



کنترل ساختاری گسل‌های کانسار سولفید توده‌ای مس-روی سرگز، اسفندقه، جنوب پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان

شهریار سلیمانی (نویسنده مسئول)^۱، مجید شاه پسندزاده^۲، سعیده کشاورز^۳، مهدی هنرمند^۴

^۱ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان و مجتمع صنعتی و معدنی مس سرگز shahryarnejad.auob@gmail.com

^۲ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir

^۳ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان s.keshavarz@kgut.ac.ir

^۴ پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان
mehonarmand167@gmail.com

چکیده

در حاشیه جنوبی پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان، کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس-روی گستره معدنی سرگز در توالی آتشفشانی-آذرآواری بایمدال تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین متشکل از بازالت اسپیلیتی، آندزیت، داسیت و ریوداسیت رخ داده است. ساختارها به‌ویژه گسل‌ها نقش مهمی در جایگزینی و دگرشکلی عدسی‌های سولفید توده‌ای این کانسارها داشته‌اند. هدف این پژوهش، تحلیل هندسی-کینماتیک گسل‌های کانسار سولفید توده‌ای سرگز جهت درک بهتر نقش آن‌ها بر کانه‌زایی مس-روی با تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری این کانسار است. بنابر نتایج این مطالعه، چهار دسته گسل زیر نقش مهمی در تکامل ساختاری این کانسار داشته است: (۱) گسل‌های مایل لغز چپ‌بر با مولفه معکوس شمال‌غربی-جنوب‌شرقی؛ (۲) گسل‌های مایل لغز راست‌بر با مولفه عادی شمال‌شرقی-جنوب‌غربی؛ (۳) گسل‌های راست‌لغز راست‌بر شمالی-جنوبی و (۴) گسل‌های راست‌لغز چپ‌بر شرقی-غربی. گسل‌های مایل لغز شمال‌غربی-جنوب‌شرقی به احتمال در اثر برگردان کینماتیک گسل‌های عادی با مولفه راست‌بر اولیه حاصل شده‌اند. دگرسانی‌های گسترده سرسیتی، کلریتی، سیلیسی با کانه‌زایی سولفیدی مس-روی به‌همراه شواهد بقایای تونل‌های حفاری شده قدیمی در این راستا بیانگر کنترل ساختاری روند کانه‌زایی توسط این گسل‌ها است. در واقع، این پهنه‌های گسلی کانال‌های مناسبی برای جریان سیالات گرمابی حاوی فلزات و تشکیل عدسی‌های سولفیدی مس-روی در حوضه رسوبی-آتشفشانی اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک بوده‌اند. گسل‌های مایل لغز شمال‌شرقی-جنوب‌غربی نیز به‌طور مشابهی از تکامل ساختاری گسل‌های اولیه معکوس با مولفه چپ‌بر اولیه حاصل شده‌اند. تقاطع این دو دسته گسل سبب ریزش گوه‌ای بلوک‌های سنگی در دیواره شمال کاواک معدنی سرگز شده است. گسل‌های راست‌لغز راست‌بر شمالی-جنوبی و گسل‌های راست‌لغز چپ‌بر شرقی-غربی این کانسار در مراحل بعدی تکامل کوهزاد زاگرس حین رویدادهای فشاری/ترافشارشی راست‌بر اواخر ژوراسیک تا کرتاسه تشکیل شده‌اند. این مطالعه بیانگر اهمیت مطالعات ساختاری در شناسایی روندهای اکتشافی و هم-چنین پایداری شیب دیواره‌های کاواک معدنی سرگز در منطقه اسفندقه است.

واژه‌های کلیدی

کنترل ساختاری، کانسار سولفید توده‌ای، سرگز، اسفندقه، پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان.

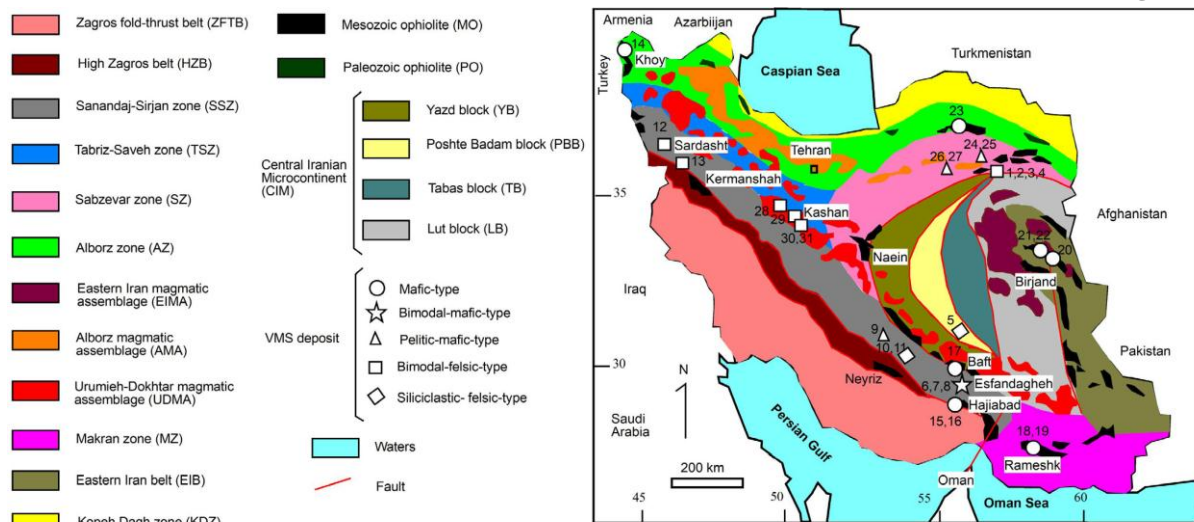


۱. مقدمه

ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشانی^۱ متعددی در قلمروهای ساختاری-زمین‌ساختی ایران مانند پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه-دختر، پهنه‌های سبزواری و پشت بادام در ایران مرکزی گزارش شده است [1,2,3]. در حاشیه جنوبی پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان، کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس-روی سرگز در یک توالی آتشفشانی-آذرآوری بایمدال متشکل از بازالت اسپیلیتی، آندزیت، داسیت و ریوداسیت (تریاس پسین-ژوراسیک پیشین) با ماهیت تولییتی تا بونینیتی رخ داده است. بخش مرکزی توده‌های معدنی غنی از کالکوپیریت و قسمت فوقانی آن غنی از اسفالریت است. سنگ‌های میزبان کانسارهای گسترده معدنی سرگز تحت تاثیر دگرسانی‌های سرسیتی، کلریتی و سیلیسی قرار گرفته‌اند. این دگرسانی و کانه‌زایی سولفیدی توسط گسل‌های این گستره کنترل شده است [4]. در واقع، ساختارها به‌ویژه گسل‌ها نقش مهمی در جایگزینی و دگرشکلی عدسی‌های سولفید توده‌ای داشته‌اند. هدف این پژوهش، تحلیل هندسی-کینماتیک گسل‌های کانسار سولفید توده‌ای مس-روی سرگز جهت درک بهتر نقش آن‌ها بر کانه‌زایی با تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری این کانسار است. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم افزارهای Envi و Gomatica مورد تحلیل قرار گرفته و نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه شده‌اند. داده‌های ساختاری با نرم افزارهای FaultKIN و Steronet مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

۲. جایگاه زمین‌شناسی

در حوضه رسوبی-ماگمایی اولیه سنندج-سیرجان شرایط مطلوبی برای کانه‌زایی سولفیدهای سرب، روی و مس حوضه‌های رسوبی-آتشی-فشان‌های کمان ماگمایی (بین کمانی/پشت کمانی) فراهم بوده است، به طوری که پهنه ماگمایی-دگرگونی سنندج-سیرجان میزبان کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانی مس، روی و سرب متعددی است [1] (شکل ۱)؛ به‌طور مثال، کانسارهای بایمدال مافیک اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک (سرگز، قلعه ریگی و سیاه معدن)، کانسارهای پلتیک مافیک اوایل ژوراسیک (یوانات)، کانسارهای فلسیک سیلیسی کلاستیک اواسط ژوراسیک (چاه گز و چاه انجیر)، کانسارهای بایمدال فلسیک اوایل-اواسط کرتاسه (باریکا سقز، پیرانشهر) در این پهنه ماگمایی-دگرگونی گزارش شده‌اند [1,4,5,6,7].



شکل ۱. موقعیت کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان در ایران [1]. کانسارهای بایمدال مافیک اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک منطقه اسفندقه (سرگز، قلعه ریگی و سیاه معدن) با شماره های ۵، ۶ و ۷ در بخش جنوبی پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان مشخص شده‌اند.

¹ Volcanogenic Massive Sulfide Deposits (VMSD)



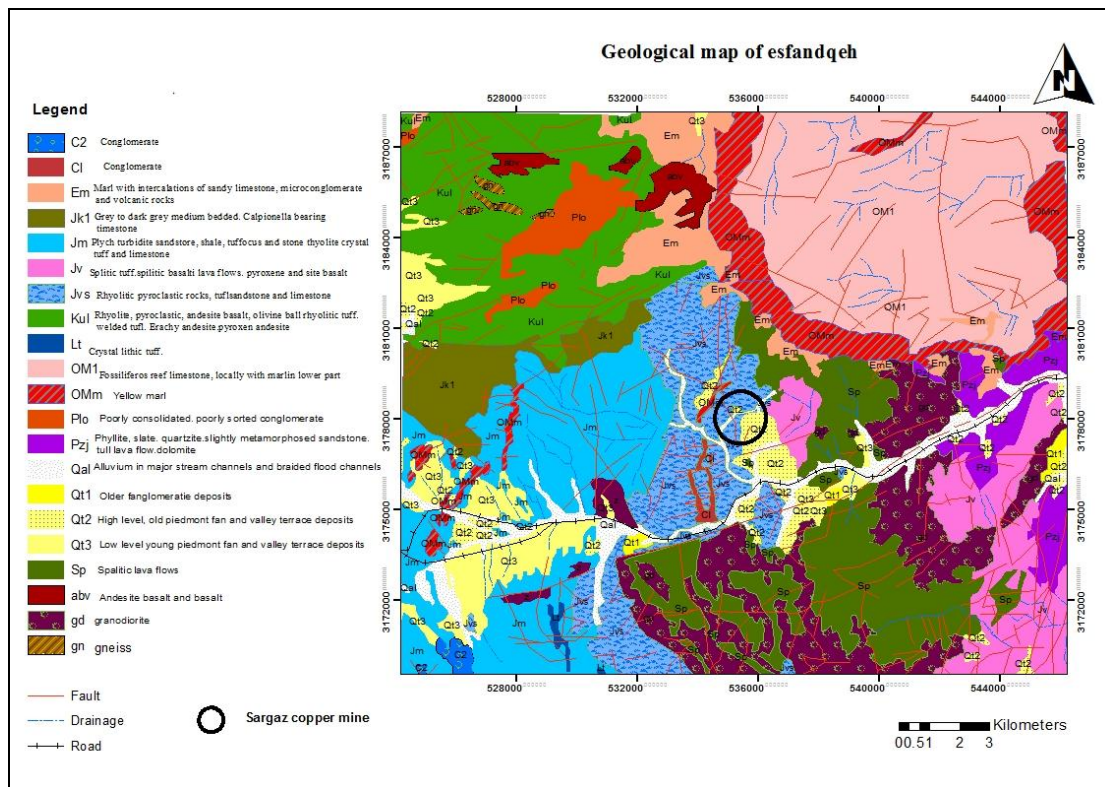
کانسارهای سولفید توده‌های آتشفشانی مس-روی گستره معدنی سرگز (کانسارهای حنا، سرگز، زاغو، مرجان) در عرض جغرافیایی ۴۴، ۲۸ و طول جغرافیایی ۲۱، ۵۷ در حدود ۴۰ کیلومتری شمال غرب جیرفت، در منطقه اسفندقه معدنی قرار دارد (شکل ۲). به‌طور خلاصه چینه‌شناسی گستره معدنی سرگز به شرح زیر است [4]:

(۱) مجموعه دگرگونی سرگز-آبشور از تناوب آمفیبولیت-مرمر-کالک شیست و کلریت‌شیست تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین و گارنت گنیس و آمفیبولیت‌های کرتاسه بالایی که به‌صورت دگرشیب توسط گدازه‌های بالشی فرودیواره کانسار سرگز پوشیده می‌شوند.

(۲) گدازه‌های بالشی-توده‌های بازالتی اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک فرودیواره کانسار با راستای غالب شمال‌غرب-جنوب‌شرق و شیب به-سمت جنوب خاور و سبترایی حدود ۱ کیلومتر که به‌سمت خاور افزایش می‌یابد.

(۳) تناوبی از گدازه‌های برشی آندزیتی و آذرآری‌های آندزیتی فرادیواره کانسار به سبترایی حدود ۵/۱-۱ کیلومتر که با تناوبی از گدازه و توف‌های ریوداسیتی با اف‌های ژاسپر و چرت حاوی آهن-منگنز و شیل و ماسه سنگ پوشیده می‌شوند. این گدازه و توف‌های ریوداسیتی اغلب تشکیل گندهای ریوداسیتی با ساخت منشوری در بخش مرکزی و ساخت جریان‌ی در حاشیه گنبد با دگرسانی وسیع اپیدوتی را می‌دهند که توالی آتشفشانی و آذرآری‌های آندزیتی-بازالتی را قطع می‌کنند. در بخش جنوب‌خاوری این گستره، توده‌های گرانودیوریتی سدیک به‌عنوان قاعده این گندهای ریوداسیتی به‌داخل گدازه‌های بازالتی بالشی نفوذ کرده‌اند.

(۴) شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا فلیشی با توفیت‌های مافیک ژوراسیک میانی به بیشینه سبترایی ۱۰ کیلومتر که به‌طور هم‌شیب در زیر سنگ‌آهک‌های مطبق خاکستری رنگ حاوی فسیل کالیپونلا (ژوراسیک بالایی-نئوکومین) واحدهای آتشفشانی و آذرآری‌های آندزیتی-بازالتی میزبان کانسار را می‌پوشانند. این واحدهای سنگی توسط دایک‌های مافیک و فلسیک با روند غالب شرقی-غربی قطع شده‌اند [4,8].



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه اسفندقه-سرگز. محدوده کانسار سرگز با یک دایره نشان داده شده است.



سنگ میزبان کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانی مس-روی سرگز را گدازه‌های بازالتی با ساخت بالشی قبل از کانه‌زایی فرود پیواره و برش-های آتشفشانی و آذرآوری‌های آندزیتی تا ریوداسیتی بعد از کانه-زایی فراد پیواره (اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک) تشکیل می‌دهند. این کانسار از قاعده به بالا شامل: (۱) پهنه وسیعی از رگه‌های سولفیدی شبکه‌ای با میزبان سدوبرش‌های بازالتی کلریتی، سرسیتی و سیلیسی شده، (۲) سولفید توده‌ای و برش سولفیدی به ستبرای ۱-۳۵ متر و (۳) افق‌های ژاسپر و چرت حاوی آهن-منگنز با بیشینه ستبرای حدود ۳ متر، باریت و کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت) است (شکل ۳). کانی شناسی کانسنگ سولفید توده‌ای شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و سولفوسالت‌های تنانتیت-تتراهدریت است. کوارتز، کلسیت، باریت، کلریت، سرسیت و هماتیت، کانی‌های باطله این کانسار را تشکیل می‌دهند. وجود پیریت به عنوان کانی اصلی، ساخت و بافت برشی و وجود منطقه بندی کانیایی در توده معدنی همگی حاکی از این است کانسار سرگز از نوع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانی است [1,4].

۴. ساختار و کانه‌زایی

در جنوب شرق گستره معدنی سرگز یک ناقدیس با روند اثر محوری شمال غرب-جنوب شرق تا شرقی-غربی و شیب سطح محوری به-سمت شمال شرق یا جنوب غرب گزارش شده است [4]. بنابر مطالعات صحرایی و تهیه نقشه‌های دقیق زمین شناسی و ساختاری، چهار روند گسلی زیر نقش مهمی در تکامل ساختاری کانسارهای مس-روی سرگز ایفا کرده‌اند: (۱) گسل‌های مایل لغز چپ‌بر با مولفه معکوس شمال غربی-جنوب شرقی؛ (۲) گسل‌های مایل لغز راست‌بر با مولفه عادی شمال شرقی-جنوب غربی؛ (۱) گسل‌های راستالغز راست‌بر شمالی-جنوبی و (۴) گسل‌های راستالغز چپ‌بر شرقی-غربی (شکل ۳):

(۱) گسل‌های با روند شمال غربی-جنوب شرقی

این روند ساختاری با آزیموت میانگین N120-140E به صورت گسل‌هایی با سازوکار غالب راستالغز چپ‌بر با مولفه معکوس (یا معکوس با مولفه چپ‌بر) و شیب زیادی (۷۰-۸۰ درجه) به سمت جنوب غرب مشاهده می‌شوند. این گسل‌ها با دگرسانی گسترده آرژیلیتی مرز شرقی عدسی‌های سولفید توده‌ای را در کانسار مس-روی سرگز تشکیل می‌دهند. بقایای تونل‌های قدیمی حفر شده در راستای این گسل‌ها در دیواره شمالی کاواک معدنی سرگز مشاهده می‌شود. در گستره کانسار زاغو، دایک‌های آندزیتی به ضخامت متوسط ۱/۵-۲ متر- در بعضی موارد با هاله دگرسانی آرژیلیتی- و دایک‌های دیابازی فاقد دگرسانی مشخصی در حاشیه خود به-داخل گدازه‌های بازالتی تریاس و توالی فلیشی سنگ ماسه، سنگ سیلت و شیل‌های توفی ژوراسیک تزریق شده‌اند.

(۲) گسل‌های با روند شمال شرقی-جنوب غربی

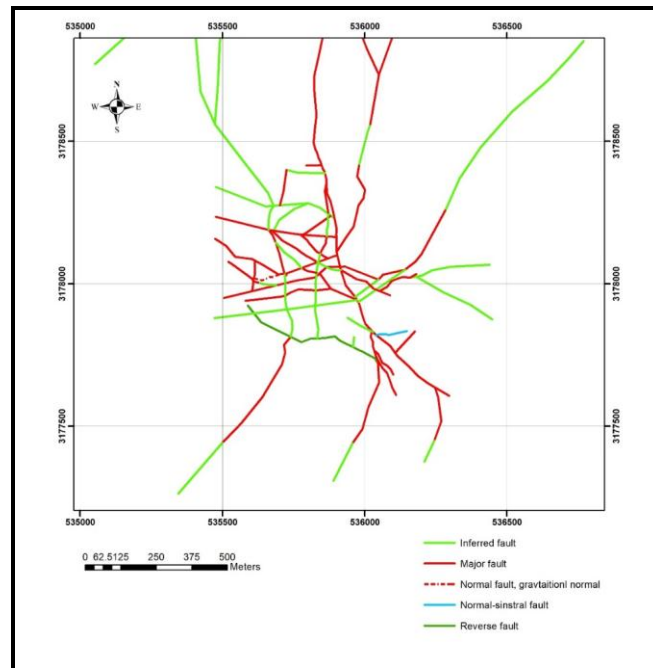
این روند ساختاری با آزیموت میانگین N200-220E به صورت گسل‌هایی مایل لغز عادی با مولفه راستالغز راست‌بر اغلب با شیب زیادی حدود ۸۰ درجه به سمت شمال غرب موازی با گسل سرگز (چاه مزرعه) گزارش می‌شود. این گسل‌ها به احتمال جوان تر از گسل‌های شمال غربی-جنوب شرقی بوده و تلاقی آن‌ها با این گسل‌ها سبب ریزش گوه‌ای در دیواره شمالی کاواک معدنی سرگز می-شود.

(۳) گسل‌های با روند شمالی- جنوبی

این روند ساختاری با آزیموت میانگین N10E به موازات گسل سبزواران تشکیل شده است. این گسل‌ها با سازوکار غالب راستالغز راست‌بر، به عنوان مهمترین سیستم شکستگی‌های کانسار مورد مطالعه بیشتر به صورت پهنه‌های برشی به پهنای ۵-۰/۵ متر دیده می‌شوند. بنابر نمودار گل سرخی روند گسل‌ها نسبت به طول آن‌ها، اگرچه تعداد این دسته از گسل‌ها در گستره کانسار زیاد است، اما اغلب طول کوتاهی دارند.

(۴) گسل‌های با روند شرقی- غربی

این روند ساختاری با آزیموت میانگین N85-100E زاویه‌ای حدود ۶۰-۸۰ درجه راستالغز نسبت به روند گسل سبزواران، به عنوان گسل‌هایی آتی‌ریدل در یک سیستم برش راستالغز راست‌بر مطرح هستند. سازوکار این گسل‌ها اغلب راستالغز چپ‌بر با مولفه معکوس است. بخش زیادی از سیستم شکستگی‌های گستره کانسار سرگز از این روند ساختاری تبعیت می‌کند.



شکل ۳. نقشه گسل‌های کانسار سولفید توده‌های آتشفشانی مس-روی سرگز.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در گستره معدنی سرگز گسل‌های با روند غالب ساختاری شمال غربی-جنوب شرقی به احتمال در اثر برگردان کینماتیک^۲ گسل‌های عادی با مولفه راستالغز راست بر حاصل شده‌اند. روند کانه‌زایی مس-روی در کانسارهای این گستره معدنی توسط این گسل‌ها کنترل شده است. به‌طور مثال، دگرسانی‌های گسترده سرسیتی، کلریتی، سیلیسی با کانه‌های سولفیدی مس-روی به همراه شواهد بقایای تونل‌های حفاری شده قدیمی در این راستا مشاهده می‌شود. در واقع، این گسل‌ها حرکات کششی و فعالیت‌های آتشفشانی-کانه‌زایی را در این گستره معدنی کنترل کرده‌اند. در راستای این پهنه‌های گسلی سیالات گرمایی حاوی فلزات، سبب تشکیل عدسی‌های سولفیدی حاوی کانه‌های سولفیدی مس-روی بر روی گدازه‌های بازالتی حوضه رسوبی-آتشفشانی اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک شده است. گسل‌های با روند غالب ساختاری شمال شرقی-جنوب غربی نیز به‌طور مشابهی این برگردان کینماتیک را متحمل شده‌اند، به طوری که این گسل‌ها به احتمال از تکامل ساختاری گسل‌های اولیه معکوس با مولفه چپ‌بر اولیه حاصل شده‌اند. تقاطع این دو دسته گسل سبب ریزش بلوک‌های گوه‌ای در دیواره شمال کاواک معدنی سرگز می‌شود. تشکیل گسل‌های راستالغز راست بر شمالی-جنوبی و گسل‌های راستالغز چپ‌بر شرقی-غربی (تا غرب، شمال غرب-شرق، جنوب شرق) این گستره معدنی ناشی از عملکرد رویدادهای فشاری/ترافشارشی راست بر اواخر ژوراسیک تا کرتاسه (اواخر کوهزاد سیمبرین زاگرس) است. تغییر رژیم کششی به فشارشی در ژوراسیک پایانی موجب بسته شدن و بالا آمدن حوضه-های آتشفشانی-رسوبی/کمانی/داخل کمانی و دگرشکلی و دگرگونی شرایط فشار-دما رخساره شیبست سبز کانسارهای سولفید توده‌های آتشفشانی و توالی‌های میزبان کانه‌زایی این گستره شده است.

منابع

[1] Mousivand, F., Rastad, E., Peter, J.M., Maghfouri, S., 2018. Metallogeny of volcanogenic massive sulfide deposits of Iran. *Ore Geol. Rev.*, 95, 974–1007.

² Kinematic inversion



- [2] Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Lin, Ye., Zaw, Khin., 2016. Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *J. Asian Earth Sci.* [http://dx.doi.org/ 10.1016/j.jseas.2016.04.022](http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2016.04.022).
- [3] Hajsadeghi, S., Asghari, O., Mirmohammadi, M. and Meshkani, S.A., 2016. Indirect rock type modeling using geostatistical simulation of independent components in Nohkouhi volcanogenic massive sulfide deposit, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 168, pp.137-149.
- [4] 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. *Miner. Deposita* 46, 905–923.
- [5] Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Solomon, M., Peter, J.M., Zaw, Khin., 2011. U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, Southern Iran. *Int. Geol. Rev.* 53, 1239–1262.
- [6] Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J.M., Mohajjel, M., Zaw, Khin., Emami, M.H., 2012. Age and tectonic setting of the Bavanat Besshi-type Cu-Zn-Ag deposit, Southern Iran. *Mineral. Deposita* 47, 911–931.
- [7] Saeid Hajsadeghi, S., Mirmohammadi, M., Asghari, O., Meshkani, S. A., 2017. Geology and mineralization at the copper- rich volcanogenic massive sulfide deposit in Nohkouhi, Posht-e-Badam block, Central Iran. *Ore geol. Rev.*, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.11.030>.
- [8] Sahandi, M.R., et al., 2003. The geological map of Esfandagheh, 1:100000, Sheet No. 7447, Geological Survey of Iran, Tehran.