

# مطالعات شیمی چینه‌شناسی (Chemostratigraphy) و منطقه‌بندی عنصری در رخساره‌های کانه‌دار کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تپ بشی نوده، جنوب باختر سبزوار

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

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

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

## چکیده

توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در منطقه نوده که میزبان کانی‌زایی مس (روی) سولفید توده‌ای می‌باشد از چهار واحد سنگی (Unit1, Unit2, Unit3, Unit4) تشکیل شده است. کانی‌زایی مس (روی) در واحد ۲ و در دو افق مجزا رخ داده است. این واحد سنگی از گدازه الیوین بازالت و ماسه سنگ سیلتی توفی از تشکیل شده است. کانسار نوده، دارای سه رخساره کانسنگی استرینگر زون، توده‌ای و لایه‌ای می‌باشد. این کانسار دارای منطقه‌بندی ژئوشیمیایی قوی جانبی از رخساره کانسنگی توده‌ای به سمت رخساره کانسنگی لایه‌ای (کاهش عیار ماده معدنی، کاهش نسبت Cu:Zn، افزایش نسبت Ba:Zn و افزایش میزان Mn و Fe) و منطقه‌بندی قائم، به‌ویژه در رخساره کانسنگی توده‌ای (افزایش نسبت‌های Cu:Ti، Cu:Fe به سمت بالای کانسار همراه با کاهش Cu:Zn) است. مطالعات لیتوژئوشیمیایی نشان می‌دهد بیشینه عیار مس مربوط به رخساره کانسنگی توده‌ای و در حدود ۱۱/۲ درصد است که به سمت رخساره کانسنگی لایه‌ای میزان آن کاهش می‌یابد، این عیار در کانسنگی لایه‌ای بین ۴ تا ۵ درصد در تغییر است. عیار مجموع فلزات پایه (Cu+Zn+Pb) در کانسار نوده همواره در رخساره کانسنگی توده‌ای بیشتر از زون استرینگر و رخساره کانسنگی لایه‌ای است. عواملی مانند تغییر نسبت تولیدات گرمایی نسبت به ترکیبات رسوبی، تغییر دما، Eh و pH، رخداد فرایند پالایش در رخساره کانسنگی توده‌ای و غالب بودن فرایندهای رسوبی در رخساره کانسنگی لایه‌ای این نوع منطقه بندی را کنترل می‌نمایند.

**کلیدواژه‌ها:** کانسار نوده، VMS، شیمی چینه‌شناسی، لیتوژئوشیمیایی، رخساره‌های کانه‌دار، پهنه سبزوار.

\***نویسنده مسئول:** ابراهیم راستاد

E-mail: rastad@modares.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

کانسارهای سولفید توده‌ای تپ بشی یا بایمودال پلیتیک مافیک (Besshi type VMS deposit)، نوعی از کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (ولکانوژنیک) هستند که در آنها مقدار مس (بر حسب درصد) بیش از مقدار سرب، روی می‌باشد (Frankline et al., 2005). همانند بیشتر کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، کانسارهای سولفید توده‌ای بایمودال پلیتیک مافیک از عدسی‌های سولفید توده‌ای تا نیمه‌توده‌ای تشکیل شده‌اند که بر روی مناطق تغذیه کننده یا همان بخش کانسنگی استرینگر زون (Stringer zone)، که در کمر پایین کانسار گسترش دارند، قرار گرفته‌اند. تفاوت بین کانسارهای سولفید توده‌ای نوع بایمودال پلیتیک مافیک و دیگر کانسارهای VMS در نوع عنصر کانه‌زایی و ترکیب سنگ‌شاختی توالی میزان ماده معدنی است (Frankline et al., 2005). به طوری که، مقدار مس بیشتر از مقدار روی، سرب و عناصر قیمتی است و بخش عمده توالی میزبان کانه‌زایی از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی آواری از نوع گدازه‌ها و توف های بازالتی، شیل، سیلتستون و ماسه‌سنگ (و یا معادل‌های دگرگون شده) تشکیل می‌یابد. ضمناً به مقدار کمتر کربنات، تشکیلات چرتی آهن‌دار، سنگ‌های اولترامافیک و متا گابرو نیز در توالی چینه‌شناسی این تپ کانسارها دیده می‌شود (Hoy, 2005).

کانسار سولفید توده‌ای نوده به همراه کانسار بوانات فارس تنها کانسارهای سولفید توده‌ای تپ بشی معرفی شده در ایران هستند (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱؛ موسیوند، ۱۳۸۹) کانسار بوانات در پهنه سنندج- سیرجان و کانسار نوده در پهنه سبزوار واقع شده‌اند.

کانسار مس سولفید توده‌ای نوده در ۹۰ کیلومتری جنوب باختری سبزوار و ۴۵ کیلومتری جنوب باختری بخش رودآب (قلعه نوی) واقع شده است. این کانسار در واحدهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین با روند شمال خاوری- جنوب

باختری رخ داده است. گسترش سربراره‌های قدیمی در اطراف کانسار نوده از سابقه و رونق معدنکاری در ایام پیشینه این منطقه حکایت دارد. عملیات استخراج در این معدن به صورت زیرزمینی توسط چاه‌ها و چاهک‌ها صورت می‌گرفته و فعالیت و استخراج هر یک از چاه‌ها به صورت دنباله‌رو لایه‌بندی بوده است. با توجه به گسترش کانی‌زایی مس- روی در توالی آتشفشانی- رسوبی حوضه جنوب باختر سبزوار، مطالعه لیتوژئوشیمیایی کانسار نوده می‌تواند به عنوان الگو در اکتشاف ژئوشیمیایی ذخایر مشابه مس- روی در این منطقه و مناطق با زمین‌شناسی مشابه در ایران مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش، مطالعات لیتوژئوشیمیایی واحدهای سنگی (Chemostratigraphy) و ویژگی‌های منطقه‌بندی عنصری رخساره‌های کانه‌دار (استرینگر زون، بخش توده‌ای و بخش لایه‌ای) و همچنین ساخت و بافت، کانی‌شناسی و تغییرات عنصری قائم و جانبی رخساره‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

## ۲- زمین‌شناسی

پهنه سبزوار یکی از پهنه‌های خرد قاره ایران مرکزی (Central Iranian Microcontinent) است که به خاطر رخداد کمر بند افیولیتی در آن مورد توجه می‌باشد (Rossetti et al., 2010). مطالعه بر روی پهنه سبزوار نشان‌دهنده تشکیل یک حوضه اقیانوسی در منطقه در زمان کرتاسه بالایی بوده که در یک محیط کششی پشت کماتی (Back-arc) رخ داده است (Rossetti et al., 2010). حوضه پشت کماتی سبزوار با داشتن رخساره‌های رسوبی دریایی ژرف، نفوذ توده‌های اولترامافیک- مافیک، خروج گدازه‌ها و توالی آتشفشانی- رسوبی خاستگاه مناسبی برای کانی‌زایی‌های نوع بستر اقیانوسی است که از میان آنها می‌توان کانسارهای کرومیت نوع انبانی شکل (Shojaat et al., 2003)؛ وطن پور و همکاران، ۱۳۸۸)،

کانسارهای مس سولفید توده‌ای با تیپ پلیتیک مافیک (Besshi type) دیده می‌شود (Dergatchev et al., 2011). کانه‌زایی سولفیدی در قسمت باختری این کانسار شامل بخش توده‌ای و رگه-رگچه‌ای ستر با ماهیتی ناهمگون (heterogeneous) و چینه کران (strata-bound) است که به سمت خاور کانسار، با کاهش ستر، به شکل چینه‌سان (stratiform) و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان تغییر می‌یابد. افق کانه‌دار کانسار نوده دارای طول بسیار بیشتری نسبت به ستر برای آن است به طوری که طول آن نزدیک به ۹۰۰ متر و ستر برای آن بین ۱-۳ متر می‌باشد که این یکی از ویژگی‌های عمده کانسارهای سولفیدی با سنگ درونگیر آتشفشانی- رسوبی می‌باشد (Franklin et al., 2005).

این نوع ژئومتری عدسی شکل در کانسار نوده، در مقایسه با کانسارهای سولفیدی با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی و آذرآواری، عمدتاً در کانسارهای ماسیو سولفید با تیپ فلیسیک سیلیسی کلاستیک (Bathurst type) (Gally et al., 2007; Goodfellow, 2007) و پلیتیک مافیک (Besshi type) (Gally, 2003; Goodfellow, 2007; Peter & Scott, 1999; Peter, 2007) دیده می‌شود.

کانی‌سازی در کانسار مس نوده (به ویژه در افق II ماده معدنی) (شکل‌های ۲ و ۹) بر اساس شکل، کانی‌شناسی، بافت ماده معدنی و عیار آن، به سه رخساره کانسنگی متفاوت قابل تقسیم است:

الف) رخساره رگه-رگچه‌ای (Stringer zone)

ب) کانسنگ توده‌ای (Massive ore facies)

ج) کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore facies)

نمای شماتیک از این رخساره‌ها (از باختر به خاور کانسار و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر) که بر اساس مطالعات نمونه‌های دستی و میکروسکوپی، و بررسی‌های صحرایی ترسیم شده، در شکل ۹ نشان داده شده است.

مهم‌ترین دگرسانی‌ها شامل دگرسانی اپیدوتی و کلریتی در استرینگر زون و رخساره کانسنگ توده‌ای، دگرسانی سیلیسی در استرینگر زون و دگرسانی سریستی در رخساره کانسنگ لایه‌ای می‌باشد.

#### ۵- همبستگی عناصر و مقاطع شیمی چینه‌شناسی (Chemostratigraphy)

مطالعات شیمی چینه‌شناسی اهمیت زیادی در مطالعه نهشته‌های موجود در توالی‌های آتشفشانی- رسوبی دارد. در این مطالعات تغییرات ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب در مقاطع زمین‌شناسی بررسی می‌شود (Lentz, 1998; Lentz et al., 1997; Schlatter, 2007). نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک و عمود بر روند لایه‌بندی و از واحدهای کمر پایین تا کمر بالای افق‌های کانه‌دار صورت گرفته است. این بررسی نشان‌دهنده افزایش  $Al_2O_3$  در توف ماسه‌ای نازک لایه و ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی میزبان کانی‌زایی در افق I ماده معدنی است که نشان‌دهنده حضور کانی فلدسپاتیک در سنگ‌های رسوبی تخریبی می‌باشد. بیشترین مقدار  $SiO_2$  مربوط به توف ریولیتی و توف نازک لایه پیریتی است (شکل ۴). در این شکل، افزایش مقدار  $MgO$  و  $Fe_2O_3$  در ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی میزبان افق I ماده معدنی به خوبی دیده می‌شود این افزایش احتمالاً ناشی از حضور کانی‌های مگنتیت و هوازدگی سولفیدهای مانند پیریت و آزاد شدن آهن از آنها و همچنین ناشی از گسترش دگرسانی کلریتی است. روند تغییرات  $Na_2O$  و  $K_2O$  تقریباً مشابه هم هستند که بیشترین مقدار این دو عنصر در آگلومرا توف قرار دارد. بیشترین غنی‌شدگی  $TiO_2$  در سیل گابروبی نیمه‌ژرف است که این غنی‌شدگی را می‌توان به ماهیت مافیک این سیل ارتباط داد (شکل ۵).

میزان فلزات پایه به همراه Co, As به صورت آشکاری در افق II افزایش یافته است که با رخداد کانه‌زایی و فعالیت‌های گرمایی در افق کانه‌دار و کمر پایین آن

کانسارهای مس سولفید توده‌ای تیپ قبرسی (بدخشان و بنی‌آدم، ۱۳۷۷)، کانسارهای مس سولفید توده‌ای تیپ بشی (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱؛ مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳) و کانسارهای منگنز نوع ولکانوژن (مسعودی، ۱۳۸۸؛ تقی زاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۱) را نام برد.

توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در منطقه نوده شامل بیش از ۹۵۰ متر توف و رسوبات توفی، سیل گابروی، سنگ‌های آتشفشانی (تراکی آندزیت و گدازه الیوین بازالت)، سیلتستون، شیل سیلیسی و ماسه‌سنگ سیلتی توفی در بخش زیرین و بیش از ۱۰۰ متر از آهک‌های پلاژیک نازک لایه و مارن و تناوبی از توف در بخش بالایی این توالی است (شکل ۳ و ۱). این توالی در منطقه نوده که کانسار سولفید توده‌ای مس (روی) نوده و منگنز نوده را دربر دارد از چهار واحد (Unit) تشکیل شده است که از قدیم به جدید عبارتند از (شکل ۳):

- واحد ۱ (Unit 1): این واحد شامل توف-لیتیک توف نازک لایه سبز رنگ، توف قرمز (که میزبان منگنز چینه‌سان در منطقه بوده و ویژگی‌های آن شبیه با حوضه Shikoku در ژاپن است (Nakagawa et al., 2009) و گدازه تراکی آندزیتی آمیگدالویدال دار می‌باشد (شکل ۳).

- واحد ۲ (Unit 2): کانی‌زایی مس در کانسار نوده در این واحد رخ داده است. این واحد به چهار عضو (Member) تقسیم می‌شود که عضوهای ۲ و ۴ آن میزبان افق‌های کانه‌دار مس در کانسار نوده هستند (شکل ۳).

- واحد ۳ (Unit 3): شامل توف قرمز، توف ماسه‌ای، شیل توفی و ماسه توفی با میان‌لایه‌هایی از توف ماسه‌ای.

- واحد ۴ (Unit 4): این واحد شامل آهک‌های نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار و مارن با میان‌لایه‌هایی از آهک است. واحدهای بالا به صورت ناپیوسته توسط رسوبات پالئوسن که شامل مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد پوشیده می‌شوند.

#### ۳- موقعیت چینه‌شناسی واحدهای کانه‌دار کانسار نوده

همان‌طور که اشاره شد عضوهای ۲ و ۴ واحد ۲، میزبان افق‌های معدنی (I و II) مس‌دار نوده هستند (شکل ۳). واحد ۲ خود از ۴ عضو تشکیل شده است که سنگ‌شناسی آنها از قدیم به جدید عبارت است از:

- عضو ۱ (Member 1): شامل آگلومرا توف با میان‌لایه‌هایی از توف نازک لایه، لایلی توف با میان‌لایه‌هایی از توف نازک لایه سبز و سیل گابرویی (شکل ۳).

- عضو ۲ (Member 2): توف نازک لایه سبز پیریتی و ماسه‌سنگ سیلتی توفی میزبان افق کانه‌دار I (شکل ۳).

- عضو ۳ (Member 3): کریستال لیتیک توف نازک لایه با میان‌لایه‌هایی از توف ریولیتی (شکل ۳).

- عضو ۴ (Member 4): توف ماسه‌ای نازک لایه، گدازه الیوین بازالت که به طور جانبی به ماسه‌سنگ سیلتی توفی تبدیل می‌شود (میزبان افق کانه‌دار II) (شکل ۳).

نظر به اینکه کانی‌زایی اصلی مس (افق II معدنی)، در منطقه مورد مطالعه، در گدازه الیوین بازالت و در رخساره جانبی آن در ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی رخ داده است، بنابراین برای مطالعه و تفکیک رخساره‌ها و بررسی تغییرات جانبی و قائم آن و همچنین چگونگی توزیع و گسترش واحد کانه‌دار و ارتباط آن با سنگ‌های کمر بالا و کمر پایین، ستون چینه‌شناسی کانسار نوده رسم و از لحاظ سنگ‌شناسی، بافت و ساخت و کانی‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۴- ژئومتری ماده معدنی و رخساره‌های کانه‌دار

کانه‌زایی سولفیدی در محدوده معدنی نوده دارای شکل هندسی صفحه‌ای کشیده است. این نوع شکل هندسی صفحه‌ای شکل در کانسار نوده، در مقایسه با کانسارهای سولفیدی با سنگ میزبان رسوبی- آتشفشانی و آذرآواری، در

سیلیسی - سولفیدی در اطراف رگه‌های کانه‌دار، بالا است (شکل ۸). این میزان به سمت رخساره کانسنگ توده‌ای که حجم اصلی سنگ را ماده معدنی تشکیل می‌دهد کاهش می‌یابد، اما به دلیل تشکیل لامینه‌های رسوبی ماسه‌دار در رخساره لایه‌ای، میزان آن دوباره افزایش نشان می‌دهد. دگرسانی سربستی و اپیدوتی کم و بیش در رخساره‌های مختلف کانه‌دار دیده می‌شود ولی این دگرسانی‌ها در رخساره کانسنگ توده‌ای به میزان خیلی کم گسترش دارند بنابراین افزایش مقدار  $K_2O$ ،  $Na_2O$  و  $Al_2O_3$  در رخساره کانسنگ لایه‌ای می‌تواند در ارتباط با گسترش دگرسانی‌های سربستی و اپیدوتی در این رخساره‌ها باشد (شکل ۸).

## ۷- نتیجه‌گیری

تغییرات بافت و ساخت، کانی‌شناسی و نحوه کانی‌سازی، همراهی نزدیکی با تغییرات و میزان و نوع عناصر فلزی و غیر فلزی در کانسار مس نوده دارد. این منطقه‌بندی بیشتر به صورت تغییرات جانبی، با دور شدن از رخساره رگه-رگچه‌ای و کانسنگ توده‌ای نمود می‌یابد. نحوه تغییر رخساره‌های مختلف موجود در کانسار نوده با تغییرات عنصری که در سولفیدهای سازنده آن دیده می‌شود، قابل تبیین می‌باشد (شکل ۹). در باختر کانسار، بافت رگه-رگچه‌ای شامل رگه-رگچه‌های سولفیدی پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت، همراه با کوارتز به صورت قطع‌کننده لایه‌بندی و لامیناسیون دیده می‌شود. جانیشینی سولفیدها در این رگه-رگچه‌ها به خوبی قابل مشاهده است که در برخی موارد باعث برشی شدن سنگ میزبان کانی‌زایی شده‌اند. در بخش بالایی رخساره رگه-رگچه‌ای، برخورد رگه‌ها به توالی لامینه‌های سولفیدی و سنگ میزبان، باعث به هم ریختگی و ناهمگون شدن سیمای کانه‌زایی شده و رخساره سولفید توده‌ای را تشکیل داده است. بافت‌های توده‌ای، جانیشینی، و برشی به صورت مترکم و ناهمگون در این بخش از کانسار دیده می‌شوند. واکنش سیالات کانه‌ساز با سولفیدهای تشکیل شده در مراحل قبلی کانه‌زایی و نیز کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ درونگیر کانسار، مسئول تشکیل این رخساره می‌باشد (پالایش پهنه‌ای Zone refining). این پدیده سبب سترشدگی رخساره کانسنگ توده‌ای و بالارفتن عیار ماده معدنی در آن شده است پدیده پالایش پهنه‌ای در کانسارهای سولفید توده‌ای چاه گز، Windy Craggy Finlayson Lake، Yaman-Kasy، نیز گزارش شده است (Mousivand et al., 2011; Maslennikov et al., 2008; Peter & Scott, 1999; Matthews et al., 2008؛ موسیوند، ۱۳۸۹). نکته جالب توجه در این مورد محدود بودن بافت برشی سولفیدها به افق کانه‌دار است. همان‌طور که گفته شد رخساره‌های رگه-رگچه‌ای و کانسنگ توده‌ای، سیمایی چینه‌کران به کانسار داده‌اند، با دور شدن از این رخساره‌ها در جهت خاور، بافت‌های رسوبی نظیر لامینه، نواری و دانه‌پراکنده چیره می‌شوند که در تناوب با لامینه‌های سنگ درونگیر کانسار، کانسنگ لایه‌ای را با سیمایی چینه‌سان و همروند با لایه‌بندی تشکیل می‌دهند (شکل ۹). کاهش ستر برای بخش کانی‌سازی و کاهش ستر برای نوارهای منفرد کانی‌های سولفیدی، با دور شدن از رخساره توده‌ای، از دیگر ویژگی‌های کانی‌سازی در نوده است. رخداد ساخت رسوبی برشی در کانسنگ توده‌ای در مجاور رخساره رگه-رگچه‌ای، می‌تواند شاهدهی بر فعالیت گسل همزمان با رسوب‌گذاری در حوضه، همزمان با تشکیل کانسار باشد که در قسمت باختری کانسار مس نوده برونزد دارد (شکل ۹). رخداد گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری (Synsedimentary fault) در بیشتر کانسارهای سولفید توده‌ای از جمله در کانسارهای Windy Craggy و چاه گز گزارش شده است (Peter & Scott, 1999؛ موسیوند، ۱۳۸۹). تغییرات بافتی یاد شده همراه با تغییرات کانی‌شناسی می‌باشند، به طوری که کالکوپیریت، مگنتیت، اسفالریت و فریدرژیت (Friedrichite) بیشتر در رخساره توده‌ای دیده می‌شوند (شکل ۹، جدول ۱). با دور شدن از کانسنگ توده‌ای، از میزان مگنتیت نیز کاسته می‌شود. اسفالریت نیز بیشتر در کانسنگ توده‌ای تمرکز دارد. نسبت پیریت به کالکوپیریت و مگنتیت، با دور شدن

همانگ می‌باشد (شکل ۶). همچنین میزان مس و روی در افق I کانسار نوده افزایش نشان می‌دهد. بنابراین عناصر مس، روی، کبالت، آرسینک و سرب با هم همبستگی مثبت و با باریت، تیتان و کروم همبستگی منفی نشان می‌دهند (شکل‌های ۵ و ۶) این همبستگی به شرایط pH و Eh محیط بستگی دارد به این صورت که باریت، تیتان و کروم در شرایط اکسیدی ته‌نشست پیدا می‌کنند ولی روی، سرب و آرسینک به همراه مس در شرایط فلوگاسیته پایین اکسیژن (احیایی) ته‌نشست می‌کنند در نتیجه باهم همبستگی مثبت نشان می‌دهند.

## ۶- منطقه‌بندی شیمیایی جانبی در رخساره‌های سه‌گانه کانسار مس نوده

بررسی‌های صورت گرفته بر روی ۲۰ نمونه تجزیه شده به روش ICP-MS/AES در Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Guiyang، نشان‌دهنده تغییر ترکیب شیمیایی موجود در کانسار از سمت رخساره توده‌ای در باختر، به سمت رخساره لایه‌ای در حاشیه خاوری کانسار می‌باشد (شکل‌های ۷ و ۸). بخش پرعیار کانسار نوده بر بخش ستر و توده‌ای آن منطبق است. بیشینه عیار مس در محل رخساره کانسنگ توده‌ای در حدود ۱۱/۲ درصد می‌باشد که به سمت رخساره کانسنگ لایه‌ای میزان آن کاهش می‌یابد (شکل ۷). این عیار در کانسنگ لایه‌ای بین ۴/۵ درصد در تغییر است (جدول ۱).

میزان مس در رخساره رگه-رگچه‌ای (Stringer zone) کانسار بیشتر از رخساره لایه‌ای است (شکل ۷). بیشترین مقدار روی به ترتیب در رخساره‌های کانسنگ توده‌ای، لایه‌ای و پهنه استرینگر می‌باشد (شکل ۷). افزایش مقادیر مس و روی در رخساره کانسنگ توده‌ای نشان‌دهنده افزایش میزان کالکوپیریت و اسفالریت در رخساره کانسنگ توده‌ای است. میزان Ba و Mn از رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای به طرف رخساره کانسنگ لایه‌ای افزایش نشان می‌دهد این افزایش ناشی از بالا بودن فلوگاسیته اکسیژن در رخساره کانسنگ لایه‌ای و بخش حاشیه‌ای کانسار است، بنابراین کانی‌های اکسیدی در این بخش از کانسار تمرکز نشان می‌دهند (شکل ۷ و جدول ۱). بیشترین مقدار کبالت در رخساره کانسنگ توده‌ای و حدود ۳۲۰ ppm می‌باشد (شکل ۷). این نحوه پراکندگی کبالت در کانسار نوده، مشابه پراکندگی آن در کانسار Windy craggy (کانادا) (Peter & Scott, 1999) است. وجود منطقه‌بندی عنصری در رخساره‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد (Franklin et al., 2005; Galley et al., 2007):

- کاهش نسبی تولیدات گرمایی، با دور شدن از محل خروج سیال کانه‌ساز، که تابعی از فاصله است.
- تغییرات عناصر مختلف گرمایی از پهنه استرینگر، که رابطه مستقیمی با رفتار ژئوشیمیایی عناصر، حرارت، Eh و pH محیط دارد.

با بررسی میزان تغییرات عناصر اصلی در کانسنگ‌های مختلف کانه‌دار به افزایش و کاهش عناصر مرتبط با دگرسانی می‌توان پی برد. تغییر فراوانی عناصر اصلی، عموماً بازتابی از تغییرات کانی‌شناسی در طی دگرسانی بوده و میزان این تغییرات حجم واکنش‌های سیال-سنگ را مشخص می‌نماید. در چنین مواردی، تغییرات کانی‌شناسی رخ داده در طی دگرسانی، در محدوده وسیعی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده حضور حجم بالایی از سیالات گرمایی است.

با توجه به گسترش دگرسانی کلریتی آهن و منیزیم‌دار به میزان مشابه در رخساره‌های مختلف کانسار نوده، میزان تغییرات  $Fe_2O_3$  و MgO از رخساره رگه-رگچه‌ای به طرف رخساره کانسنگ لایه‌ای تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهد (شکل ۸). بنابراین افزایش مقدار  $Fe_2O_3$  و MgO در همه رخساره‌ها نشان‌دهنده حضور کلریت است.

میزان سیلیس در رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای، به دلیل دگرسانی

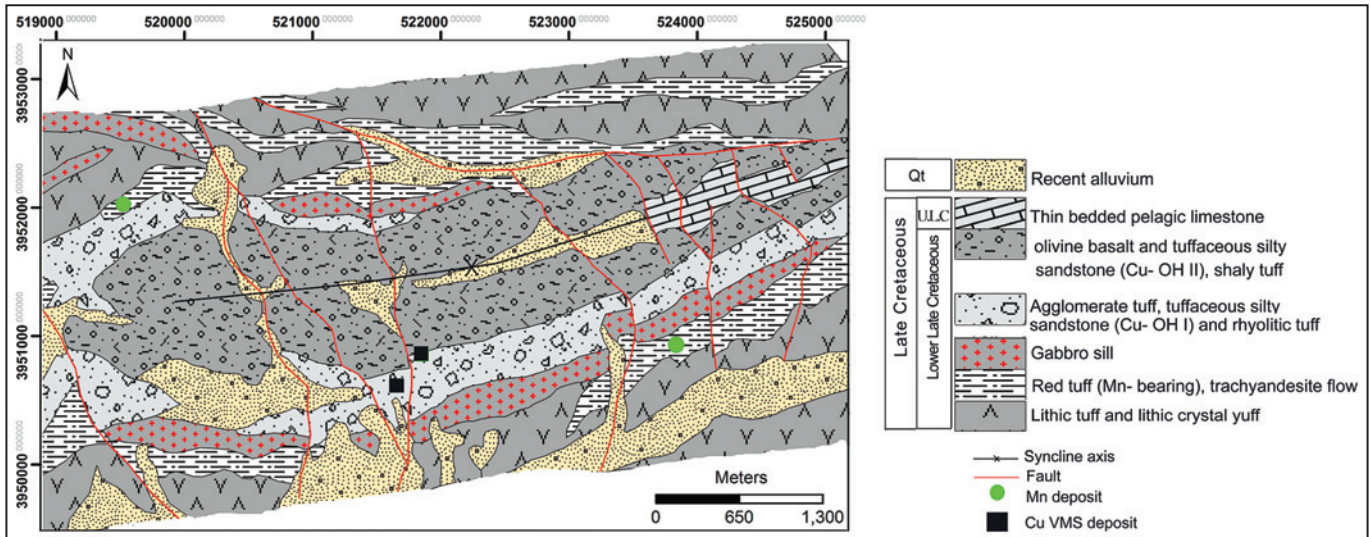


می‌شود در حالی که مقدار آهن و منیزیم در رخساره‌های مختلف تغییرات آشکاری نشان نمی‌دهند با این حال بیشترین مقدار این دو عنصر در رخساره کانسنگ توده‌ای و لایه‌ای است (جدول ۱).

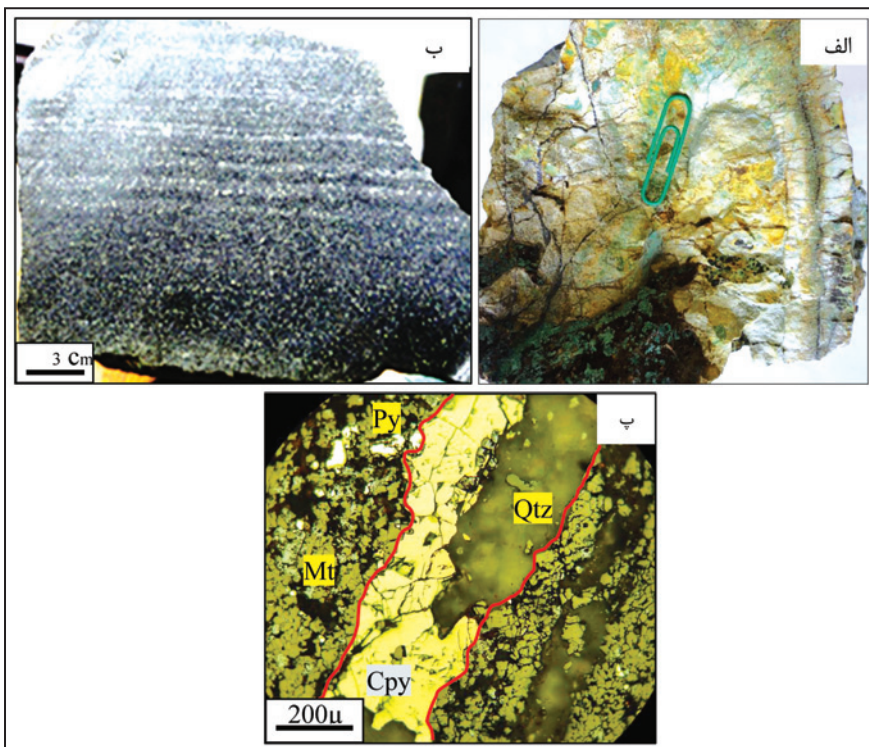
با توجه به تشکیل کانسار سولفید توده‌ای نوده در زمان کرتاسه پسین در شرایط کشتی حوضه سبزوار پیشنهاد می‌شود ویژگی‌های لیتوژئوشیمیایی واحدهای سنگی (Chemostratigraphy) گدازه‌ای و آذرآواری در حوضه‌های کشتی مشابه سبزوار در سایر پهنه‌های ساختاری ایران، برای اکتشاف کانسارهای VMS مشابه مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

از کانسنگ توده‌ای افزایش می‌یابد. بورنیت فقط در بخش کانسنگ رگه-رگچه‌ای، به صورت هم‌رشد با کالکوپیریت تشکیل شده است. میزان پیریت با دور شدن از کانسنگ توده‌ای به طرف کانسنگ لایه‌ای افزایش می‌یابد (شکل ۹).

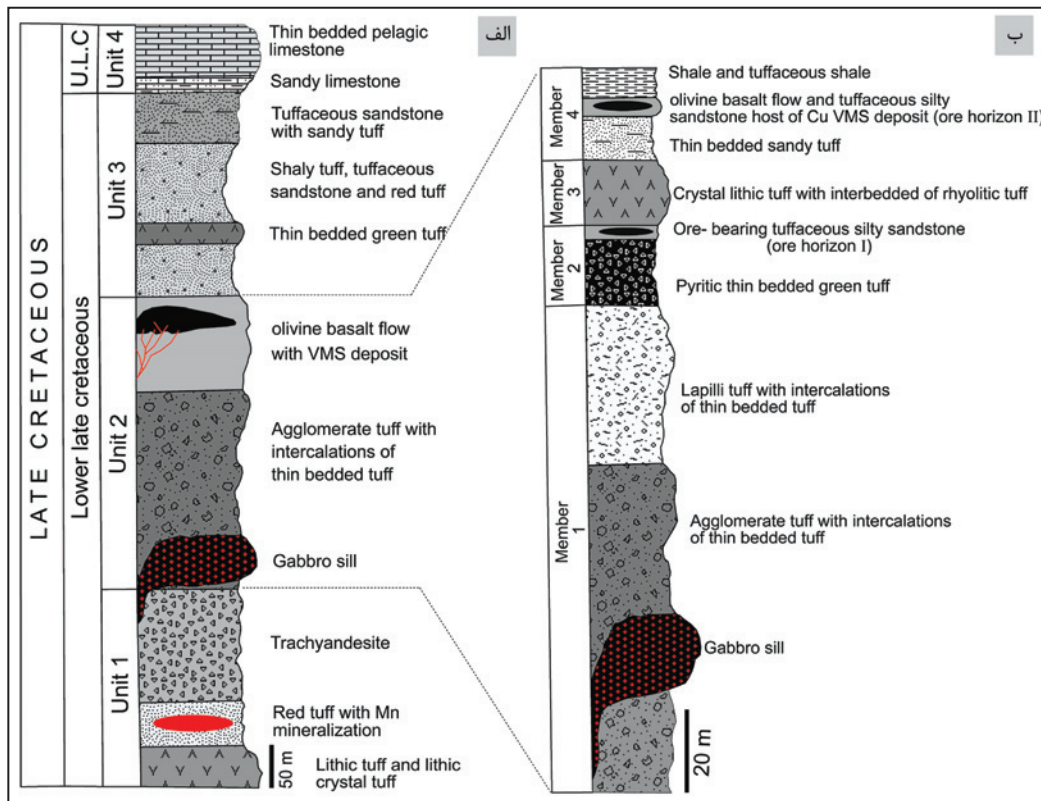
در کانسار نوده، از بخش پایین کانسار به سمت بالا، نسبت Zn/Cu و مقدار Ba و Mn افزایش نشان می‌دهد به طوری که بیشترین مقدار مس، روی، سرب، کبالت و آهن در رخساره کانسنگ توده‌ای تمرکز دارد و بیشینه تمرکز باریم و منگنز در رخساره کانسنگ لایه‌ای است. تغییرات عناصر اصلی با افزایش مقدار آلومینیم، سیلیس، سدیم و پتاسیم در رخساره کانسنگ لایه‌ای و رخساره رگه-رگچه‌ای دیده



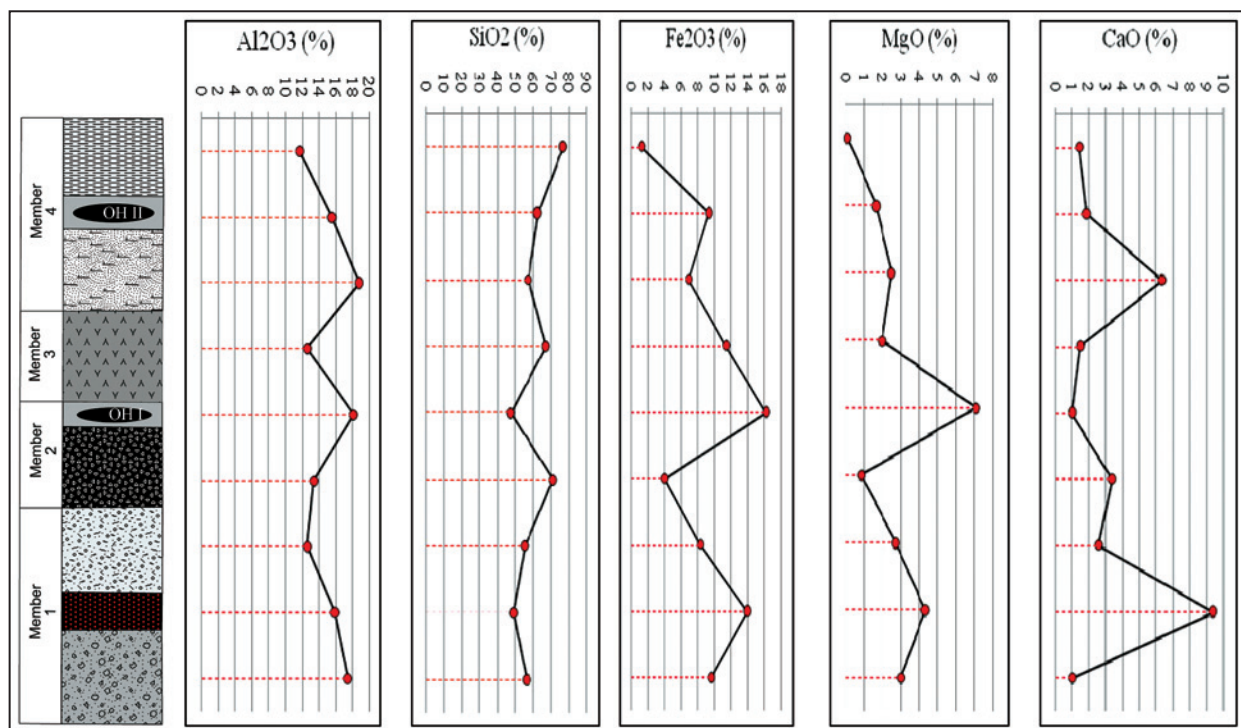
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای نوده و توالی آتشفشانی-آذرآواری-رسوبی کرتاسه بالایی و موقعیت کانسارهای مس (Cu) نوده و منگنز (Mn) نوده در آن.



شکل ۲- (الف) نمونه دستی از زون استرینگر که سنگ اولیه کاملاً دگرسان شده و بافت اولیه خود را از دست داده و توسط سولفیدها و سیلیس جایگزین گشته است؛ (ب) نمونه دستی از لامینه‌های سولفیدی که همزمان با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان ته‌نشست حاصل کرده‌اند؛ (پ) رگه کالکوپیریتی-کوارتزی (Qtz) که کانسنگ توده‌ای را قطع کرده است.

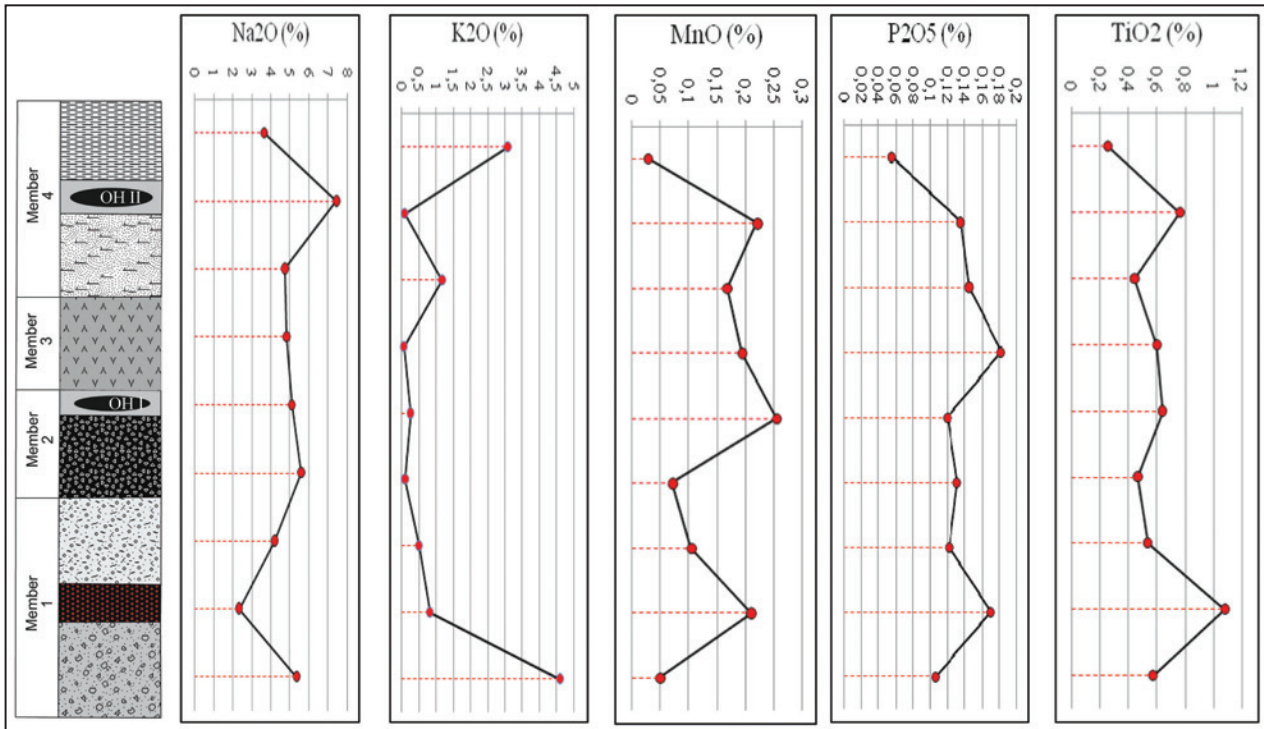


شکل ۳- الف) ستون چینه‌شناسی عمومی از منطقه معدنی نوده و موقعیت افق‌های مس و منگنز در آن؛ ب) ستون چینه‌ای بزرگ شده از عضوهای واحد ۲، که اعضای ۲ و ۴ آن دربردارنده دو افق معدنی (ore horizon I, ore horizon II) است. سنگ دربرگیرنده ماده معدنی در افق I ماسه‌سنگ‌های سیلتی توفی بوده ولی میزبان ماده معدنی در افق II گدازه‌های الیون بازال است که با تغییر رخساره جانبی به ماسه‌سنگ سیلتی توفی تبدیل شده است.

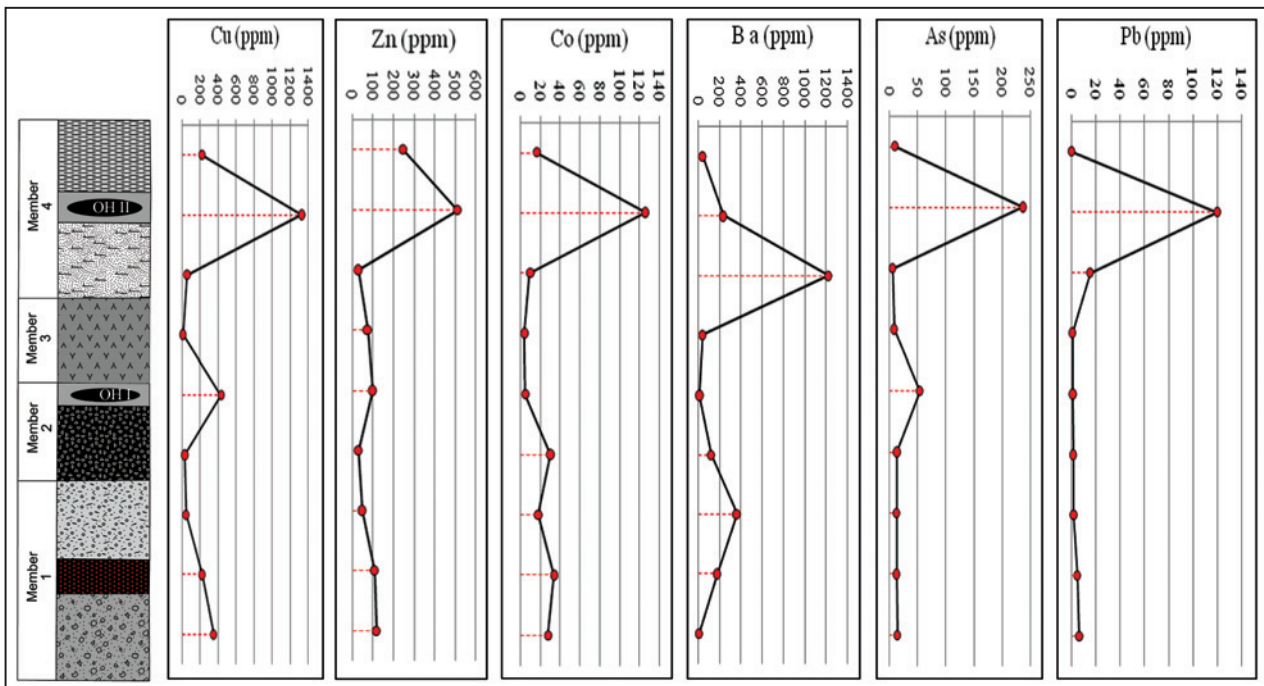


شکل ۴- نمودار تغییرات میزان عناصر اصلی در اعضای چهارگانه ستون چینه‌شناسی کانسار نوده، OH I: افق کانه‌دار یک، OH II: افق کانه‌دار دو (راهنمای واحدهای سنگی همانند شکل ۳) می‌باشد. میزان  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$  و  $MgO$  در افق یک (OH I) ماده معدنی افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد.

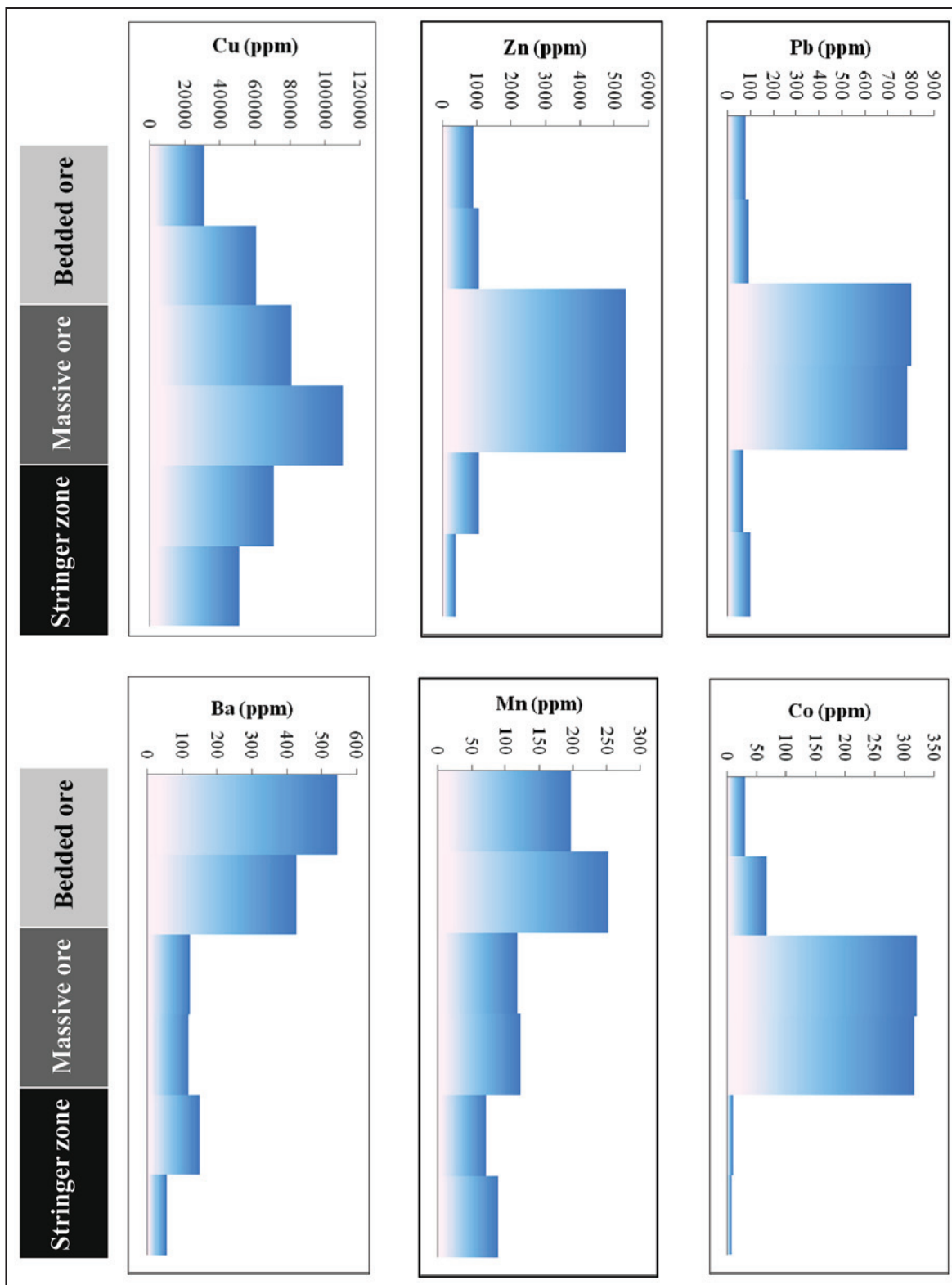




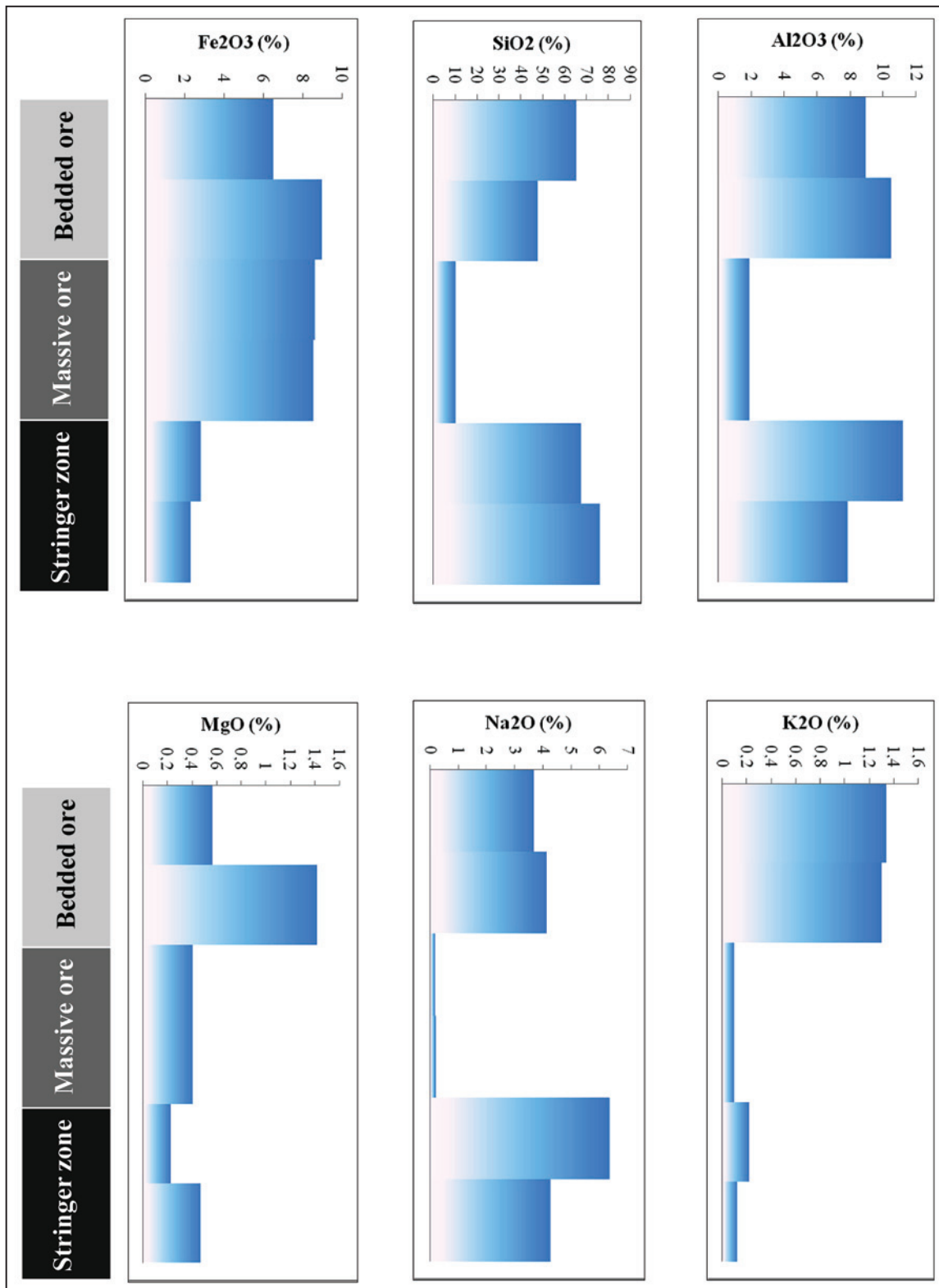
شکل ۵- نمودار تغییرات میزان عناصر اصلی در اعضای چهارگانه ستون چینه‌شناسی کانسار نوده، OH I: افق کانه‌دار یک، OH II: افق کانه‌دار دو (راهنمای واحدهای سنگی همانند شکل ۳) می‌باشد. تعبییرات عناصر  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$  و  $\text{MgO}$  در کل ستون چینه‌شناسی الگوی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند.



شکل ۶- نمودار تغییرات میزان عناصر فرعی در اعضای چهارگانه ستون چینه‌شناسی کانسار نوده، OH I: افق کانه‌دار یک، OH II: افق کانه‌دار دو (راهنمای واحدهای سنگی همانند شکل ۳) می‌باشد. در افق دو ماده معدنی (OH II) میزان مس، روی، کبالت، آرسنیک و سرب نسبت به افق یک (OH I) افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند.

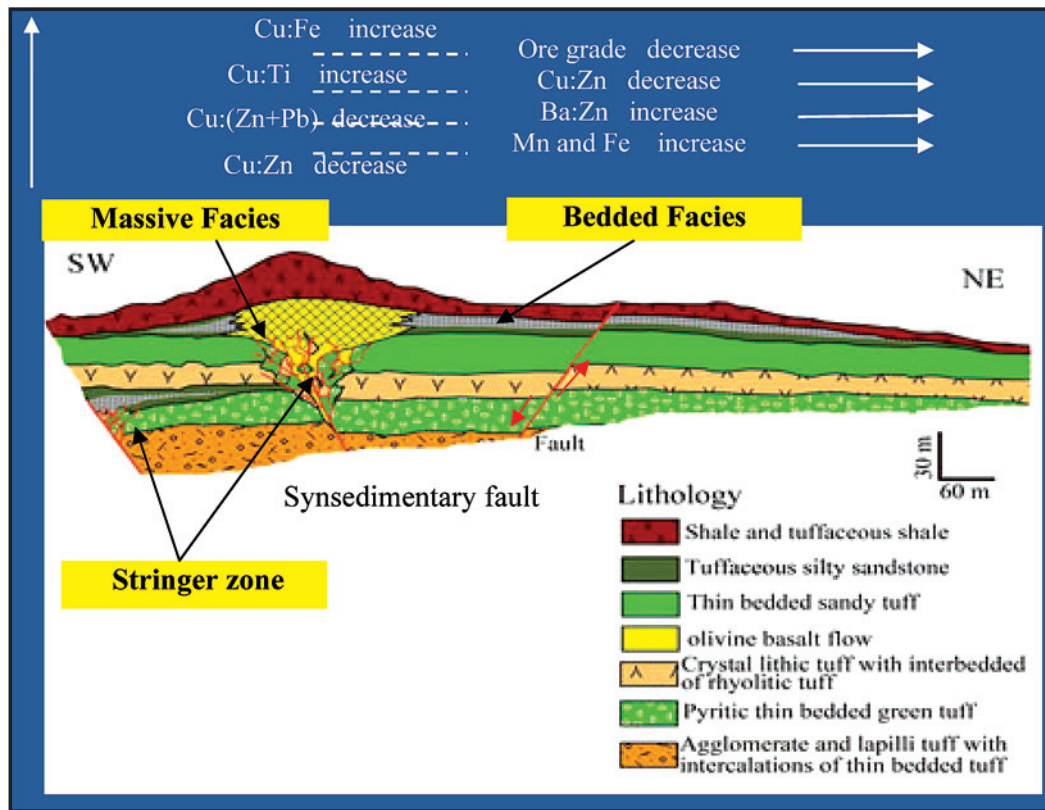


شکل ۷- میزان تغییرات عناصر پایه و کمیاب در رخساره‌های کانسنگ رگه-رگچه‌ای، توده‌ای و رخساره کانسنگ لایه‌ای در کانسار مس نوده.



شکل ۸- میزان تغییرات عناصر اصلی در رخساره‌های کانسنگ رگه-رگچه‌ای، توده‌ای و رخساره کانسنگ لایه‌ای در کانسار مس نوده.





شکل ۹- نمای شماتیک از رخساره‌های سه گانه کانه دار کانسار نوده و منطقه بندی عنصری آن.

جدول ۱- ویژگی های کانی شناسی و ژئوشیمیایی رخساره های سه گانه کانسار مس نوده.

رخساره کانستگ لایه ای	رخساره کانستگ توده ای	رخساره رگه- رگچه ای (Stringer zone)	
ماسه سنگ های سیلتی توفی	گدازه الیون بازالت	توف ماسه ای نازک لایه، گدازه الیون بازالت	سنگ میزبان
لامینه، نواری، دانه پراکنده	توده ای، جانشینی، برشی	رگه- رگچه ای، جانشینی و برشی	در مقیاس رخنمون، شکل کانی سازی نمونه دستی و میکروسکوپی
Cpy> Py	Cpy> Py> Mt> Frd> Sph	Bn= Cpy> Mt> Py	کانی شناسی
Cu, Ti, Ba, Zn, Mn, Co, Pb	Cu, Zn, Pb, As, Ti, Co, Ba, Mn	Cu, Ti, Zn, Ba, Pb, Mn, Co	عناصر فلزی همراه
Cpy: کالکوپیریت، Py: پیریت، Sph: اسفالریت، Bn: بورنیت، Mt: مگنتیت، Frd: فریدرژیت.			
4.05	11.2	5.14	Cu (%)
0.013	0.53	0.009	Zn (%)
0.0009	0.079	0.0008	Pb (%)
5.57	32.21	0.55	S (%)
485	120	103	Ba (ppm)
-	732	-	As (ppm)
48	320	10	Co (ppm)
224	120	80	Mn (ppm)
2200	598	2018	Ti (ppm)
311	47.6	571	Cu/Zn
4.0639	25.839	5.1498	Cu+Zn+Pb

## کتابنگاری

- بدخشان ممتاز، ق.، بنی آدم، ف.، ۱۳۷۷ - گزارش مطالعات اکتشافی چکشی در ورقه ۱۰۰۰۰:۱۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۱۲ صفحه.
- تقی‌زاده، س.، موسیوند، ف.، و قاسمی، ح.، ۱۳۹۱ - کانسار منگنز ذاکری، نمونه‌ای از کانه‌زایی منگنز نوع پروندمی در جنوب‌باختر سبزوار، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- مسعودی، م.، ۱۳۸۸ - زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار منگنز بنسپرد در جنوب باختر سبزوار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات، ۹۸ صفحه.
- مغفوری، س.، راستاد، ا.، و موسیوند، ف.، ۱۳۹۱ - زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب باختر سبزوار، با تاکید بر کانسار نوده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۱۲ صفحه.
- مغفوری، س.، راستاد، ا.، و موسیوند، ف.، ۱۳۹۳ - کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) نوده، نمونه‌ای از کانسارهای نوع بشی (Besshi-type)، جنوب باختر سبزوار، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، زمستان ۱۳۹۳ شماره ۹۴، ص. ۸۶ - ۷۳ (سنگ و کانی).
- موسیوند، ف.، ۱۳۸۹ - زمین‌شناسی، 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 زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، ۵۰۵ صفحه.
- وطن‌پور، ح.، خاکزاد، ا.، و قادری، م.، ۱۳۸۸ - کاربرد عناصر گروه پلاتین (PGE) در اکتشاف و ارزیابی اقتصادی در کانسارهای کرومیت کمر بند فیولیتی سبزوار، فصل‌نامه علوم زمین شماره ۷۱.
- نصرالهی، ع.، موسیوند، ف.، و قاسمی، ح.، ۱۳۹۱ - الگوی تشکیل کانسار منگنز نوده در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه بالایی، زیر پهنه سبزوار، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

## References

- Dergatchev, A., Eremin, N. I. & Sergeeva, N. E., 2011- Volcanogenic massive sulfide deposit of ophiolite associations, Moscow University Geology Bulletin, 2010, Vol. 65, No. 5, pp. 265-272. © Allerton Press, Inc.
- 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.
- Gally, A.G., 2003- Composite synvolcanic intrusions associated with Precambrian VMS- related hydrothermal systems, Mineral. Deposita, v.38, n.4, p.443-473.
- Goodfellow, W.D., 2007- Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern new brunswick, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 449-469.
- Hoy, T., 2005- Besshi massive sulphide, British Columbia Geological Survey, Victoria, B.C., Canada.
- Lentz, D., 1998- Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics, Ore Geology Reviews 12, 289-327.
- Lentz, D., Hall, D. & Hoy, L., 1997- Chemostratigraphic, alteration, and oxygen isotopic trends in a profile through the stratigraphic sequence hosting the heath steele b zone massive sulfide deposit, new brunswick, Canadian Mineralogist, Vol.35, 841-874 pp.
- Maslennikov, V., Maslennikova, S. P., Large, L. & Danyushevsky, L. V., 2008- Study of Trace Element Zonation in Vent Chimneys from the Silurian Yaman-Kasy Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit (Southern Urals, Russia) Using Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICPMS), Economic Geology, v. 104, pp. 1111-1141.
- Matthews, D., Peter, J., Scott, S. & Leybourne, M., 2008- Distribution, Mineralogy, and Geochemistry of Selenium in Felsic Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits of the Finlayson Lake District, Yukon Territory, Canada, Economic Geology, v. 103, pp. 61-88.
- 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.
- Nakagawa, N., Santosh, N. & Maruyama, S., 2009- Distribution and mineral assemblages of bedded manganese deposits in Shikoku, Southwest Japan: Implications for accretion tectonics, Gondwana Research 16, 609-621.
- Peter, J.M., 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.
- Schlatter, D. M., 2007- Volcanic stratigraphy and hydrothermal alteration of the Petiknas South Zn- Pb- Cu- Au- Ag volcanic hosted massive sulfide deposit, Sweden, Doctoral thesis Lulea University of Technology, Sweden. 208 p.
- 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.