رخداد انواع گوناگون کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) و ارتباط آن با تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی در پهنه سنندج- سیرجان

فردین موسیوند [۱]، ابراهیم راستاد [۲*]، محمدهاشم امامی [۳] و جان پیتر [۴]

[۱] استادیار، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران ؛ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران؛ پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۴] دانشیار، سازمان زمین شناسی کانادا، اتاوا، کانادا

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۷/۰۴

چکیده

انواع گوناگونی از نهشته‌های سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) در بخش‌های شمالی و جنوبی پهنه سنندج- سیرجان تشکیل شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان کانسارهای مس- روی- نقره بوانات (نوع پلیتیک مافیک یا Besshi)، مس- روی سرگز (نوع بایمدال مافیک یا Noranda) و روی- سرب- مس چاه‌گز (نوع سیلیسی‌کلاستیک فلسیک یا Bathurst) در بخش جنوبی و کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا (نوع بایمدال فلسیک یا Kuroko) را در بخش شمالی نام برد. مقایسه این نهشته‌ها و بررسی ارتباط تشکیل آنها با فرایندهای زمین‌ساختی- ماگمایی در این پهنه نشان‌دهنده تشکیل آنها در حوضه‌های کافتی درون کمانی مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر صفحه قاره‌ای ایران در دوران مزوزوییک است. دلیل اصلی رخداد انواع گوناگون VMS در این پهنه، می‌تواند در ارتباط با تحول و تکامل ماهیت ماگما و حوضه‌های کافتی درون کمانی باشد. مقایسه این نهشته‌ها با همدیگر از دید برخی ویژگی‌ها مانند سنگ‌های درون‌گیر و توالی میزبان و همبود (پاراژنز) کانی‌شناسی نشان می‌دهد که نهشته‌های بوانات و سرگز با کانسار چاه گز تفاوت‌های آشکاری دارند که به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی این تفاوت‌ها ترکیب ماگمایی متفاوت یعنی فلسیک بودن ترکیب اصلی سنگ‌های آتشفشانی در توالی منطقه چاه‌گز و مافیک بودن آنها در توالی‌های میزبان مناطق بوانات و سرگز باشد. ایجاد و گسترش کافت کمانی در مناطق بوانات و سرگز در مراحل آغازین قرار دارد در حالی که کافت درون کمانی در منطقه چاه‌گز به بلوغ رسیده است و این دلیل اصلی تفاوت در ماهیت ماگما و نوع کانه‌زایی VMS در این مناطق است. پهنه سنندج- سیرجان (به‌ویژه بخش جنوبی آن) به دلیل میزبانی انواع گوناگون و بزرگ‌ترین و بیشترین ذخایر VMS شناخته شده در ایران، جذاب‌ترین پهنه ساختاری برای اکتشاف این نهشته‌ها است.

کلیدواژه‌ها: سولفید توده‌ای، کافت درون کمانی، تکتونو- ماگمایی، پهنه سنندج- سیرجان

***نویسنده مسئول:** ابراهیم راستاد
E-mail: rastad@modares.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

نهشته‌های VMS یکی از مهم‌ترین منابع روی، مس، سرب، نقره و طلای دنیا هستند. با وجود پژوهش‌های گسترده در مقیاس نهشته و در مقیاس ناحیه‌ای، هنوز ویژگی‌های کنترل‌کننده مکان رخداد اقتصادی این نهشته‌ها به‌خوبی شناخته نشده است. بر پایه دانش امروزی، نهشته‌های سولفید توده‌ای به صورت اتفاقی و تصادفی رخ نمی‌دهند، بلکه در زمان‌های خاص (در افق‌های چینه‌شناسی خاص) در دریا و در حوضه‌های کششی فعال (از دید فعالیت آتشفشانی) تشکیل می‌شوند (Allen et al., 2002).

اهمیت نهشته‌های VMS به حدی است که یک پروژه جهانی (IGCP-502) (Allen et al., 2002) برای فهم بیشتر کنترل‌کننده‌های اصلی مکانی و زمانی رخداد این نهشته‌ها در کمربندهای کوهزایی یا چین‌خورده (در مقیاس‌های محلی و ناحیه‌ای) در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ اجرا شده است. این پروژه مطالعه شماری از کمربندهای مهم دارای این نهشته‌ها را در برخی کشورها از جمله کانادا، استرالیا، اسپانیا، ژاپن، اورال روسیه، چین، عربستان و ترکیه در دست بررسی داشته است. ولی در این پروژه جای خالی ایران با وجود داشتن پتانسیل بالا از این نهشته‌ها به‌خوبی احساس می‌شود (شکل ۱).

با توجه به گسترش سنگ‌های آتشفشانی و توالی‌های آتشفشانی- رسوبی در ایران، بحث مطالعه و اکتشاف کانه‌زایی‌های سولفید توده‌ای می‌تواند بسیار جدی باشد چرا که مطالعات انجام شده تاکنون نشان می‌دهد کشور ما پتانسیل بالایی برای داشتن این نوع نهشته‌ها دارد.

پهنه سنندج- سیرجان از جمله پهنه‌های ساختاری پراهمیت و پرپتانسیل در ایران برای نهشته‌های VMS است. نهشته‌های VMS شناخته شده در این پهنه به ترتیب از شمال باختر به جنوب خاور عبارتند از (شکل ۲):

-پهنه سنندج- سیرجان شمالی

کانه‌زایی سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا (نوع Kuroko) (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۸۴ الف، ب، ۱۳۸۷؛ یارمحمدی، ۱۳۸۵؛ Yarmohammadi et al., 2008؛ تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹)

- پهنه سنندج- سیرجان جنوبی

کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس- روی- نقره بوانات (نوع Besshi) (موسیوند، ۱۳۸۲ و Mousivand et al., 2007)

کانه‌زایی سولفید توده‌ای روی- سرب- مس چاه‌گز (نوع Bathurst) (موسیوند، ۱۳۸۹؛ موسیوند و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸)

کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس- روی سرگز (سبزه‌یی و یوسفی، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۱؛ بدرزاده، ۱۳۸۸؛ بدرزاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ Badrzadeh et al., 2011) و کانه‌زایی‌های مشابه بسیاری مانند قلعه‌ریگی و سیه‌معدن در منطقه اسفندقه (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۴؛ دولتخواه و موسیوند، ۱۳۸۵)

ویژگی‌های کانه‌زایی‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان به صورت زیر است:

کانه‌زایی سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا در یک توالی آتشفشانی- رسوبی با سن کرتاسه میانی- بالایی (شکل ۳) رخ داده و سپس در اثر فاز لارامید دچار دگرشکلی شده است (یارمحمدی، ۱۳۸۵). سنگ‌های توالی میزبان ماهیت کالک‌آلکالن و ترکیب آندزیتی، آندزیتی- بازالتی و تراکی- آندزیتی دارند که ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها نشانگر محیط کافتی درون کمانی (Intra-arc) مرتبط با فرورانش حاشیه قاره‌ای است (یارمحمدی، ۱۳۸۵؛ تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹).

کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس- روی- نقره بوانات در دو افق چینه‌شناسی در توالی آتشفشانی- رسوبی دگرگون‌شده مجموعه سوریان با سن ژوراسیک زیرین (شکل ۳) و در گستره‌ای به‌طول بیش از ۳۵ کیلومتر به‌صورت ناپیوسته رخ داده است (موسیوند، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۹؛ Mousivand et al., 2007). سنگ‌های میزبان کانه‌زایی

بیشتر شامل سنگ‌های آذرآواری دگرگون‌شده (کلریت شیست) و متاپلیت هستند. سنگ‌های آذرین توالی سوریان ترکیب بازالتی، آندزیتی- بازالتی و به‌ندرت آلکالی- بازالتی و ماهیت تولئیتی تا انتقالی و بونینیتی دارند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی متابازالت‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در یک محیط کافتی کمانی آغازین (Incipient/primitive arc) مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر حاشیه قاره‌ای ایران نهشته شده‌اند (Mousivand et al., 2012).

کانه‌زایی سولفید توده‌ای روی- سرب- مس چاه‌گز درون توالی آتشفشانی- سوبی دگرگون‌شده چاه‌گز با سن ژوراسیک میانی (شکل ۳) در سه افق چینه‌ای ویژه به‌صورت کانسار چاه‌گز و رخدادهای معدنی بسیار رخ داده است (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸؛ موسیوند، ۱۳۸۹؛ موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰؛ Mousivand et al., 2008a & 2011). سنگ‌های آتشفشانی منطقه چاه‌گز ماهیت بایمدال (bimodal) و کالک‌آلکالن و دو نوع ترکیب اصلی داسیتی- ریولیتی و بازالتی- آندزیتی دارند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها و ماهیت آتشفشانی- رسوبی توالی کانسار چاه‌گز نشان دهنده نهشته شدن این توالی در یک محیط کافتی درون کمانی مرتبط با فرورانش حاشیه قاره‌ای است (موسیوند، ۱۳۸۹؛ Mousivand et al., 2011).

کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس- روی سرگز در یک توالی بایمدال با سن تریاس پسین- ژوراسیک پیشین (شکل ۳) به‌صورت کانسار سرگز و رخدادهای معدنی متعدد رخ داده است. سنگ‌های توالی بیشتر از بازالت اسپیلیتی و مقادیر کمتری داسیت ساخته شده‌اند که ماهیت تولئیتی دارند (Badrzadeh et al., 2011). محیط زمین‌ساختی رخداد این کانه‌زایی توسط Badrzadeh et al. (2011) احتمالاً یک محیط پشت کمانی دانسته شده است، با این حال، با توجه به ماهیت بونینیتی برخی از سنگ‌های توالی میزبان به نظر می‌رسد محیط نهشته شدن توالی میزبان و کانه‌زایی VMS سرگز یک محیط کافتی درون کمانی باشد.

در این پژوهش در ابتدا ویژگی‌های نهشته‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان با همدیگر مقایسه (جدول ۱) و سپس ارتباط تشکیل این کانه‌زایی‌ها با تاریخچه تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی این پهنه بررسی شده است.

۲- بحث

پهنه سنندج- سیرجان میزبان انواع گوناگونی از نهشته‌های VMS شامل پلیتیک مافیک یا نوع Besshi (کانسار مس- روی- نقره بوانات)، سیلیسی‌کلاستیک فلسیک یا نوع Bathurst (کانسار روی- سرب- مس چاه‌گز)، بایمدال مافیک یا نوع Noranda (کانسار مس- روی سرگز) و بایمدال فلسیک یا نوع Kuroko (کانسار غنی از طلای باریکا) است (موسیوند، ۱۳۸۹؛ Mousivand et al., 2008b; 2011).

مقایسه نهشته VMS روی- سرب- مس چاه‌گز با نهشته VMS مس- روی- نقره بوانات نشان می‌دهد که این دو کانسار با توجه به اختلاف سنی کم و قرارگیری‌شان در یک پهنه ساختاری و فاصله کم (جدول ۱ و شکل ۲)، تاریخچه زمین‌ساختی ماگمایی تقریباً یکسان و سرگذشت دگرگونی و دگرشکلی مشترکی دارند (موسیوند، ۱۳۸۹). از سوی دیگر، کانسار VMS مس- روی سرگز (Badrzadeh et al., 2011) نیز در پهنه سنندج- سیرجان جنوبی و در پایانه آن (منطقه اسفندقه- سرگز) رخ داده است (شکل ۲). این کانسار با سن ژوراسیک زیرین، مشابه با سن کانسار بوانات است. افزون بر این، توالی ناحیه‌ای میزبان کانه‌زایی نیز در منطقه اسفندقه- سرگز با منطقه بوانات شباهت زیادی دارد و در هر دو منطقه فعالیت‌های ماگمایی بیشتر از نوع مافیک است، با این تفاوت که در منطقه اسفندقه فعالیت‌های آتشفشانی بازی کمی شدیدتر و بیشتر از منطقه بوانات است و ماهیت بایمدال دارد. بیشتر توالی منطقه اسفندقه- سرگز را گدازه‌های بازالتی اسپیلیتی و به مقدار کمتر گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری فلسیک تشکیل می‌دهند (شکل ۳). در حالی که در منطقه بوانات حجم زیادی از سنگ‌های تخریبی و پلیتی به‌همراه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری و سیل مافیک وجود دارد (شکل ۳). همچنین مطالعات موسیوند (۱۳۸۹) نشان داده است که بازالت‌های توالی بوانات ماهیت تولئیتی تا انتقالی و بونینیتی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی محیط‌های کمانی ماگمایی آغازین را دارند. ولی Badrzadeh et al. (2011) برای بازالت‌های توالی سرگز که برخی از آنها ویژگی‌های سنگ‌های بونینیتی بوده و برخی دارای غنی‌شدگی در عناصر LIL و تهی‌شدگی در Ti، Nb و Ta هستند، یک محیط زمین‌ساختی پشت کمانی (Back Arc) پیشنهاد کرده است. اما این ویژگی‌ها بر پایه بسیاری از پژوهشگران (Barrie & Pattison, 1999; Wyman et al., 1999; Wyman, 2000; Piercey et al., 2001; Arndt, 2003; Murphy, 2007) می‌تواند نشانه یک محیط کمان ماگمایی آغازین (Incipient/primitive arc) باشد. بنابراین، محیط تشکیل نهشته‌های VMS مس- روی منطقه اسفندقه مانند کانسار سرگز و شمار زیادی نهشته دیگر به احتمال زیاد همانند کانه‌زایی‌های VMS منطقه بوانات بوده است (Mousivand et al., 2011; 2012).

بر پایه مطالعات موسیوند (۱۳۸۹)، در ژوراسیک زیرین کافت حاشیه قاره‌ای در مراحل اولیه بازشدگی قرار داشته و به‌صورت یک کمان ماگمایی آغازین بوده که در آن فعالیت ماگمایی تولئیتی حاکم بوده است. این محیط‌های کمانی آغازین در هر دو منطقه بوانات و اسفندقه- سرگز گسترش داشته‌اند. با این تفاوت که در منطقه اسفندقه- سرگز شدت فعالیت آتشفشانی بسیار زیادتر و میزان رسوب‌گذاری بسیار کمتر بوده در حالی که در منطقه بوانات شدت فعالیت رسوب‌گذاری بیشتر از فعالیت آتشفشانی بوده است. بنابراین، احتمالاً منطقه اسفندقه- سرگز مرحله پیشرفته‌تری از کافت کمانی را نسبت به منطقه بوانات داشته است. با وجود سن، توالی میزبان و محیط تشکیل کانه‌زایی‌های VMS مشابه مناطق اسفندقه- سرگز و بوانات، تفاوت‌هایی نیز میان این کانه‌زایی‌ها وجود دارد که برای نمونه می‌توان به شکل هندسی و تا حدودی همبود کانی‌شناسی اشاره کرد (جدول ۱).

مقایسه نهشته‌های VMS پهنه سنندج- سیرجان جنوبی با یکدیگر نشان می‌دهد که نهشته‌های بوانات و سرگز از دید برخی ویژگی‌ها مانند برخی سنگ‌های درون‌گیر و توالی میزبان و همبود کانی‌شناسی با کانسار چاه‌گز تفاوت‌های آشکاری دارند که به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی این تفاوت‌ها، ماهیت ماگمایی متفاوت و فلسیک بودن ترکیب اصلی سنگ‌های آتشفشانی توالی چاه‌گز و مافیک بودن آنها در توالی‌های میزبان بوانات و سرگز باشد. افزون بر این، ماهیت ماگما در مناطق بوانات و سرگز (با سن ژوراسیک زیرین) از نوع تولئیتی بوده، اما در منطقه چاه گز (با سن ژوراسیک میانی) از نوع کالک آلکالن است. به‌گفتار دیگر، ایجاد و گسترش کافت کمانی در مناطق بوانات و سرگز در مراحل آغازین قرار داشته در حالی که کافت درون کمانی در منطقه چاه‌گز به بلوغ رسیده است و این دلیل اصلی تفاوت در ماهیت ماگما و نوع کانه‌زایی VMS در این مناطق است.

بر پایه مقایسه نهشته‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان جنوبی و استفاده از مدل Sheikholeslami et al. (2008) (شکل ۴)، بررسی ارتباط میان چگونگی تشکیل کانسارهای VMS در پهنه سنندج- سیرجان و تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی این پهنه و تاریخچه باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس نشان می‌دهد که این کانه‌زایی‌ها همگی در کافت درون کمانی ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران در بازه زمانی تریاس پسین- ژوراسیک میانی نهشته شده و سپس در اثر فاز کوهزایی کیمرین جوان در ژوراسیک پایانی و احتمالاً فاز معادل لارامید در کرتاسه پایانی و رخدادهای جوان‌تر دچار دگرگونی و دگرشکلی در حد رخساره شیست سبز شده‌اند (شکل ۴).

مقایسه کانسار VMS غنی از طلای باریکا در بخش شمالی پهنه سنندج- سیرجان با نهشته‌های VMS موجود در بخش جنوبی این پهنه (جدول۱) نیز می‌تواند به فهم ارتباط این کانه‌زایی‌ها با تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی این پهنه کمک کند. کانسار باریکا به‌علت داشتن میزان طلای بالا و باریت زیاد و برخی ویژگی‌های

دیگر (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹) (جدول ۱) تفاوت زیادی با دیگر نهشته‌های VMS پهنه سنندج- سیرجان دارد. هر چند که سنگ‌های توالی میزبان این کانسار در مقیاس نهشته از سنگ‌های بازی- حدواسط شامل بازالت، آندزیت- بازالت و تراکی‌آندزیت، سنگ‌های آذرآواری و رسوبی پلیتی ساخته شده است ولی در مقیاس ناحیه‌ای توالی آتشفشانی کرتاسه میزبان این کانسار ماهیت بایمدال و سنگ‌های داسیتی نیز دارد (Azizi & Jahangiri, 2008). ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ماهیت کالک‌آلکالن سنگ‌های آتشفشانی توالی باریکا نشان‌دهنده تشکیل آنها در یک محیط درون کمانی و کششی (Pull-apart) مرتبط با فرورانش نوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران در زمان کرتاسه میانی- بالایی است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴؛ عزیزی و معین‌وزیری، ۱۳۸۶؛ Azizi & Jahangiri, 2008). بنابراین کانسار باریکا نیز همانند دیگر کانسارهای VMS پهنه سنندج- سیرجان در محیط‌های کششی کمانی ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران در زمان مزوزوییک رخ داده است.

۳- ارتباط کانه‌زایی VMS و تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی در پهنه سنندج- سیرجان

تاکنون مدل‌های گوناگونی برای تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی پهنه سنندج- سیرجان و باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس ارائه شده است (محجل و سهندی، ۱۳۷۸؛ شفیعی بافتی، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶؛ Stocklin, 1968; Berberian & King, 1981; Sengör, 1991; Alavi, 1994; Glennie, 2000; Sheikholeslami, 2002; Mohajjel et al., 2003; Agard et al., 2005; Shahabpour, 2005; Ghasemi & Talbot, 2006; Sheikholeslami et al., 2008; Omrani et al., 2008; Fazlnia et al., 2009). برخی پژوهشگران از جمله Sheikholeslami (2002) و Sheikholeslami et al. (2008) مجموعه‌های دگرگونی منطقه نیریز را از دید ساختاری مطالعه و با سن‌سنجی مجموعه‌های پالئوزوییک و توده‌های نفوذی چاه‌قند و چاه‌دزدان، یک مدل زمین‌ساختی برای توضیح تحولات منطقه و ارتباط آنها با باز شدن نوتتیس، فرورانش آن به زیر پوسته ایران و بسته شدن آن ارائه کرده‌اند، ولی چگونگی شکل‌گیری کمربند افیولیتی شهربابک- بافت را در نظر نگرفته‌اند، که در این پژوهش به آن توجه شده است.

اکنون بر پایه مقایسه نهشته‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان و استفاده از مدل‌های یادشده در بالا و به‌ویژه مدل Sheikholeslami et al. (2008)، یک مدل زمین‌ساختی- ماگمایی برای توضیح ارتباط میان چگونگی تشکیل کانسارهای VMS در پهنه سنندج- سیرجان و تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی این پهنه و تاریخچه باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس به‌صورت زیر ارائه می‌شود (شکل ۴):

۱- نازک‌شدگی پوسته قاره‌ای در پالئوزوییک زیرین (Sabzehei, 1974; Alric & Virlogeoux, 1977; Rachid Nejad-Omran et al., 2002)، تشکیل کافت درون قاره‌ای، بازشدگی نوتتیس و جداشدن ایران از گندوانا در پالئوزوییک بالایی (اوائل تا اواسط پرمین) (Takin, 1972; Berberian & King, 1981; Sheikholeslami, 2002; Sheikholeslami et al., 2008) و گسترش آن تا تریاس میانی (Berberian & King, 1981; Sheikholeslami et al., 2008) (شکل‌های ۴- الف و ب). در منطقه چاه‌گز کربنات‌ها و بازالت‌های پرمین بر پایه Sheikholeslami et al. (2008) احتمالاً در کناره آرام یک رژیم کششی نهشته شده‌اند.

۲- شروع فرورانش مورب (Oblique Subduction) پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران در تریاس بالایی و در نتیجه رخداد فاز کوهزایی کیمرین پیشین که سبب ایجاد منشورهای برافزایشی (Accretionary Prism) در توالی پالئوزوییک- تریاس میانی و دگرگونی آنها در درجه آمفیبولیت تا شیست سبز شده است (Sheikholeslami et al., 2008) (شکل ۴- ج). شروع فرورانش توسط Arvin et al. (2007) منطبق با نفوذ توده گرانیتوییدی سیاه‌کوه در منطقه اسفندقه، در پهنه سنندج- سیرجان جنوبی، در زمان تریاس پسین دانسته شده است. ویژگی‌های تولئیتی، انتقالی و کالک‌آلکالن این توده نشان‌دهنده ارتباط آن با فرورانش حاشیه قاره‌ای با موقعیتی نزدیک به گودال است (Arvin et al., 2007).

۳- ادامه فرورانش با مؤلفه مورب در تریاس پسین- ژوراسیک زیرین موجب ایجاد کشش سریع در پوسته حاشیه قاره‌ای ایران (پهنه سنندج- سیرجان) شد و در نتیجه حوضه‌های کششی (Pull-apart) تشکیل می‌شوند. این حوضه‌های کششی به‌صورت کافت حاشیه قاره‌ای در مراحل اولیه بازشدگی قرار داشته و به‌صورت یک کمان ماگمایی آغازین بوده‌اند که در آن فعالیت ماگمایی تولئیتی حاکم بوده است. این محیط‌های کمانی آغازین در هر دو منطقه بوانات و اسفندقه گسترش داشته‌اند (شکل‌های ۴- ج و د)، با این تفاوت که در منطقه اسفندقه برخلاف منطقه بوانات شدت فعالیت‌های آتشفشانی بسیار زیادتر از فعالیت‌های رسوب‌گذاری بوده است. بنابراین، احتمالاً منطقه اسفندقه مرحله پیشرفته‌تری از کافت کمانی را نسبت به منطقه بوانات سپری کرده است. در منطقه بوانات، در حوضه‌های کششی و فروبومی (گرابنی) یادشده که توسط گسل‌های عادی کنترل می‌شده‌اند، محیط‌های دریایی به نسبت کم‌ژرفا شکل گرفته‌اند. همزمان با ورود ذرات تخریبی قاره‌ای به درون این حوضه‌ها، گدازه‌های بازی نیز به‌صورت همزمان با رسوب‌گذاری به‌علت کشش سریع و نفوذ ماگماهای بازی با آلودگی پوسته‌ای کم و ماهیت بیشتر تولئیتی و کمی آلکالن وارد حوضه شده و یا به‌صورت سیل در رسوبات سخت نشده جای گرفته‌اند. این سیل‌ها با تولید شار حرارتی موجب ایجاد و گسترش سامانه‌های همرفت (کنوکسیونی) گرمابی زیردریایی در طول گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری و آتشفشان شده‌اند که نتیجه آن تشکیل نهشته‌های VMS مس- روی- نقره نوع Besshi است. در نزدیک پایانه جنوبی پهنه سنندج- سیرجان و در منطقه اسفندقه نیز فعالیت‌های آتشفشانی بازی کمی شدیدتر از منطقه بوانات و بیشتر توالی را گدازه‌های بازالتی اسپیلیتی با ماهیت تولئیتی به‌همراه سنگ‌های آذرآواری تشکیل داده است که همانند منطقه بوانات به‌احتمال در یک محیط کمان ماگمایی آغازین نهشته شده‌اند. بنابراین در منطقه اسفندقه نیز همانند منطقه بوانات، در محیط کمانی آغازین نهشته‌های متعدد VMS مس- روی مانند کانسار سرگز و شمار زیادی نهشته دیگر (همچون قلعه‌ریگی و سیه‌معدن (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۴؛ دولتخواه و موسیوند، ۱۳۸۵) تشکیل شده‌اند.

فرایند ایجاد کافت کمانی حاشیه قاره‌ای در شروع با پدیده گنبدی شدن (Diapirism) و نفوذ توده‌های نفوذی همراه است (Murphy, 2007) که به‌نظر می‌رسد پیدایش توده‌های نفوذی بازی- اولترابازیک مانند صوغان، سیخوران و آب‌دشت (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۰؛ Ahmadipour et al., 2003)، توده گرانیتوییدی سیاه‌کوه (با سن تریاس پسین) (ملکی‌زاده، ۱۳۷۸؛ Arvin et al., 2007) در منطقه اسفندقه، توده‌های گابرویی چاه‌قند و رباط (با سن تریاس پسین- ژوراسیک پیشین) (سبزه‌یی و همکاران، ۱۳۷۲)، مجموعه آنورتوزیتی- گرانیتی چاه‌دزدان (با سن ژوراسیک میانی) (Fazlnia et al., 2007) در منطقه چاه‌گز و توده گرانیتوییدی بندنو در منطقه بوانات (با سن تریاس پسین) (نوری خانکهدانی و همکاران، ۱۳۸۵) محصول این فرایند در پهنه سنندج- سیرجان جنوبی است.

ادامه فرورانش مورب در ژوراسیک میانی موجب گسترش حوضه‌های کششی در مناطق درونی‌تر پهنه سنندج- سیرجان گشته است (شکل ۴- هـ). در نتیجه، ستبرای بیشتر پوسته قاره‌ای و هضم بیشتر آن توسط ماگماهای بازی سبب ایجاد ماگماهای فلسیک و فعالیت ماگمایی بایمدال در منطقه چاه‌گز به‌صورت گدازه‌ها و سیل‌های فلسیک دارای ماهیت کالک‌آلکالن شده است که به همراه گدازه‌های بازی وارد حوضه در حال رسوب‌گذاری می‌شده‌اند. شدت فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه تقریباً با نرخ رسوب‌گذاری برابر بوده و گسترش سامانه‌های گرمابی زیردریایی موجب تشکیل نهشته‌های VMS روی- سرب- مس شده است. ماگماهای فلسیک

در منطقه اسفندقه، به صورت دایک‌ها و گنبدهای داسیتی، توالی میزبان کانه‌زایی را قطع می‌کنند و در منطقه بوانات نیز به‌صورت سیل و گدازه در مجموعه کولی‌کش و مجموعه مروست -که جوان‌تر از توالی سوریان (میزبان کانسار بوانات) است- نمایان می‌شوند (موسیوند، ۱۳۸۹). البته در دوره تریاس پسین- ژوراسیک، افزون‌بر کانه‌زایی VMS در پهنه سنندج- سیرجان، کانه‌زایی‌های دیگری نیز به‌صورت بروندمی زیردریایی رخ داده است که از جمله آنها می‌توان به کانه‌زایی تنگستن چینه‌کران در منطقه شازند- بامسر- نظام‌آباد (عزیزپور مغوان، ۱۳۷۹؛ فردین‌دوست، ۱۳۸۳؛ عبدی، ۱۳۸۶) و کانه‌زایی آهن آتشفشانی- رسوبی در منطقه همدان- کرمانشاه (توکلی، ۱۳۸۳؛ متولی، ۱۳۸۴؛ کاظمی‌راد و راستاد، ۱۳۸۸) اشاره کرد. گفتنی است که توده گرانیتوییدی بروجرد، در پهنه سنندج- سیرجان شمالی (با سن ژوراسیک میانی)، نیز مرتبط با همین فرورانش است (قادری و همکاران، ۱۳۸۳؛ احمدی خلجی و همکاران، ۱۳۸۵).

۴- تغییر رژیم کششی به رژیم فشارشی در اثر فاز کوهزایی کیمرین پسین در ژوراسیک پایانی(Berberian & King, 1981) موجب بسته‌شدن و بالاآمدن حوضه کمانی و دگرگون شدن توالی‌های میزبان کانه‌زایی VMS در مناطق بوانات، چاه‌گز و سرگز در حد رخساره شیست سبز شده است (شکل ۴- و). البته میزان دگرشکلی و دگرگونی در منطقه اسفندقه و سرگز بسیار کم است. در اثر این رویداد، یک حوضه اقیانوسی پشت کمانی در لبه شمال خاوری پهنه سنندج- سیرجان جنوبی (شهربابک-بافت)شروع‌به‌بازشدن‌کرده(موسیوند،۱۳۸۹)ودرکرتاسه‌گسترش‌یافته‌است (Arvin & Robinson, 1994; Shahabpour, 2005) (شکل۴- و). البته در بخش شمالی این پهنه نیز به باور Azizi & Moiinevaziri (2009) و Pessagno et al. (2005) یک حوضه اقیانوسی پشت کمانی (حوضه خوی- زنجان) شکل می‌گیرد.

۵- رخداد دوباره فاز کششی در کرتاسه میانی- پایانی، در اثر ادامه یافتن فرورانش مورب، موجب گسترش حوضه های کششی درون کمانی در بخش شمالی پهنه سنندج- سیرجان در منطقه باریکا- سردشت شده که با فعالیت ماگمایی کالک‌آلکالن و بایمدال بازالتی- آندزیتی و داسیتی- تراکی آندزیتی همراه با رسوب‌گذاری بوده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Azizi & Jahangiri, 2008). این حوضه‌ها برای رخداد کانه‌زایی VMS غنی از طلا در منطقه باریکا (یارمحمدی، ۱۳۸۵) مناسب بوده‌اند.

۶- فاز فشارشی ناشی از رخداد کوهزایی معادل لارامید در کرتاسه پایانی، موجب بسته شدن و بالاآمدگی حوضه درون کمانی در باریکا، دگرشکلی میلونیتی در بسیاری از نقاط پهنه سنندج- سیرجان (از جمله مناطق باریکا و چاه‌گز) و ایجاد منشورهای برافزایشی می‌شود. همچنین بسته شدن حوضه پشت کمانی شهربابک- بافت موجب گسترش آمیزه‌های رنگین (Arvin & Robinson, 1994) می‌شود. این رویداد مؤلفه برشی دارد و موجب دگرشکلی میلونیتی نهشته‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان شده است. البته رخداد واحدهای آتشفشانی- رسوبی جزایر کمانی حسن‌آباد در شمال نیریز (Babaie et al., 2001) نیز احتمالاً به این فاز مربوط بوده است. سرانجام عملکرد فازها و حرکات زمین‌ساختی جوان‌تر در سنوزوییک موجب گسترش گسل‌خوردگی امتدادلغز و راندگی در نهشته‌های یاد شده در بالا شده است. ادامه فرورانش نیز موجب ایجاد و گسترش کمربند آتشفشانی —نفوذی (ولکانوپلوتونیکی) ارومیه- دختر در ائوسن- الیگو- میوسن شده است (شکل ۴- ز). در واقع کمان ماگمایی ناشی از فرورانش در زمان مزوزوییک در پهنه سنندج- سیرجان قرار داشته و ادامه فرورانش موجب جابه‌جایی این کمان ماگمایی به سوی ایران شده که در سنوزوییک در کمربند ارومیه- دختر نمود پیدا کرده است (Omrani et al., 2008). گفتنی است که رخداد فعالیت‌های آتشفشانی- رسوبی در کمربند ارومیه- دختر، در محیط‌های کششی در منطقه کاشان موجب نهشته‌شدن نهشته‌های سولفید توده‌ای نوع کوروکو مانند باریت دره (درین) شده است (نظری، ۱۳۷۰؛ نظری و همکاران، ۱۳۷۰) (شکل ۴- ز). Geleni (2000) تشکیل پهنه ارومیه- دختر را ناشی از فرورانش اقیانوس نوتتیس ۲ (که همان حوضه کششی شهربابک- بافت است) به زیر ایران می‌داند. ولی به باور Omrani et al. (2008) کمربند ارومیه- دختر ناشی از فرورانش همان پوسته اقیانوسی نوتتیس اصلی است.

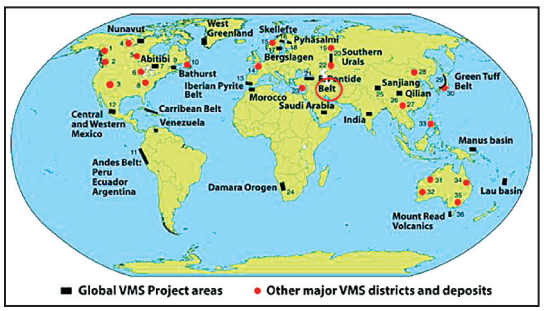
۷- در ادامه نیز رخداد برخورد (Collision) در میوسن و بالاآمدگی (Uplift) پس از برخورد موجب پیدایش فعالیت ماگمایی آلکالن و آداکیتی شده (Omrani et al., 2008) که نتیجه آن رخداد کانه‌زایی‌های طلای همراه این فعالیت ماگمایی در میوسن و زمان‌های بعدی از جمله کانسارهای طلای نوع اپی‌ترمال ساری‌گونی/ داشکسن (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹؛ Richards et al., 2006) و چاه‌زرد (کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۸) بوده است. به باور Shafiei et al. (2008) رخداد کانه‌زایی‌های مس- مولیبدن پورفیری در کمربند ارومیه- دختر نیز ناشی از گسترش فعالیت ماگمایی شبه‌آداکیتی در زمانی پس از برخورد در نئوژن است. از این کانه‌زایی‌ها برای نمونه کانسارهای سرچشمه، میدوک و سونگون را می‌توان نام برد.

۴- نتیجه‌گیری

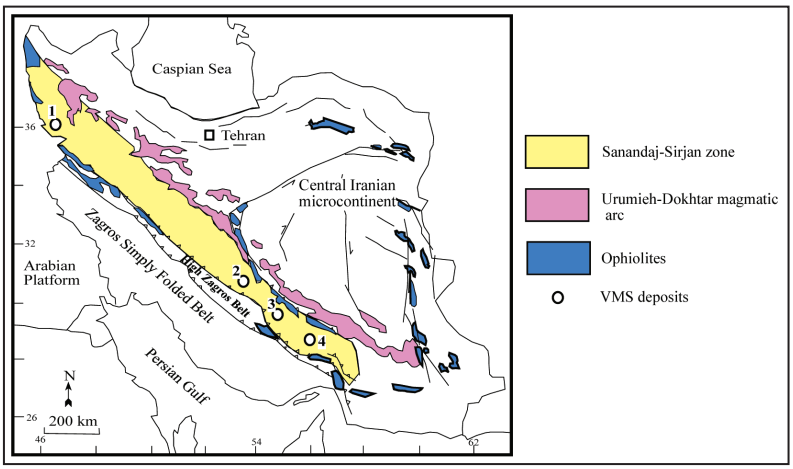
مقایسه انواع گوناگون نهشته‌های VMS در پهنه سنندج- سیرجان و بررسی ارتباط تشکیل آنها با فرایندهای زمین‌ساختی- ماگمایی در این پهنه نشان‌دهنده تشکیل آنها در حوضه‌های کافتی درون کمانی مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوس نوتتیس به زیر صفحه قاره‌ای ایران در زمان ژوراسیک و کرتاسه بوده است. به‌نظر می‌رسد دلیل رخداد انواع گوناگون VMS در این پهنه، تحول و تکامل ماهیت فعالیت ماگمایی و حوضه‌های کافتی درون کمانی است. نهشته‌های بوانات و سرگز از دید برخی ویژگی‌ها از جمله نوع سنگ‌های آتشفشانی درون‌گیر و توالی میزبان و همبود کانی‌شناسی با کانسار چاه‌گز تفاوت‌های آشکاری دارند که دلیل اصلی این تفاوت‌ها می‌تواند ترکیب ماگمایی متفاوت یعنی فلسیک بودن سنگ‌های آتشفشانی در توالی میزبان کانه‌زایی در منطقه چاه‌گز و مافیک بودن آنها در توالی‌های میزبان مناطق بوانات و سرگز است. به گفتار دیگر ایجاد و گسترش کافت کمانی در مناطق بوانات و سرگز در مراحل آغازین قرار داشته در حالی که کافت درون کمانی در منطقه چاه‌گز به بلوغ رسیده است و این دلیل اصلی تفاوت در ماهیت و ترکیب ماگما و نوع کانه‌زایی VMS در این مناطق است. پهنه سنندج- سیرجان و به‌ویژه بخش جنوبی آن به دلیل میزبانی انواع گوناگون و بزرگ‌ترین و بیشترین ذخایر VMS، جذاب‌ترین پهنه ساختاری در ایران برای اکتشاف این نهشته‌ها است و بنابراین، نویسندگان، پی‌جویی و اکتشاف این ذخایر را در پهنه سنندج- سیرجان پیشنهاد می‌کنند و بر آن تأکید دارند.

سپاسگزاری

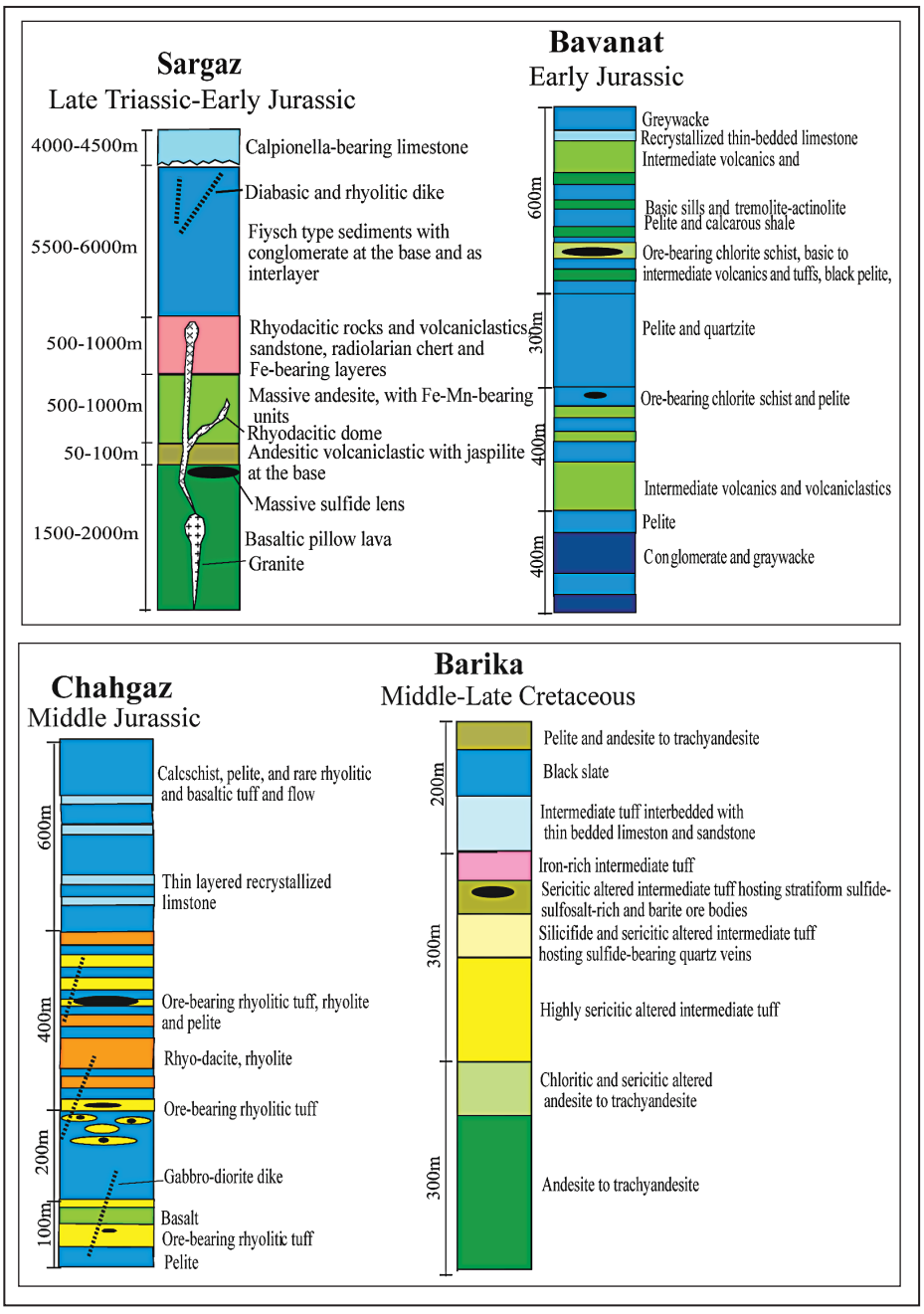
بدین‌وسیله از نظرات ارزشمند جناب آقایان دکتر محمد محجل و دکتر محمدرضا شیخ‌الاسلامی و دیگر عزیزانی که نام بردن از همه ایشان در اینجا ممکن نیست، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.



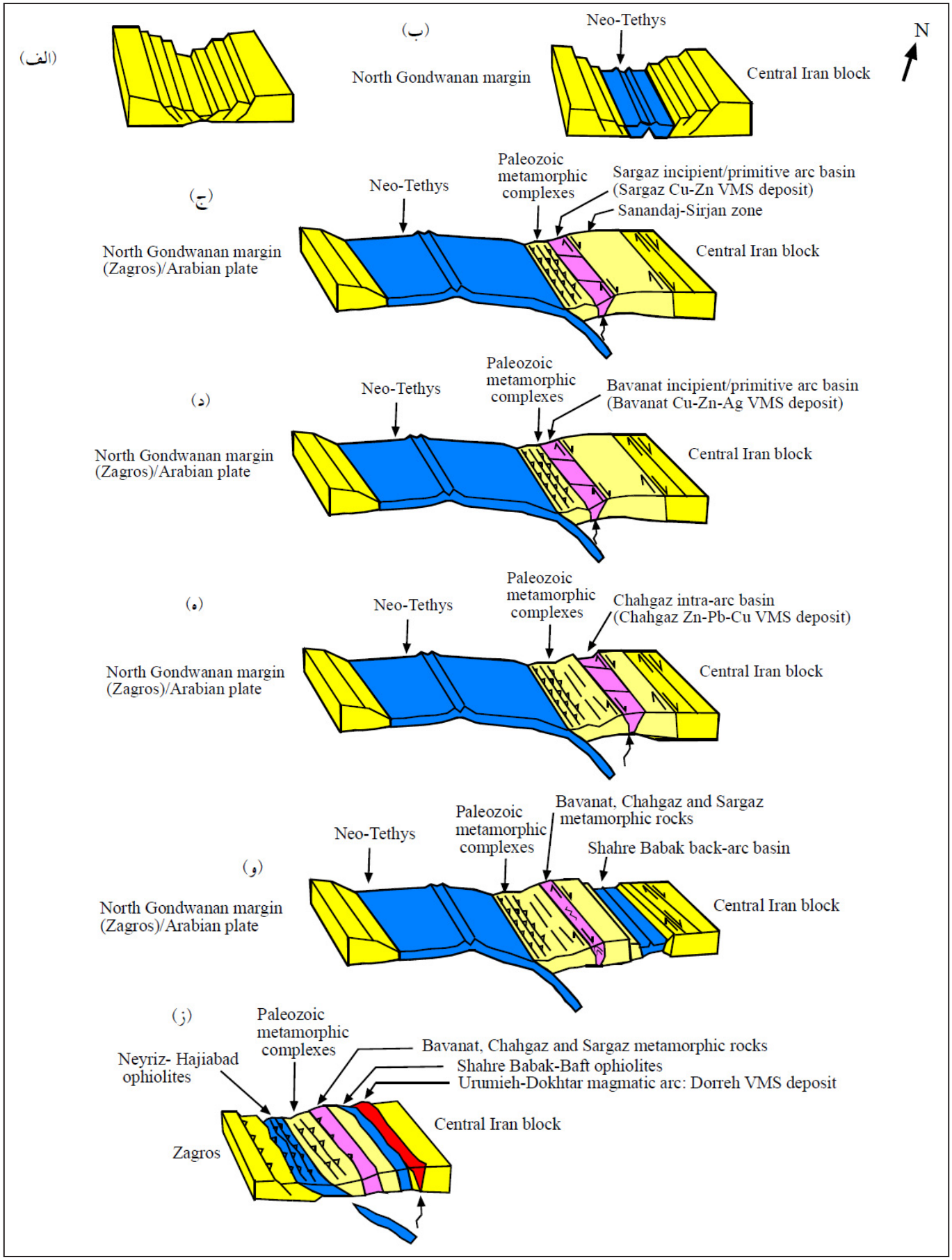
شکل۱- موقعیت مناطق معدنی و کانسارهای مهم سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) دنیا و کمربندهای مهم مورد مطالعه دارای این نهشته‌ها در پروژه جهانی IGCP-502 (Allen et al., 2002) و موقعیت ایران (دایره سرخ)



شکل ۲- موقعیت کانسارهای VMS در پهنه سنندج- سیرجان؛ ۱: کانسار غنی از طلای باریکا (نوع بایمدال فلسیک یا Kuroko)؛ ۲: کانسار مس- روی- نقره بوانات (نوع پلیتیک مافیک یا Besshi)؛ ۳: کانسار روی- سرب- مس چاه‌گز (نوع سیلیسی‌کلاستیک فلسیک یا Bathurst) و ۴: کانسار مس- روی سرگز (نوع بایمدال مافیک یا Noranda) (نقشه از Ghasemi & Talbot, 2006)



شکل ۳- مقایسه توالی‌های میزبان کانسارهای VMS پهنه سنندج- سیرجان. توالی‌های میزبان کانسارهای بوانات، باریکا، سرگز و چاه‌گز به‌صورت تغییریافته به ترتیب از موسیوند (۱۳۸۲)، یارمحمدی و همکاران (۱۳۸۷)، Badrzadeh et al. (2011) و موسیوند (۱۳۸۹).



شکل ۴- ارتباط میان کانه‌زایی VMS و تحولات زمین‌ساختی- ماگمایی پهنه سنندج- سیرجان بر مبنای مدل Sheikholeslami et al. (2008)

جدول ۱- مقایسه ویژگی های مختلف انواع گوناگون کانسارهای VMS در پهنه سنندج- سیرجان

مهم‌ترین ویژگی‌های کانه‌زایی	کانسار چاه‌گز	کانسار بوانات	کانسار سرگز	کانسار باریکا
پهنه ساختاری	سنندج- سیرجان جنوبی	سنندج- سیرجان جنوبی	سنندج- سیرجان جنوبی	سنندج- سیرجان شمالی
محیط زمین‌ساختی	کافت کمانی- درون کمانی (arc/intra-arc)	کافت درون کمانی آغازین (primitive arc)	کافت پشت کمانی؟ (back arc)، کافت درون کمانی آغازین	کافت کمانی- درون کمانی
ماهیت ماگما	بایمدال، کالک آلکالن	تولئیتیک	بایمدال، تولئیتیک	بایمدال، کالک آلکالن
سنگ‌های توالی میزبان	داسیت، ریولیت آذرآواری، شیل سیاه، بازالت، آهک	آذرآواری، شیل سیاه، بازالت-آندزیت، آهک، کنگلومرا	بازالت، آندزیت، آذرآواری، ریولیت، داسیت	آندزیت، آندزیت-بازالت، تراکی آندزیت، آذرآواری
سنگ‌های درونگیر	آذرآواری، شیل سیاه، داسیت، ریولیت	آذرآواری، شیل سیاه، بازالت	بازالت، آندزیت، آذرآواری	آذرآواری، آندزیت
سن کانه‌زایی و سنگ میزبان	ژوراسیک میانی	ژوراسیک زیرین	تریاس بالا- ژوراسیک زیرین	کرتاسه میانی- بالایی
شکل هندسی پیکره‌های معدنی	صفحه‌ای شکل	صفحه‌ای شکل	تپه‌ای (mound) و عدسی شکل	عدسی شکل
پهنه استرینگر	دارد	دارد	دارد	دارد
ساخت و بافت	توده‌ای، نواری زیاد، دانه پراکنده، رگه‌ای و انواع ساخت و بافت‌های ناشی از دگرشکلی	توده ای، نواری، لامینه، دانه پراکنده، رگه‌ای و انواع ساخت و بافت‌های ناشی از دگرشکلی	توده‌ای، نواری، دانه پراکنده، رگه‌ای و پرکننده فضای خالی	توده‌ای، نواری (Shear band)، پراکنده، پرکننده فضای خالی، رگه‌ای و انواع ساخت و بافت‌های ناشی از دگرشکلی
کانی‌های معدنی	پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، آرسنوپیریت تتراهدریت، بورنیت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، اسفالریت، مارکاسیت، گالن، کوبانیت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، تتراهدریت	پیریت، اسفالریت، تتراهدریت-تنانتیت، بورنونیت- بولانژریت، تووینیت- وینیت، استیبنیت، جیمسونیت، گالن، الکتروم، کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کوارتز، سریسیت، کلریت، کربنات، باریت ناچیز	کلریت، کوارتز، کربنات، سریسیت	کلریت، کوارتز، کربنات، سریسیت، باریت ناچیز	کوارتز، سریسیت، کلریت، کربنات، باریت زیاد
دگرسانی	کلریتی، سریسیتی، کربناتی، سیلیسی	کلریتی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلی، سیلیسی، آلبیتی	کلریتی، آرژیلی، سریسیتی	سرسیتی، سیلیسی، پیریتی، کلریتی، کربناتی، آلبیتی، آرژیلی
ژئوشیمی ماده معدنی	As بالا	Co و Se زیاد	Co، Te و As	حضور عناصر فرعی As,Sb,Hg,Tl در ماده معدنی
تیپ کانه زایی	سیلیسی کلاستیک فلسیک یا Bathurst	پلیتیک مافیک یا Besshi	بایمدال مافیک یا Noranda	بایمدال فلسیک یا Kuroko
وضعیت دگرشکلی	تحت تأثیر پهنه برشی شکنا و شکنا- شکل‌پذیر	تحت تأثیر پهنه برشی شکنا و شکنا- شکل‌پذیر	دگرشکل بسیار ضعیف	تحت تأثیر پهنه برشی شکنا و شکنا- شکل‌پذیر
تناژ و عیار	در حال اکتشاف- 6.00 Mt @ 15% Zn, 10% Pb, 1.00% Cu, up to 440 g/t Ag, up to 4.35 g/t Au	2.34 Mt @ 2.00% Cu, 0.50 % Zn, 0.20% Pb, up to 68 g/t Ag, up to 0.50 g/t Au	3 Mt @ 1.34% Cu, 0.38% Zn, 0.08% Pb, 7 g/t Ag, 0.24 g/t Au	در حال اکتشاف- 0.5 Mt @ 4.00% Zn, 2.00 % Pb, 1.00 % Cu, up to 100 g/t Ag, up to 100 g/t Au
مراجع	موسیوند (۱۳۸۹)؛ Mousivand et al. (2011)	موسیوند (۱۳۸۲)؛ Mousivand et al. (2007; 2012)، موسیوند (۱۳۸۹)	بدرزاده (۱۳۸۸)؛ موسیوند (۱۳۸۹)؛ Badrzadeh et al., 2011	یارمحمدی (۱۳۸۵)؛ یارمحمدی و همکاران (۱۳۸۷) و تاج الدین و همکاران (۱۳۸۹)

کتابنگاری

احمدی‌خلجی، ا.، اسماعیلی، د. و ولی‌زاده، م.، ۱۳۸۵- خاستگاه و ویژگی‌های تکتونیکی توده گرانیتوییدی بروجرد غرب ایران. شماره ۶۰، ص. ۳۲-۴۷.

بدرزاده، ز.، ۱۳۸۸- پترولوژی و ژئوشیمی گدازه‌های بالشی بازالتی شمال‌غرب جیرفت با نگرشی ویژه بر کانه‌زایی مس- روی (VMS) همراه آنها، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه تربیت مدرس.

بدرزاده، ز.، سبزه‌یی، م.، راستاد، ا.، امامی، م. و خیمنو، د.، ۱۳۸۹- مراحل مختلف کانه‌زایی سولفیدی در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز، شمال باختر جیرفت، سنندج- سیرجان جنوبی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶.

تاج‌الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب‌پور، ع. و محجل، م.، ۱۳۸۹- مراحل تشکیل و تکوین کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، شمال باختر پهنه دگرگونه سنندج- سیرجان: بر اساس مطالعه ساخت، بافت و میکروترمومتری سیالات درگیر، فصلنامه زمین‌شناسی اقتصادی، سال دوم، شماره ۱، ص ۹۷-۱۲۱.

توکلی، ح.، ۱۳۸۳- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسارهای آهن شمال غرب همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۰ص.
دولتخواه، ر. و موسیوند، ف.، ۱۳۸۵- گزارش بازدید از کانه‌زایی‌های مس و منگنز در منطقه سرگز- متاع، جنوب غرب جیرفت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
راستاد، ا.، نیرومند، ش.، امامی، م. ح. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۷۹- خاستگاه کانسار آنتیموان، آرسنیک و طلا در مجموعه ولکانوپلوتونیک داشکسن (خاور قروه، استان کردستان)، شماره ۳۷-۳۸، ص ۲-۲۳.
رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۸۴- گزارش پیشرفت کار طرح تعیین نواحی امیدبخش از دیدگاه تیپ‌های کانساری، وزارت صنایع و معادن.
سبزه‌یی، م. و یوسفی، ا.، ۱۳۷۹- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کانسار مس ماسیوسولفید سرگز کوه جیرفت، شرکت آرمان پژوه سبزواران.
سبزه‌یی، م. و یوسفی، ا.، ۱۳۸۱- گزارش پایان کار اکتشافات معدنی در کانسار مس ماسیوسولفید سرگز کوه جیرفت، شرکت آرمان پژوه سبزواران.
سبزه‌یی، م.، اشراقی، ص.، روشن‌روان، ج.، امینی، ب.، سراج، م. و علایی مهابادی، س.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ نیریز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
شفیعی بافتی، ش.، ۱۳۸۶- تحلیل ساختاری سنگ‌های دگرگونی منطقه فاریاب (جنوب اسفندقه)، رساله دکترای تکتونیک، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۵۰ص.
شفیعی‌بافتی، ش.، ۱۳۷۹- تکوین ساختاری و تکتونیکی سنگ‌های پالئوزوییک - مزوزوییک کمربند سنندج- سیرجان منطقه خبر (جنوب‌غربی بافت)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
عبدی، م.، ۱۳۸۶- لیتوژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی در کانسارهای تنگستن- قلع (مس) ده‌حسین و نظام‌آباد و مقایسه با کانسار بامسر، جنوب غرب شازند، اراک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰ص.
عزیزپور مغوان، م.، ۱۳۷۹- ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنز اسکارن بامسر و رخداد تنگستن رگه‌ای روشت و مقایسه آنها با کانسار تنگستن نظام‌آباد (شازند، اراک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۰ص.
عزیزی، ح. و معین‌وزیری، ح.، ۱۳۸۶- ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه سقز: استفاده از عناصر نادر خاکی (REE)، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۲۷: ص ۳۹ تا ۵۵.
عزیزی، ح.، معین‌وزیری، ح. و محجل، م.، ۱۳۸۴- حوضه‌های محلی کششی (Pull-apart) برای ولکانیسم کرتاسه در شمال سنندج، استان کردستان، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
فردین‌دوست، ز.، ۱۳۸۳- ژئوشیمی ایزوتوپی و عناصر کمیاب کانسارهای تنگستن (مس- قلع) جنوب غرب آستانه، اراک، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۳ (۱): ص. ۲۹ تا ۴۲.
قادری، م.، رمضانی، ج.، ولی‌زاده، م.، فردین‌دوست، ز. و احمدی‌خلجی، ا.، ۱۳۸۳- تعیین سن اورانیم- سرب کمپلکس نفوذی ژوراسیک بروجرد و توده‌های وابسته در زون سنندج- سیرجان، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
قاسمی، ح.، سبزه‌یی، م.، ژوتو، ت.، بلون، ا.، راستاد، ا. و امامی، م. ه.، ۱۳۸۰- پدیده‌های سنگ‌زایشی مجموعهٔ الترامافیک- مافیک سیخوران در جنوب خاوری ایران، فصلنامهٔ علوم‌زمین، شماره ۳۹ و ۴۰، ص. ۴۶ تا ۶۹.
کاظمی‌راد، م. و راستاد، ا.، ۱۳۸۸- کانی‌شناسی، دگرسانی و ساخت و بافت کانسارهای آهن - منگنز هنشک، گلی و چشمه‌اسی در شمال شرق صفاشهر، استان فارس، مجموعه مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
کوهستانی، ح.، قادری، م. و امامی، م. ح.، ۱۳۸۸- ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی کانسار چاه‌زرد، جنوب‌باختری یزد: کانی‌سازی نقره- طلای اپی‌ترمال با میزبان برشی، مجموعه مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
متولی، ک.، ۱۳۸۴- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسارهای آهن خسروآباد و تکیه بالا در شمال شرق سنقر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۵۰ص.
محجل، م. و سهندی، م.، ۱۳۷۸- تکامل تکتونیکی پهنه سنندج- سیرجان، در نیمه شمال باختری و معرفی زیرپهنه‌های جدید در آن، فصلنامه علمی پژوهشی علوم‌زمین، بهار و تابستان ۷۸، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲.
ملکی‌زاده، .آ.، ۱۳۷۸- ژئوشیمی و پتروژنز توده نفوذی گرانیت باتولیت سیاه‌کوه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
موسیوند، ف.، ۱۳۸۲- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی- رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۶۰ص.
موسیوند، ف.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی- سرب- مس چاه‌گز و مقایسه آن با کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد مس- روی- نقره بوانات در پهنه سنندج- سیرجان جنوبی. رساله دکترای، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۵۰۵ ص.
موسیوند، ف.، راستاد، ا. و پیتر، ج، ۱۳۸۶- کانه‌زایی سولفید توده‌ای (VMS) روی- سرب- مس در منطقه چاه‌گز، جنوب شهر بابک، بیست و ششمین گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، م. ه.، پیتر، ج. و سولومون، م.، ۱۳۹۰- کانه‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد روی- سرب- مس نوع Bathurst در منطقه چاه‌گز، جنوب شهر بابک، پهنه سنندج- سیرجان جنوبی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۲، ص. ۱۵۱-۱۶۴.
موسیوند، ف.، راستاد، ا.، پیتر، ج. و سولومون، م.، ۱۳۸۸- کانسار چاه‌گز: کانه‌زایی سولفید توده‌ای روی- سرب- مس تیپ Bathurst در ایران، مجموعه مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
نظری، م.، ۱۳۷۰- کانی‌شناسی و ژنز کانسار باریت‌دره، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم، ۲۰۰ص.
نظری، م.، یعقوب‌پور، ع. و مدنی، ح.، ۱۳۷۰- کانسار باریت درین کاشان، دانشگاه تربیت معلم، چهارمین سمپوزیوم معدنکاری ایران، ص. ۱۰۶ تا ۱۲۵.
نوری خانکهدانی، ک.، سبزه‌یی، م. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۸۵- خاستگاه گنایس‌های بن دونو، شرق بوانات- استان فارس، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۱، ص. ۱۶۰ تا ۱۷۷.
یارمحمدی، ع.، ۱۳۸۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی طلای باریکا، شمال شرق سردشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.

یارمحمدی، ع.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمسا، م. ج.، ۱۳۸۴الف- رخداد طلای باریکا: کانه‌زایی تیپ ماسیوسولفید ولکانوژنیک غنی از طلا در ایران. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یارمحمدی، ع.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمسا، م. ج.، ۱۳۸۴ب- ژئوشیمی عناصر فرعی و نادر خاکی و کاربرد اکتشافی آن در کانه‌زایی ماسیوسولفید ولکانوژنیک غنی از طلا در منطقه باریکا (شرق سردشت)، بیست وچهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یارمحمدی، ع.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمسا، م. ج.، ۱۳۸۷- رخداد طلای باریکا: کانه‌زایی تیپ ماسیوسولفید ولکانوژنیک غنی از طلا در ایران، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴، شماره ۱، ص. ۴۷-۶۰.

References

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. & Mouthereau, E., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 94: 401–419.

Ahmadipour, H., Sabzehei, M., Whitechurch, H., Rastad, E. & Emami, M. H., 2003- soghan complex as an evidence for paleospreading center and mantle diapirism in sanandaj-sirjan zone (south-east Iran). Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 14(2): 157-172.

Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations: Tectonophysics, 229, p.211-238.

Allen, R. L., Weihed, P., Blundell, D., Crawford, T., Davidson, G., Galley, A., Gibson, H., Hannington, M., Herzig, P., Large, R., Lentz, D., Maslennikov, V., McCutcheon, S., Peter, J. M. & Tornos, F., 2002- Global comparisons of volcanic-hosted massive sulphide districts. In: Blundell, D. J., Neubauer, F. and Von Quadt, A. (editors), The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen. Geological Society, London, Special Publications, 204, 13-37.

Alric, G. & Virlogeux, D., 1977- Petrographic et geochimiie de roches metamorphiques et magmatiqus de la region de Deh-Bid-Bawanat. These 3eme cycle, Gerenoble.

Arndt, N. T., 2003- Komatiites, kimberlites and boninites: Journal of Geophysical Research, v. 108, p. B6, 229.

Arvin, M. & Robinson, P. T., 1994- The petrogenesis and tectonic setting of lava from Baft ophiolitic melange, SW Kerman, Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 31, 824–834.

Arvin, M., Pan, Y., Dargahi, S., Malekizadeh, A. & Babaei, A., 2007-Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction. Journal of Asian Earth Sciences 30: 474–489.

Azizi, H. & Jahangiri, A., 2008- Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. Journal of Geodynamics 45: 178–190.

Azizi, H. & Moinevaziri, H., 2009- Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. Journal of Geodynamics 47: 167–179.

Babaie, H. A., Ghazi, A. M., Babaie, A., La-Tour, T. E. & Hassanipak, A. A., 2001- Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros crush zone, Neyriz, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 19 (1/2), 61–76.

Badrzadeh, Z., Barrett, T. J., Peter, J. M., Gimeno, D., Sabzehei, M. & Aghazadeh, M., 2011- Geology, Mineralogy and sulfur isotope geochemistry of the Sargaz Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. Mineralium Deposita. DOI 10.1007/s00126-011-0357-4.

Barrie, C. T. & Pattison, J., 1999- Fe-Ti basalts, high silica rhyolites, and the role of magmatic heat in the genesis of the Kam-Kotia volcanic-associated massive sulfide deposit, western Abitibi subprovince, Canada: Economic Geology Monograph 10, p. 577–592.

Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeogaraphy and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science 18 (2), 210–265.

Fazlnia, A. N., Moradian, A., Rezaei, K., Moazzen, M. & Alipour, S., 2007-Synchronous activity of anorthositic and S-type granitic magmas in the Chah Dozdan batholith, Neyriz, Iran: evidence of zircon SHRIMP and monazite CHIME dating. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 18, 221-237.

Fazlnia, A., Volker, S., Van der Straaten, F. & Mirmohammadi, M., 2009- Petrology, geochemistry, and geochronology of trondhjemites from the Qori Complex, Neyriz, Iran. Lithos, 112, p. 413-433.

Ghasemi, A. & Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences26: 683–693.

Glennie, K. W., 2000- Cretaceous tectonic evolution of Arabia's eastern plate margin: A tale of two oceans: Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication. 69, p. 9–20.

Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision Sanandaj-Sirjan Western Iran. J Asian Earth Sci 21: 397-412.

Mousivand, F., Rastad, E. & Peter, J. M., 2008a- Chahgaz: A metamorphosed Zn-Pb-Cu volcanogenic massive sulphide deposit in the Sanandaj-Sirjan zone, southern Iran. 33rd Int Geol Congress, Oslo.

Mousivand, F., Rastad, E. & Peter, J. M., 2008b- An overview of volcanogenic massive sulfide deposits of Iran. 33rd Int Geol Congress, Oslo.

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: Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen, 183, 297-315.

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Mohajjel, M. & Emami, M. H., 2012- Age and tectonic setting of the Bavanat Besshi-type Cu-Zn-Ag deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Southern Iran. Mineralium Deposita. 47:911–931.

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M.., Solomon, M. & Khin, Z., 2011- U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, South of Iran. International Geology Review. 53: 10, 1239-1262.

Murphy, J. B., 2007- Arc Magmatism II: Geochemical and Isotopic Characteristics. Geosience Canada, 34, no. 1, 7-35.

Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. & Jolivet, L., 2008- Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences. Lithos 106:380–398.

Pessagno, E. A., Jr, A., Ghazi, M., Kariminia, M., Duncan, R. A. & Hassanipak, A. A., 2005- Tectonostratigraphy of the Khoy Complex, northwestern Iran. Stratigraphy, vol. 2, no. 1, pp. 49-63, text-figures 1-22, tables 1-2.

Piercey, S. J., Murphy, D. C., Mortensen, J. K. & Paradis, S., 2001- Boninitic magmatism in a continental margin setting, Yukon-Tanana terrane, southeastern Yukon, Canada: Geology, 29, 731-734.

Rachid Nejad-Omran, N., Hachem Emami, M., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H. & Pique, A., 2002- Lithostratigraphie et histoire pale´ozoı¨que a` pale´oce`ne des complexes me´tamorphiques de la re´gion de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran me´ridonal). 334 C.R. Ge´oscience, 1185–1191.

Richards, J. P., Wilkinson, D. & Ullrich, T., 2006- Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, Northwest Iran. Economic Geology, 101, 1455-1496.

Sabzehi, M., 1974- Les melanges ophiolitiques de la region d'Esfandagheh (Iran meridional): etude petrologique et structurale, interpretation dans le cadre Iranien. These Univ. de Grenolole, 205p.

Sengör, A. M. C., 1991- Late paleozoic and mesozoic tectonic evolution of the middle eastern Tethysides: Implication for the paleozoic geodynamics of the Tethyan realm. IGCP project, 276, Newsletter, n.2, 111-149.

Shafiei, B., Shahabpour, J. & Haschke, M., 2008- Transition from Paleogene Normal Calc-Alkaline to Neogene Adakitic-Like Plutonism and Cu-Metallogeny in the Kerman Porphyry Copper Belt: Response to Neogene Crustal Thickening. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 19(1): 67-84.

Shahabpour, J., 2005- Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. J. Asian Earth Sci. 24, 405–417.

Sheikholeslami, M. R., 2002- Evolution structurale et me´tamorphique de la marge sud de la microplaque de l'Iran central: les complexes me´tamorphiques de la re´gion de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan), PhD The`se, universite´ de Brest, 194 p.

Sheikholeslami, M. R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. & Hashem Emami, M., 2008- Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran). Journal of Asian Earth Sciences 31, 504-521.

Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; A review. American Association of Petroleum Geologist Bulletin 52, 1229–1258.

Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the middle east. Nature 23, 147–150.

Wyman, D. A., 2000- High-precision exploration geochemistry; applications for volcanogenic massive sulfide deposits: Australian Journal of Earth Sciences, 47, 861–871.

Wyman, D. A., Bleeker, W. & Kerrich, R., 1999- A 2.7 Ga Komatiite, low Ti tholeiite, arc tholeiite transition, and inferred proto-arc geodynamic setting of the Kidd Creek Deposit: Evidence from precise trace element data. In Hannington, M.D., and Barrie, C.T., eds. The Giant Kidd Creek Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Western Abitibi Subprovince, Canada. Economic Geology, Monograph 10, 511-528.

Yarmohammadi, A., Rastad, E., Mousivand, F. & Watanabe, M., 2008- Barika Au-Ag-(Zn-Pb-Cu) deposit: First recognition of gold-rich Kuroko-type VMS mineralization in Iran. 33rd Int Geol Congress, Oslo. CD-ROM.

Formation of Various Types of Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) Deposits and Its Relationship With Tectono-Magmatic Evolution in the Sanandaj-Sirjan Zone

F. Mousivand [1], E. Rastad [2*], M. H. Emami [3] & J. M. Peter [4]

[1] Assistant Professor, Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran; Department of Geology, Basic Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Department of Geology, Basic Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[3] Associate Professor, Islamic Azad University, Eslam-shahr Branch; Research Institue for Earth Sciences, Geologial Survey of Iran, Tehran, Iran

[4] Associate Professor, Central Canada Division, Geological Survey of Canada, Ottawa, Canada.

Received: 2011 March 14 Accepted: 2011 September 26

Abstract

Various types of volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits occurred within the northern and southern parts of the Sanandaj-Sirjan zone (SSZ). The most important VMS deposits of the south SSZ includes the Bavanat Cu-Zn-Ag (pelitic mafic- or Besshi-type), Sargaz Cu-Zn (bimodal mafic- or Noranda-type), and Chahgaz Zn-Pb-Cu (silicicalstic felsic-or Bathurst-type) deposits, and the north SSZ hosts the Barika gold-rich (bimodal felsic- or Kuroko-type) VMS deposit. Comparison of the VMS deposits, and investigating of possible relationship between formation of these deposits and tectono-magmatic processes within the SSZ indicate formation of all the deposits within intra-arc rift basins related to subduction of the Neo-Tethyan oceanic crust beneath the Iranian plate during Mesozoic period. Main reasons for formation of the different VMS types within the SSZ might be due to evolution of magma nature and intra-arc rift basins. Comparison between the deposits in many aspects including host and associated rock types and ore mineral paragenesis indicate clear differences between the Bavanat and Sargaz deposits and the Chahgaz deposit. It is inferred that the differences could be due to variations in magma compositions, i.e., felsic in the Chahgaz, and mafic in the Bavanat and Sargaz host sequences. Indeed, development of the intra-arc rifting was at early/nascent stage in the Bavanat and Sargaz regions and at mature stage in the Chahgaz area. The SSZ (particularly the southern part) due to hosting various VMS type deposits and involving the known largest and majority VMS deposits in Iran is the most attractive structural zone for VMS exploration.

Keywords: Massive sulfide, Intra-arc rift, Tectono-magmatic, Sanandaj-Sirjan zone

For Persian Version see pages 11 to 20

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