورت رگه‌ای در بالای تصویر مشخص است. (b) تصویر بیناکولار از بافت توده‌ای اسفالریت نسل دوم (sph<sub>2</sub>) و پیریت نسل دوم (py<sub>2</sub>) به همراه کوارتز (qtz). (c) جاننشینی اسفالریت درون پیریت نسل دوم. (d,e,f) زیررخساره سولفیدی-کربناتی: (d) بافت برشی از پیریت ملنیکویت کلوform در زیررخساره سولفیدی-کربناتی رخساره کانسنگ توده‌ای، که شکسته و برشی گردیده‌اند. (e) بافت توده‌ای پیریت ملنیکویت (روشن) به همراه اسفالریت (خاکستری تیره). کلسیت به صورت پرکننده فضای خالی به رنگ سفید مشخص است. (f) جاننشینی و قطع شدن پیریت ملنیکویت با بافت کلوform برشی شده. (نور انعکاسی)

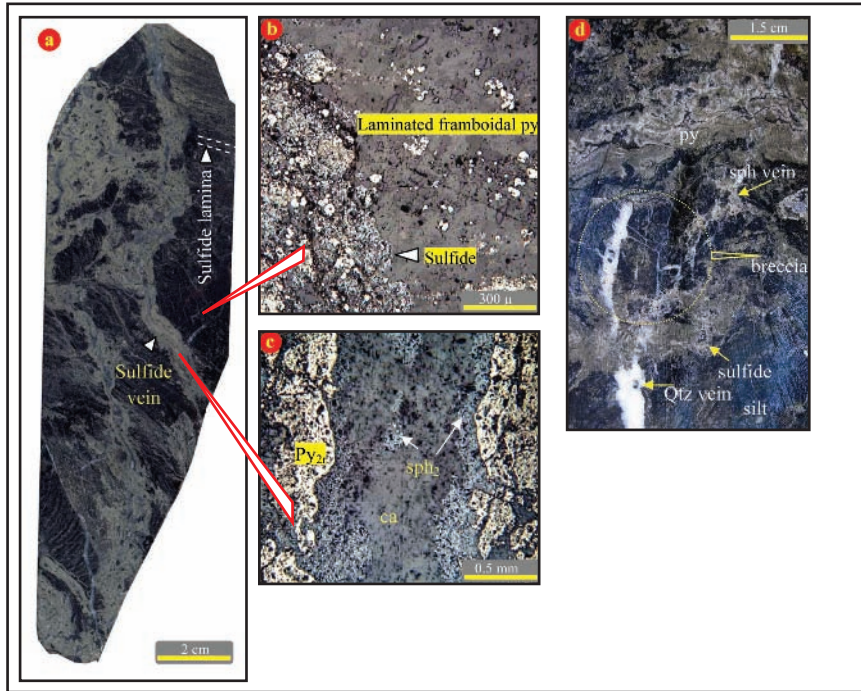


شکل ۷- نمایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای. (a) لامینه‌های موازی ریز سولفیدی (عمدتاً پیریت) به همراه مواد آلی به شکل عدسی‌های کوچک و نواری در کانسنگ لایه‌ای. (b) نمای میکروسکوپی (بیناکولار) از لامینه‌های اسفالریت نسل اول (رنگ روشن- مرکز تصویر). لامینه پیریت در پایین و لامینه سیلتی غنی از اسفالریت در بالای تصویر قابل مشاهده است. (c-f) بافت فرامبوئیدال پیریت نسل اول (نوع یک) به همراه گالن گراتونیتی (gt) به صورت هسته در داخل آن دیده می‌شود. (e,f) تشکیل پیریت بلورین دیاژنتیکی نسل دوم از پیریت ملنیکویت با بافت فرامبوئیدال اسفروئیدی در کانسنگ لایه‌ای (py<sub>2d</sub>).

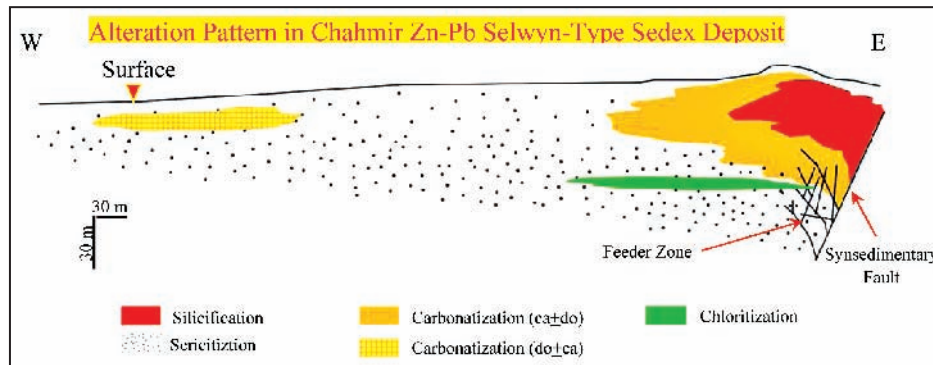


شکل ۸- نمایی از رخساره حاشیه‌ای. (a) تشکیل باریت (ba) دانه‌پراکنده درون سنگ‌های رخساره حاشیه‌ای به همراه دولومیت آهن‌دار (قهوه‌ای تیره). (b) نوارچرت (نمونه دستی). (c) نمای میکروسکوپی از نوار چرت در رخساره حاشیه‌ای کانسار (نور عبوری xpl تصویر c از لطفی، ۱۳۸۶)

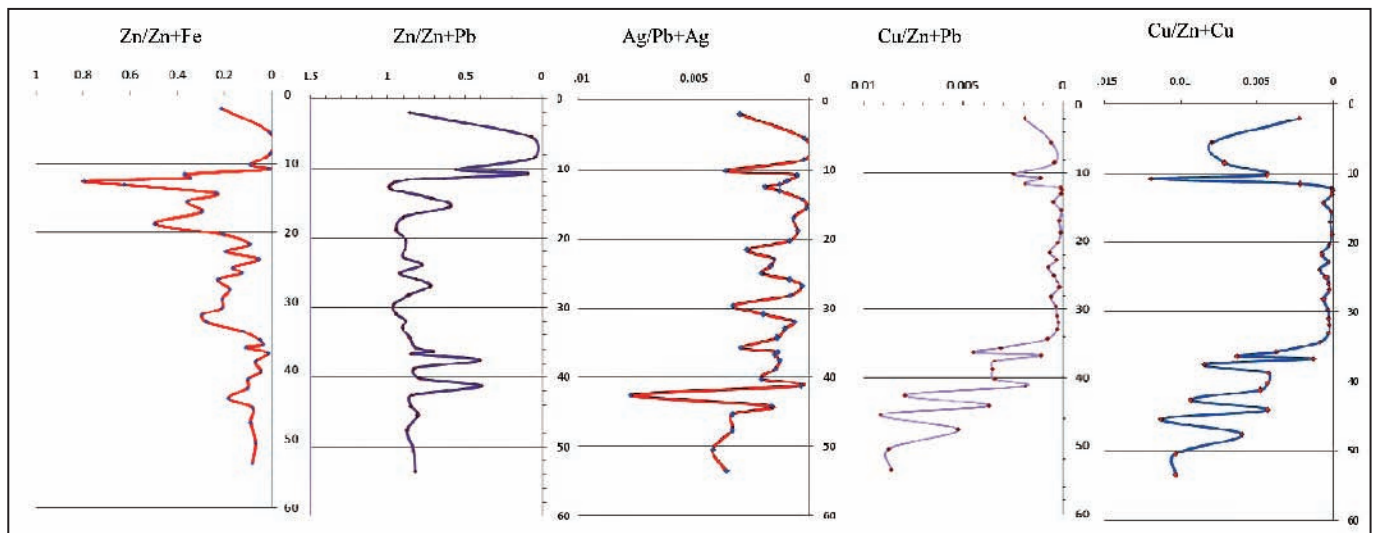




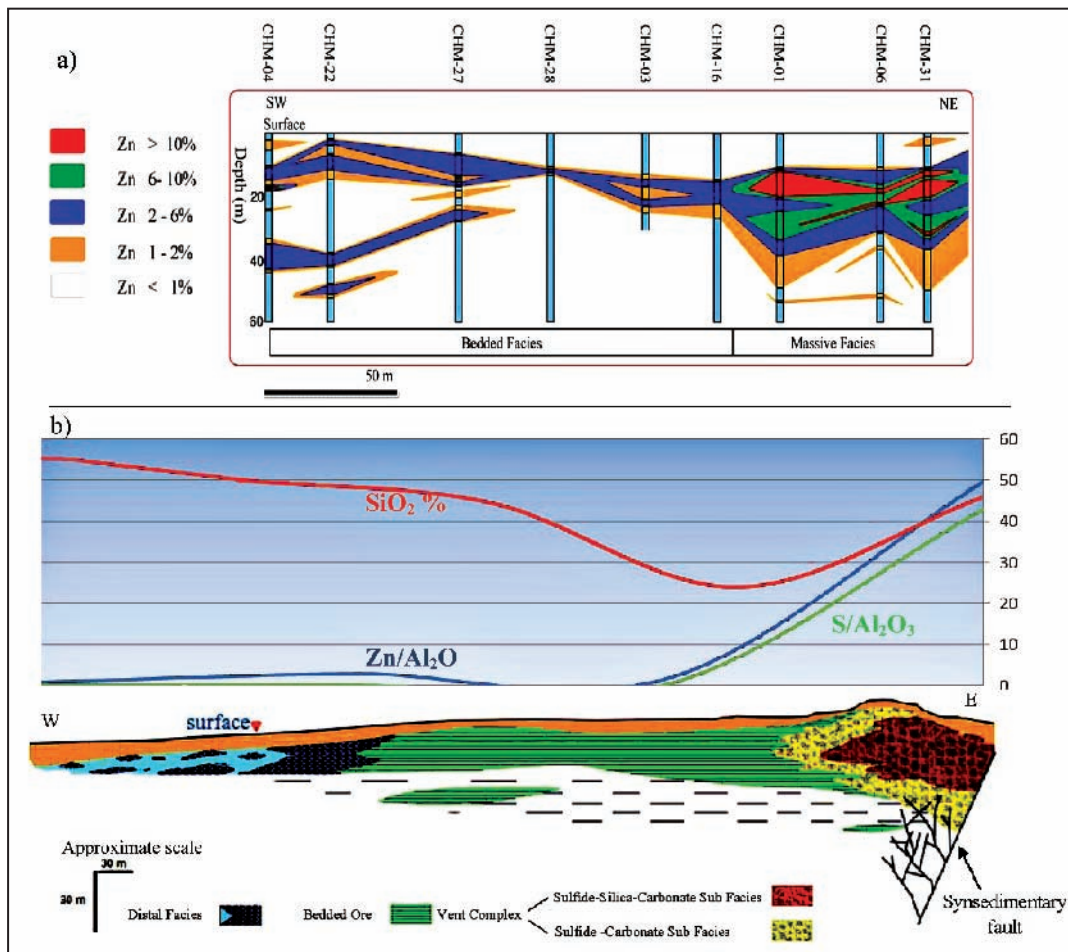
شکل ۹- نمایی از رخساره رگه- رگچه‌ای (جهت نمونه‌گیری عمود بر لایه بندی سنگ میزبان) (a) رگه‌های سولفیدی (شامل پیریت، اسفالریت و کمی گالن) قطع‌کننده لامینه‌های سولفیدی (b) نمای میکروسکوپی از قطع شدن لامینه‌های سولفیدی توسط رگه‌های اولیه سولفیدی. زمینه تیره اطراف، کلسیت ناشی از کربناتی شدن در اطراف رگه است. رگه شامل پیریت (روشن) و اسفالریت (خاکستری) می‌باشد گاهی که در آن اسفالریت جانشین پیریت شده است. (c) نمایی از مرکز رگه سولفید (نور انعکاسی). (d) رگه و رگچه سولفید (پیریت + اسفالریت) به همراه رگه کوارتز (سفید) در رخساره رگه- رگچه‌ای برشی شده کانسار چاه‌میر.



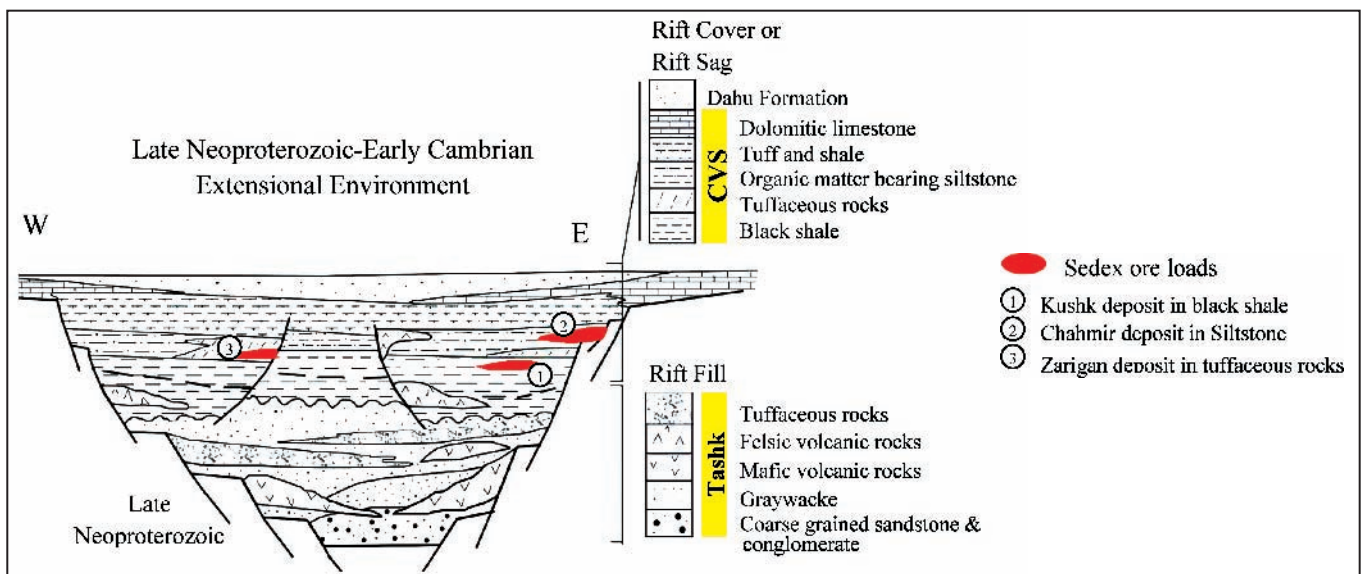
شکل ۱۰- طرح منطقه‌بندی هاله‌های دگرسانی در کانسار چاه‌میر. هاله‌های دگرسانی بیشترین شدت را در اطراف Vent Complex و Feeder Zone داشته و به سمت باختر از شدت آنها کاسته می‌شود. (ca=calcite, do=dolomite)



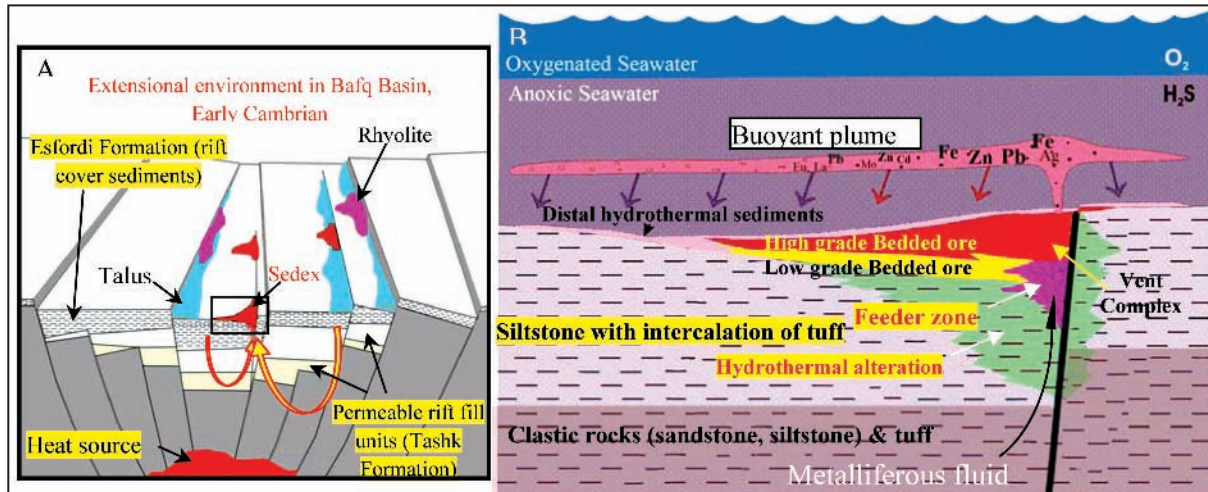
شکل ۱۱- منطقه‌بندی و تغییرات قائم‌نسبتی عناصر اصلی کانسار در گمانه CHM1، در محل رخساره توده‌ای (رجبی و همکاران، ۱۳۸۷). از پایین به سمت بالای کانسار نسبت Zn/(Zn+Pb) افزایش و نسبت‌های Ag/(Ag+Pb) و Cu/(Zn+Pb) کاهش می‌یابند.



شکل ۱۲- (a) تغییرات جانبی عیار روی، (b) میزان SiO<sub>2</sub> و نسبت‌های Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و S/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در برش طولی کانسار، با فاصله یافتن از کانسنگ توده‌ای (ژرفای مربوط به نمونه‌های نمودار (b) ۱۵ متر) (رجبی، ۱۳۸۷).



شکل ۱۳- تصویری نمادین از جایگاه زمین‌شناسی کانسارهای Sedex در حوضه بافق. این کانسارها در توالی پوشاننده کافت (شامل واحد رسوبی-آتشفشانی کامبرین زیرین (اسفوردی) تشکیل شده‌اند. رسوبات پرکننده کافت شامل سنگ‌های آواری سازند تاشک (نئوپروتروزیوئیک پسین) به همراه سنگ‌های آتشفشانی و توف هستند. (زمین‌شناسی براساس Ramezani & Tucker, 2003; Nadimi, 2006; و آذرایین و آفتابی، ۱۳۸۲) (برگرفته از Lydon, 1996).



شکل ۱۴- نحوه تشکیل کانسار (a: Chahmir Vent Proximal Sedex Type): همزمان با زمین ساخت کششی در حوضه بافق (کامبرین زیرین)، شوره‌های بین سازندی و آب دریای فرورفته به بخش پایین کافت، در اثر رژیم حرارتی حاکم بر کافت، ضمن حرکت به سمت بالا، فلزات را در مسیر خود می‌شویند (براساس Nelson, 1996; Buoyant). سیالات گرمایی از طریق منافذ، شکستگی‌ها و گسل همزمان با رسوبگذاری، به صورت برون‌دم وارد آب دریا شده و ستون شناوری (hydrothermal plume) از سیال گرمایی را در بالای کف دریا (در محیطی غیراکسیدان) ایجاد می‌کنند. با کاهش دما و افزایش pH، سولفیدها از این ستون ته‌نشین می‌گردند. (بر اساس Goodfellow, 2004 و Goodfellow & Lydon, 2007)

جدول ۱- مقایسه کانسار چاه‌میر با انواع کانسارهای Sedex

Sedex Deposits		Chahmir Zn-Pb Deposit	ویژگی
Vent Distal (McArthur) Type	Vent Proximal (Selwyn) Type		
زمین ساخت کششی	زمین ساخت کششی	زمین ساخت کششی (کافت پشت کماتی)	محیط زمین ساختی
شیل سیاه، سیلستون، توریدایت، توف ...	شیل سیاه، سیلستون، ماسه سنگ بسیار دانه ریز، رسوبات توریدایتی	سیلستون حاوی مواد آلی با میان لایه‌های توفی	سنگ میزبان
اغلب پروتروزویک	اغلب فانروزویک	کامبرین زیرین	سن کانه زایی
صفحه‌ای شکل، تابع توپوگرافی کف حوضه	گوهی شکل	گوهی کشیده	شکل کانسار
لامینه، نواری، فراموبیدال	لامینه، نواری، فراموبیدال، توده‌ای، رگه و رگچه، جانیشینی، برشی	لامینه، نواری، فراموبیدال، توده‌ای، رگه و رگچه، جانیشینی، برشی	بافت
پیریت، اسفالریت، گالن	پیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت کمی، کالکوپیریت ..	پیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت، مارکاسیت، به ندرت کالکوپیریت	کانی‌های سولفیدی عمده
عدم وجود Vent Complex و Feeder Zone، متشکل از چندین عدسی صفحه‌ای شکل	- چینه کران و توده‌ی ناهمگون (Vent Complex) - کانسنگ لایه‌ای چینه‌سان (Bedded Ore) - حاشیه‌ای (Distal Hydrothermal) - تغذیه کننده رگه و رگچه (Feeder Zone)	- توده‌ی و چینه کران (Vent Complex) - کانسنگ لایه‌ای چینه‌سان (Bedded Ore) - حاشیه‌ای (Distal Facies) - رگه و رگچه در زیر رخساره توده‌ای (Feeder Zone)	انواع رخساره‌ها
بدون دگرسانی مرتبط با دهانه تغذیه کننده، دارای هاله گسترده از کربنات Fe-Mn در حاشیه کانسار	حضور دگرسانی مرتبط با دهانه تغذیه کننده (سیلیسی و کربناتی شده، سرسیستی شدن، گاهی کلریتی)	وجود دگرسانی سیلیسی و کربناتی همزمان با کانه زایی در رخساره توده‌ای، سرسیستی (عموماً) در بخش تحتانی ماده معدنی (کمی کلریتی)	دگرسانی
- کاهش نسبت Cu به سمت بالای کانسار - دارای منطقه بندی ضعیف	- عموماً افزایش نسبت Zn/Pb به سمت بالای کانسار - افزایش میزان Cu به سمت پایین کانسار - کاهش عیار کانسار با دور شدن از Vent Complex - افزایش Pb/Ag به سمت بالای کانسار	- افزایش نسبت Zn/Pb به سمت بالای کانسار - افزایش میزان Cu به سمت پایین کانسار - کاهش عیار کانسار با دور شدن از رخساره توده‌ای - افزایش Pb/Ag به سمت بالای کانسار	منطقه بندی فلزات پایه
غایب	معمول	معمول	حضور باریت
معمول	غایب (غیر معمول)	غایب	حضور پیرویت
XY, Anniv, OP, Century, Lady Loretta, HYC, Mt Isa	Tom, Jason, Sullivan, Megan, Ramelsberge		مثال
Goodfellow, 2004; Goodfellow & Lydon, 2005; Cooke et al., 2000; Sangster, 2002; Goodfellow & Jonasson, 1983	Goodfellow, 2004; Lydon, 1996; 2004a and 2005; Goodfellow & Lydon, 2005; Cooke et al., 2000; Large et al., 2004	رجبی و همکاران (۱۳۸۶)، رجبی (۱۳۸۷)،	منبع

جدول ۲- مراحل تشکیل و تکوین و توالی همبودی (پاراژنزی) کانه‌ها و کانی‌ها و بافت و ساخت ماده معدنی در رخساره‌های کانسنگ توده‌ای، کانسنگ لایه‌ای، رگه-رگچه‌ای و حاشیه‌ای کانسار روی-سرب چاهمیر

Minerals		Mineralization (Stratiform)	
		Synsedimentary Exhalation	Diagenesis
Bedded Ore and Distal Facies (Stratiform)	Sulfide jell	_____	
	M. Pyrite (Pyrite I)	_____	
	Pyrite	_____	-----
	Sphalerite I	_____	
	Galena I	_____	
	Gratonite Galena	_____	
	Sphalerite III	_____	-----
	Galena III	_____	-----
	Organic Matter	_____	
	Barite	_____	
	Chert	_____	
	Dolomite	_____	
	Quartz II	_____	-----
	Quartz III	_____	-----
Calcite II	_____	-----	
Calcite III	_____	-----	

Minerals		Mineralization (Stratabound)		
		Synsedimentary Exhalation	Refinement Processes	Diagenesis
Vent-Complex and Feeder Zone	Pyrite I	-----		
	Sphalerite I	-----		
	Galena I	-----		
	Pyrite II r		-----	
	Sphalerite II		-----	
	Galena II		-----	
	Chalcopyrite		-----	
	Quartz I		-----	
	Calcite I		-----	
	Sericite		-----	
	Cholorite		-----	

Minerals		Mineralization			Weathering
		Synsedimentary Exhalation	Refinement Processes	Diagenesis	
	Fe-Oxides				_____
	Calamine				_____
	Alunite				_____
	Jaricite				_____
	Angelzite				_____
Sulfide Texture & Structure	Disseminated	_____			
	Colloform	_____			
	Framboidal	_____			
	Laminated	_____			
	Vein-Veinlet	_____			
	Massive	_____			
	Cataclastic & Brecciated	_____			
	Replacement	_____			
	Bubble texture	_____		-----	
	Convolute	_____			
	Load cast	_____		-----	
	Flow structure	_____			
Synsedimentary micro fault	_____				
Open space filling	_____				

## کتابنگاری

- آذرآیین، ح.، ۱۳۸۲- الگوی کانه‌زایی متصاعدی- رسوبی سرب- روی- آهن در منطقه معدنی کوشک و بافق، یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- آذرآیین، ح. و آفتابی، ع.، ۱۳۸۳- ارتباط سازند سولفید نوار (BSF) با سازند آهن نواری (BIF) در منطقه معدنی بافق. مجموعه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رجبی، ع.، ۱۳۸۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و ژنز کانسار روی- سرب چاهمیر، جنوب بهاباد (استان یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- رجبی، ع.، راسداد، ا.، رشیدنژاد عمران، ن. و محمدی‌نیائی، ر.، ۱۳۸۶- رخساره‌های کانه‌دار و منطقه‌بندی عنصری در کانسار SEDEX چاهمیر (جنوب بهاباد). مجموعه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور.
- رجبی، ع.، راسداد، ا.، رشیدنژاد عمران، ن.، محمدی‌نیائی، ر.، ۱۳۸۷- بررسی تغییرات ژئوشیمیایی در رخساره‌های کانه‌دار کانسار چاهمیر نوع Selwyn-Type (Vent Proximal) Sedex. مجموعه مقالات دوازدهمین گردهمایی انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- سبزه‌ئی، م.، ۱۳۷۲- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و منابع معدنی منطقه چاهمیر، شمال غرب کوه‌بانان. وزارت معادن و فلزات، طرح اکتشاف سراسری سرب و روی.
- لطفی، م.، ۱۳۸۶- گزارش نقشه زمین‌شناسی اکتشافی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، کانه‌زایی و دگرسانی در منطقه معدنی چاهمیر و دره‌دهو، شرکت معدن کاران انگوران، گزارش داخلی.
- مهرایی، ب.، ۱۳۷۰- کانی‌شناسی و ژنز کانسار سرب و روی کوشک (بافق)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

## References

- Betts, B. G., Giles, D. & Lister, G. S., 2003- Tectonic Environment of Shale-Hosted Massive Sulfide Pb-Zn-Ag Deposits of Proterozoic Northeastern Australia, *Eco. Geol.*, 98: 557-576
- Betts, P. G., Giles, D., Mark, G., Lister, G. S., Goleby, B. R. & Ailleres, L., 2006- Synthesis of the Proterozoic evolution of the Mt Isa Inlier, *Australian Journal of Earth Sciences*, 53: 187-211.
- Canet, C., Alfonso, P., Melgarejo, J. C. & Fallick, A. E., 2003- Origin of the mineralizing fluids from the Carboniferous sedex deposits of L Alforja (SW Catalan Coastal Ranges, Spain), *Journal of Geochemical Exploration*, 78-79: 513-517.
- Canet, C., Alfonso, P., Melgarejo, J. C. & Belyatsky, B. V., 2004- Geochemical evidences of sedimentary-exhalative origin of the shale-hosted PGE-Ag-Au-Zn-Cu occurrences of the Prades Mountains (Catalonia, Spain): trace-element abundances and Sm-Nd isotopes, *Journal of Geochemical Exploration*, 82: 17-33.
- Chen, J., Walter, M. R., Logan, G. A., Hinman, M. C. & Summons, R. E., 2003- The paleoproterozoic McArthur River (HYC) Pb-Zn-Ag deposit of northern Australia: Organic Chemistry and ore genesis, *Earth and Planetary Science Letters*, 210: 467-479.
- Cooke, D. R., Bull, S. W., Large, R. R. & McGoldrick, P. J., 2000- The importance of oxidized brines for the formation of Australian Proterozoic stratiform sediment-hosted Pb-Zn (Sedex) deposits, *Eco. Geol.*, 95: 1-18.
- Daliran, F., Stosch, H. G. & Williams, P., 2008- Lower Cambrian Iron Oxide-Apatite-REE (U) deposits of the Bafq District, East-Central Iran, in: Corriveau, L., and Mumin, H., eds., *Exploration for Iron Oxide Copper-Gold deposits: Canada and global analogues*, Geological Survey of Canada, short course note.
- Franklin, J. M., Hannington, M. D., Jonasson, I. R. & Barrie, C. T., 1998- Arc related volcanogenic massive sulphide deposits, in *Metallogeny of volcanic arc: British Columbia Geological Survey, Open-File 1998-8*.
- Gibbs, A., 1976- Geology and genesis of the Bafq lead-zinc deposits, *Mine and Metal*, B. 205-220.
- Goodfellow, W. D., 2004- Geology, genesis and exploration of SEDEX deposits, with emphasis on the Selwyn basin, Canada, in Deb, M. and Goodfellow, W.D., eds., *Sediment-hosted lead-zinc sulphide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada: Narosa publishing house, Delhi, India*, p. 24-99.
- Goodfellow, W. D., 2007- Metallogeny of the Selwyn Basin, Canada, *Geological Survey of Canada, Open File xxx*.
- Goodfellow, W. D. & Lydon, J. W., 2005- Synthesis of SEDEX Deposits, *Geological Survey of Canada, Open File xxx*.
- Goodfellow, W. D., Lydon, J. W. & Turner, R. W., 1993- Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) Zn-Pb-Ag sulphide deposits, in Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I., and Duke, J. M., eds., *Mineral Deposit Modeling, Special Paper 40, Geological Association of Canada*, p. 201-251.
- Goodfellow, W. D. & Lydon, J. W., 2007- Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p. 163-183.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Horton, B. K., Axen, G. J., Stockli, L. D., Grove, M., Schmitt, A. K. & Walker, J. D., 2008- U-Pb geochronology of late Neoproterozoic-Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for Paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement, *Tectonophysics*, 451: 71-96.
- Huckriede, R., Kursten, M. & Venzlaff, H., 1962- Zur geologie des gebiets zwischen Kerman und Saghand (Iran): Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, 51: 197.
- Ireland, T., Bull, S. W. & Large, R. R., 2004a- Mass flow sedimentology within the HYC Zn-Pb-Ag deposit, Northern Territory, Australia: Evidence for syn-sedimentary ore genesis: *Mineralium Deposita*, 39: 143-158.

- Ireland, T., Large, R. R., McGoldrick, P. & Blake, M., 2004b- Spatial distribution patterns of sulfur isotopes, nodular carbonate, and ore textures in the McArthur River (HYC) Zn-Pb-Ag deposit, Northern Territory, Australia, *Eco. Geol.*, 99: 1687-1709.
- Large, D. & Walcher, E., 1999- The Rammelsberg massive sulphide Cu-Zn-Pb-Ba-deposit, Germany: An example of sediment-hosted, massive sulphide mineralization: *Mineralium Deposita*, 34: 522-538.
- Large, R. R., Bull, S. W., McGoldrick, P. J., Walters, S., Derrick, G. M. & Carr, G. R., 2005- Stratiform and strata-bound Zn-Pb-Ag deposits in Proterozoic sedimentary basins, northern Australia, *Economic Geologists, Inc. 100th Anniversary Volume*, p. 561-607.
- Large, R. R., McGoldrick, P., Bull, S. & Cooke, D., 2004- Proterozoic stratiform sediment-hosted zinc-lead-silver deposits of northern Australia, in Deb, M. and Goodfellow, W.D., eds., *Sediment-hosted lead-zinc sulphide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada: Narosa publishing house, Delhi, India*, p. 1-24.
- Large, R. R., Bull, S. W. & Winefield, P. R., 2001- Carbon and oxygen isotope halo in carbonates related to the McArthur River (HYC) Zn-Pb-Ag deposit: Implications for sedimentation, ore genesis, and mineral exploration, *Eco. Geol.*, 96: 1567-1593.
- Large, R. R., Bull, S. W., Cooke, D. R. & McGoldrick, P. J., 1998- A genetic model for the HYC deposit, Australia: Based on regional sedimentology, geochemistry, and sulfide-sediment relationships, *Eco. Geol.*, 93: 1345-1368.
- Leach, D. L., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J. & Walters, S., 2005- *Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits: A Global Perspective*, *Economic Geologists, Inc. 100th Anniversary Volume*, p. 561-607
- Lydon, J., 1996- Sedimentary exhalative sulphides (SEDEX); in Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., and Thorpe, R.I., eds., *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, *Geology of Canada*, No. 8: Geological Survey of Canada (also: Geological Society of America, *The Geology of North America P-1*), p. 130-152.
- Lydon, J., 2005- Synopsis of the Belt-Purcell Basin, Geological Survey of Canada, Open File xxx.
- Lydon, W. J., 2004b- Genetic models for Sullivan and other SEDEX deposits, in Deb, M. and Goodfellow, W.D., eds., *Sediment-hosted lead-zinc sulphide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada: Narosa publishing house, Delhi, India*, p. 149-190.
- Lydon, W. J., 2004a- Geology of the Beit-Purcell basin and the Sullivan deposit, in Deb, M. and Goodfellow, W.D., eds., *Sediment-hosted lead-zinc sulphide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada: Narosa publishing house, Delhi, India*, p. 100-148.
- MacIntyre, D. G., 1998- Geology, geochemistry and mineral deposits of the Akie River area, northeast British Columbia, Ministry of Energy and Mines, Bulletin 103, 60p.
- MacIntyre, D., 2005- Sedimentary exhalative (SEDEX) Zn-Pb-Ag, Modified for Yukon by A. Fonseca Refer to preface for general references and formatting significance. Geological Survey of Canada, Open File xxx.
- McGoldrick, P. & Large, R. R., 1998- Proterozoic stratiform sediment hosted Zn-Pb-Ag deposits, AGSO, *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(4): 189-196.
- Momenzadeh, M. & Heydari, E., 1995- Ore-hydrocarbon resources and alkaline magmatism of Late-Proterozoic-Early Cambrian in Iran: A genetic interpretation.
- Nadimi, A., 2006- Evolution of the Central Iranian basement, *Gondwana Research*, xx: 1-10.
- Rajabi, A., Rastad, E., Rashidnejed Omran, N. & Mohamadi Niaei, R., 2008- Chahmir deposit: A sedimentary-exhalative Zn-Pb deposit in Bafq basin, Central Iran. 33<sup>rd</sup> IGC, Oslo 2008.
- Ramezani, J. & Tucker, R., 2003- The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Science*, 303: 622-665.
- Sangster, D. F., 2002- The role of dense brines in the formation of vent-distal sedimentary exhalative (SEDEX) lead-zinc deposits: field and laboratory evidence: *Mineralium Deposita*, 37: 149-157.
- Stock, E., 2007- Footwall veins in the Red Dog district, Brooks Range, Alaska: Fluid conduits for giant SEDEX ore deposits?, *British Columbia University, MSci thesis*, 81p.
- Talbot, C. J. & Alavi, M., 1996- The past of a future syntaxis across the Zagros, in Alsop, G. I., Blundell, D. J., and Davison, I., editors, *Salt Tectonics: Geological Society Special Publications*, 100: 89-109.
- Tucker, M. E., 1994- *Sedimentary petrology (an introduction to the origin of sedimentary rocks)*, 2Ed, Blackwell Scientific Publ., London. 252p.
- Turner, R. J. W., 1990- Jason stratiform Zn-Pb-barite deposit, Selwyn basin, Canada (NTS 105-O-1): Geological setting, hydrothermal facies and genesis, in Abbott, J. G., and Turner, R. J. W., *Mineral deposit of the northern Canadian Cordillera, International association on the genesis of ore deposits, field trip 14: guidebook*, p.
- Yaghubpur, A. & Mehrabi, B., 1997- Kushk Zinc-Lead Deposit a Typical Black-Shale-Hosted Deposit in Yazd State, Iran, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 8(2): 117-125.
- Yang, J., Large, R. R., Bull, S. & Scott, D. L., 2006- Basin-scale numerical modeling to test the role of buoyancy-driven fluid flow and heat transport in the formation of stratiform Zn-Pb-Ag deposits in the northern Mount Isa basin, *Eco. Geol.*, 101: 1275-1292.