




Research Article

Geological structures and their role in control of mineralization in Bahramtaj Lead and Zinc deposit, Yazd province, Central Iran

Kazem Gholizadeh^{1*} , Iraj Rasa¹, Mahammad Yazdi¹, Maria Boni²

1-Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran

2-Department of Geophysics and Vulcanology, University of Napoli, Italy

Received: 16 Jul 2020 Accepted: 07 Mar 2021

Extended Abstract

Introduction

Iran has large areas of carbonate rocks that host potential reserves of lead and zinc deposits due to suitable geodynamic conditions and carbonate platforms. So far, more than 300 zinc-lead deposits have been reported with sedimentary hosts in Iran. Bahramtaj lead and zinc deposit is located in Central Iran zone, which is hosted by Precambrian-Cambrian formations (Rizo, Dezo and Aqda). In this paper, an attempt has been made to present the structural formation model of Bahramtaj lead and zinc mineralization by combining the results obtained from the study of geological structures, the relationship between structures and specific mineralization.

Materials and Methods

In this study, various geological structures such as faults, joints and folds at the local scale as well as in the Bahramtaj prospect area have been studied. After identifying the main and important structures influencing the region, the structural and tectonic status of Bahramtaj area, the relationship between geological structures and mineralization are also studied. Due to the availability of Google Earth images with an approximate accuracy of 30 meters, as well as the use of digital topographic images with an accuracy of 30 meters and ETM + images, and using remote sensing software, the tectonic position of the region has been discussed.

Results and Discussion

Faults

Existence of different generations of faults and fractures each related to a generation across fault zones has caused confusion and complexity of rock units in Bahramtaj mining area. Investigation of fault zones and geological structures related to fault movements (formation of fracture zones, fault gouge and fault breccia) in the faults of the area indicate their formation in fragile and shallow environments. The main stress trends of the region based on diagrams related to faults and fractures of the region, indicate their compliance with the stress distribution due to the performance of the main faults in the region, which are N044 and N337 in the direction of maximum stress in the region.

Folds

In Bahramtaj mining area, different changes in the type of deformation have occurred at different times. In the oldest rocks of the area, which are most exposed in the northern parts, Cambrian carbonate units show at least two generations of folds and various types of open and closed folds, inverted and asymmetrical in different scales.

Citation: Gholizadeh, K. et al, 2021. Geological structures and their role in control of mineralization in Bahramtaj Lead and Zinc deposit, Yazd province, Central Iran, *Res. Earth. Sci.*: 12(2), (206-225) DOI: 10.52547/esrj.12.2.206

* Corresponding author E-mail address: k_gholizadeh@sbu.ac.ir





Researches in Earth Sciences

Journal homepage: <https://esrj.sbu.ac.ir>



In most cases, the old corrugated edges are limited and broken by longitudinal faults, and due to the undertaken different stresses in different directions, a lot of rotation has occurred in the direction of their axis and geometry. Considering the structural condition of the region and the distribution of stress based on the existing structural evidence in the range and geometry of the folds of the younger generations, it is possible to imagine older clockwise rotation trends for this generation of the folds of the range. Regarding the formation, the folds of the area have been affected by the performance of the main fault in the region. Therefore, the predominant direction of the folds, show the azimuth N120.

Conclusion

Based on field evidence and studies, it was found that mineralization coincided with the activity of the strike-slip fault with a northwest-southeast direction. The development and expansion of mineralization in different regions in the two systems are different. Expansion of zinc and lead mineralization in the direction of northwest-southeast faults express the positive effect of east-west fault activity on the number of openings. Creation of convenient places in tensile fractures related to the northwest-southeast fracture system, has caused lead and zinc mineralization to be more widespread in the tensile zones associated with this system.

Keywords: Zink and lead mineralization, Bahramtaj mining district, Faults, Folds, Central Iran.



ساختارهای زمین‌شناسی و نقش آن‌ها در کنترل کانی‌سازی در محدوده معدنی سرب و روی بهرامتاج، یزد، ایران مرکزی

کاظم قلی زاده*^۱، ایرج رسا^۱، محمد یزدی^۱، ماریا بونی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه ژئوفیزیک و آتش فشان‌شناسی، دانشگاه ناپل، ایتالیا

(علمی - پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

محدوده معدنی سرب و روی بهرامتاج در ۹۰ کیلومتری شمال غرب شهر یزد و ۱۰ کیلومتری جنوب غرب عقدا، استان یزد قرار دارد. از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی معدن بهرامتاج در زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. سنگ‌های رخنمون یافته در معدن شامل سازندهای عقدا، لالون و واحدهای تفکیک نشده پرکامبرین تا کامبرین (سری دزو) است. کانسنگ موجود در محدوده متشکل از لنزها، رگه‌ها و رگچه‌های غیرسولفیدی روی و سرب مانند کانی‌های اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، هیدوزینکیت، سروریت و به مقدار کمتر کانی‌های سولفیدی سرب مانند گالن و اکسیدهای مس (مالاکیت، بچریت و اوری‌کلسیت) هستند که در سنگ‌های آهکی - دولومیتی پالئوزوئیک (بین شیل - کربنات یا توالی‌های کربناته) تشکیل شده‌اند. توالی‌های سنگی منطقه تحت تأثیر گسل - های ناحیه‌ای از جمله گسل‌های شمال فخرآباد (رورانده - معکوس با مولفه راستالغز راستگرد) و گسل امتدادلغز راستگرد نائین - سورک و شکستگی‌های مرتبط با آن‌ها که روند غالب شمال شرقی - جنوب غربی تا شرقی - غربی را دارا هستند، قرار گرفته‌اند. لنزها و رگه‌های کانی‌سازی سرب و روی به خصوص کانی‌های غیرسولفیدی روی در مناطق گسل، زون‌های برشی و چین خورده به‌طور واضح دیده می‌شود. مطالعات زمین‌ساختی نشان داد که گسترش کانی‌سازی روی و سرب در راستای گسلش‌های شمال غربی - جنوب شرقی بیانگر تاثیر کششی مربوط به سیستم شکستگی شمال غرب - جنوب شرق است، که سبب شده تا در پهنه‌های کششی مرتبط با این سیستم، کانی‌سازی سرب و روی گسترش بیشتری داشته باشد. گسل‌های شمال شرق - جنوب غرب که جوان‌تر از گسل - های دیگر بوده، نقش نسبتاً کمتری در کانی‌سازی غیرسولفیدی داشته ولی غالباً باعث جابجایی پهنه‌های کانی‌سازی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ایران مرکزی، چین خوردگی، کانی‌سازی سرب و روی، گسل‌ها، محدوده معدنی بهرامتاج.

مقدمه

ایران دارای نواحی مختلف فعال زمین ساختی است که از پهنه‌های رسوبی- ساختاری بسیار تشکیل شده است. این پهنه‌ها به وسیله گسل‌های ساختاری ژرف و پهنه‌های راندگی از یکدیگر جدا می‌شوند (Alavi, 1991; Ramazani and Tucker, 2003; Verdel, 2011). دگرشکلی‌های مرتبط با نیروهای زیاد زمین‌ساختی در پوسته، توسط فرآیندهای برشی مشخص می‌شوند (Peacock, 2002; Montest and Hirth, 2003; Ramzay and Huber, 1987; Bragi, 2006; Brown and Solar, 1998). توزیع زمانی- مکانی منابع معدنی نتیجه حرکات کوهزایی پوسته زمین است و در دوره‌های تکتونو- ماگمایی مربوط به زون‌های مشخص پوسته زمین رخ می‌دهد (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ Nabatian et al, 2015). شناسایی عناصر ساختاری مرتبط با برش (به ویژه گسل‌ها) و ارتباط آنها با توده‌های نفوذی، در مناطق متأثر از فعالیت‌های ماگمایی، کمک بسیار زیادی در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌کند. به‌طور کلی برخوردگاه گسل‌های اصلی، می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و کانی‌زایی باشد (Forster, 1978). ایران دارای مناطق وسیعی از سنگ‌های کربناته است که میزبان ذخایر بالقوه کانسارهای سرب و روی به دلیل شرایط مناسب ژئودینامیک و پلاتفورم‌های کربناته هستند. تاکنون بیش از ۳۰۰ کانسار روی- سرب با میزبان رسوبی در ایران گزارش شده است (Rajabi et al, 2012a; Karimpur, 2019) که از این میان حدود ۲۸۵ مورد در سنگ‌های کربناتی و بقیه در سنگ‌های تخریبی در دوره‌های مختلفی تشکیل شده‌اند (Amiri, 2017; Rajabi et al, 2012b). اخیراً فلززایی کانسارهای سرب و روی مربوط به پرمو- تریاس و کانسارهای غنی از فلوتور ایران و جایگاه ژئوتکتونیک آنها بررسی شده است

(Rajabi et al, 2012c). از سوی دیگر، جایگاه تکتونیک کانی‌سازی‌ها در زمان‌های مختلف هنوز هم مشخص نشده‌اند. برخی نویسندگان آنها را به عنوان کانسارهای برون‌دمی (Momenzadeh, 1996)، طبقه‌بندی می‌کنند، اما در مطالعات اخیر آنها را مدل کانسارهای MVT دانسته‌اند (Ehya et al, 1994; Ghazban et al, 2010). اگرچه فلززایی غالب کانسارهای سرب و روی ایران در پرموتریاس و کرتاسه روی داده است اما کانسارهای مهم دیگری هم وجود دارند که مربوط به زمان پرکامبرین- کامبرین بوده و ذخایر بزرگی مانند معدن سرب و روی انگوران و کوشک را شامل می‌شوند. علاوه بر موارد مذکور یکسری کانسارهای کوچک تا متوسط نیز مانند هفتهر و بهرامتاج در زون ایران مرکزی تشکیل شده‌اند که سنگ میزبان آنها سازندهای مربوط به دوران پرکامبرین- کامبرین (ریزو، دزو و عقدا) هستند (قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ کوهجانی و همکاران، ۱۳۹۷). بیشتر مطالعات انجام شده در این ناحیه محدود به کانی‌سازی‌های شمال شرق اردکان با سنگ میزبان کرتاسه بوده است (رستمی پایدار، ۱۳۹۷). در محدوده معدنی بهرامتاج که در شمال غرب اردکان و جنوب غرب عقدا واقع شده، تاکنون مطالعات دقیقی در مورد ارتباط بین ساختارهای زمین‌شناسی و کانی‌زایی صورت نگرفته است و تمام اطلاعات محدود به نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ است. با در نظر گرفتن آنکه وجود کانی‌سازی‌های مختلف به خصوص در سنگ‌های با سن کامبرین در این منطقه گزارش نشده، این مورد باعث شده که اخیراً توجه ویژه‌ای به این منطقه صورت گیرد. با توجه به این موارد، در این مقاله سعی شده تا با تلفیق نتایج به دست آمده از بررسی‌های عناصر ساختاری، ارتباط ساختارها و کانی‌سازی مشخص، مدل شکل‌گیری ساختاری

سری سنگ چینه‌ای دزو با سن کامبرین پیشین در راستای شمال غربی- جنوب شرقی ورقه عقدا گسترش دارد و شامل مجموعه‌ای از گدازه‌های تراکیتی، ریولیتی، توف ریولیتی، توف شیشه‌ای که بنا به موقعیت توسط گدازه‌های بازیک، ماسه‌سنگ، دولومیت و شیل خاکستری تیره معروف به شیل هشم به گونه‌ای همشیب پوشیده می‌شود. سنگ آهک عقدا با ستبرای نزدیک به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر به‌طور گسترده‌ای در این ورقه رخنمون دارد. سازند زاگون شامل شیل، سیلتستون و گاه لایه‌های ماسه سنگی است که همه به رنگ خاکستری تیره هستند. سازند ماسه سنگی لالون شامل ماسه سنگ تا سنگ‌های کوارتزیتی به رنگ سفید تا تیره است. این واحد در نزدیکی روستای هفتهر و معدن بهرامتاج به گونه دگرشیب روی سنگ آهک عقدا جای گرفته است (علائی و فودازی، ۱۳۸۵).

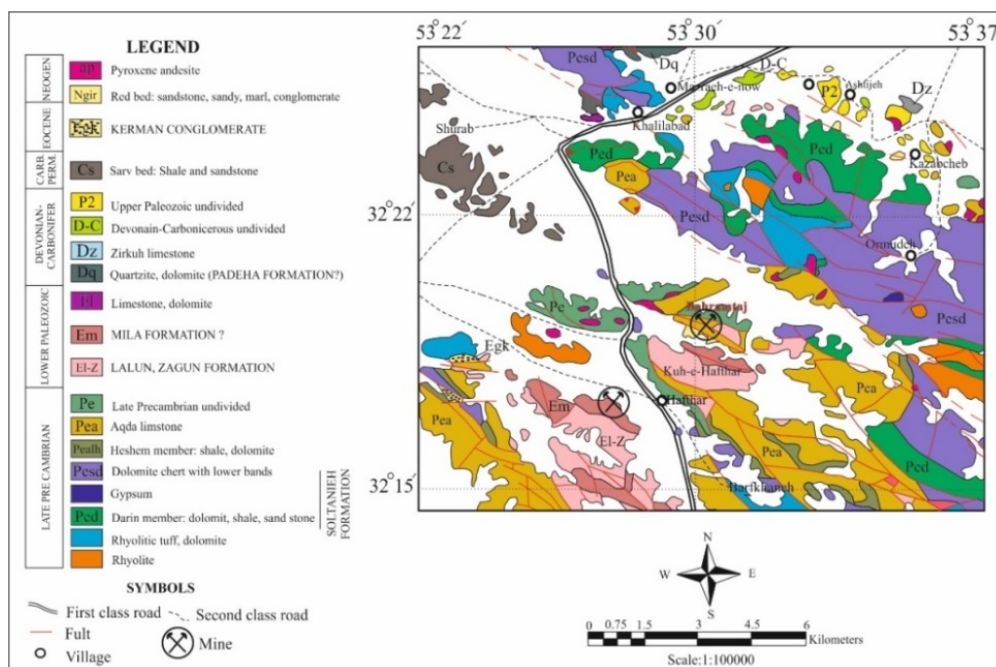
ارائه گردد تا بتوان اطلاعاتی در ارتباط با کانی‌سازی های مختلف بخش شمال غرب اردکان به خصوص محدوده معدنی بهرامتاج به دست آورد.

منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدوده

بهرامتاج

معدن سرب و روی بهرامتاج در ۹۰ کیلومتری شمال غرب یزد و ۱۰ کیلومتری جنوب غرب عقدا قرار دارد. از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی معدن بهرامتاج در نقشه: ۱:۲۵۰۰۰۰ نایین و ۱:۱۰۰۰۰۰ عقدا و سروبالا قرار می‌گیرد (شکل ۱). در نقشه‌های زمین‌شناسی مولفان سنگ‌های رخنمون یافته در معدن را به سازندهای عقدا، لالون و واحدهای تفکیک نشده پرکامبرین تا کامبرین نسبت داده‌اند. با توجه به موارد ذکر شده، واحدهای سنگی مهم موجود در منطقه به ترتیب از قدیم به جدید به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۱: بخشی از نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عقدا (اقتباس از علائی و فودازی، ۱۳۸۵) و سروبالا (اقتباس از امیدوی و نبوی، ۱۳۶۸) و موقعیت محدوده بهرامتاج روی آن.

کانی‌زایی غیر سولفیدی در محدوده معدنی بهرامتاج

شناخت و نحوه تشکیل کانی‌ها نیاز به مطالعه و بررسی نحوه ارتباط آنها با همدیگر دارد. در محدوده اکتشافی مهم‌ترین کانی‌سازی‌های رویت شده به صورت روی-سرب (سرب به مقدار کمتر) و مختصراً مس و باریت است (قلی زاده و همکاران، ۱۳۹۶). به‌طور کل کانی‌های غیرسولفیدی روی که به اصطلاح کالامین نیز نامیده می‌شوند، ترکیبی از کانی‌های سوپرژن روی با مقداری کانی‌های سرب، کربنات‌های هیدروکسیدی و سیلیکات‌ها هستند که کانی‌های سولفیدی اولیه را پوشش می‌دهند (Boni and Mondillo, 2015; Newton, 2013;) (Luke et al, 2015). همچنین شواهدی از توسعه

زون‌هایی از پهنه‌های گوسان‌دار، ژئوپس، رگچه‌هایی از جنس سیلیس و چرت نیز در منطقه قابل مشاهده است. با توجه به اینکه شناسایی کانی‌های غیرسولفیدی روی به علت شباهت زیاد با کانی‌های کربناته مانند دولومیت و کلسیت و همچنین گستردگی تنوع رنگی دشوار است (Wilkinson,) (Lecumberri-Sanchez et al, 2014; 2014)، به همین دلیل برای شناسایی صحرائی کانی‌های غیرسولفیدی روی از معرف زینک‌زپ استفاده شده که در صورت وجود عنصر روی، رنگ آن به صورت نارنجی-قرمز در می‌آید. البته این روش فقط به منزله شناسایی کیفی وجود کانی‌های روی‌دار است و مقدار آن را نشان نمی‌دهد (شکل ۲).



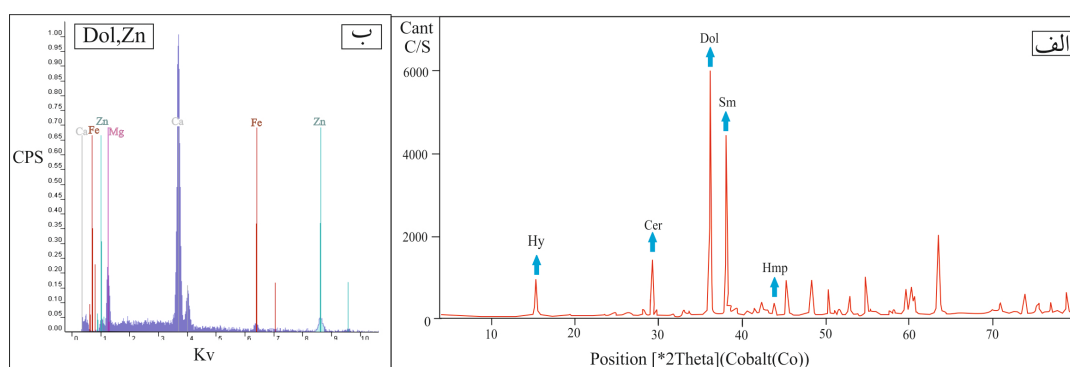
شکل ۲: الف) تشکیل کانی‌های اکسیدی-کربناته-سیلیکاته در بخش گوسنی محدوده. ب) شناسایی کانی‌های اکسیدی-کربناته-سیلیکاته روی به وسیله معرف زینک‌زپ در صحرا.

استفاده از طیف‌های EDS، کانی‌های مختلف موجود در نمونه‌ها شناسایی و در تصاویر BSE مشخص شده‌اند (شکل ۳). طبق این نتایج، طیف گسترده‌ای از کانی‌های روی، سرب و مس در محدوده معدنی تشکیل شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کانی‌های غیرسولفیدی (اسمیت زونیت، همی‌مورفیت، هیدروزینکیت و به مقدار کمتر

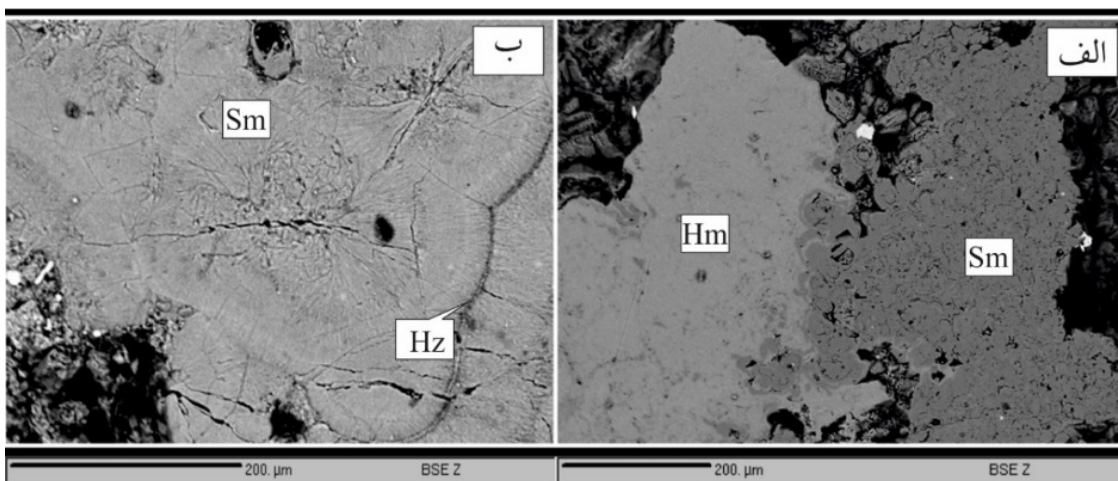
برای شناسایی دقیق و تعیین نوع کانی‌ها، نمونه‌ها به وسیله دستگاه XRD و میکروسکوپ الکترونی EPMA مطالعه شدند. نوع دستگاه XRD استفاده شده از نوع فیلیپس اکسپرت^۱ و EPMA نیز مدل SX100 ساخت کشور فرانسه است که واقع در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران موجود می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج آنالیز XRD و با

دولومیتی روی دار (زینسین دولومیت) دیده می شود که دگرسانی دولومیتی روی دار یکی از نشانه های مهم کانی سازی در منطقه به شمار می رود (شکل ۵). همراه با دگرسانی سنگ دیواره کربناته (در اثر تأثیر سیالات گرمابی اسیدی) پدیده دولومیتی شدن رخ داده است. این عامل اصلی تشکیل این نوع دولومیت و جانشینی منیزیم به وسیله روی در ساختار آن است (Boni and Mondillo, 2011).

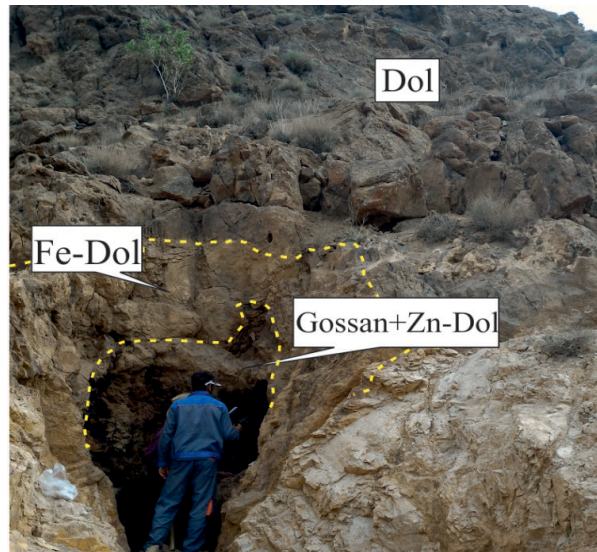
سروزیت)، سولفیدی گالن و کانی های باطله مانند دولومیت و کلسیت اشاره کرد. در واقع کانی های مذکور به صورت پارائنز با همدیگر تشکیل شده اند (شکل ۴). مهم ترین دگرسانی های موجود در محدوده معدنی، دگرسانی های دولومیتی، سیلیسی و به مقدار کمتر کلسیتی هستند که در بخش کربناته محدوده و همراه با کانی سازی غیرسولفیدی قابل مشاهده است. دگرسانی دولومیتی به صورت دگرسانی غالب در سازند عقدا و همچنین دگرسانی



شکل ۳: الف) نتایج آنالیز XRD که کانی های موجود در نمونه مورد مطالعه را نشان می دهد (همی مورفیت (Hmp)، اسمیت زونیت (Sm)، دولومیت (Dol)، سروزیت (Cer) و هیدروزینکیت (Hz))، ب) طیف EDS کانی دولومیت روی دار.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی های همی مورفیت (Hm)، اسمیت زونیت (Sm) و هیدروزینکیت (Hz).



شکل ۵: دولومیت روی‌دار (Zn-Dol) همراه با کانی‌سازی غیرسولفیدی روی (سینه‌کار غربی محدوده- دید به سمت جنوب).

مواد و روش‌ها

در بسیاری از موارد مرتبط با کانی‌سازی سرب و روی، تعیین روابط بین کانی‌سازی و تغییر شکل ساختاری مشکل به نظر می‌رسد، زیرا پیوندهای تغییر شکل منطقه‌ای به‌طور دقیق شناخته نمی‌شوند، در واقع مطالعات کانی‌سازی ممکن است بزرگترین بینش را به ساختار منطقه‌ای ارائه دهند (Miller et al, 2010; Yasemi et al, 2017). همچنین تعیین روابط تغییر شکل کانی‌سازی با جابجایی‌های تکتونیکی صفحات خاص مرتبط سخت و دشوار است، اگر چه این یافته‌ها برای کاوش‌های معدنی در مقیاس منطقه‌ای نیز اهمیت بسیار دارد. به هر حال شناسایی پدیده‌های مختلف این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان تغییر شکل در مقیاس معدنی را در مقیاس تغییرات ساختاری منطقه توجیه و بررسی کرد (Hill and Raza, 1999; Schellart et al, 2011; Davise, 2012; Holm et al, 2015). هدف از این تحقیق بررسی و شناسایی ساختارهای مختلف زمین‌شناسی مانند گسل‌ها، درزه‌ها و چین‌خوردگی‌ها در مقیاس محلی

و همچنین در محدوده معدنی بهرامتاج است که پس از شناسایی ساختارهای اصلی و مهم تاثیرگذار منطقه و محدوده، وضعیت ساختاری و تکتونیک محدوده معدنی بهرامتاج و ارتباط ساختارهای زمین‌شناسی با مناطق کانی‌سازی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به قابل دسترس بودن تصاویر گوگل ارث با دقت تقریبی ۳۰ متر و همچنین بهره بردن از تصاویر توپوگرافی رقومی با دقت ۳۰ متر و تصاویر ETM+ و با به کارگیری نرم‌افزارهای سنجش از راه دور در اینجا به شناسایی موقعیت تکتونیکی منطقه پرداخته شده است.

بحث و نتایج

ساختارهای گسلی اصلی پیرامون سیستم

ساختاری بهرامتاج

ورقه ساختاری عقدا جزئی از بلوک یزد می‌باشد، بلوک یزد در غرب توسط گسل نائین- سورک از خرده قاره ایران مرکزی جدا شده و در شرق نیز توسط گسل پشت بادام از بلوک طبرس جدا می‌شود (شکل ۶ الف و ب). با توجه به نقشه گسل‌های

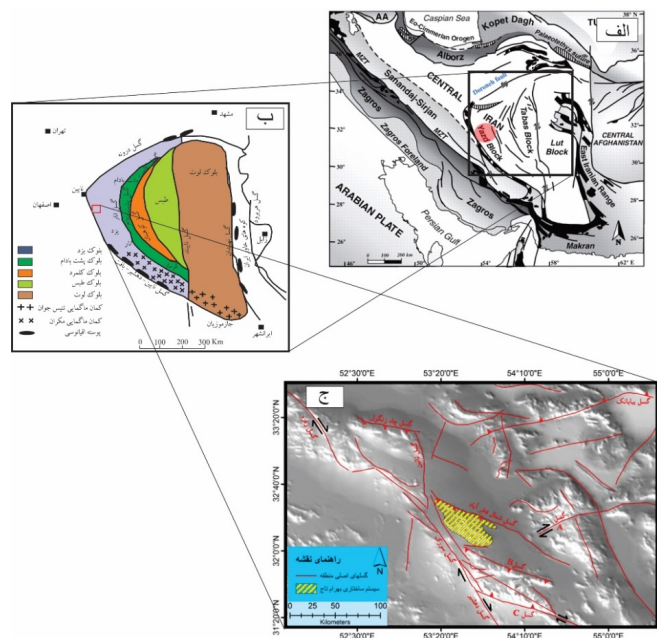
مطالعه تعریف شده، ۱۶۰ کیلومتر طول دارد و در بخش شمالی سیستم ساختاری بهرامتاج دارای مولفه غالب راندگی با شیب به سمت جنوب- جنوب شرق می‌باشد. مشخصه گسل فخرآباد وجود ارتفاعاتی از واحدهای چینه‌نگاری با سن پرکامبرین و پالئوزوئیک در فرادایواره آن است.

گسل A: این گسل که با توجه به سنجش از راه دور در این مطالعه تعریف گردید، گسلی با درازای ۱۳۰ کیلومتر و حرکت غالب راست‌بر، هم‌روند گسل بیابانک می‌باشد (شکل ۶ ج).

گسل B: این گسل با درازای ۹۵ کیلومتر روند شمال غرب- جنوب شرق در جنوب سیستم ساختاری بهرامتاج قرار دارد و از نوع گسل راندگی با شیب به سمت جنوب غرب بوده و موازی و هم‌روند گسل شمال فخرآباد است. این گسل در این مطالعه براساس سنجش از راه دور به دست آمده است (شکل ۶ ج).

منطقه و شکل قرارگیری بلوک‌ها، بلوک یزد در شکل ۶ ب به عنوان مثلث میانی در ساختار ایران مرکزی تعریف می‌شود که این مثلث میانی توسط گسل‌های زفره- دهشیر، نائین- سورک و گسل بیابانک- درونه دربر گرفته شده است. با توجه به اهمیت شناخت گسل‌های پیرامونی سیستم ساختاری بهرامتاج، گسل‌های مهم منطقه عبارتند از:

گسل قم- زفره با طول حدود ۲۲۰ کیلومتر، پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر را در بخش‌های میانی بریده است. گسل نائین- دهشیر به طول حدود ۳۵۰ کیلومتر با جهت شمال غربی- جنوب شرق در دامنه جنوبی رشته کوه شیرکوه قرار دارد (نبوی، ۱۳۵۵). گسل درونه به طول تقریبی ۷۰۰ کیلومتر از مرزهای شرقی ایران تا مرکز دشت کویر گسترش دارد (Berberian and King, 1981). گسل شمال فخرآباد با استفاده از سنجش از راه دور در این



شکل ۶: الف) نقشه محیط‌های زمین‌ساختی ایران، محدوده تقریبی سیستم ساختاری بهرامتاج با دایره سرخ رنگ مشخص شده است. ب) خرده صفحه قاره‌ای ایران مرکزی و محدوده مورد مطالعه در آن. ج) تعیین گسل‌های مهم و تاثیرگذار محدوده پیرامونی سیستم ساختاری بهرامتاج با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و سنجش از راه دور بر روی تصویر توپوگرافی رقومی با دقت ۳۰ متر.

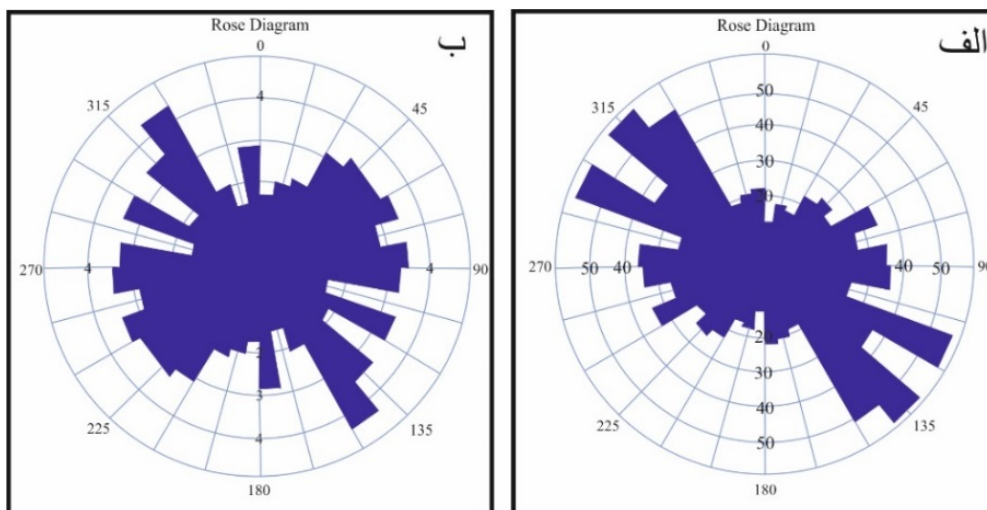
حاکم بر منطقه تحت‌تاثیر و عملکرد گسل‌های اصلی و راندگی در شمال و جنوب محدوده اکتشافی می‌باشد که وجود گسل‌های نرمال در غرب و عملکرد و راستای متفاوت و غیر هم‌جهت این گسل‌ها سبب شده است تا محدوده اکتشافی در منطقه‌ای ترافشارشی قرار گیرد و همین موضوع باعث شکل‌گیری نسل‌های مختلفی از گسل‌ها و شکستگی‌های همراه با آنها شود. روندهای تنش اصلی منطقه براساس رزیدیاگرام‌های ترسیم شده از گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه بیانگر تبعیت آنها از توزیع تنش ناشی از عملکرد گسل‌های اصلی در منطقه است که دو راستای N044 و راستای N337 جهت بیشینه تنش حاکم بر منطقه است. توزیع فضائی رخدادهای متعدد کانی‌زائی در یک منطقه می‌تواند بیانگر همراهی و یا عدم همراهی آنها با کنترل‌کننده‌های ساختاری باشد. در روند عمومی گسل‌های محدوده بهرامتاج علاوه بر روند اصلی NW-SE دو روند فرعی N60E و N005W نیز دیده می‌شود (شکل ۷ الف و ب).

ساختارهای مهم زمین‌شناسی در محدوده معدنی بهرامتاج

ساختارهای مهم و غالب در محدوده بهرامتاج شامل گسل‌ها، چین‌خوردگی‌ها و دگرشیبی‌ها می‌باشند که به اختصار هرکدام بررسی خواهند شد.

گسل‌ها

شکستگی و گسلش در کل محدوده مورد مطالعه به‌عنوان اصلی‌ترین رخداد زمین‌شناسی و عنصر ساختاری غالب عمل کرده است. وجود نسل‌های مختلف از گسل‌ها و به همراه داشتن شکستگی‌های مرتبط با هر نسل در پهنه‌های گسلی سبب بهم-ریختگی و پیچیدگی واحدهای سنگی در منطقه شده است. گسل‌ها براساس راستا و روند صفحه گسل، سازوکار، مکانیسم حرکتی و در نهایت ارتباط با کانی‌سازی‌های مهم در منطقه، تفکیک و بررسی شده‌اند. بررسی پهنه‌های گسلی و عناصر ساختاری مرتبط با حرکات گسلی (تشکیل پهنه‌های شکستگی، گوز و برش گسلی) در گسل‌های محدوده، بیانگر تشکیل آنها در محیط‌های شکننده و کم‌عمق می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه تنش

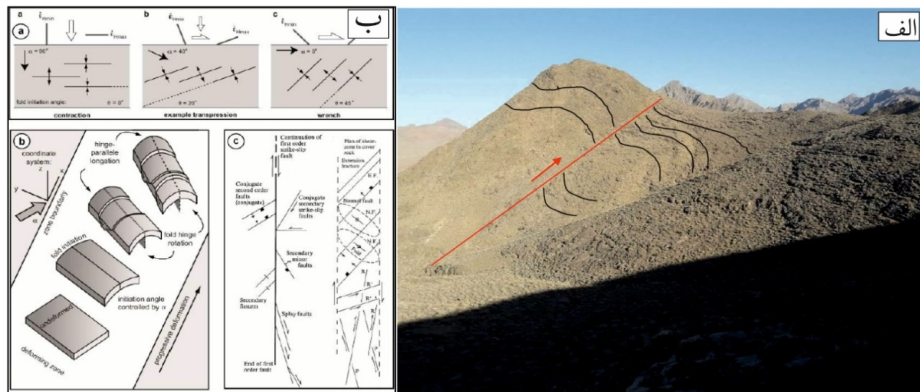


شکل ۷: الف) رزیدیاگرام ترسیم شده برای گسل‌های اصلی محدوده براساس آزمون و راستای آنها، ب) رزیدیاگرام ترسیم شده برای گسل‌های اصلی محدوده براساس طول آنها.

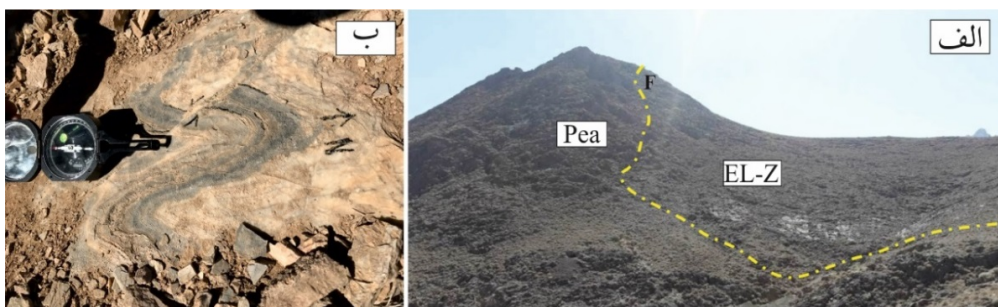
چین خوردگی‌ها

چین خوردگی‌ها معمولا مربوط به محیط‌هایی هستند که دگرریختی در آنجا از نوع شکل‌پذیر باشد (Blenkinsop, 2002; Stearns, 1968) در محدوده مورد مطالعه در زمان‌های مختلف تغییرات متفاوتی در نحوه و نوع تغییر شکل، اتفاق افتاده است، اما بیشترین نوع دگرشکلی به صورت شکننده و توسعه شکستگی‌ها و گسلش بوده است. در واحدهای سنگی قدیمی محدوده که بیشترین رخمون آنها در بخش‌های شمالی می‌باشد واحدهای کربناته کامبرین حداقل دو نسل از چین خوردگی را در خود نشان می‌دهد و انواع متنوعی از چین‌های باز و بسته و به صورت برگشته و نامتقارن در مقیاس‌های متفاوت در آنها دیده می‌شود. در اکثر موارد یال چین‌های قدیمی با گسل‌های طولی، محدود و گسیخته شده‌اند و به دلیل متحمل شدن تنش‌های مختلف در راستاهای متفاوت چرخش زیادی در راستای محور و هندسه آنها رخ داده است. براساس روند و راستای محور چین خوردگی‌ها در واحدهای رسوبی محدوده، می‌توان راستای تنش کلی حاکم بر منطقه را به طور تقریبی تعیین کرد. در جنوب غرب محدوده با توجه به شکل‌گیری چین‌ها و اثر سطح محوری چین‌ها در واحدهای دولومیتی، جهت تنش بیشینه فشارشی بسیار متفاوت با تنش حاکم بر منطقه می‌باشد، به نحوی که راستای تقریبی محور چین‌های موجود در این واحد در حال حاضر N088 است و با چین‌های نسل‌های بعدی خود در واحدهای جوان‌تر محدوده متفاوت است (برای مثال در واحد زاگون

N118 می‌باشد). با توجه به وضعیت ساختاری منطقه و نحوه توزیع تنش براساس شواهد ساختاری موجود در محدوده و هندسه چین‌های نسل‌های جوان‌تر، می‌توان روندهای قدیمی‌تر چرخش ساعت‌گرد را برای این نسل از چین‌های محدوده متصور شد. در ارتباط با نحوه شکل‌گیری، چین خوردگی‌های محدوده تحت‌تاثیر عملکرد گسل اصلی منطقه بوده‌اند. با توجه به بحث‌های پیشین، راستای غالب چین خوردگی‌های منطقه آزیموت N120 را نشان می‌دهد. وجود تغییرات در راستای محور چین‌ها از N085 تا N150 (به میزان ۵۵ درجه) بیانگر وضعیت ساختاری می‌باشد که دگرشکلی در منطقه به صورت پیشرونده و مداوم بوده است که چرخش در نسل‌های قبلی همزمان با توسعه نسل‌های جدیدتر اتفاق افتاده است. راستای تنش عامل چین خوردگی را می‌توان براساس روند غالب محور چین‌ها تعیین کرد. در واقع راستای عمود بر روند چین خوردگی‌های غالب منطقه یعنی راستای N030 راستای تنش غالب بوده که می‌توان آن را مسبب چین خوردگی‌های منطقه در نظر گرفت. قرار گرفتن محدوده اکتشافی در یک پهنه ترفشارشی پیشرونده (محدوده بین گسل‌های شمال فخرآباد و نائین - دهشیر و شاخه‌های منشعب از آن) عامل چرخش و تغییر راستای محور چین‌های منطقه را به خوبی نشان داده و برگشتگی و شیب نزدیک به قائم لایه‌ها در بخش‌هایی از منطقه موید دگرشکلی پیشرونده در سطح محدوده است (شکل ۸).



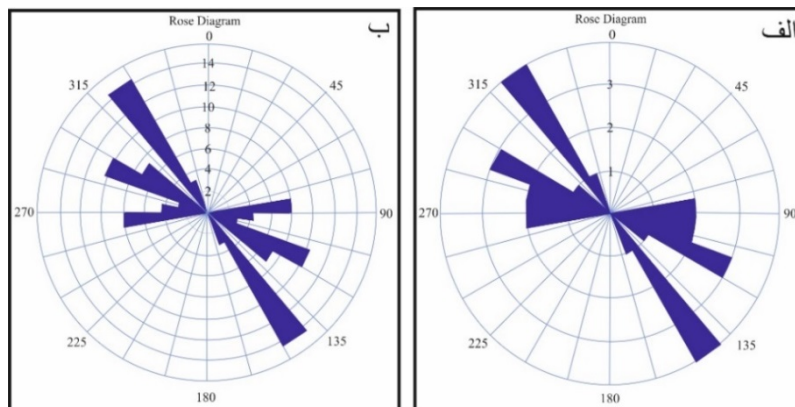
شکل ۸: الف) نمایشی از واحدهای چین‌خورده در بخش مرکزی محدوده در کنتاکت واحدهای زاگون و عقدا. (دید به سمت جنوب شرق)، ب) نحوه تغییرات دگرشکلی در پهنه‌های ترافشارشی پیشرونده.



شکل ۹: الف) کنتاکت گسل بین واحدهای چین‌خورده عقدا (Pea) - لالون - زاگون (EL-Z) (دید به سمت جنوب)، ب): تشکیل ریزچین‌ها در واحد کربناته.

در واقع شیل‌ها به دلیل نقشی که معمولاً به عنوان سطوح جدایشی در مکانیسم چین‌خوردگی دارند، سبب بهم‌ریختگی‌ها و توسعه راندگی‌های زیادی در داخل واحدها می‌شوند که مهم‌ترین دلیل اصلی توسعه ریزچین‌ها در منطقه می‌باشند. راستای محور این ریزچین‌ها در واحدهای شیلی-ماسه-سنگی و واحدهای جوان‌تر کربناته می‌تواند متفاوت با ساختار اصلی باشد. در مقیاس کلی با توجه به رزدیگرام‌های شکل ۱۰ الف و ب، حداقل سه نسل چین‌خوردگی دیده می‌شود، که مهم‌ترین راستا و روند غالب سطح محوری دارای آزیموت N142 می‌باشد که تغییرات روند آنها بیانگر چرخش محور و تغییرات دگرشکلی پیشرونده در منطقه است. در محدوده معدنی این راستا تقریباً اختلاف ۲۵-۳۵ درجه‌ای با روند عمومی چین‌های منطقه دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت محدوده اکتشافی بخشی از ساختار یک چین بزرگ مقیاس تکتونیزه به نام تاقفرم بهرام‌تاج است که در بخش جنوب غربی آن به دلیل عملکرد گسل‌های مرتبط با چین‌خوردگی یک تاقدیس فرادیوارهای تشکیل شده است که منطبق بر رخداد کانی‌زایی اصلی سرب و روی در منطقه است و در بعضی مناطق حالت برگشته در ریزچین‌های آن وجود دارد. در این منطقه به دلیل عملکرد گسل‌های محلی در ابعاد مختلف و نیز نحوه رفتار واحدهای سنگی، ریزچین‌هایی تشکیل شده است که گاهی دارای هندسه، راستا، محور و ابعاد متفاوتی با ساختارهای کلی منطقه هستند (شکل ۹ الف و ب). در بخش‌های شیل و ماسه سنگی واحد هشتم و قدیمی‌تر به دلیل حضور ممبرهای شیلی در داخل آنها، ریزچین‌های زیادی توسعه پیدا کرده و



شکل ۱۰: الف) رزداگرام مربوط به آزمایشات راستای محور چین‌ها، ب) رزداگرام مربوط به راستای محور چین‌ها براساس طول محور چین‌ها

فرازمین‌ها) را داشته‌اند. این گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه معمولاً مولفه حرکتی غالب راستالغز راست‌گرد را دارا می‌باشند که پهنه‌های گسلی نسبتاً گسترده‌ای دارند و با توجه به طول زیاد آنها و خمیدگی‌هایی که در راستاهای آنها اتفاق افتاده است موجب ایجاد یکسری پهنه‌های کششی و فشارشی در امتداد آنها در منطقه شده‌اند و در راستای آنها پهنه‌های کششی و مناطق مستعدی جهت رخداد کانی‌زایی ایجاد شده است. تعدادی کانی‌زایی سرب و روی در منطقه در راستای این دسته از گسل‌ها ایجاد شده است و نقش اصلی در کنترل و گسترش این کانی‌زایی در منطقه ایفا کرده‌اند. گسترش کانی‌سازی سرب و روی در راستای گسل‌های شمال‌غربی - جنوب‌شرقی بیانگر تاثیر مثبت فعالیت گسل شرقی - غربی در مقدار بازشدگی و ایجاد محلی مناسب در شکستگی‌های کششی مربوط به سیستم شکستگی شمال‌شرق - جنوب‌غرب است که سبب شده تا در پهنه‌های کششی مرتبط با این سیستم کانی‌سازی گسترش بیشتری داشته باشد. یعنی برهم منطبق شدن روندهای N079 و N135 که منجر به تشدید رخداد کانی‌زایی در منطقه شده‌اند (شکل ۱۱ الف و ب).

تحلیل هندسی گسل‌ها و شکستگی‌ها

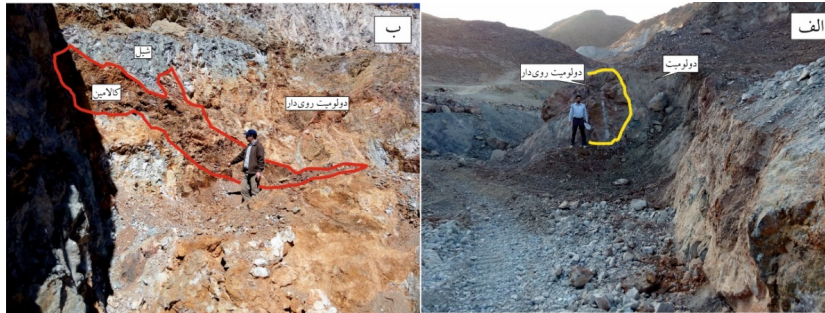
سیستم شکستگی‌ها به ویژه گسل‌ها از مهم‌ترین عناصر ساختاری می‌باشند که نقش اصلی را در هندسه ساختاری فعلی محدوده ایفا کرده‌اند. با تفکیک دسته گسل‌ها و شکستگی‌ها به گروه‌های مختلف، ویژگی‌های آنها مورد بررسی قرار داده می‌شود.

روند گسل‌های شمالی - جنوبی (N-S)

این دسته از گسل‌ها در راستای امتدادشان، در کل محدوده مورد مطالعه گسترش دارند و از شکستگی‌های غالب در منطقه به شمار می‌آیند. روند میانگین این ساختارها بین ۳۵۰ تا ۱۰ درجه می‌باشد. پهنه برشی و خرد شده در طول این گسل‌ها معمولاً بیش از چندین متر است. این روندها بیشتر در محدوده جنوب منطقه مورد مطالعه نمایان شده‌اند. این گسل‌ها تمامی روندهای ساختاری را جابه‌جا کرده‌اند و یکی از فازهای نهایی و جوان تغییرات ساختاری محدوده به شمار می‌روند.

روند گسل‌های شمال‌غرب - جنوب‌شرق (NW-SE)

این دسته شامل گسل‌های امتدادلغز با مولفه شیب‌لغز معکوس می‌باشند که نقش اصلی در به وجود آمدن ارتفاعات و پهنه‌های دگرشکل شده بالا آمده



شکل ۱۱: الف) گسل شرقی - غربی حاوی کانی‌سازی ضعیف کانی‌های غیرسولفیدی روی در دیواره گسل (دید به سمت غرب)، ب) کانی‌سازی روی در محل کنتاکت گسل شمال‌شرق - جنوب‌غرب با گسل شرقی - غربی و جابه‌جایی آن در سینه‌کار استخراجی (دید به سمت شمال).

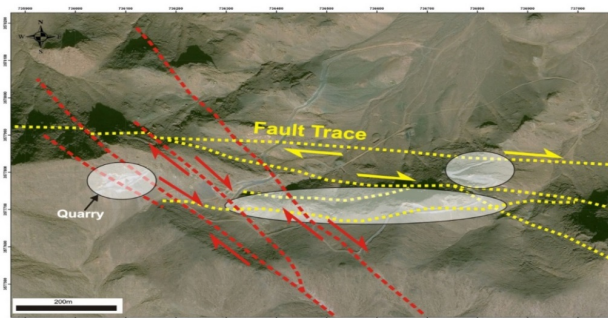
محدوده بوده‌اند و دوم نقش آنها در ایجاد محیط - های کششی در تلاقی با سایر روندهای گسلی است. در بعضی از نقاط مرتفع منطقه، هندسه چین‌های محلی و وضعیت هندسی لایه‌ها، شکستگی‌ها و گسلش‌هایی با مولفه نرمال در آنها شکل گرفته است که می‌توانند مرتبط با لغزش‌های ثقلی و گراویته لولای چین نیز باشد (شکل ۱۲). در نواحی که گسترش کانی‌سازی تحت‌تاثیر عملکرد گسل - های راست‌الغز است، مناطق دارای کانی‌سازی می - توانند منطبق بر نواحی باشند که در حفاصل تلاقی سیستم‌های شکستگی R و R' است (شکل ۱۳ الف و ب). بخش اصلی از محیط‌های کششی در پهنه گسل‌های غربی - شرقی منطبق بر گسل‌ها و زون‌های خرد شده با روند شمال‌غربی - جنوب - شرقی می‌باشد که این می‌تواند به توسعه بیشتر رخداد کانی‌زایی در راستای گسل‌های مذکور گردد.

روندگسل‌های شمال شرق - جنوب غرب (NE - SW)

این گروه گسل‌هایی با شیب تند و نزدیک به قائم را دارا می‌باشند. در این دسته از گسل‌ها آثار جابه - جایی امتدادی چپ‌بر را می‌توان مشاهده نمود. این گسل‌ها در محدوده اکتشافی مهم‌ترین تاثیر در پهنه‌های کانی‌دار را ایجاد کرده‌اند در واقع باعث جابجایی چپ‌گرد در آنها شده و در برخی موارد جابجایی شیب‌لغز نرمال نیز در آنها شناسایی و اندازه‌گیری شده است

گسل‌های با روند شرقی - غربی (E-W)

این دسته از گسل‌ها دارای گسترش و فراوانی قابل توجهی در محدوده اکتشافی هستند. دو نکته در مورد این گسل‌ها قابل ذکر است: یکی عملکرد این گسل‌ها در جابه‌جایی واحدهای سنگی و تغییر مکانیسم حرکتی که حرکات راست‌الغز راستبر آنها همزمان با جایگیری سیالات دارای کانی‌سازی در



شکل ۱۲: روند عمومی و اصلی گسل‌ها و موقعیت ماده معدنی در تصویر ماهواره‌ای منطقه



شکل ۱۳: الف) کانی‌سازی سرب و روی در امتداد گسل امتدادلغز (دید به سمت شمال)، ب) نحوه توسعه فضاهای کششی در پهنه‌های گسلی امتدادلغز در نتیجه عملکرد شکستگی‌های R و R'.

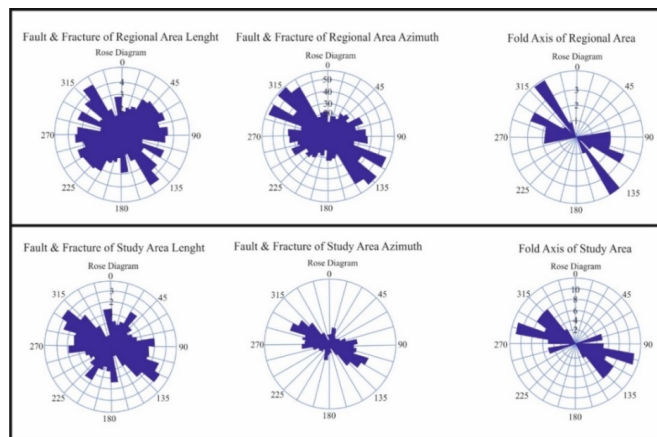
تحلیل و تفسیر داده‌های ساختاری

گسل‌ها از اهمیت ویژه‌ای در کانی‌سازی و تشکیل کانسارهای معدنی برخوردارند. حرکات امتدادلغز گسل‌ها منجر به تشکیل مناطق تراکشی و ترافشارشی در راستای گسل‌های بزرگ می‌شود که مناطق تراکشی، محل‌های مناسبی برای جایگیری، تزریق و بالا آمدن سیالات عمقی و در نهایت کانی‌سازی‌های مختلف در راستای گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشند (Blenkinsop, 2002; Mohajjel and Ferguson, 2013). در منطقه مورد مطالعه سه سیستم شکستگی غالب وجود دارد که در ارتباط با فازهای مختلف تکتونیکی در منطقه ایجاد شده است. هر سیستم گسلی دارای یک سری شکستگی‌های مرتبط با حرکات خود است که نسل‌های مختلف آن در مراحل دگرشکلی پیشرفته ایجاد می‌شود. تعدادی از شکستگی‌ها وجود دارند که در نتیجه عملکرد شکستگی‌های اصلی منطقه شکل می‌گیرد و مربوط به نسل‌های بعدی آنها می‌شوند. در بخش جنوبی منطقه گسل F1 به عنوان یک گسل اصلی با سازوکار معکوس راستالغز وجود دارد که به موازات تقریبی آن گسل F2 در شمال منطقه قرار می‌گیرد. در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه یکسری گسل‌های طولی کوتاه‌تر موازی با

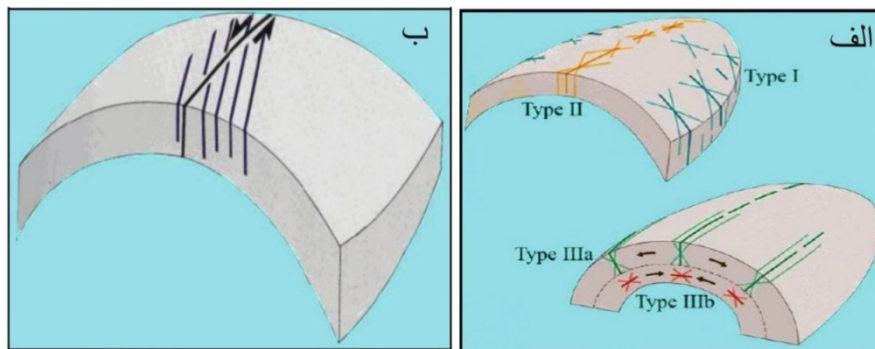
روند تقریبی شمال، شمال‌غرب، جنوب، جنوب‌شرق وجود دارد که آنها نیز بیشتر سازوکار نرمال با شیب به سوی شرق و شمال شرق دارند (گسل‌های F3 و F4). گسل‌های عرضی پرشماری با روندهای شمال-غرب-جنوب‌شرقی و شمال‌شرق-جنوب‌غرب گسل‌های اصلی را قطع کرده‌اند که در واقع گسل‌های درجه ۲ و ۳ مربوط به فعالیت و عملکرد امتداد لغز گسل‌های اصلی هستند و به‌طور عمده جابه‌جایی امتداد لغز راست‌گرد (گسل‌های شمال‌غربی-جنوب‌شرقی) و یا چپ‌گرد (گسل‌های شمال‌شرقی-جنوب‌غربی) دارند و باعث جابه‌جایی واحدهای سنگی در ابعاد مختلف شده‌اند. یکی دیگر از مهم‌ترین سیستم‌های شکستگی و گسلش در منطقه، سیستم‌های گسلی مرتبط با چین خوردگی‌های منطقه می‌باشد که تلفیق این سیستم با شکستگی‌های نسل‌های قبلی که گفته شد می‌تواند موجب تقویت و تضعیف عملکردشان بر روی هم‌دیگر شود. در سیستم‌های گسلی مربوط به چین‌خوردگی، چهار نسل شکستگی مرتبط می‌توان شناسایی کرد (شکل ۱۵ الف و ب). سیستم‌های گسلش و شکستگی در محدوده معدنی را بر روی رزدیگرام‌های شکل ۱۴ می‌توان مشاهده کرد. با توجه به رزدیگرام‌های مربوط به گسل‌ها و شکستگی‌های

اکتشافی و روابط حاکم بر این الگوها در شناخت و درک این عوامل بسیار سودمند هستند. بنابراین مادامی‌که وضعیت و شدت این دسته شکستگی‌ها با شکل و روند چین همخوانی داشته باشد، می‌توان آنها را مرتبط با هندسه شکستگی‌های چین‌ها دانست (Stearns, 1968).

منطقه و روند و راستای محور چین‌ها مشخص می‌شود که شکستگی‌های با راستای N005W و N032 و N105 می‌تواند مربوط به شکل‌گیری همزمان با فرآیند چین‌خوردگی در منطقه باشد. تاریخچه تنش و تغییر شکل در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه شکستگی‌ها در آن بسیار پیچیده است. اما الگوهای ساختاری حاکم بر محدوده



شکل ۱۴: زدیگرام ترسیمی براساس طول و آزیموت و راستای گسلش، شکستگی و روندهای محور چین‌های منطقه.



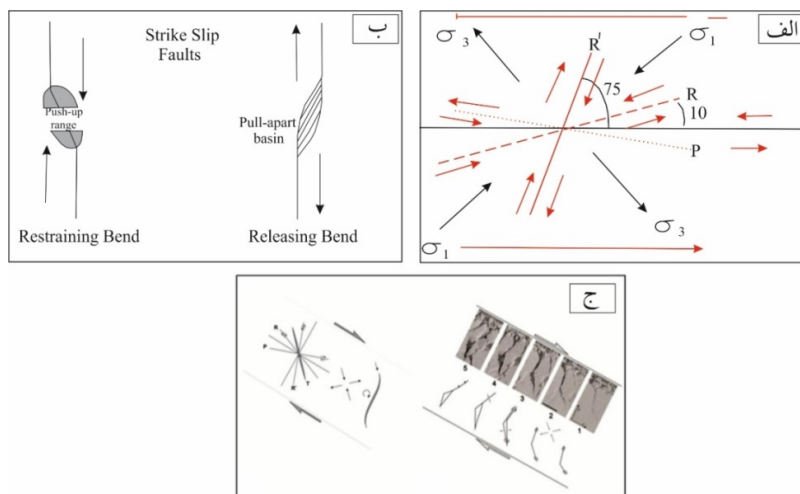
شکل ۱۵: الف) نمایش انواع شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی (Stearns, 1968)، ب) نمایش شکستگی‌های مرتبط با گسل خوردگی (Stearns, 1968).

و شکستگی را مرتبط با مکانیسم چین‌خوردگی در منطقه دانست. با توجه به شواهد برداشت شده سطحی و زیر سطحی (ترانشه‌ها و تونل‌ها) در محدوده بیشترین آثار کانی‌سازی سرب و روی در راستای گسل‌هایی با روند تقریبی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی متمایل به شرقی- غربی رخ داده است

شکستگی‌های وابسته به چین‌خوردگی نمایش شماتیک، در پنج دسته خلاصه شده است (شکل ۱۵ الف و ب). با توجه به دیگرام‌های مربوط به شکل ۱۴ می‌توان ارتباط نزدیک بین شکستگی‌های غالب محدوده اکتشافی و راستای محور چین‌ها را مشاهده کرد. در واقع می‌توان سیستم‌های گسلش

قابل مشاهده است. همچنین سیستم گسلی شمال-شرق - جنوب غرب سبب جابجایی چپ گرد گسل-های کانی دار و پهنه‌های کانی دار (روی-سرب) شده است و جوان‌ترین رخداد ساختاری در بخش جنوب شرقی منطقه می‌باشد. در پهنه‌های گسلی امتدادلغز انواع مختلفی از شکستگی‌های R (شکل ۱۶ الف و ب). معمولا راستای کشش‌های بیشینه (شکستگی $T = (P+R)/2$) محل مناسب برای تزریق سیالات و رخداد کانی‌سازی هستند (شکل ۱۷ ج). همچنین در نتیجه عملکرد دو فاز از شکستگی‌های R و R' محیط‌های مناسبی در محل تلاقی این دو شکستگی شکل می‌گیرد که در راستای کشش اصلی منطقه، توسعه بیشتری پیدا می‌کند. شناخت نوع، راستا و نحوه عملکرد این شکستگی‌ها می‌تواند در پهنه‌های گسلی که نقش اصلی در شکل‌گیری کانی‌سازی داشته است، بسیار مفید و موثر باشد.

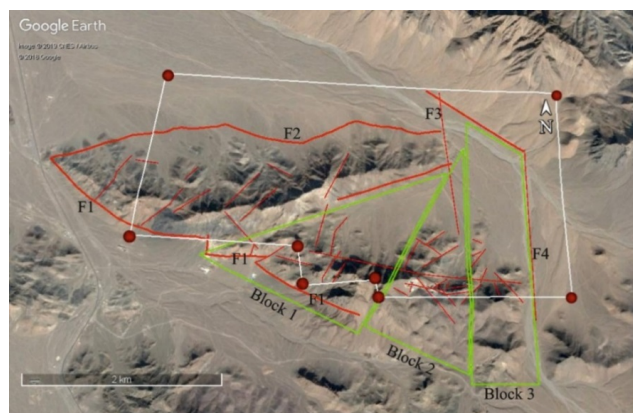
که سینه‌کارها و ترانشه‌های حفر شده نیز در این منطقه از روند تقریبی این گسل‌ها تبعیت می‌کنند. نکته قابل توجه در مورد گسل‌های مذکور تغییرات شیب مربوط به آنهاست که مرتبط با هندسه لنزی شکل پهنه‌های کانی‌سازی می‌باشد. در راستایی تقریبا موازی با این گسل‌ها، گسل‌هایی نیز وجود دارند که آثاری از کانی‌سازی در پهنه‌های مربوط به آنها مشاهده نمی‌شود و یا بسیار ضعیف است که بیانگر وجود نسل‌های مختلف گسلش و جوان‌تر بودن آنها نسبت به رخداد کانی‌سازی است. در راستای بعضی از گسل‌های شمالی-جنوبی نیز آثاری از کانی‌سازی سرب و روی به صورت ضعیف‌تر قابل مشاهده است که این موضوع نیز در محدوده جامعیت ندارد که از این نظر با گسل‌های شرقی-غربی مشابه است. در واقع این موضوع مربوط به محل تلاقی روندهای مذکور با روند گسل‌های کانی دار (NW-SE) می‌باشد. از نظر زمانی در داخل پهنه سیستم گسلی NW-SE، گسل‌های شمالی-جنوبی جوان‌تر از گسل‌های شرقی-غربی می‌باشند و این موضوع به صورت ایجاد جابه‌جایی‌های راست-گرد در منطقه و در داخل ترانشه‌های حفر شده،



شکل ۱۶: الف) توسعه انواع نسل‌های مختلف شکستگی ریدل، ب) خم‌های کششی و فشارشی، ج) شکل‌گیری فضاهای خالی در نتیجه عملکرد گسل‌های شکل گرفته در پهنه سیستم‌های امتدادلغز.

سرب و روی در این منطقه کمتر از سایر مناطق بوده است. این محدوده نسبت به نواحی همجوار از نظر ارتفاعی دچار بالا آمدگی بیشتری شده است. در بلوک ۲ که در بخش مرکزی محدوده جنوبی قرار دارد هندسه چین‌خورده واحدهای سنگی مشخص‌تر است، که این امر با ضخیم‌شدگی واحدهای سنگی آهک-دولومیتی همراه شده است. در واحدهای مذکور نسل‌های مختلفی از ریزچین‌های با ابعاد متفاوت نیز دیده می‌شود و از نظر ارتفاعی نسبت به بلوک‌های مجاور خود در ارتفاع پایین‌تری قرار دارد و به نحوی پایین افتاده است که این موضوع در اثر عملکرد گسل‌های دو مرز شرقی و غربی آن رخ داده است که گسلش نرمال و چپ‌گرد دارند. این بلوک از سایر بلوک‌های ساختاری، خرد شده‌تر و بهم ریخته‌تر است و براساس شواهد صحرایی، تمرکز کانی‌زایی سرب و روی در این زون بیشتر از سایر بلوک‌ها است. در بخش شرقی بلوک ۲، بلوک شماره ۳ وجود دارد که ساختار آن به صورت چین فرادیواره‌ای نمایان می‌شود که در بعضی نقاط پهلوی شمالی تاقدیس حالت برگشته و گاه قائم تا عادی پیدا کرده است و ناودیس فرودیواره‌ای نیز در واحدهای ماسه‌سنگی زاگون تشکیل شده است.

محدوده اکتشافی به دلیل عملکرد گسل‌های مرتبط با تاقفرم بهرامتاج در مرز شمالی و جنوبی موجب شده تا یک ساختار چین‌خورده مرتبط با گسل به صورت یک تاقدیس بریده بریده شکل بگیرد. در راستای گسل جنوب تاقفرم بهرامتاج (گسل F1) به دلیل نابرابر بودن میزان جابه‌جایی در امتداد آن، یکسری گسل‌های برشی ایجاد شده تا مقادیر نابرابر کوتاه‌شدگی در راستای گسل جبران شود و این موضوع سبب تقسیم‌شدن محدوده به سه بلوک ساختاری در بخش جنوبی شده است که به وسیله گسل‌های عرضی و مرزهای مشخص (گسل‌های راستالغز شمال‌شرقی- جنوب‌غربی با عملکرد چپ-گرد) در رخنمون‌های کربناته به خوبی قابل تمایز و تشخیص هستند (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). حالت برگشتگی و نامتقارن بودن تاقفرم فرادیواره‌های گسل بهرامتاج براساس میزان جابه‌جایی و عملکرد آن کنترل شده است. در بلوک ۱ در بخش جنوبی، محدوده به دلیل بالا بودن مقدار دگرشکلی و کوتاه‌شدگی حالت خرد شده‌تر و هندسه بهم ریخته‌تر و نامتقارن‌تری پیدا کرده است تا جایی که بخشی از کوتاه‌شدگی در راستای گسل F1 به وسیله بالاآمدگی ساختار و شکل‌گیری گسل‌هایی از نوع پس‌راندگی بر روی صفحه گسل اصلی جبران شده است. براساس شواهد صحرایی تمرکز کانی‌زایی

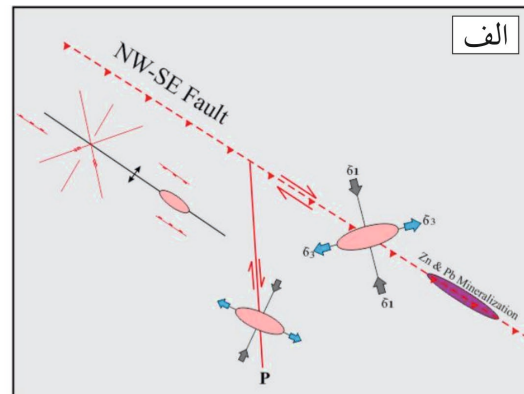


شکل ۱۷: بلوک‌های ساختاری ایجاد شده در نتیجه عملکرد گسل F1 و گسل‌های عرضی در محدوده بهرامتاج.

نتیجه‌گیری

کانی‌سازی روی و سرب در واحدهای آهکی- دولومیتی کامبرین زیرین به صورت رگه‌ای، پرکننده فضاهای کارستی و برش‌های تکتونیکی رخداده است. براساس شواهد صحرایی و مطالعات انجام شده مشخص شد که کانی‌سازی همزمان با عملکرد گسل‌های امتدادلغز با راستای شمال غرب- جنوب شرق بوده است، که در ادامه فرایند نفوذ سیالات حاوی کانی‌های سرب و روی، کانی‌سازی در راستای گسل‌های دو سیستم شمالی- جنوبی و سیستم گسلی غالب دیگر با روند عمومی شرقی- غربی صورت گرفته است که توسعه و گسترش کانی‌سازی در مناطق مختلف در دو سیستم یاد شده متفاوت است. گسترش کانی‌سازی روی و

سرب در راستای گسل‌های شمال غربی- جنوب شرقی بیانگر تاثیر مثبت فعالیت گسل شرقی- غربی در مقدار بازشدگی و ایجاد محلی مناسب در شکستگی‌های کششی مربوط به سیستم شکستگی شمال غرب- جنوب شرق است (شکل ۲۰)، که سبب شده است تا در پهنه‌های کششی مرتبط با این سیستم، کانی‌سازی سرب و روی گسترش بیشتری داشته باشد. در محدوده مورد مطالعه در نواحی که گسترش کانی‌سازی تحت تاثیر عملکرد گسل‌های راستالغز است، محدوده‌های دارای کانی‌سازی می‌تواند منطبق بر نواحی باشد که در حدفاصل تلاقی سیستم‌های شکستگی R و R' است. در نتیجه پیگیری و شناخت این مناطق در محل‌هایی که دارای کانی‌سازی هستند در تعیین نقاط حفاری و یا حفر ترانشه مفید و موثر خواهد بود.



شکل ۱۸: الف) مدل شماتیک ارائه شده برای نحوه توزیع تنش و شکل‌گیری زون‌های کششی در راستای ساختارهای اصلی محدوده، ب) شکل شماتیک بلوک‌های محدوده معدنی بهرامتاج.

پانوش

1-Philips expert

-علائی، س. و فودازی، م.، ۱۳۸۵. نقشه زمین- شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عقدا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

منابع

-آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، ۶۰۶ ص.

- عمیدی، م. و نبوی، م.ح.، ۱۳۶۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سوروبالا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهجانی گوجی، و. و موسیوند، ف.، رجبی، ع.، ۱۳۹۶. ساخت و بافت، رخساره‌های کانسنگ و الگوی تشکیل کانسار روی- سرب هفتهر، جنوب غرب عقدا، نهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.
- قلی زاده، ک.، رساء، ا.، یزدی، م.، بونی، م. و محمدی، م.، ۱۳۹۶. کانی‌شناسی کانی‌های
- غیرسولفیدی عنصر روی (کالامین) معدن روی- سرب بهرامتاج، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م.ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۳۴۵ ص.
- رستمی پایدار، ق.، ۱۳۹۷. مطالعه دگرسانی، کانه-زایی و سیالات درگیر در کانسار روی- سرب حوض سفید (ایران مرکزی)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۲، شماره ۴۷، ص ۴۵-۶۳.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East: Tehran. Geological Survey of Iran, scale 1:5,000,000.
- Amiri, A., 2017. Mineralogical evolutions of carbonate-hosted Zn-Pb-(F-Mo) deposits in Kuhbanan-Bahabad area, Central Iran: metal source approach, *Journal of Tethys*, v. 5, (1), p. 001-032.
- Blenkinsop, T., 2002. Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks, University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe.
- Boni, M. and Mondillo, N., 2015. The Calamines and the others: the great family of supergene nonsulfide zinc ores. Review paper. *Ore Geology Reviews*, v. 67, p. 208-233.
- Boni, M., Mondillo, N. and Balassone, G., 2011. Zincian dolomite: a peculiar dedolomitization case? *Geology*, v. 39, p. 183-186.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 210-265.
- Brown, L.J. and Solar, M., 1998. Model of the copper and polymetallic vein family of deposits- applications in Slovakia, Hungary and Romania. *International Geology Review*.
- Brogi, A., 2006. Evolution, formation mechanism and kinematics of a contractional shallow shear zone within sedimentary rocks of the Northern Apennines (Italy). *Eclogae Geologicae Helvetiae*.
- Davies, H.L., 2012. The geology of New Guinea - the cordilleran margin of the Australian continent.
- Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010. Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 37, p. 235-249.
- Forster, H., 1978. Mesozoic - Cenozonic metallogenesis in Iran - Geological Society- London, 135 p.
- Ghazban, F., McNutt, R.H. and Schwarcz, H.P., 1994. Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Iran Kouh district, Esfaha area, West-Central Iran: *Economic Geology*, v. 89, p. 187-201.
- Hill, K.C. and Raza, A., 1999. Arc continental collision in papua guinea-constraints from fission track thermochronology: *tectonics*, v. 18, p. 184-198.
- Holm, R.J., Spandler, C. and Richards, S.W., 2015. Continental collision, orogenesis and arc magmatism of the

- Miocene Maramuni arc, Papua New Guinea. *Gondwana Research*.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Alaminia, Z., Esmaeili Sevieri, A. and Stern, C.R., 2019. New hypothesis on time and thermal gradient of subducted slab with emphasis on dolomitic and shale host rocks in formation of Pb-Zn deposits of Irankuh-Ahangaran belt. *Journal of Economic Geology*, v. 10(2), p. 677-706
- Lecumberri-Sanchez, P., Romer, R.L., Luders, V. and Bodnar, R., 2014. Genetic relationships between silver-lead-zinc mineralization in the Wutong deposit, Guangxi Province and Mesozoic granite magmatism in the Nanling belt, southeast China. *Mineralium Deposita*, v. 49, p. 353-369.
- Luke, G., Nigel, J., Cook, C., Ciobanu, L. and Benjamin, P.W., 2015. Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LAICP-MS study. *American Mineralogist*, v. 100, p. 548-569.
- Miller, E.L., Gehrels, G., Pease, V. and Sokolov, S., 2010. Stratigraphy and U-Pb detrital zircon geochronology of Wrangel Island, Russia: Implications for Arctic paleogeography. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 94, p. 268-284.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2013. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros orogeny in northwestern, Iran *International Geology Review*.
- Momenzadeh, M., 1976. Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district (west central Iran), lithology, metal content, zonation and genesis, Heidelberg, University of Heidelberg.
- Montest, L.G.J. and Hirth, G., 2003. Grain size evolution and the rheology of ductile shear zone: from laboratory experiments to postseismic creep. *Earth and Planetary Science Letters*.
- Nabatian, G.H., Rastad, E., Neubauer, F., Honamand, M. and Ghaderi, M., 2015. Iron and FeMn Mineralization in Iran implications for Tethyan metallogeny, *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 62, p. 211-241
- Newton, T., 2013. Geochemistry of the Timberville Zn-Pb District, Rockingham County, VA. Ph.D. thesis, University of Maryland, Maryland, USA, 137 p.
- Peacock, S.M., 2002. Blueschist-facies metamorphism, shear heating and P-T-t paths in subduction shear zones. *Journal of Geophysical Research*, 97 p.
- Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P. and Canet, C., 2012a. Geology, ore facies and sulfur isotopes of the Koushk ventproximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran: *International Geology Review*.
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012b. An introduction to metallogeny of Permo-Triassic Carbonate-hosted Zn-Pb and F deposits of Iran: Application for future mineral exploration: *Australian Journal of Earth Science*, v. 60, p. 197-216
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012c. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. *International Geology Review*, v. 54(14), p. 1649-1672.
- Ramazani, M. and Tucker, R.D., 2003. The Saghand region, central Iran, U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics, *American Journal of Science*, v. 303, p. 622-665.
- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology*, Vol. 2 Folds and Fractures. Pergamon Press, London, 365 p.
- Schellart, W.P., Stegman, D.R., Farrington, R.J. and Moresi, L., 2011. Influence of lateral slab edge distance on plate velocity, trench velocity, and

- subduction partitioning. *J. Geophys.* doi.org/10.1029/2011JB008535.
- Stearns, D.W., 1968. certain aspects of fractures in naturally deformed rocks, *terrestrial sci*, 285 p.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J. and Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics* 30, TC3008.
- Wilkinson, J.J., 2014. Sediment-hosted zinc-lead mineralization: Processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry*, second Edition, Elsevier, v. 45, p. 219-248.
- Yasemi, N., Ghaderi, M., Madanipour, M. and Taghilou, B., 2017. Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran, *ore Geology Reviews*.