

# کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) نوده، نمونه‌ای از کانسارهای نوع بشی (Besshi-type)، جنوب باختر سبزوار

سجاد مغفوری<sup>۱</sup>، ابراهیم راستاد<sup>۲</sup>، فردین موسیوند<sup>۳</sup> و یه‌لین<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین، شاهرود، ایران

<sup>۴</sup> استاد، دانشگاه کیوچهو، آزمایشگاه ژئوشیمی، چین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

## چکیده

کانسار مس - روی نوده و اندیس‌های فریزی، گراب، چون و کلاته لالا (نیران) در جنوب باختر سبزوار در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین، در یک محیط کانی (ریفتی) تشکیل شده‌اند. سنگ میزبان کانسار مس - روی نوده شامل گدازه آلکالی الیون بازالت و ماسه‌سنگ سیلتی توفی بوده و سنگ میزبان اندیس‌های معدنی فریزی و گراب آندزیت و سنگ میزبان کلاته لالا و اندیس چون، ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی هستند. کانه‌زایی سولفیدی در کانسار نوده و اندیس‌های معدنی در ۳ افق، به شکل صفحه‌ای کشیده رخ داده است. بر اساس ماهیت کانه‌زایی سولفیدی، بافت و کانی‌شناسی سولفیدها، می‌توان ۳ رخساره کانه‌دار را در کانسار نوده از هم متمایز نمود. که عبارتند از: الف) رخساره رگه - رگچه‌ای (Stringer zone): این رخساره شامل رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و سولفیدی است که به صورت قطع کننده لایه‌بندی سنگ میزبان در بخش زیرین رخساره کانسنگ توده‌ای تشکیل شده است. بافت‌های رگه - رگچه‌ای و جانشینی سولفیدها سیمای اصلی این رخساره را تشکیل می‌دهند. ب) رخساره کانسنگ توده‌ای که بخش ستر، پرعیار و توده‌ای کانسار را تشکیل می‌دهد، ماهیتی ناهمگون و تقریباً چینه کران دارد که فقط محدود به گدازه آلکالی الیون بازالت است و ج) رخساره کانسنگ لایه‌ای که با سیمای لایه‌ای و نواری و عیار پایین ماده معدنی قابل تشخیص است. سنگ دربرگیرنده این رخساره کانه‌دار ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی است. این رخساره به صورت سولفیدهای لامینه و نواری هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان و به صورت چینه‌سان در بخش خاوری کانسار تشکیل شده است. کانی‌های تشکیل دهنده کانسار نوده شامل کالکوپریت، پیریت، بورنیت، اسفالریت، مگنتیت و بولانژریت می‌باشد دگرسانی‌های سنگ دیواره به طور عمده دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی و سربستی را شامل می‌شوند. با توجه به ویژگی‌های اساسی کانه‌زایی کانسار نوده، از جمله محیط زمین‌ساختی، سنگ دربرگیرنده، کانی‌شناسی، محتوای فلزی و دگرسانی آن و مقایسه این ویژگی‌ها با ویژگی‌های اساسی ذخایر مس سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (تیپ VMS)، می‌توان کانسار مس - روی نوده را به عنوان نمونه‌ای از کانسارهای VMS تیپ پلیتیک - مافیگ (Pelitic Mafic) یا تیپ بشی (Besshi Type)، در ایران معرفی نمود.

**کلید واژه‌ها:** کانسار مس - روی نوده، کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، نوع بشی، رخساره‌های رگه - رگچه‌ای، توده‌ای و لایه‌ای، پهنه سبزوار.

E-mail: rastad@modares.ac.ir

\*نویسنده مسئول: ابراهیم راستاد

## ۱- پیش‌گفتار

آتشفشانزاد نوده به عنوان تیپ بشی به شناسایی ویژگی‌های رخساره‌های کانه‌دار و ساخت و بافت و کانی‌شناسی هر رخساره و همچنین به چگونگی تشکیل این کانسار نیز پرداخته است.

## ۲- روش پژوهش

در انجام این پژوهش، برای بررسی ویژگی‌های رخساره‌های کانه‌دار کانسار نوده و اندیس‌های معدنی (کلاته لالا (نیران)، چون، گراب و فریزی) تعداد ۸ مقطع لیتوژئوشیمیایی در جهت عمود بر روند لایه‌بندی در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین پیمایش و نمونه‌های برداشت شده از آنها مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند. بر این اساس، ۲۵ مقطع نازک و ۵۰ مقطع نازک - صیقلی تهیه و کانی‌شناسی و ساخت و بافت آنها مطالعه گردید. افزون بر آن با تجزیه ۲۴ نمونه به روش XRF و ۳۲ نمونه به روش ICP-MS (آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه Guizhou چین) ویژگی‌های ژئوشیمیایی بخش‌های مختلف کانسار (رخساره‌های کانه‌دار) و منطقه‌بندی عنصری در جهات قائم و افقی مورد بررسی قرار گرفت. پس از شناسایی بخش‌های مختلف کانسار بر مبنای بررسی‌های انجام گرفته، مدل‌سازی تشکیل کانسار صورت گرفت.

## ۳- زمین‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی

توالی آتشفشان - رسوبی پهنه سبزوار، در یک محیط کششی کافت (ریفت)

مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، و همچنین پژوهشگران دانشگاهی در پهنه سبزوار صورت گرفته است، به شناسایی رخساره‌های متنوعی از کانه‌زایی فلزات پایه به ویژه مس در این ناحیه انجامیده است. از جمله این کانی‌زایی‌ها می‌توان به کانسار سولفید توده‌ای پلی متال تکنار (شفاوردی و همکاران، ۱۳۸۳)، کانسار سولفید توده‌ای غنی از آهن کیودان (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار مس - طلای پورفیری هلاک آباد (پناهی شهری و همکاران، ۱۳۸۹)، اندیس‌های مس رسوبی منطقه ششتمد (سپهری راد، ۱۳۸۸)، اندیس‌های مس در داخل افیولیت‌های شمال سبزوار (روزبه کارگر و قمیان، ۱۳۷۷؛ عشق آبادی، ۱۳۷۷) و کانسار مس - روی نوده در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در جنوب باختر سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰ الف) اشاره نمود.

کانسار مس - روی نوده و دیگر رخساره‌های مس در منطقه، در فاصله ۹۰ کیلومتری جنوب باختر سبزوار و ۴۵ کیلومتری بخش رودآب (قلعه نوی) در پهنه سبزوار واقع شده‌اند (شکل ۱). واحدهای آتشفشانی - رسوبی بخش زیرین کرتاسه بالایی با روند تقریبی شمال خاوری - جنوب باختری دربردارنده این ذخایر هستند. با توجه به گسترش کانی‌زایی مس - روی در توالی آتشفشانی - رسوبی حوضه جنوب باختر سبزوار، مطالعه کانسار نوده و دیگر اندیس‌های این حوضه می‌تواند به عنوان الگو در اکتشاف ذخایر مشابه مس - روی در این منطقه و مناطق با زمین‌شناسی مشابه در ایران مورد استفاده قرار گیرد. این مقاله ضمن معرفی کانسار مس - روی

پشت کمانی (back-arc) در طی کرتاسه پسین تشکیل شده است (Rosseti et al., 2010). این کشش در اثر فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی اتفاق افتاده است (شکل ۲). این محیط کششی پشت کمانی در زمان آغاز پالئوسن شروع به بسته شدن کرده و در زمان ائوسن به طور کامل بسته شده است (Gerdes & Zeh, 2009; Baroz et al., 1984; Sengor et al., 1988; Mc Call, 1997; Stampfli & Borel., 2002; Shojaat et al., 2003; Rosseti et al., 2010; Agard et al., 2011). با توجه به این که پهنه سزوار با افیولیت ملائزهای کرتاسه - پالئوسن شناخته می شود، به همین سبب مجموعه واحدهای سنگی پهنه سزوار را می توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول سنگ هایی که تشکیل دهنده سری افیولیتی - ملائز بوده و طیفی از سنگ های فوق بازیگ تا بازیگ را شامل می شوند. گروه دوم سنگ های غیر افیولیتی، شامل سنگ های آتشفشانی، آتشفشانی - رسوبی و رسوبی می باشد که ارتباط ژنتیکی با سنگ های افیولیتی ندارند (وطن پور و همکاران، ۱۳۸۸). کانسار توده و اندیس های معدنی موجود در منطقه مورد مطالعه، همگی در مجموعه سنگ های آتشفشانی - رسوبی و رسوبی (گروه دوم) کرتاسه پسین واقع شده اند.

عضو میزبان کانه زایی مس افق I (شامل اندیس های مس توده A، چون و لالا) است. عضو ۳ (Member3): کریستال لیتیک توف با میان لایه هایی از توف ریولیتی. عضو ۴ (Member4): توف ماسه ای نازک لایه، گدازه آلکالی الیون بازالت، ماسه سنگ سیلتی توفی، شیل و توف شیلی تیره. گدازه آلکالی الیون بازالت، که با تغییر رخساره جانبی به ماسه سنگ های سیلتی توفی تبدیل می شود، میزبان کانه زایی های مس افق II (کانسار مس توده II) می باشد.

- واحد ۳ (Unit3): این واحد دارای دو عضو است که شامل: ۱. توف شیلی، ماسه سنگ توفی با میان لایه هایی از توف نازک لایه سبز ۲. ماسه سنگ توفی با میان لایه هایی از توف ماسه ای می باشد.

- واحد ۴ (Unit4): این واحد از آهک های نازک لایه پلاژیک گلوبروترونکانادار - توف، آندزیت، توف برش، ماسه سنگ توفی - مارن، سیلت مارنی با میان لایه هایی از آهک - ماسه سنگ توفی، توف و گدازه آندزیتی تشکیل شده است.

واحدهای سنگی کرتاسه پسین توسط ماسه سنگ، مارن و کنگلومرای آهکی پالئوسن به صورت ناپیوسته پوشیده می شوند (شکل ۴).

#### ۴- کانی زایی و افق های کانه دار

در ناحیه جنوب باختر سزوار، تعداد قابل توجهی از کانسارها و اندیس های معدنی مس و منگنز وجود دارند که دارای جایگاه چینه شناسی ویژه هستند. این کانسارها و اندیس ها بر اساس نوع ماده معدنی، موقعیت چینه شناسی و سنگ میزبان به دو گروه تقسیم می شوند (شکل ۴):

۱. کانسارها و اندیس های معدنی مس: این ذخایر که در توالی ستون چینه ای سنگ های بخش زیرین کرتاسه پسین تشکیل شده اند، بر حسب نوع سنگ میزبان به سه زیر گروه تقسیم می گردند:

الف) ذخایر مس با سنگ میزبان آندزیتی مانند اندیس های فریزی و گراب (شکل ۴).

ب) ذخایر مس با سنگ میزبان ماسه سنگ های سیلتی توفی، مانند افق I کانسار توده و اندیس های مس کلاته لالا (نیران) و چون (شکل های ۸ و ۹).

ج) ذخایر مس با سنگ میزبان آلکالی الیون بازالت، مانند افق II کانسار توده (شکل ۹).

۲. کانسارها و اندیس های منگنز: این ذخایر بر حسب سن و جایگاه آنها در توالی چینه ای و نوع سنگ میزبان به دو زیر گروه تقسیم می گردند (شکل ۴):

الف) ذخایر منگنز با سن بخش زیرین کرتاسه بالایی و با سنگ میزبان توفی، مانند کانسارهای بنسپرد، فریزی، گت و توده.

ب) ذخایر منگنز با سن بخش بالایی کرتاسه بالایی و با سنگ میزبان توف آندزیتی و توف کربناتی مانند کانسارهای منگنز ذاکری، چشمه سفید و چاه ستاره.

نظر به اینکه موضوع مقاله کانه زایی مس است، از این رو، از بررسی کانی زایی منگنز خودداری و به ویژگی های کانه زایی مس - روی در منطقه مورد مطالعه پرداخته می شود.

#### ۴-۱. سنگ های میزبان کانه زایی مس

کانی زایی مس - روی در این منطقه در دو واحد چینه ای متفاوت (واحد اصلی ۱ و ۲)، عمدتاً به صورت پیوسته و هم روند با سنگ میزبان (با بافت رگه - رگچه ای و دانه پراکنده در واحد ۱ و به صورت صفحه ای شکل در واحد ۲) تشکیل شده است (شکل ۴).

کانی زایی های مس با سنگ درونگیر آندزیت در این ناحیه، عموماً دارای اندیس های خیلی کوچک هستند. در حالی که کانی زایی های مس با سنگ میزبان گدازه های آلکالی الیون بازالت و ماسه سنگ های سیلتی توفی ذخایر بزرگ تری را تشکیل داده اند که کانسار توده از جمله این ذخایر است.

توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین به طور عمده شامل رسوبات دریایی ژرف با میان لایه هایی از سنگ های آتشفشانی است که در داخل تاقدیسی با روند شمال خاور - جنوب باختر قرار دارند (شکل ۳). این سنگ های آتشفشانی از آذر آوری های ریز دانه، درشت دانه و از گدازه های ریولیتی، داسیتی تا آندزیتی تشکیل یافته اند که همروند با روند کلی ساختار منطقه شمال خاور - جنوب باختر هستند. بخش رسوبی این توالی شامل توف های سیلیسی، چرت، شیل و ماسه سنگ است که دارای میان لایه هایی از آهک های گلوبروترونکانادار و مارن هستند. این توالی آتشفشانی - پلاژیک به صورت ناپیوسته بر روی آهک های کالیپونل دار، سنگ آهک و مارن سیلت دار، سنگ آهک های اریپولین دار و واحد کنگلومرای کرتاسه پیشین قرار می گیرند (شکل ۴). رسوبات کربناتی غنی از پلانکتون و روزنبر (آهک های پلاژیک) که سن سنومین تا ماستریشین دارند، توالی آتشفشانی - رسوبی یاد شده را می پوشاند (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷). توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در حوضه جنوب باختر سزوار به چهار واحد اصلی (Unit1, Unit2, Unite3, Unit4) قابل تقسیم است که واحدهای ۱، ۲ و ۳ مربوط به بخش زیرین کرتاسه پسین و واحد ۴ مربوط به بخش بالایی کرتاسه پسین می باشد (شکل ۴) که در زیر با اختصار به آنها اشاره می گردد:

- واحد ۱ (Unit1) شامل: توف - لیتیک کریستال توف نازک لایه، ریولیت، توف آندزیتی، گدازه آندزیتی (میزبان اندیس های مس فریزی و گراب)، توف قرمز (میزبان کانسارهای منگنز در منطقه)، واحد تراکی آندزیتی آمیگدالوئیدال دار، گدازه اسپیلیتی کراتوفیری همراه با بازالت های بالشی و منشورهای داسیت پورفیر است (شکل ۴). ترکیب سنگ شناختی شبیه واحد ۱ در توالی آتشفشانی - رسوبی حوضه Lancones در پرو نیز که در بردارنده ذخایر مس است، دیده می شود که نهشته شدن آن را مربوط به مرحله همزمان با کافت شدن آغازین (Early synrift phase) دانسته اند (Winter et al., 2009).

- واحد ۲ (Unit2): کانی زایی مس در کانسار توده و اندیس های چون و کلاته لالا (نیران) در واحد ۲ رخ داده است. این واحد به چهار عضو (Member) تقسیم می شود که عضوهای ۱ و ۲ آن میزبان افق های کانه دار (I و II) مس در کانسار توده هستند که این عضوها از پایین به بالا عبارتند از (شکل های ۵، ۶، ۷، ۸):

عضو ۱ (Member1): آگلومراتوف با میان لایه هایی از توف نازک لایه، لاپیلی توف با میان لایه هایی از توف نازک لایه سبز و سیل گابرویی (در این سیل کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت به صورت دانه پراکنده دیده می شود).

عضو ۲ (Member2): توف نازک لایه سبز پیریت دار و ماسه سنگ سیلتی توفی. این

#### ۴-۲. ژئومتری ماده معدنی

کانه‌زایی سولفیدی در محدوده معدنی نوده ژئومتری صفحه‌ای کشیده (tabular shape & sheet-like) دارد (شکل ۱۰). در بخش باختری، کانسار به شکل توده‌ای (Massive) و رگه-رگچه‌ای (Stringer) و در مجموع به شکل چینه‌کران (strata-bound) دیده می‌شود اما با کاهش ستبرای به سمت خاور، کانسار شکل چینه‌سان (stratiform) به خود گرفته و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان می‌شود (شکل ۱۰). گسترش طولی افق کانسار نوده بسیار بیشتر از ستبرای آن است به طوری که طول آن بیش از ۹۰۰ متر و ستبرای آن در حدود ۱-۴ متر است که این نسبت بالای طول به ستبرای، یکی از ویژگی‌های عمده کانسارهای سولفیدی با سنگ درونگیر آتشفشانی-رسوبی می‌باشد. این نوع ژئومتری صفحه‌ای شکل در کانسار نوده، در مقایسه با کانسارهای سولفیدی با سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی و آذرآواری، عمدتاً در کانسارهای ماسیو سولفید با تیپ سیلیسی کلاستیک فلسیک (Bathurst type) (Galley et al., 2007; Goodfellow, 2007) و پلیتیک مافیک (Besshi type) (Galley et al., 2007; Goodfellow, 2007; Peter & Scott, 1999;) دیده می‌شود.

#### ۴-۳. رخساره‌های کانسار

در کانسار مس-روی نوده، بر اساس جایگاه رخساره نسبت به محل خروج سیال کانساز (گسل همزمان با رسوب‌گذاری نوده)، نسبت ترکیبات آتشفشانی-رسوبی به ترکیبات گرمابی (سولفید، سیلیس و کلریت)، نوع و شکل کانی‌سازی، بافت ماده معدنی و عیار کانسار، می‌توان سه رخساره متفاوت را از یکدیگر جدا نمود (شکل ۱۰):

– **رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای (Stringer zone):** رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار نوده، دارای گسترش محدود بوده و در زیر رخساره کانسنگ توده‌ای و در بخش باختری کانسار، به صورت شبکه‌ای از رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی لامیناسیون سنگ میزبان را قطع کرده است (شکل ۱۰). این رگه-رگچه‌ها نامنظم بوده علاوه بر کوارتز متشکل از کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت و مگنتیت هستند (شکل‌های ۱۱، ۱۲). در این رخساره بر اساس پارائز کانی‌شناسی می‌توان دو زیر رخساره را از یکدیگر متمایز نمود: زیر رخساره اول که در آن رگه-رگچه‌ها دارای ترکیب کانی‌شناسی بورنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت و مگنتیت هستند (شکل ۱۲) و زیر رخساره دوم، که با پارائز کانیایی کالکوپیریت، پیریت و به مقدار کمتر مگنتیت مشخص می‌شود (شکل ۱۱). با توجه به عبور رگه‌های سولفیدی-سیلیسی از گدازه‌های آلکالی الیون بازالت و ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی میزبان کانساز، شواهد موجود نشان‌دهنده واکنش سیال کانساز با سنگ درون‌گیر، کانی‌ها و سولفیدهای تشکیل شده در مراحل پیشین کانساز است (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰ ب). از جمله این شواهد می‌توان به جانیشینی پیریت توسط کالکوپیریت و نیز جانیشینی پیریت توسط مگنتیت در طی سیلیسی و سولفیدی شدن سنگ‌های اطراف رگه‌ها اشاره کرد (شکل ۱۱ - د). رخساره رگه و رگچه‌ای کانسارهایی مانند Windy Craggy (Peter & Scott, 1999) و Brunswick (Goodfellow, 2007)، بوانات و چاه گز (Mousivand et al., 2011)؛ Mousivand et al., 2011؛ موسیوند، ۱۳۸۹) همانند کانسار نوده همراه با بافت‌های برشی، جانیشینی و دگرسانی کلریتی در اطراف خود می‌باشد. بررسی رگه‌های موجود در رخساره‌های مشابه در کانسارهایی مانند Windy Craggy، Brunswick، Flin Flon گویای عبور سیال کانساز از مجاری موجود بوده که عامل دگرسانی سنگ درونگیر و اطراف رگه-رگچه‌ها هستند (Galley et al., 2007; Goodfellow, 2007; Peter and Scott., 1999).

– **رخساره کانسنگ توده‌ای (Massive ore facies):** این رخساره که در سمت باختری کانسار، مهم‌ترین بخش ستبر و عیار بالای آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۰)، در بیشتر کانسارهای سولفید توده‌ای دیده می‌شود (Solomon, 2008). رخساره

– **رخساره کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore facies):** این بخش از کانسار نوده دارای ستبرای کمتری نسبت به رخساره کانسنگ توده‌ای بوده و شامل تناوبی از لامینه‌های متعدد سولفیدی است که توسط لامینه‌های از جنس سنگ میزبان از هم جدا شده‌اند. رخساره کانسنگ لایه‌ای، هم‌روند با لایه‌بندی (چینه‌سان) بوده، و از بخش توده‌ای به سمت خاور کانسار، دارای گسترش است. سنگ دربرگیرنده این افق کانسار ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی می‌باشد (شکل ۱۴). ستبرای این رخساره به سمت خاور کاهش می‌یابد، این کاهش ستبرای در کانسنگ لایه‌ای با میزبان آتشفشانی-رسوبی، به دلیل کاهش میزان ترکیبات گرمابی سولفیدی نسبت به ترکیبات آتشفشانی سنگ میزبان کانساز است (Monecke et al., 2006; Barrie et al., 2007). این کاهش در میزان ترکیبات گرمابی در کانسار نوده، از رخساره کانسنگ توده‌ای به سمت انتهای رخساره کانسنگ لایه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۱۰). سولفیدها غالباً به صورت لامینه، نواری و دانه‌پراکنده همراه با ترکیبات سنگ میزبان تشکیل شده‌اند (شکل ۱۴). این بافت‌ها سیمایی رسوبی به سولفیدهای این رخساره داده است. برخی از لایه‌های رسوبی-آتشفشانی که از جنس ماسه‌سنگ سیلتی-توفی بوده و میزبان رخساره کانسنگ لایه‌ای کانسار نوده می‌باشند، چندین تناوب از لامینه‌های سولفیدی را شامل می‌شوند (شکل ۱۴ - الف، د). این پدیده نشان‌دهنده حاکم بودن شرایط رسوبی در هنگام تشکیل این لامینه‌ها است (Franklin et al., 2005; Gibson & Gally, 2007). نوارها و لامینه‌های باطله (گانگ) عموماً ذرات ماسه‌ای، توفی و سیلتی هستند (شکل ۱۴ - الف، ب). سولفیدها از لامینه‌های با ستبرای میلی‌متر تا نوارهایی با ستبرای سانتی‌متری، به صورت هم‌روند با سنگ درون‌گیر تشکیل شده‌اند (شکل ۱۴ - د). ستبرای نوارهای سولفیدی در این رخساره، با دور شدن از کانسنگ توده‌ای، کاهش می‌یابد. سیمای چینه‌سان و هم‌روند بودن رخساره کانسنگ لایه‌ای در کانسار نوده، مشابه ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی کانسنگ لایه‌ای کانسارهای Windy Craggy، Kristineberg، Flin Flon، Lewis Ponds، Bavanat است (Barrett et al., 2005; Galley et al., 2007; Peter & Scott, 1999;) (Mousivand et al., 2007).

## ۵- دگرسانی

فعالیت سیال‌های گرمابی کانه ساز در محدوده معدنی نوده، منجر به شکل‌گیری دگرسانی‌های مختلفی در سنگ‌های درونگیر ماده معدنی، در زمان تشکیل کانسار، شده است. شدت این دگرسانی‌ها، در محل خروج سیال‌ها (Stringer zone) و دهانه (کانسنگ توده‌ای)، بیشتر از دیگر بخش‌های کانسار است. با توجه به رخداد کانی‌زایی در محیط زیردریایی، عمده‌ترین دگرسانی موجود در منطقه شامل دگرسانی‌های کلریتی، سیلیسی، سرسیتی و اپیدوتی می‌باشد (جدول ۱). دگرسانی کلریتی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار نوده است و با رخساره‌های توده‌ای، لایه‌ای و پهنه استرینگر همراه می‌باشد (جدول ۱). این دگرسانی بر اساس مطالعات میکروسکوپی به دو صورت غنی از آهن (Fe Chlorite) و غنی از منیزیم (Mg Chlorite) رخ داده است. وجود بخشی از این دگرسانی مربوط به حضور کانی‌های مافییک از جمله بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن می‌باشد. دگرسانی کلریتی در کانسار نوده، همانند کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی (Peter & Scott, 1999) در رخساره‌های مختلف قابل مشاهده است. دگرسانی سیلیسی (به صورت پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای) در پهنه استرینگر همراه با کانه‌های سولفیدی کالکوپیریت و بورنیت و اکسیدی مگنتیت تشکیل شده است (جدول ۱). دگرسانی سرسیتی که در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بایمودال فلسیک معمول می‌باشد (Franklin et al., 2005)، کم و بیش در واحدهای کمرپایین، کمر بالا و میزبان ماده معدنی کانسار نوده مشاهده می‌شود. دگرسانی اپیدوتی که معمول‌ترین دگرسانی در کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ مافییک-الترامافییک (تیپ قبرسی) و بایمودال مافییک (تیپ نوراندا) می‌باشد (Franklin et al., 2005) به صورت خیلی ضعیف در رخساره کانسنگ توده‌ای کانسار نوده دیده می‌شود.

## ۶- تیپ کانسار نوده و مدل ژنتیکی آن

### ۶-۱. تیپ کانسار

شواهد موجود در کانسار نوده، مانند سنگ میزبان آلکالی الیون بازالت و ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی (شکل‌های ۸، ۹)، بافت و ساخت سولفیدها، کانی‌شناسی، محیط زمین‌ساختی و ژئومتری ماده معدنی، نشانگر شباهت کانسار نوده با ذخایر مس-روی نوع VMS است (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰ ج). ذخایر VMS عموماً نهشته‌های چینه‌سان (استراتیفرم) سولفیدی هستند که به صورت توده‌ای و نیمه‌توده‌ای بیش از ۶۰ درصد سولفید توسط سیالات گرمابی در کف و زیر کف دریا و در یک حوضه رسوبی تحت رژیم زمین‌ساخت کششی به واسطه دیده شدن سیال‌های گرمابی زیر دریایی تشکیل می‌شوند (Franklin, 1993). این نهشته‌ها به طور معمول در حوضه‌های گسترشی کف اقیانوس‌ها و یا محیط‌های کمانی و پشت کمانی تشکیل می‌شوند که چنین محیط‌های زمین‌ساختی گذرگاه مناسبی برای خروج گدازه‌های بایمودال و سیل‌های ساب‌ولکانیک به عنوان منشأ فلز و گرما برای فعال شدن سیستم گرمابی کانه‌ساز هستند. محل خروج این سیالات، گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوب‌گذاری است (Galley et al., 2007; Gibson & Gally, 2007)، بنابراین با توجه به حضور توالی آتشفشانی رسوبی همراه با گدازه‌های بایمودال و سیل‌های (گابرویی) ساب‌ولکانیک در منطقه جنوب باختر سبزواری (شکل ۴)، موقعیت زمین‌ساخت کششی (پشت کمانی) (شکل ۲) و بروندمش سیال‌های گرمابی فلزدار از گسل‌های همزمان با آتشفشان (شکل ۱۰)، شرایط محیطی مناسبی برای تشکیل کانسارهای مس-روی VMS در این حوضه در طی کرتاسه پسین فراهم آمده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط Franklin et al. (2005)، مهم‌ترین انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد بر مبنای ویژگی‌های لیتوتکتونیک شامل تیپ مافییک (Cyprus type)، پلیتیک مافییک (Besshi type)، بایمودال مافییک

### ۶-۲. مدل ژنتیکی کانسار

دو نوع مدل رایج برای تشکیل نهشته‌های سولفید توده‌ای شامل پلوم‌های شناور (Buoyant plumes) و مدل استخر شورابه‌ای (Brine pool) ارائه شده است (Solomon et al., 2004; Solomon & Inverno, 2006). با توجه به ماهیت سولفید توده‌ای کانسار نوده و شباهت رخساره‌های کانی‌زایی، کانی‌شناسی و شواهد بافتی با کانسار Besshi، چگونگی تشکیل کانسار مس (روی) نوده را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

**الف) مدل دودکش‌های سیاه یا پلوم‌های شناور:** در این مدل ورود سیالات داغ کانه‌ساز از طریق پهنه استرینگر به داخل حوضه با تشکیل و شروع دودکش‌های سولفیدی-سولفاتی همراه است. در واقع مخلوط شدن سیالات داغ شناور برون‌دمی (به دلیل چگالی کم، شناور هستند) با آب دریا موجب تشکیل دودکش‌های سولفیدی شده که نهایتاً در اثر انحلال و فروریزش آنها انباشته‌های پشته مانند یا تپه‌ای (mound) سولفیدی در کف دریا تشکیل می‌شود و متعاقباً با نفوذ سیالات داغ‌تر بعدی مس‌دار از زیر به داخل پیکره معدنی، پدیده پالایش پهنه‌ای (zone refining) و جان‌شینی کالکوپیریت به جای پیریت، اسفالریت و گالن رخ می‌دهد. این مدل به طور تیپیک برای نهشته‌های تیپ کوروکو ارائه شده است و امروزه در کف اقیانوس‌ها در حال تشکیل هستند (Ohmoto & Skinner, 1983; Scott, 1997).

**ب) مدل استخر شورابه‌ای:** در این مدل، در اثر ورود سیالات داغ احیایی یا اکسیدان با شوری بالا به داخل حوضه و مخلوط شدن آنها با آب دریا، سیالات دچار شناوری معکوس شده و به سمت کف دریا متمایل می‌شوند. گسترش آنها به طور جانبی در کف دریا موجب ایجاد یک استخر شورابه‌ای می‌شود (Solomon et al., 2004). از ویژگی‌های بارز تشخیص این مدل، داشتن اندازه بسیار بزرگ و تناژ خیلی زیاد و نسبت طول به عرض بالا، (۲) داشتن میزان نسبت‌های Zn/Cu و Fe/Cu بالاتر، (۳) نبود شواهدی از دودکش و ضعیف بودن پهنه استرینگر، (۴) داشتن مقادیر پیریت فراموبیدالی نسبتاً زیاد و بافت نواری فراوان، (۵) داشتن پارائز کانی‌شناسی احیایی شامل پیریت-آرسنوپیریت و پیروتیت و مقادیر کم و یا کمیاب باریت در ماده معدنی، (۶) همراهی کربنات‌های چینه‌سان یا رگه‌ای، (۷) پدیده پالایش پهنه‌ای نسبتاً بی‌اهمیت، (۸) نبود تغییرات قائم در ترکیب اسفالریت و ترکیب ایزوتوپی گوگرد و (۹) شواهد احیای سولفاتی باکتریایی محلی را می‌توان نام برد (Solomon et al., 2004).

کانه‌ساز، سولفیدها از آن‌ها نشین می‌شوند (شکل ۱۵). ذرات سولفیدی به تدریج و به آرامی در کف حوضه و نیز در داخل رسوبات متخلخل آذرآواری و تخریبی میزبان ته‌نشست نموده و مواد معدنی چینه‌سان را در کف حوضه تشکیل می‌دهند (شکل ۱۵). قابل ذکر است که پیش از ورود سیالات به کف حوضه، بیشتر بودن فشار سیال نسبت به فشار هیدروستاتیک آب دریا و لیتواستاتیک و قدرت سنگ، موجب ایجاد و گسترش بافت و ساخت رگه‌ای و برشی (رخساره استرینگر) در زیر کف دریا شده و بخشی از مواد معدنی در زیر کف دریا و در زیر پهنه چینه‌سان به صورت رگه‌ای و برشی نهشته می‌شوند (شکل ۱۵).

مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها در رخساره‌های سه‌گانه کانسار نوده در جدول ۱ به طور خلاصه و شماتیک ارائه شده است. یادآوری می‌نماید که شیوه تشکیل کانسار بوانات در پهنه سندیج-سیرجان که به عنوان کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ بشی معرفی شده است (Mousivand et al., 2007) بر خلاف کانسار نوده به صورت استخر شورابه‌ای معرفی گردیده است (موسویوند، ۱۳۸۹). شایان ذکر است که از نظر اقتصادی و اکتشافی، گسترش توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در حوضه پشت کمانی سبزوار (back-arc basin) و رخداد کانه‌زایی سولفید توده‌ای نوع بشی کانسار نوده و دیگر اندیس‌های معدنی در آن، برنامه‌ریزی برای اکتشاف ذخایر جدید از این تیپ کانسارها در این پهنه و نیز در دیگر حوضه‌های پشت کمانی مشابه سبزوار مورد تأکید قرار می‌دهد.

### سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که در انجام این پژوهش یاری رساندند، سپاسگزاری نمایند.

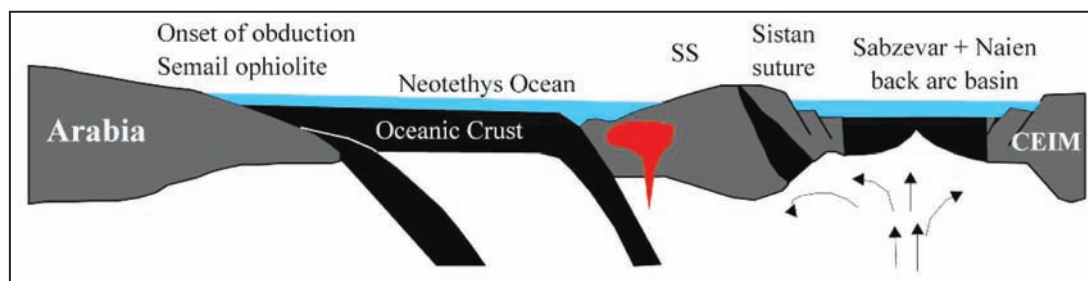
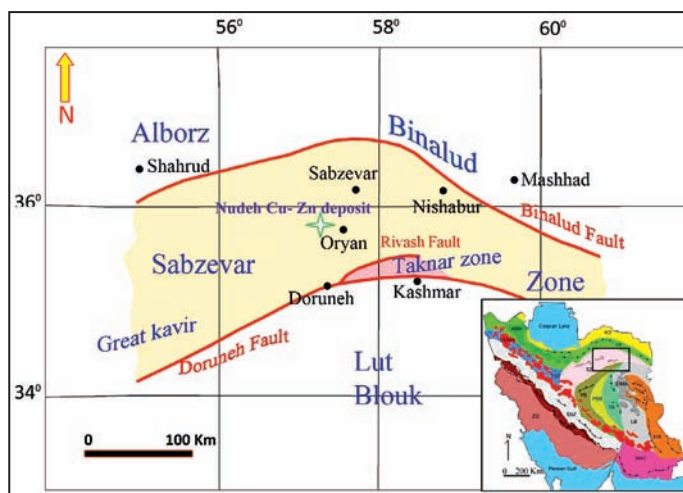
لازم به ذکر است که در مدل استخر شورابه‌ای سیالات کانه ساز دارای دمای پایین (کمتر از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری بالا (۱۵-۲۵ درصد وزنی نمک) هستند ولی در مدل پلوم‌های شناور، سیالات کانه‌دار شوری پایین تا متوسط (۵-۱۵ درصد وزنی نمک) و دمای نسبتاً بالا (۲۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) دارند (Large et al., 2004).

### ۷- شیوه تشکیل کانسار نوده

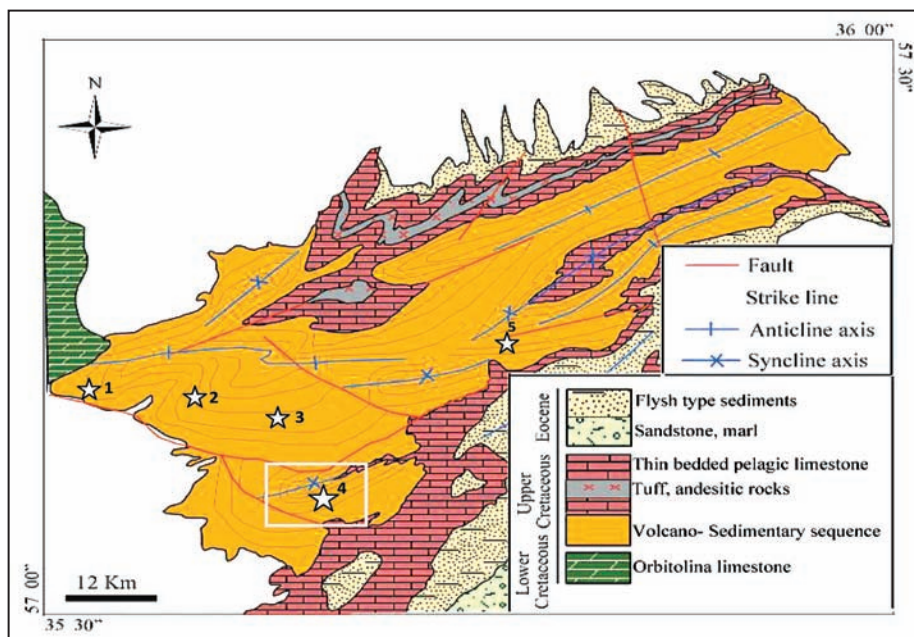
بر اساس شاخص‌های معرفی شده توسط Solomon et al. (2004) به نظر می‌رسد شیوه تشکیل کانسار نوده با توجه به تناژ پایین، نسبت پایین Zn/Cu، شوری کم سیالات کانه‌ساز (۱۱/۳۶ درصد وزنی نمک طعام)، گسترش محدود ساخت‌های نواری و پیریت‌های فراموبیدال، نبود کانی‌های احیایی (آرسنوپیریت و پیروتیت)، عدم وجود کربنات‌های چینه‌سان و دمای بالای سیالات کانه‌دار (۲۱۰ تا ۳۰۵ درجه سانتی‌گراد)، متفاوت از مدل استخر شورابه‌ای بوده و با مدل پلوم‌های شناور، که کانسار Windy Craggy شاخص این مدل است، شباهت بیشتری دارد (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱).

بر اساس این مدل، سیالات گرمایی داغ (۲۱۰-۳۰۵ درجه سانتی‌گراد) و با شوری پایین (۱۱/۳۶ درصد) و اسیدی و احیایی (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)، عناصر کانه‌ساز را از سنگ‌های کمر پایین شسته و از طریق فضاهای باز و معابر ایجاد شده در محل و امتداد گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشانی وارد حوضه نسبتاً محبوس دریایی کرده‌اند (شکل ۱۵). این سیالات به دلیل شوری کم و دمای بالا، دارای چگالی کمی پایین‌تر از آب دریا هستند، از این رو، با فعالیت گرمایی و خروج از دهانه بروندم، به حالت شناور در بالای کف دریا قرار می‌گیرند (حداقل در مراحل اول تخلیه شدن، شکل ۱۵) (Large et al., 2004). با کاهش دما و افزایش pH سیال

شکل ۱- موقعیت پهنه ساختاری سبزوار در ایران مرکزی و کانسار مس-روی نوده و منطقه مورد مطالعه در آن.



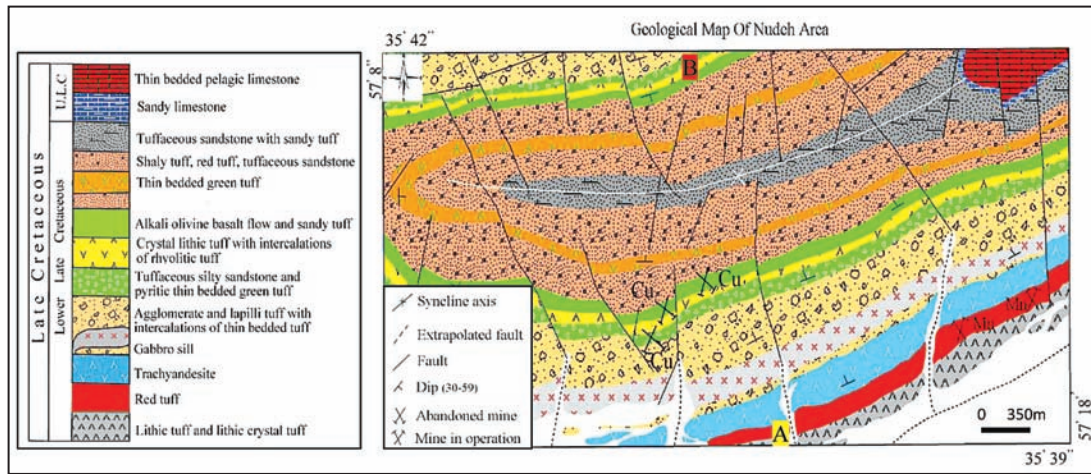
شکل ۲- موقعیت ژئودینامیکی حوضه کششی پشت کمانی (Back arc basin) سبزوار-ناین (در بر دارنده کانسار مس نوده و دیگر اندیس‌های معدنی مس) در زمان کرتاسه پسین که در پشت کمان ماگمایی سندیج-سیرجان (SS) تشکیل شده است. CEIM: Central East Iranian Micro continent (بر گرفته از Rosseti et al., 2010).



شکل ۳- نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند ، ۱۳۷۷). ناحیه مورد مطالعه دارای ساختار تاقدیسی است که توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی در هسته تاقدیس قرار گرفته و میزبان کانسار مس نوده و اندیس‌های مس مورد مطالعه می‌باشد. ۱: اندیس مس گراب ۲: اندیس مس کلاته لالا (نیران) ۳: اندیس مس فریزی ۴: کانسار مس نوده ۵: اندیس مس چون. (محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ نوده با کادر سفید مشخص شده است).

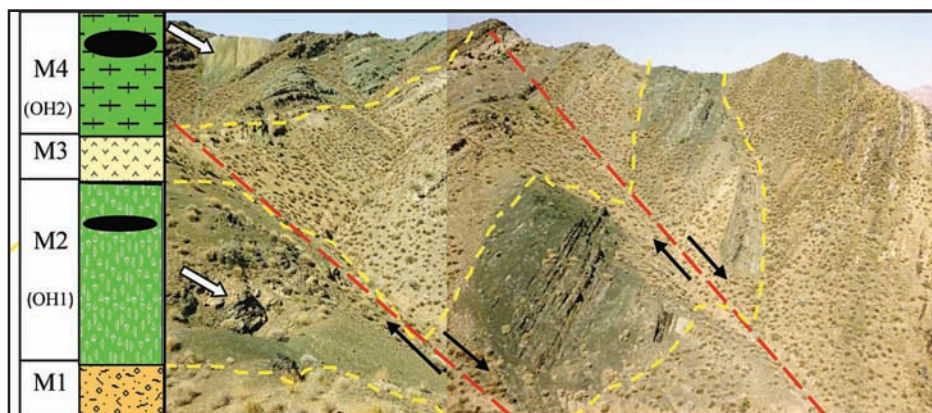
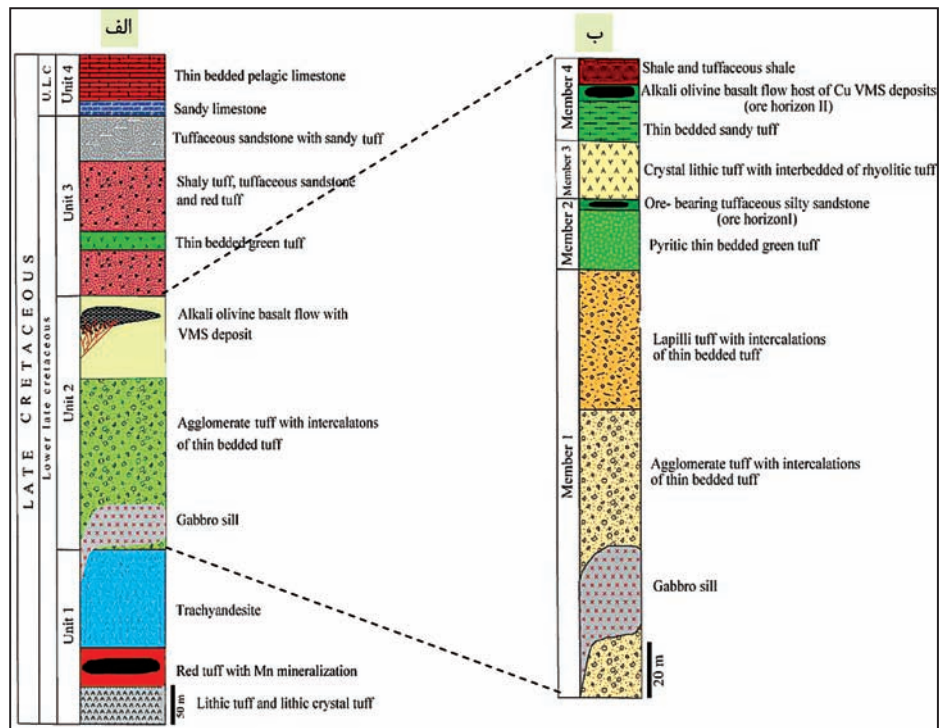
Age	Symbols	Lithology	Ore- bearing horizons (Cu & Mn)
Paleocene		Flysh type marl and sandstone, conglomerate	
U. L. Cretaceous	Unit 4	K: Mn bearing tuff, andesite, brecciated tuff and tuffaceous sandstone F: Tuffaceous sandstone, tuff and andesite rocks M: Marl, silty marl with intercalations of limestone P: Thin bedded Globotruncana pelagic limestone	Cheshmeh Sefid and Zakeri Mn deposits   Mn (II)
	Unit 3	Shaly tuff, tuffaceous sandstone and red tuff Gabbro sill	
	Unit 2	Alkali olivine basalt flow and tuffaceous silty sandstone host of Cu deposit Agglomerate and lapilli tuff with intercalations of thin bedded tuff Gabbro sill	Nudeh II Cu deposit   Cu (III) Nudeh I and Chun, Lala Cu -Occurrences   Cu (II)
	Unit 1	Dacite porphyre S: Pillow lava and spilite keratophyre Lithic tuff and lithic crystal tuff Trachyandesite Red tuff with Mn mineralization Cu- bearing andesite Andesitic tuff Rhyolite Lithic tuff and lithic crystal tuff	Nudeh, Benesbourd, Ferizy and Goft Mn Deposits   Mn (Ib) Garab and Ferizy Cu-occurrence   Mn (Ia) Cu (I)
Early Cretaceous		Calpionellites limestone, calcareous shale, tuff and silty marl	

شکل ۴- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه مورد مطالعه در جنوب باختر سبزوار، این ستون با استفاده از تلفیق مقاطع مختلف زمین‌شناسی که در توالی آتشفشانی- رسوبی پیمایش شده رسم گردیده است. کانی زایی مس در سه افق (I,II,III) و کانی زایی منگنز در دو افق (I, II) تشکیل شده است.

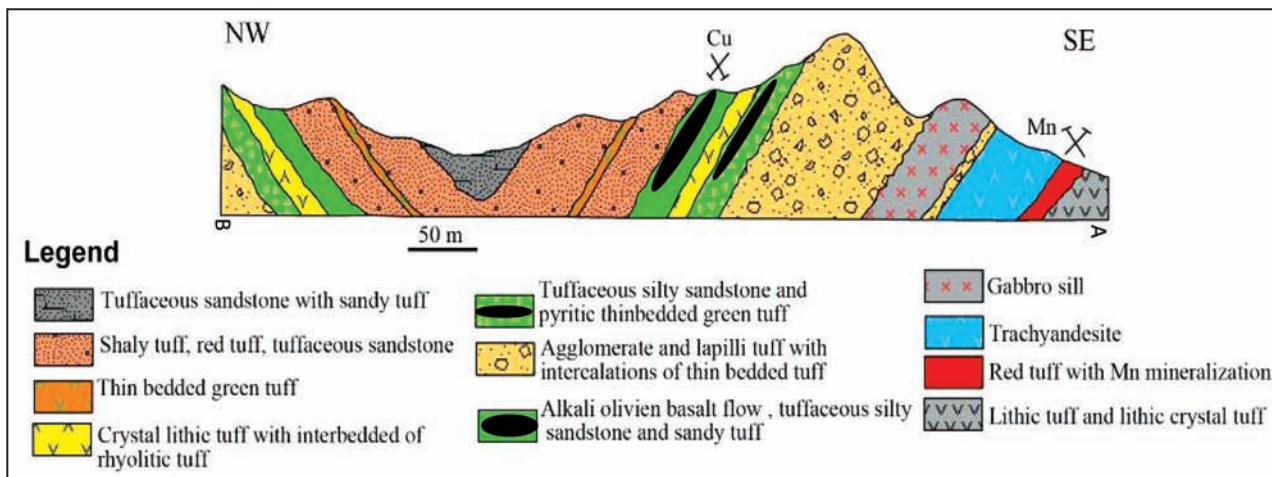


شکل ۵- نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه معدنی نوده و موقعیت کانسارهای مس (Cu) نوده و منگنز (Mn) نوده در آن.

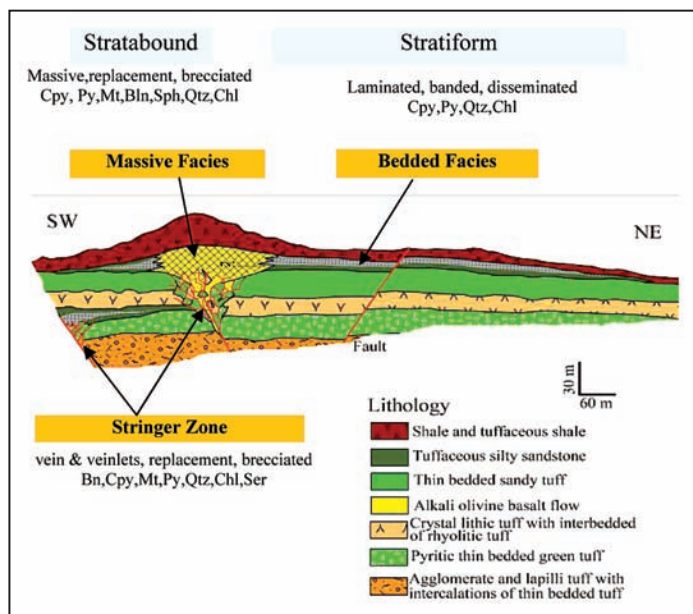
شکل ۶- الف) ستون چینه شناسی عمومی از منطقه معدنی نوده و موقعیت افق های مس و منگنز در آن، ب) ستون چینه شناسی بزرگ شده از عضوهای واحد ۲، که اعضای ۲ و ۴ آن در بردارنده دو افق معدنی (ore horizon I, ore horizon II) می باشد. سنگ در برگیرنده ماده معدنی در افق I ماسه سنگ های سیلتی توفی بوده ولی میزان ماده معدنی در افق II گدازه های آلکالی البوین بازالت می باشد که با تغییر رخساره جانبی به ماسه سنگ سیلتی توفی تبدیل شده است.



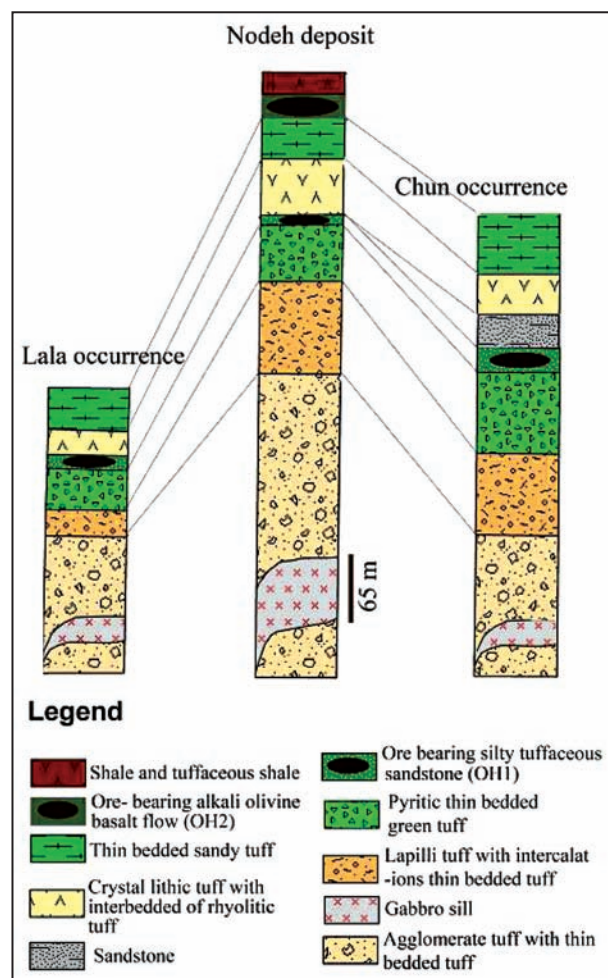
شکل ۷- نمایی از اعضای (Members) چهار گانه واحد ۲ در کانسار مس نوده، عضو های ۲ و ۴ میزان افق های کانی زایی مس (عدسی های سیاه رنگ) می باشند که موقعیت کنده کاری های معدنی در این دواقق با پیکان های سفید رنگ نشان داده شده است (دید به سمت شمال خاور).



شکل ۸- مقطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه و موقعیت افق‌های کانه‌دار در کانسار نوده (موقعیت مقطع در شکل ۵ مشخص شده است).

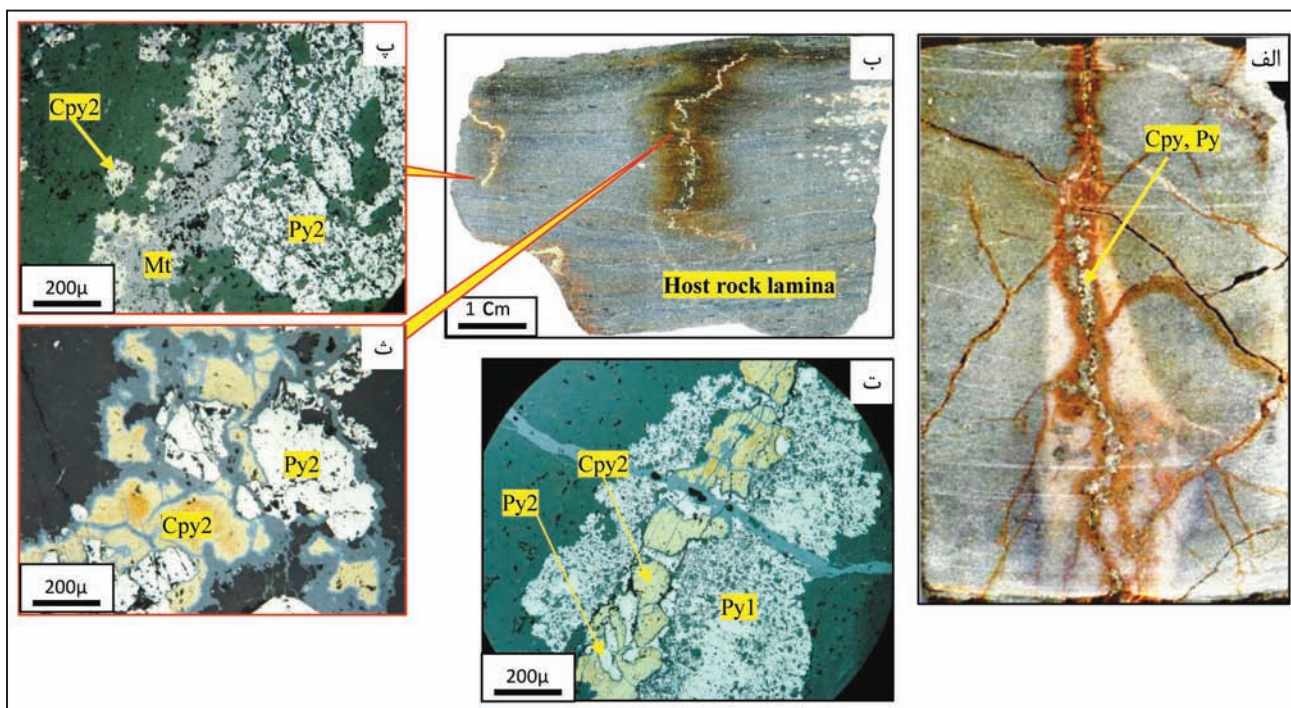


شکل ۱۰- نمایی شماتیک از ژئومتری صفحه‌ای و رخساره‌های مختلف کانسار نوده و منطقه‌بندی بافتی و کانی‌شناسی آن بر حسب نوع رخساره (Cpy: کالکوپیریت، Py: پیریت، Mt: مگنتیت، Sph: اسفالریت، Bln: بولانژریت، Bn: بورنیت، Qtz: کوآرتز، Chl: کلریت، Ser: سریسیت).

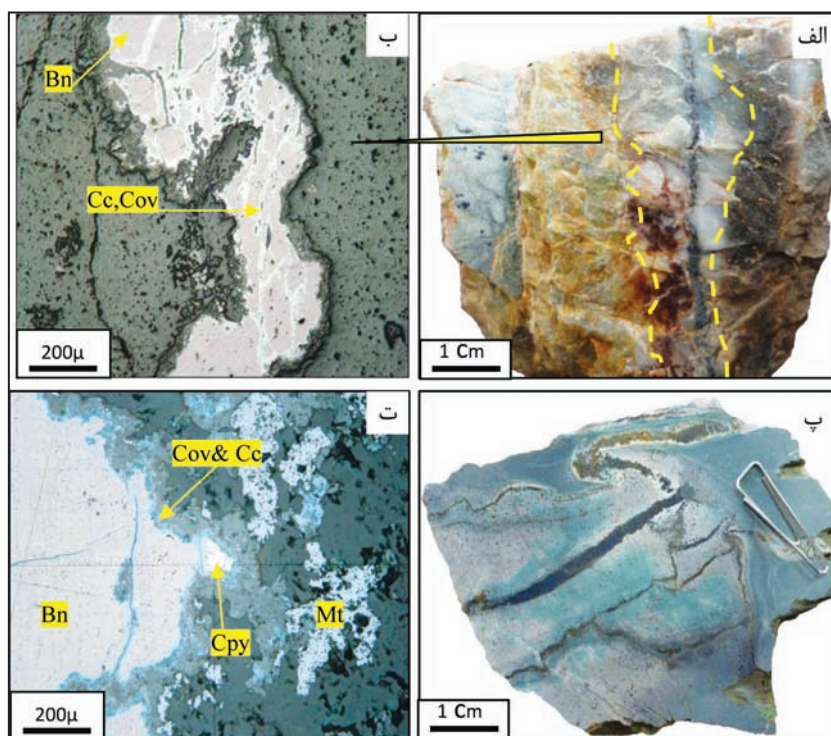


شکل ۹- ستون‌های چینه‌ای و موقعیت افق‌های کانه‌دار در کانسار نوده و اندیس‌های معدنی چون و لالا. در این شکل تغییر رخساره جانبی سنگ‌های میزبان کانی‌زایی در کانسار نوده و اندیس‌های لالا و چون نشان داده شده است، واحد میزبان کانی‌زایی مس در اندیس‌های چون، کلاته لالا و افق ۱ کانسار نوده ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی و در افق ۲ کانسار نوده گدازه آلکالی الیون بازالت است که با تغییر رخساره جانبی به ماسه سنگ سیلتی توفی تبدیل می‌شود.



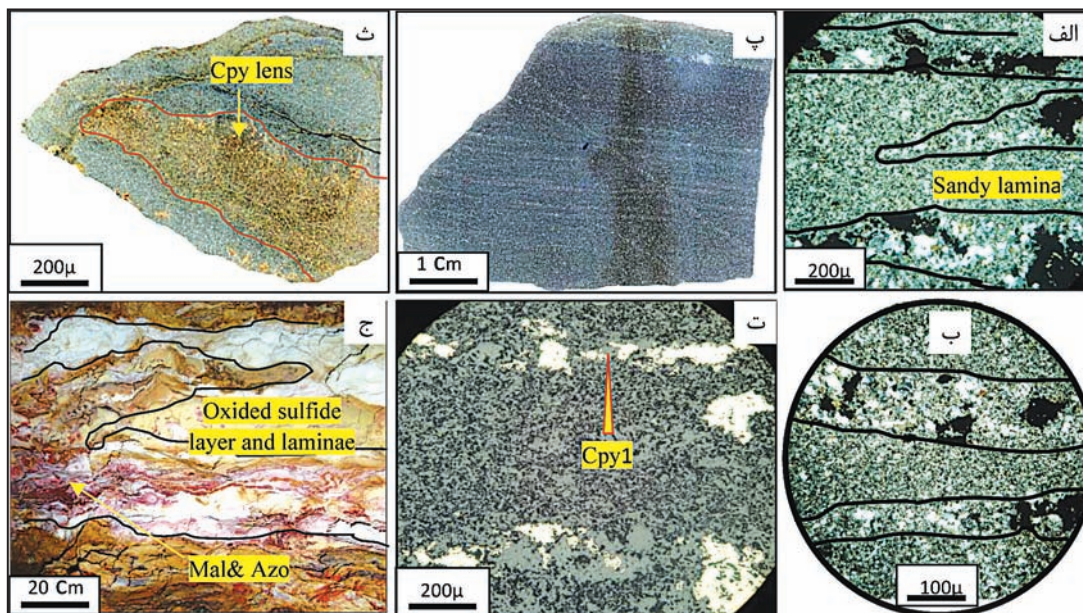
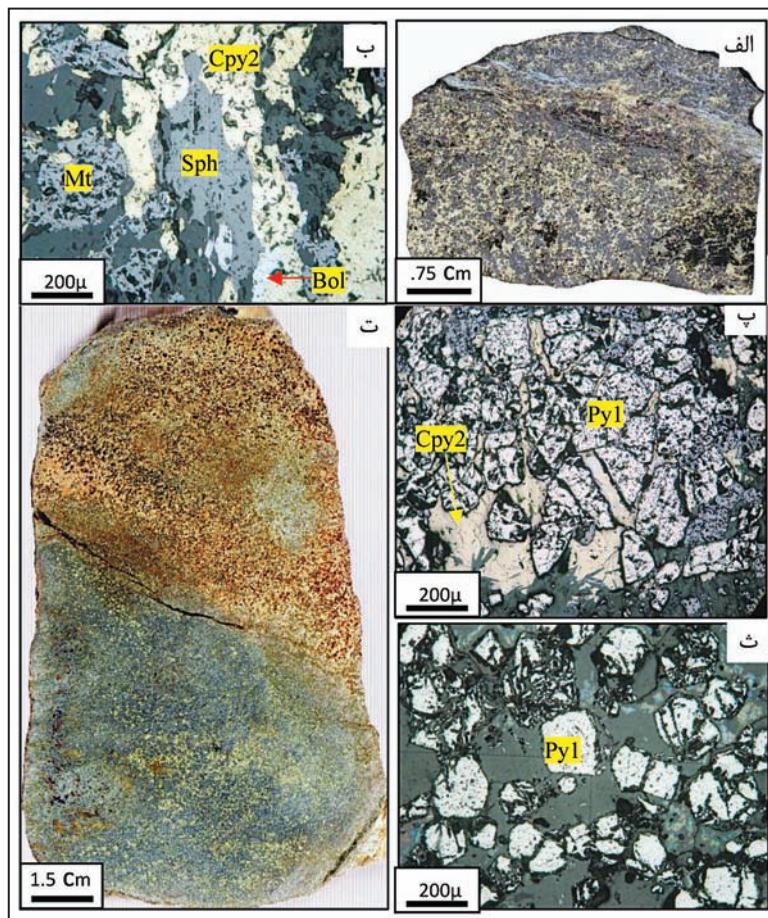


شکل ۱۱- رخساره استرینگر: الف) نمونه دستی از زیر رخساره غنی از کالکوپیریت و پیریت که دگرسانی سیلیسی به خوبی در اطراف رگه دیده می‌شود، ب) رگه های سولفیدی که به صورت عمود بر روند لایه‌بندی نفوذ کرده و باعث قطع لایه‌بندی سنگ میزبان شده است، پ) رشد کانی‌های کالکوپیریت، مگنتیت و پیریت که در کنار هم دیده می‌شوند، ت) قطع شدن پیریت‌های نسل اول توسط رگچه حامل پیریت و کالکوپیریت‌های نسل دوم، ث) تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه‌ای غنی از کالکوپیریت و پیریت.



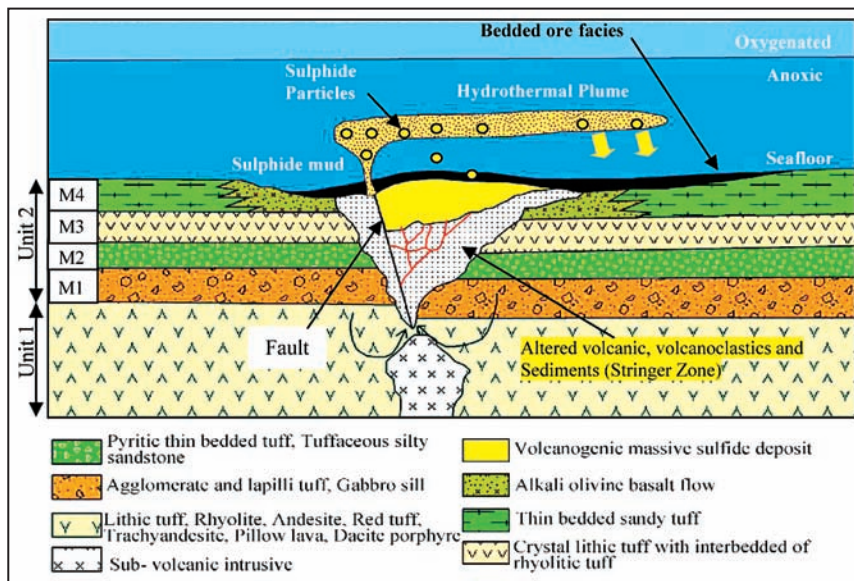
شکل ۱۲- رخساره استرینگر: تصاویری از زیر رخساره غنی از بورنیت، کالکوپیریت و مگنتیت در پهنه استرینگر الف) نمونه دستی از رگه سیلیسی - سولفیدی، که سنگ میزبان را به طور کلی سیلیسی کرده است، ب) تصویر میکروسکوپی از زیر رخساره رگه - رگچه‌ای غنی از بورنیت، بورنیت‌ها از اطراف تبدیل به کولیت شده اند، پ) بافت رگه - رگچه‌ای که تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی چین خورده است، ت) محلول جامد بین بورنیت و کالکوپیریت که همراه با هم دیده می‌شوند و دارای پاراژنز کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت، کالکوسیت و کولیت می‌باشد که مربوط به فاز II پهنه استرینگر است (Cpy: کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Mt: مگنتیت، Cov: کولیت، Cc: کالکوسیت).

شکل ۱۳- نمونه‌های از بافت رخساره کانسنگ توده‌ای: الف) نمونه دستی از بافت توده‌ای غنی از کالکوپیریت و مگنتیت می‌باشد، ب) تصویر میکروسکوپی از نمونه الف که دارای کانی‌های کالکوپیریت نسل دوم (Cpy2) اسفالریت (Sph)، مگنتیت (Mt) و بولانژریت (Bol) است، پ) رگچه‌های کالکوپیریت نسل دو (Cpy2) پیریت‌های نسل یک (py1) را قطع کرده و در بخش‌هایی جانشین پیریت شده است، ت) نمونه دستی از بافت توده‌ای غنی از کالکوپیریت، ث) تصویر میکروسکوپی از پیریت توده‌ای (Massive pyrite) که فقط از پیریت‌های خودشکل تشکیل شده است.



شکل ۱۴- نمونه‌هایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای و بافت لامینه‌ای آن: الف) تناوب لامینه‌های ماسه‌ای دانه‌درشت و ریزدانه که به صورت تغییر رخساره جانبی به هم تبدیل می‌شوند، ب) نمای میکروسکوپی از لامینه‌های ماسه‌ای، که در آن سولفیدهای درشت بلور با کوارتزهای دانه درشت همراهی می‌شوند در حالی که کوارتزهای ریزدانه و کلریت‌های ریزبلور همراه با سولفیدهای ریزبلور هستند، پ) تناوب لامینه‌های سولفیدی با لامینه‌های ذرات رسوبی. در لامینه‌های سولفیدی نیز ذرات سولفیدی همزمان با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان ته نشست پیدا کرده‌اند، ت) تصویر میکروسکوپی از نوارهای غنی از کالکوپیریت. ث) نمونه دستی از عدسی غنی از کالکوپیریت، ج) تشکیل هیدرو اکسیدهای آهن و کربنات‌های مس شامل مالاکیت و آزوریت (Mal & Azo) در بخش کانسنگ لایه‌ای کانسار نوده که لایه‌ها و لامینه‌های سولفیدی اولیه کاملاً هوازده شده و از بین رفته‌اند.

شکل ۱۵- چگونگی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی نوده: همزمان با زمین‌ساخت کششی (کافت پشت‌کمانی) در حوضه سبزوار، 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. سیالات گرمایی از طریق گسل همزمان با رسوب‌گذاری، به صورت برون‌دم وارد آب دریا شده و کانه‌زایی از ستون شناور (Buoyant plumes) گرمایی در محل خروج برون‌دم تشکیل می‌شوند (بدون مقیاس). واحدهای ۱ و ۲ (Unit 1,2) ستون چینه‌شناسی در این شکل دیده می‌شود که کانسار در بخش بالایی واحد ۲ (Unit 2) یعنی در عضو ۴ (M4) تشکیل شده است.



جدول ۱- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت مربوط به آنها در کانسار مس نوده.

Minerals/Textures	Ore Mineralization				Post-mineralization	
	Stringer zone		Stratiform	Stratabound	Supergene	
	Sub-facies I	Sub-facies II	Bedded ore	Massive ore	Sulfide	Oxide
<b>Ore Minerals</b>	Pyrite I	—	—	—		
	Pyrite II		.....			
	Chalcopyrite I	—		—		
	Chalcopyrite II		.....			
	Sphalerite			—		
	Boulangerite			—		
	Magnetite	.....	—			
	Bornite		—			
	Chalcocite				—	
	Covelite				—	
	Hematite					—
	Malachite					—
	Azurite					—
<b>Hydrothermal Alteration Minerals</b>	Quartz I	.....	—			
	Quartz II	—	—	—		
	Fe-chlorite		—	—		
	Mg-chlorite	.....	.....			
	Sericite		—			
	Epidote			—		
	Clay mineral			—		
<b>Textures</b>	Disseminated	—	—			
	Laminated		—			
	Massive			—		
	Vein- Veinlets	—			.....	
	Brecciated	—		—		
	Replacement	—				.....

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار مس- روی نوده با تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای (VMS) بر اساس رده‌بندی (Franklin et al. 2005).

ویژگی‌های شاخص	کانسار نوده	تیپ سیلیسی کلاستیک فلسیک (Bathurst)	تیپ بامودال فلسیک (Kuroko)	تیپ بامودال مافیک (Noranda)	تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)	تیپ مافیک-اترامافیک (Cyprus)
محیط زمین‌ساختی	پشت کماتی (Back-arc)	کمان و پشت کماتی	کماتی و پشت کماتی	کمان‌های نوظهور اقیانوسی	پشت کماتی (Back-arc)، کافت‌های قاره‌ای	پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کماتی
سنگ‌های میزبان و همراه	گدازه آلکالی الیوین بازالت، ماسه‌سنگ سیلی-توفی، توف و شیل توفی	داسیت، ریولیت و شیل سیاه	ریولیت و داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسیک	بازالت، آندزیت و آذرآواری	گدازه‌های بازالتی، آندزی-بازالتی، شیل سیاه، سیلستون، ماسه‌سنگ	بازالت‌های بالشی و سنگ‌های اترامافیک
کانی‌های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، بولانژریت، بورنیت	اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوپیریت، پیرویت، تتراهدريت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدريت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، تتراهدريت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیرویت	پیریت، کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلریت، سریسیت، اپیدوت	کربنات، کوارتز، سریسیت، باریت	باریت فراوان، کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات	کلریت، کوارتز، سریسیت، اپیدوت	کوارتز، ژاسپر، کلریت
عمده عناصر فلزی	Cu- Zn	Zn- Pb-Cu	Pb- Zn	Cu-(Zn)	Cu- Zn	Cu
دگرسانی	کلریتی، سیلیسی، سریسیتی، اپیدوتی	سریسیتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی	سریسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلریتی	کلریتی و سریسیتی	کلریتی، سیلیسی، سریسیتی، اپیدوتی	کلریتی، سیلیسی
مثال از تیپ‌های مشابه در ایران	کانسار چاه گز (موسیوند، ۱۳۸۹)	کانسار باریکا (یار محمدی، ۱۳۸۵)، کانسار درین (نظری و همکاران، ۱۳۷۰)	کانسار سرگز (بدرزاده و همکاران، ۱۳۸۶)	کانسار بوانات (موسیوند، ۱۳۸۴) و کانسار نوده (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)	کانسارهای شیخ عالی (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷) قزل داش (امامعلی پور و مسعودی، ۱۳۷۶)	

## کتابنگاری

امامعلی پور، ع. و مسعودی، ج.، ۱۳۷۶- اولین مورد از کانی‌زایی سولفید توده‌ای تیپ قبرس در منطقه قزل‌داش خوی، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران. بدرزاده، ز.، سبزه‌بی، م. و راستاد، ا.، ۱۳۸۶- سنگ‌شناسی و ژئوشیمی گدازه‌های بازالتی شمال باختر جیرفت با نگرشی ویژه بر کانی‌زایی مس- روی (VMS) همراه آنها، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس تهران.

پناهی شهری، م.، کریم پور، م. ح. و شبانی، ف.، ۱۳۸۹- کانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی در کمربند ولکانیکی- پلوتونیک هلاک آباد (جنوب سبزوار) با نگرشی بر اکتشافات مس پورفیری، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (جلد ۲)، ص ۲۱ تا ۳۸.

روزبه کارگر، س. و قمیان، ی.، ۱۳۷۷- طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار)، گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم باشتین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سپهری راد، ر.، ۱۳۸۸- گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن- ششتمد (شمال تربت حیدریه)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شفاوردی، آ.، کریم پور، م. ح. و مظاهری، س. ا.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی تک I، کانسار ماسیو سولفید پلی‌متال (Cu, Zn, Au, Ag, Pb) تکتار، خراسان- بردسکن، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۲۵۳ تا ۲۷۲.

عشق‌آبادی، ۱۳۷۷- طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار)، گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم سلطان آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مغفوری، س. راستاد، ا. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۰ الف- رخداد کانی‌زایی مس سولفید توده‌ای نوده در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی در جنوب باختر سبزوار. دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان.

مغفوری، س. راستاد، ا. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۰ ب- رخساره‌های کانه‌دار کانسار سولفید توده‌ای مس (روی) نوده، جنوب باختر سبزوار، انجمن زمین‌شناسی ایران دانشگاه تربیت معلم تهران.

- مغفوری، س. راستاد، ا. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۰ ج- کانسار نوده: کانی زایی مس- روی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بشی (Besshi Type) در حوضه پشت قوسی سبزوار، سی امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۰.
- مغفوری، س. راستاد، ا. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۱- زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در جنوب باختر سبزوار، با تاکید بر کانسار نوده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۱۲ صفحه.
- منظمی میرعلیپور، ع.، ۱۳۷۷، زمین شناسی، کانی شناسی و ژنز کانسار سولفید توده‌ای مس شیخ عالی (جنوب شرق دولت آباد)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. موسیوند، ف.، ۱۳۸۴- کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی- رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- موسیوند، ف.، ۱۳۸۹- زمین شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی- سری- مس چاه‌گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسار سولفید توده‌ای مس- روی- نقره بوانات در پهنه سندج- سیرجان جنوبی. رساله دکتری زمین شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، ۵۰۵ صفحه.
- مهرابی، ب.، حیدر پور، ر.، طالع فاضل، ا. و صفری، م.، ۱۳۹۰- مطالعه کانی سازی و رخداد ذخایر سولفید توده‌ای غنی از آهن شمال کبودان (بردسکن) با استفاده از شواهد زمین شناسی کانسنگ و ژئوشیمی، دومین همایش زمین شناسی اقتصادی دانشگاه لرستان.
- نظری، م.، یعقوب پور، ع. و مدنی، ح.، ۱۳۷۰- کانسار باریت درین کاشان، دانشگاه تربیت معلم، چهارمین سمپوزیوم معدنکاری ایران. ص. ۱۰۶-۱۲۵.
- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۸۸- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- وطن پور، ح.، خاکزاد، ا. و قادری، م.، ۱۳۸۸- کاربرد عناصر گروه پلاتین (PGE) در اکتشاف و ارزیابی اقتصادی در کانسارهای کرومیت کمربند افیولیتی سبزوار، فصلنامه علوم زمین شماره ۷۱، بهار ۸۸، صفحه ۹ تا ۱۲.
- بارمحمدی، ع.، ۱۳۸۵- کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی‌زایی طلای باریکا، شمال خاور سردشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.

## References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B. & Wortel, R., 2011- Zagros orogeny: a subduction-dominated process, *Geol. Mag.*: page 1 of 34.
- Baroz, R., Macaudiere, J., Montigny, R., Noghrehan, H., Ohnenstetter, M. & Rocci, G., 1984- Ophiolites and related formations in the central part of the Sabzevar range (Iran) and possible geotectonic reconstructions. *Neues J. Geol. Palaont. Abh.*, 168, 358-388.
- Barrett, T. J., Wallace, H. & Maclean, H. A., 2005- The Palaeoproterozoic Kristineberg VMS deposit, Skellefte district, northern Sweden. Part II: chemostratigraphy and alteration, *Mineralium Deposita* 40: 368-395
- Barrie, C. T., Nielsen, F. W. & Aussant, C., 2007- The Bisha Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposit, Western Nakfa Terrane, Eritrea, *Economic Geology*, v. 102, pp. 717-738.
- Franklin, J.M., 1993- Volcanic – associated massive sulfide deposit, in Kirkham. R.V., Sinclair. W.D.M., Thope, R.I, and Duke, J.M, *Mineral deposit modeling: Geological association of Canada Special papers* 40. P. 315-334.
- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R. & Galley, A.G., 2005- Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. *Economic Geology* 100<sup>th</sup> anniversary, p. 523-560.
- Galley, A.G., Hannington, M.D. & Jonasson, I.R., 2007- Volcanogenic massive sulphide 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. 141-161.
- Gerdas, A. & Zeh, A., 2009- Zircon formation versus zircon alteration – New insights from combined U-Pb and Lu-Hf in-situ La-ICP-MS analyses of Archean zircons from the Limpopo Belt. *Chem. Geol.*, 261, 230-243.
- Gibson, H.L. & Gally, G., 2007- Volcanogenic massive sulfide deposit of the Noranda district, Quebec, *Geological Association of Canada*, p. 533-552.
- Goodfellow, W.D., 2007- Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern new brunswick, *Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p. 449-469.
- 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.
- McCall, G.J.H., 1997- The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 15, 517-531.
- Monecke, T., Gemmeli, B.J. & Herzic, P. M., 2006- Geology and Volcanic Facies Architecture of the Lower Ordovician Waterloo Massive Sulfide Deposit, Australia, *Economic Geology*, v. 101, pp. 179-197.
- Mousivand, M., Rastada, E., Meffre, S., Peter, J., Solomon, M. & Khin, Z., 2011- U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulphide deposit, southern Iran, *International Geology Review* Vol. 53, No. 10, 20, 1239-1262.
- Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., & Watanabe, M., 2007- The Bavanat Cu- Zn- Ag orebody: first recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran, *N.Jb. Miner. Abh.*, Vol. 183/3, p. 296-315

- Ohmoto, H. & Skinner, B.L., 1983- The Kuroko and related volcanogenic massive sulfide deposits. *Econ Geol Monograph* 5, 604 p.
- Peter, J.M. & Scott, S. D., 2007- Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie, *Society of Economic Geologists*, V.8.
- Peter, J.M. & Scott, S.D., 1999- Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie, *Society of Economic Geologists*, V.8.
- Rossetti, F., Nasrabad, M. , Vignaroli, G., Theye, T., Gerdes, A., Razavi, M. & Moin Vaziri, H., 2010- Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran. *Terra Nova*, v 22, pp 26-34.
- Scot, S.D., 1997- Submarine hydrothermal systems and deposits, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: New York, John Wiley and Sons, Inc., 3<sup>rd</sup>, p. 797-875.
- Sengor, A.M.C., Altiner, D., Cin, A., Ustomer, T. & Hsu, K.J., 1988- The origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expenses of Gondwana land. In: *Gondwana and Thethys* (M.G. Audley-Charles and A. Hallam ed.). *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 37, 119–181
- Shojaat, B., Hassanipak, A.A., Mobasher, K. & Ghazi, A.M., 2003- Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 21, 1053–1067.
- Solomon, M. , Tornos, F., Large, R.R., Badham, J.N.P., Both, R.A. & Khin, Z., 2004- Zn–Pb–Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits: criteria for distinguishing brine pool-type from black smoker-type sulphide deposition, *Ore Geology Reviews* 25 , 259–283
- Solomon, M., 2008- Brine pool deposition for the Zn–Pb–Cu massive sulphide deposits of the Bathurst mining camp, New Brunswick, Canada. I. Comparisons with the Iberian pyrite belt, *Ore Geology Reviews* 33, 329–351
- Solomon, M. & Inverno, C., 2006- Zn- Pb- Cu VHMS deposit- extending the brine- pool . *AESC2006*, Melbourn, Australia.p. 1-11.
- Stampfli, G.M. & Borel, G.D., 2002- A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 196, 17–33.
- Winter, L., Tosdal, R., Mortensen, J. & Franklin, J., 2009- Volcanic stratigraphy and geochronology of the Cretaceous Lancones basin, Northwestern Peru: position and timing of giant VMS deposits. *Economic Geology*, v 105, pp 713-742.