Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Summer 2024, Vol. 14(2): 465-484

Research Article

The role of faults in the deformation pattern of the Ahangaran Pb-Ag (Zn) deposits, SW Hamedan

Reza alipoor*

1-Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

***Keywords**: Mineralization, Orthophoto, Fracture, Fault, Ahangaran deposit*

1-Introduction

The Malayer-Isfahan metallogenic belt is located in the Sanandaj-Sirjan zone, and a large number of Pb-Zn deposits with carbonate hosts have concentrated in the fault zones and related fractures (Ehya et al., 2010; Rajabi et al., 2012). The Mesozoic sedimentary and volcanic rocks generally cover the Sanandaj-Sirjan zone, and Paleozoic rocks have few outcrops except in the southeastern parts (Mohajjel et al., 2003). The Pb-Zn deposits with carbonate hosts are formed in the central parts of the Sanandaj-Sirjan zone and upper Jurassic sandstone and shale (Shamshak group), lower Cretaceous Kc limestone (silty and sandy dolomites of Kc3 unit and massive limestone of Kl unit) and shale and dolomitic limestone of the upper Cretaceous (Ks unit). The Ahangaran Pb-Zn deposit is located in the NW part of the Malayer-Isfahan metallurgical belt and about 80 km SW of Hamedan City. The Ahangaran Pb-Ag (Zn) deposit is on the SE slope of the Kolebid Mountain, and similar to the Zagros trends, the general trend of the mountains of the study area is NW-SE, and relatively flat plains surround it. The rock units outcropped around the study area are from the Jurassic to recent deposits. The Jph is the oldest strata that outcrops in the southern and southwestern parts and consists of phyllite, slate, dark gray schists, and metamorphosed sandstones. The JMS unit consists of dark gray metamorphosed shale and sandstone. The Kl unit mainly forms the main heights of the study area and is composed of white to gray and thick-layered to massive Orbitolina limestone. The Kc1 unit is composed of dark quartzite sandstone, and the Kc2 unit is composed of dark quartzite sandstone with limestone. The Kc3 unit consists of dolomitic sandstone and dolomitic limestone, and the Pb-Ag (Zn) mineralization of the Ahangaran deposit is restricted to this unit. So, in this study, the Ahangaran deposit area structures have been investigated and structurally divided into four zones (Fig. 1). For this purpose, the main structures controlling mineralization have been introduced by identifying each zone's main faults and structural characteristics.

2- Material and methods

In this research, geological reports, maps, and available data have been collected and analyzed to study the Ahangaran deposit's general structures. Then, satellite images (Google Earth images) and digital elevation models were used to check the general structures. In the next step, the mine structures were extracted and examined using ortho-photo images, and finally, the structures were analyzed using detailed field observations. The evidence of faulting in the field observations included the slickenline on fault planes, displacement in layers, fault breccia, and fault steps.

3- Results and discussions

Main tectonic structures control mineralization in the Ahangaran deposit, and the faults play an essential role in the migration of ore-forming fluid. The faults were formed in an extensional regime and then inverted into reverse faults by the subsequent tectonic compressional phase. The Kl Orbitolina limestone unit outcropped at the highest heights of the study area and was thrust over the Km thick-layered limestone unit. The Kohe-Darrehghar fault with NE-SW trend and left-lateral separation has caused deformation in

* Corresponding author: rezaalipoor116@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2024.46278.2441
Receive : 2024-04-18
Accepted : 2024-05-14

ISSN: 2717-0764

the eastern part of the Ahangaran deposit. This fault with the N33°E direction caused about 2600 displacements, and at the NE fault termination, there were several fault branches with 40 to 100 meters of left-lateral separations. The deformation caused by the nappes and the Kohe-Darrehghar left-lateral fault has caused fractures with different structural trends. According to the detailed field observations, the faults of the study area have three main trends. The first trend is NE-SW with azimuth between N20°E and N35°E and the dip between 50 to 80 degrees towards the SE and NW. The second fault trend is the N-S to NW-SE with azimuth from N02°E to N20°W and a dip between 60 to 75 degrees to the SW and NE. The third fault trend is N30°W and N60°W, which cause deformation (Fig. 2).

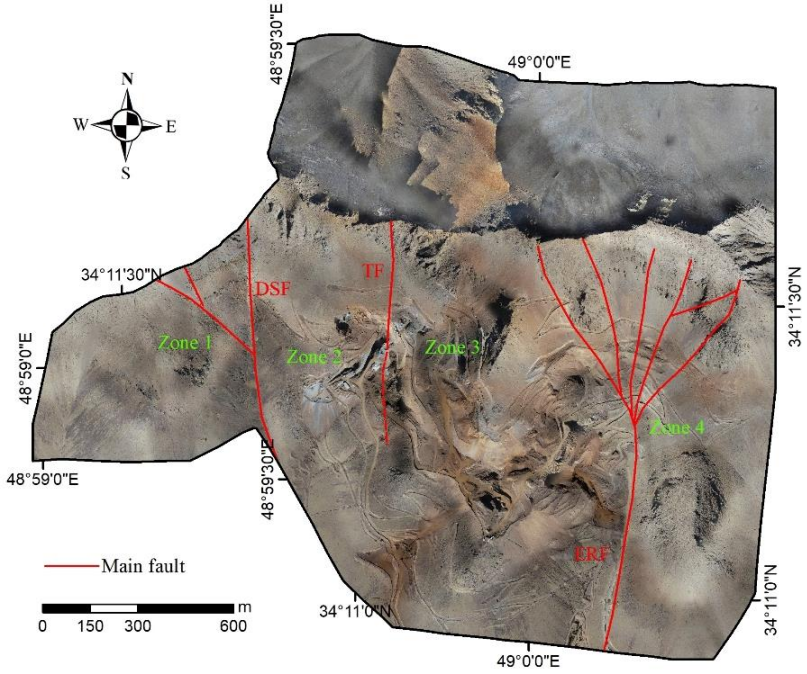


Fig. 1. Orthophoto image of the study area and its division into four main zones according to the trend of the main faults. DSF: Darreh-Somagh fault, TF: Tunnel fault and ERF: Eastern Road fault.

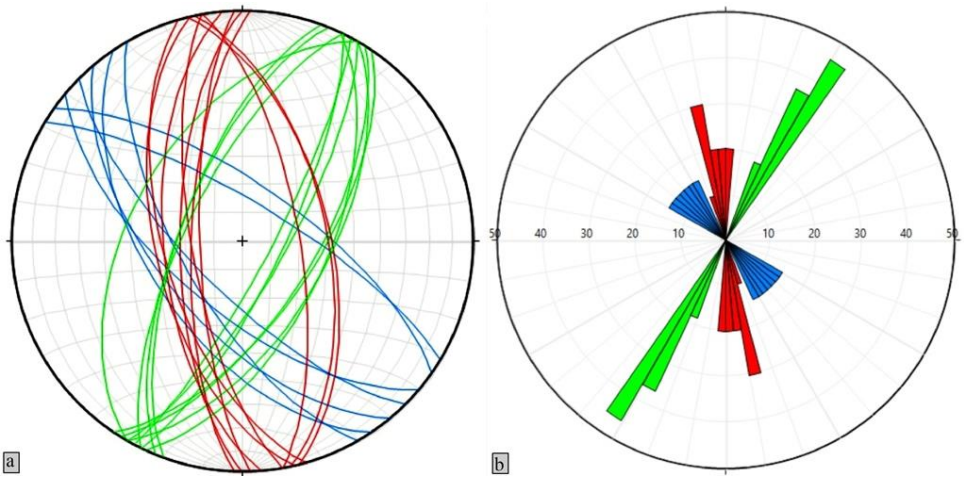


Fig. 2. (a) Stereogram showing the trend and dip of the faults. (b) Rose diagram shows the three main fault trends in the Ahangaran deposit.

ISSN: 2717-0764
CC BY

Based on the trend of the faults in the study area, several main faults with an almost N-S trend seem to be the most essential structures affecting mineralization. These faults are the Darreh-Somagh fault (DSF), Tunnel fault (TF), and Eastern Road fault (ERF), which are exposed in the western, central, and eastern parts of the study area, respectively. The study area is divided into four zones based on the trend of these three fault zones (Fig. 1). The first zone is in the western part of the study area, and the western border of this zone is the DSF. In this zone, several segments of the DSF have branched off different trends and caused the deformation of the rock units. The DSF fault, the border between zones 1 and 2, shows a left-lateral separation with a normal component. The normal component of this fault has caused the displacement of about 30 to 70 meters of the Kl strata. The second zone is located in the eastern part of Zone 1, the western border of Zone 2 is DSF, and its eastern border is TF. The TF, with N5°W/75°SE attitude and normal separation, has displaced the strata in the eastern part. The third zone of the study area is located between the TF (in the west) and the ERF (in the east). This zone is the most essential part of the Ahangaran mine, and the system of multiple fractures in this zone has caused complex deformations and rotation of the mineral veins. The fourth zone is located east of the third zone, and its border corresponds to the ERF. This fault is a significant fault zone that includes several fault segments. This fault zone includes several normal faults that caused much displacement in the hanging wall block. Based on the structural interpretations, it is clear that the relationship between mineralization and tectonics is complex in the study area, and the main faults control the mineralization. The second and third zones in the Ahangaran deposit are the most important, and most of the exploratory and mining tunnels are located there. Also, the TF and ERF faults are the most essential structures in the study area. The TF fault has caused the downward movement of the hanging wall block in the western part that has caused the Kc unit's strata-bound Pb-Ag (Zn) sulfide mineralization to move downwards in the eastern part, and the mineralization in the footwall block and the west of the fault to move to higher horizons. Also, the ERF has been formed as a graben pattern with normal separation due to the downward of the hanging wall block. The activity of this fault caused the Kc horizon in the footwall block to be placed in higher horizons in the third zone (Fig. 3).

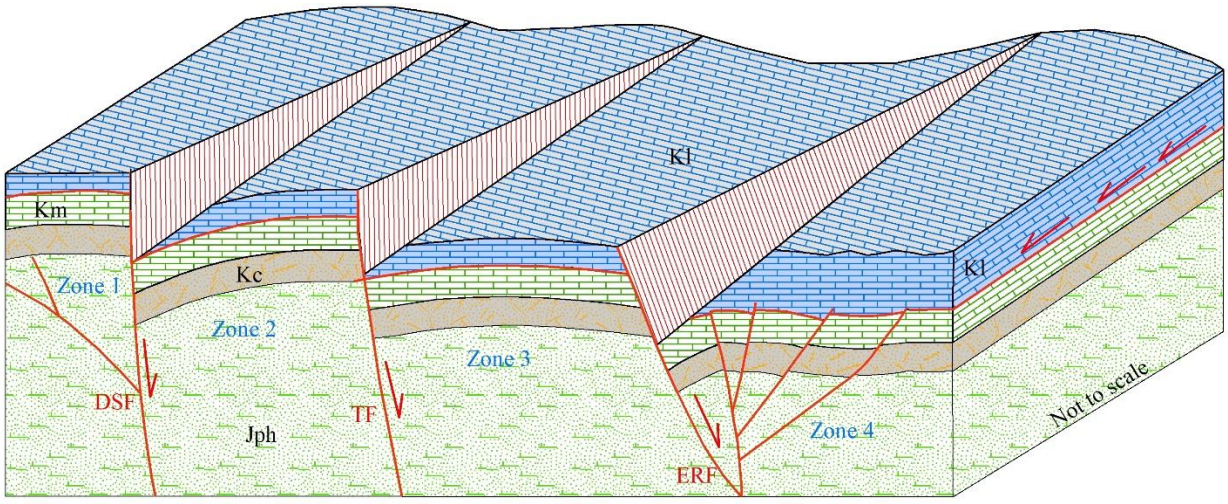


Fig. 3. Block diagram showing the main faults controlling mineralization in the Ahangaran deposit.

4- Conclusion

The structural setting of the Ahangaran deposit is the Sanandaj-Sirjan zone, and many nappes have thrusted the older units over another rock mass. The movement direction of the thrust sheets is from the NE to the SW, and the Orbitolina limestone of the Kl unit is thrusted over the thick-layered limestone of the Km unit. In the eastern part of the study area, the Koh-Darrehghar fault with a NE-SW trend (N33°E) and a left-lateral separation has caused a displacement of about 2600 meters. The most critical fault structures in the Ahangaran deposit area include the DSF, TF, and ERF fault zones, which have divided the study area into four main zones. The most essential mineralization zones are the second and third zones, and most of the mining exploration tunnels are located in these zones. With their normal separation, the TF and ERF zones

ISSN: 2717-0764

are the most critical structures in the study area, which have caused the downward movements of the mineralized in the hanging wall blocks.

5- References

Ehya, F., Lotfi, M., 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 37, 186-194. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.08.007.

Mohajjel, M., Fergusson, C.L. Aahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj Sirjan Zone, Western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21, 397–412. https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4.

Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. International Geology Review 54, 1649-1672. https://doi.org/10.1080/00206814.2012.659110.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Alipoor, R., 2024. The role of faults in the deformation pattern of the Ahangaran Pb-Ag (Zn) deposits, SW Hamedan. Adv. Appl. Geol. 14(2), 465-484.

DOI: 10.22055/aag.2024.46278.2441
URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19247.html

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

نقش گسل ها در الگوی دگریختی محدوده کانسار سرب و نقره (روی) آهنگران، جنوب باختر همدان

رضا علی پور

استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

rezaalipoor116@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۲/۲۵

چکیده

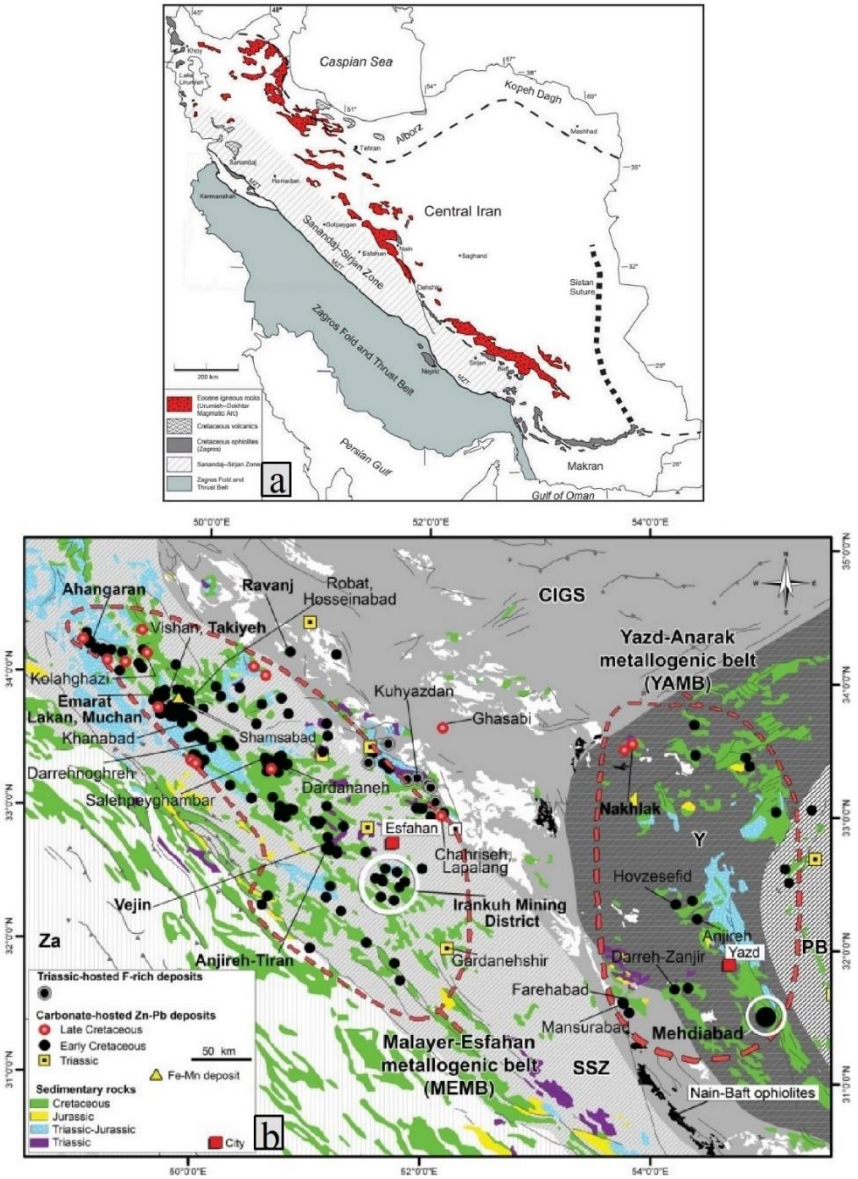
کانسار سرب و نقره (روی) آهنگران در پهنه سنندج-سیرجان و در بخش شمال‌باختری کمربند فلززایی ملایر-اصفهان قرار گرفته است. کانی‌سازی و افق ماده معدنی در این کانسار در واحد ماسه‌سنگ دولومیتی و سنگ‌آهک دولومیتی Kc3 تشکیل‌شده است. هدف از این مطالعه تحلیل ساختاری و بررسی سیستم گسل‌های تاثیرگذار بر کانی‌سازی در محدوده کانسار سرب و نقره (روی) آهنگران است. بدین منظور از برداشت‌های ساختاری، مطالعه تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر ارتوفتو و مدل‌های ارتفاع رقومی استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که سفره‌های راندگی با جهت حرکت از شمال‌خاوری به سمت جنوب باختری، باعث رانده شدن واحد آهک اربیتولین‌دار Kl برروی واحدهای جوان‌تر کرتاسه‌زیرین شده است. گسل کوه‌دره‌غار با راستای N33°E و جدایش چپ‌گرد، باعث جابجایی حدود ۲۶۰۰ متری در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه شده است. شکستگی‌ها منطقه مورد مطالعه سه روند اصلی N20°E تا N35°E، N02°E تا N20°W و N30°W تا N60°W دارند. پهنه‌های گسلی دره‌سماق، تونل و جاده‌شرقی ساختارهای اصلی تاثیرگذار هستند که منطقه مورد مطالعه را به چهار پهنه ساختاری تقسیم کرده‌اند. این گسل‌ها با جدایش نرمال باعث جابجایی افق‌های دارای کانی‌سازی شده‌اند. گسل‌های تونل و جاده شرقی با جدایش نرمال و شیب به سمت خاور باعث پایین افتادن واحد Kc3 در بخش‌های فرادیواره شده‌اند. همچنین کانی‌سازی سرب و نقره (روی) به طور گسترده در شکستگی‌های پهنه‌های دوم و سوم تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌سازی، ارتوفتو، شکستگی، گسل، کانسار آهنگران*

۱-مقدمه

کمربند فلززایی ملایر-اصفهان به عنوان یکی از گستره های معدنی سرب و روی ایران دارای کانسارهای متعدد سرب و روی با میزبان کربناته است که در پهنه‌های گسلی و شکستگی های مربوطه تجمع پیدا کرده‌اند (Ehya et al, 2010; Rajabi et al., 2012; Karimpour and Sadeghi, 2018; Rajabi et al., 2019). به‌طورکلی سنگ‌های کربناته کرتاسه این کمربند میزبان تعداد زیادی کانسار سرب و روی است و در سالیان اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه مطالعه منشاء کانسارها، ارتباط تکتونیک با کانه‌زایی و الگوی اکتشافی انجام شده است (Rastad et al., 1981; Ghazban et al., 1994; Modabberi, 1995; Ehya et al., 2010; Rajabi et al, 2012; Boveiri et al., 2017; Niroomand et al., 2019; Rajabi et al., 2019; Maanijou et al., 2020). کمربند فلززایی ملایر-اصفهان از نظر جایگاه ساختاری در پهنه سنندج-سیرجان واقع شده است. این پهنه بخشی از کوهزاد زاگرس است و جز فعال‌ترین پهنه‌های ساختمانی-دگرگونی ایران به شمار می‌رود و تا سنوزوئیک فازهای دگرگونی و ماگماتیسم بزرگی را پشت سرگذاشته است (Mohajjel and Fergusson, 2014) (شکل ۱a). همچنین این پهنه، دگرشکلی پیچیده و ماگماتیسم را از زمان مزوزوییک و برخورد قاره‌ای میوسن تاکنون را در مدت زمان طولانی تحمل کرده است (Agard et al., 2005). در پهنه سنندج-سیرجان عموما توسط سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی مزوزوئیک پوشیده شده و رخنمون سنگ-های پالئوزوئیک به جز در بخش‌های جنوب خاوری نسبتاً کم است (Berberian, 1973). ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته زیادی در بخش‌های مرکزی پهنه سنندج-سیرجان تشکیل شده که به عنوان کمربند فلززایی ملایر-اصفهان شناخته می‌شود (Rajabi et al., 2012) (شکل ۱b). این ذخایر عموما در واحدهای سنگ‌چینه‌ای ماسه‌سنگ و شیل ژوراسیک بالایی (گروه شمشک)، واحد آهکی Kc کرتاسه زیرین (دولومیت‌های سیلتی و ماسه‌ای واحد Kc3 در پایین و آهک توده‌ای واحد Kl در بالا) و شیل و آهک‌های دولومیتی کرتاسه بالایی (واحد Ks)

تشکیل شده‌اند (Rastad et al., 1981; Ehya et al., 2010; Rajabi et al, 2012; Boveiri et al., 2017; Maanijou et al., 2020).



شکل ۱- (a) موقعیت ساختاری پهنه سنندج-سیرجان در باختر فلات ایران (Mohajjel and Fergusson, 2014) و (b) واحدهای چینه‌ای کمربند فلززایی ملایر-اصفهان (Rajabi et al., 2012). موقعیت کانسار آهنگران در بخش شمال‌باختری این کمربند نشان داده شده است.

Fig. 1. (a) The structural setting of the Sanandaj-Sirjan zone in the west of the Iranian plateau (Mohajjel and Fergusson, 2014), and(b) The stratigraphic units of the Malayer-Isfahan metallogenic belt (Rajabi et al., 2012). The location of the Ahangaran deposit is shown in the NW part of this belt.

کانسار سرب و نقره (روی) آهنگران در بخش شمال باختری کمربند فلززایی ملایر-اصفهان و در حدود ۸۰ کیلومتری جنوب باختری شهر همدان واقع شده است. این کانسار از نظر جایگاه ساختاری در پهنه سنندج-سیرجان واقع شده و بیشتر مطالعات انجام گرفته در این کانسار عموما در زمینه کانی سازی و ژنز کانسار بوده است (Momenzadeh et al., 1979; Zamanian, 1993; Hayati et al., 2016; Maanijou et al., 2015). در مطالعات پیشین واحدهای موجود درآهنگران به سه واحد فیلیت، ماسه‌سنگ‌های حاوی اکسیدآهن و آهک تقسیم‌بندی شده است. همچنین با بررسی محیط رسوبی و

دیاژنز سنگ‌های کربناته میزبان سرب در این کانسار، ژنز آن اپی‌ژنتیک هیپوژن معرفی شده وکانه‌زایی نتیجه فاز کوه‌زایی لارمید و فعالیت‌های ماگمایی در نظر گرفته شده است(Momenzadeh et al., 1979). همچنین مطالعات بعدی کانی‌سازی را در دو افق سولفیدی (کانسنگ سولفیدی سرب-نقر-باریت) با ماهیت استراتاباند در میزبان آهک، دولومیت و افق کانسنگ اکسیدی (آهن و منگنز) با ماهیت استراتی‌فرم در میزبان آهک‌های دولومیتی نشان داده است (Hayati et al., 2016). در نهایت مطالعه دقیق ژنز کانسار سه مرحله پاراژنتیکی مرحله قبل از سولفیدی (اکسیدی)، مرحله اصلی سولفیدی (شامل سه مرحله فرعی سولفیدی) و مرحله سوپرژن معرفی گردیده است (Maanijou et al., 2020). در معدود مطالعات ساختاری در محدوده کانسار آهنگران، استفاده از تحلیل مقدماتی تنش دیرین بوده که تشکیل ساختارهای مربوطه را به زمان کرتاسه‌زیرین در ارتباط با فاز هم زمان با لارامید در نظر گرفته شده است (Niazi, 2013). بنابراین در این مطالعه با استفاده از برداشت‌های زمین شناسی دقیق، ساختارهای محدوده کانسار آهنگران بررسی و از نظر ساختاری به چند پهنه تقسیم بندی شده است. بدین منظور با شناسایی گسل‌های اصلی و خصوصیات ساختاری هر پهنه در محدوده مورد مطالعه، کنترل کننده‌های اصلی ساختاری معرفی شده است.

۲- زمین‌شناسی

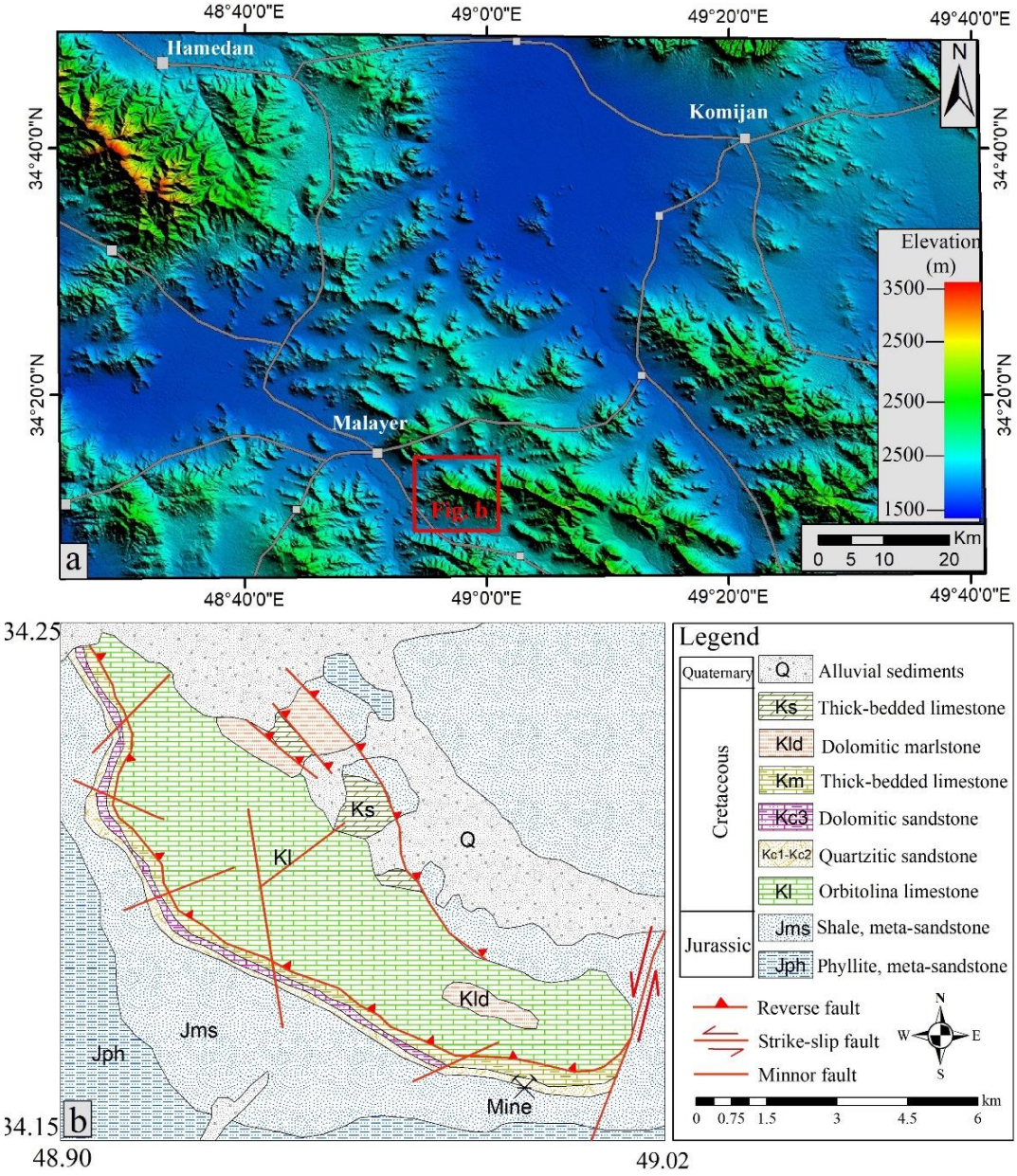
۲-۱-زمین‌شناسی عمومی

کوهزاد زاگرس در بخش شمال‌باختری فلات ایران به سه پهنه اصلی کمربند چین خورده رانده زاگرس (زاگرس چین خورده رانده ساده و زاگرس مرتفع)، پهنه زمین درز (رادیولاریت، بیستون و افیولیت) و پهنه سنندج سیرجان تقسیم بندی شده است (Mohajjel and Fergusson, 2014). کانسار آهنگران بر اساس این تقسیم‌بندی در پهنه سنندج-سیرجان واقع شده که این پهنه درازای و پهنای حدود ۱۵۰۰ و ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتری دارد. پهنه سنندج-سیرجان بین زمین‌درز زاگرس و مرز جنوب باختری و کمان ماگمایی ارومیه-دختر در شمال خاوری قرار دارد. این پهنه شامل توالی‌های چینه‌شناسی مختلف، سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های دگرگونی، کمپلکس-های آذرین نفوذی و گسل‌ها است (Mohajjel et al., 2003; Shahbazi et al., 2010; Azizi et al., 2011; Aliani et al., 2012). سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک‌پسین تا کرتاسه و سنگ‌های کربناته کم‌عمق دریایی و سنگ‌های آواری در شمال-باختری پهنه سنندج-سیرجان رخنمون دارند (Agard et al., 2005). براساس ویژگی‌های متالوژنیک، پهنه سنندج-سیرجان به سه بخش شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم‌بندی می‌شود که بیشتر ذخایر سرب روی با میزبان سنگ‌رسوبی در ایران در بخش مرکزی این پهنه یا کمربند فلززایی ملایر-اصفهان قرار دارد (Momenzadeh et al., 1979; Maanijou et al., 2020). مطالعات تکتونیکی-رسوبی کانی‌سازی این کمربند را مرتبط با حوضه پشت کمان کرتاسه تشکیل شده بین پهنه سنندج-سیرجان و خرد قاره ایران مرکزی مرتبط می داند (Rajabi et al., 2019; Niroomand et al., 2019). در این محیط تکتونیکی چندین کانسار مهم سرب و روی با میزبان سنگ‌رسوبی از جمله رباط، ایرانکوه، امارت، تکیه و آهنگران تشکیل شده است (Rajabi et al., 2012). به طور کلی بیش از ۱۷۰ کانسار سرب-روی میزبان رسوبی در کمربند فلززایی ملایر-اصفهان گزارش شده و میزبان آنها عمدتاً سنگ‌آهک‌های ژوراسیک بالایی تا کرتاسه پایینی، دولوستون یا شیل و در برخی موارد سنگ‌های آتشفشانی یا ماسه‌سنگ است (Momenzadeh, 1979).

۲-۲-زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار سرب و نقره (روی) آهنگران از نظر موقعیت توپوگرافی در دامنه جنوب‌خاوری کوه کله‌بید واقع شده است. مشابه روندهای زاگرسی، روند کلی کوه‌های منطقه مورد مطالعه جنوب‌خاوری-شمال‌باختری است و بوسیله دشت‌های نسبتا مسطح در اطراف احاطه شده است (شکل a۲). از نظر چینه-شناسی و واحدهای سنگی، پیرامون منطقه مورد مطالعه واحدهایی از سن ژوراسیک تا رسوبات عهدحاضر رخنمون دارند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی قدیمی‌ترین واحد سنگی در محدوده کانسار آهنگران، واحد Jph است که در بخش‌های جنوبی و جنوب‌باختری رخنمون دارد. سنگ‌شناسی این واحد شامل فیلیت، اسلیت، شیست های خاکستری تیره و ماسه-سنگ‌های دگرگون‌شده است. برروی واحد Jph واحد دیگری با سن ژوراسیک به نام واحد Jms در بخش‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد. واحد Jms از شیل و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده خاکستری تیره تشکیل شده است. بیشتر رخنمون واحدهای سنگی محدوده کانسار آهنگران واحدهای کرتاسه است. واحد Kl عمدتا به صورت

صخره‌ساز بوده و ارتفاعات اصلی منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده و از سنگ‌آهک اربیتولین‌دار سفید تا خاکستری و ضخیم لایه تا توده‌ای تشکیل شده است. واحدهای Kc1 از ماسه‌سنگ کوارتزیتی تیره و واحد Kc2 نیز از ماسه‌سنگ کوارتزیتی تیره با میان لایه آهکی تشکیل شده است. واحد Kc3 از ماسه‌سنگ دولومیتی و سنگ‌آهک دولومیتی تشکیل‌شده و مهمترین واحد سنگی در محدوده کانسار آهنگران است. کانی‌سازی و افق ماده معدنی در کانسار آهنگران محدود به این واحد سنگی است. واحد Km از سنگ‌آهک نازک‌لایه خاکستری تشکیل شده است. واحد Ks در بخش کوچکی از منطقه مورد مطالعه رخنمون داشته و از آهک ضخیم لایه تشکیل شده است. همچنین واحد Kld نیز رخنمون کمی در بخش خاوری منطقه داشته و از سنگ‌آهک دولومیتی تشکیل شده است (شکل b۲).



شکل ۲- (a) نقشه مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه. چهارگوش قرمز رنگ شکل b را نشان می دهد و (b) نقشه زمین شناسی پیرامون کانسار آهنگران (با تغییر از Jafarian and Zamani-pedram, 1999).

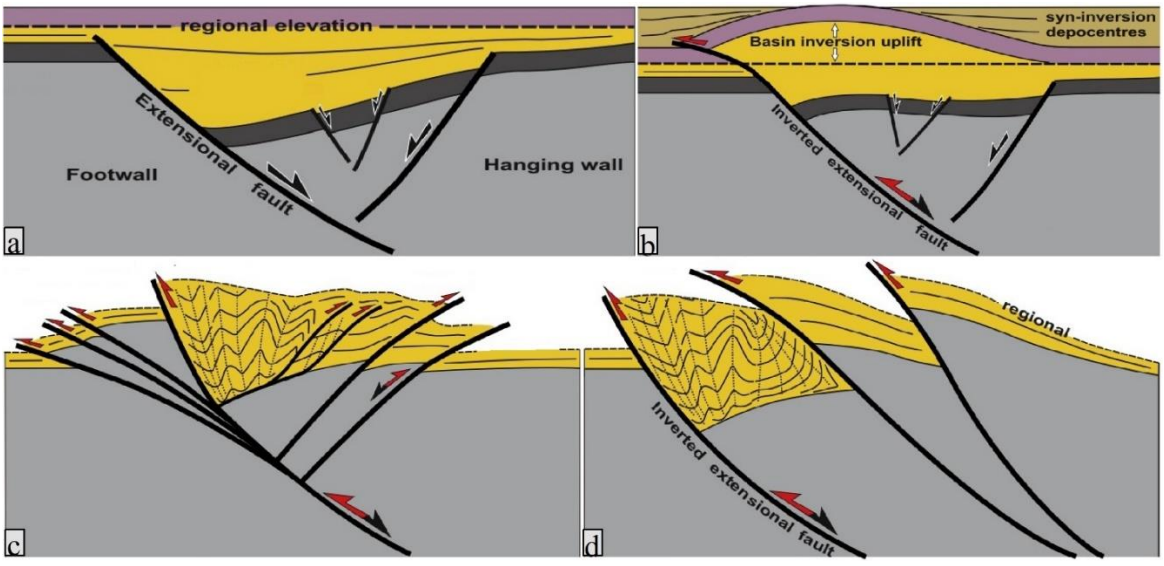
Fig. 2. (a) Digital elevation model map of the study area. The red rectangle shows the figure b, and (b) Geological map around the Ahangaran deposit (modified from Jafarian and Zamani-Pedram, 1999).

۳- روش پژوهش

در این مطالعه برای بررسی ساختاری محدوده کانسار آهنگران ابتدا گزارش‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات از قبل موجود جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفته است. سپس از تصاویر ماهواره ای (تصاویر گوگل ارث)، مدل های ارتفاع رقومی برای بررسی ساختارهای کلی استفاده شده است. در مرحله بعد با استفاده از تصاویر ارتوفتو معدن ساختارهای کوچک مقیاس بررسی و استخراج شده و در نهایت با استفاده از مطالعات صحرایی دقیق ساختارهای مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به پوشیده بودن بیشتر بخش‌های محدوده به علت عملیات‌های معدن کاری چند مرحله برداشت‌های صحرایی انجام گرفته است. بخشی از مطالعات صحرایی در بخش‌های عموما مرتفع و با توپوگرافی خشن و بخشی نیز به صورت زیرزمینی و در تونل‌ها انجام گرفته است. برای بررسی گسل‌ها و شکستگی‌ها از خصوصیات دیواره سطح گسل، جابجایی‌های صورت گرفته، آثار لغزش و نظایر آن استفاده شده است. همچنین نقشه ساختاری گسل‌ها و دیاگرام گل‌سرخی آنها جهت مشخص نمودن خصوصیات ساختاری استفاده شده است. در بیشتر موارد با توجه به فعالیت‌های تکتونیکی و دگرسانی شناسایی نوع حرکت گسل‌ها در مطالعات صحرایی امکان‌پذیر نبوده است.

۴- تکتونیک وارون و سفره‌های راندگی

تکتونیک وارون یک فرآیند رایج در کوهزادهای برخوردی است و شامل فعال‌شدن مجدد گسل‌های نرمال و گسترش به صورت گسل های معکوس است (Coward, 1994; Yassaghi and Madanipour, 2008). تغییرشکل در حین تکتونیک وارون، فرودیواره و فرادیواره گسل‌های نرمال معکوس‌شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌طور کلی تکتونیک‌وارون شامل وارون‌شدگی مثبت (گسل‌های نرمال که در یک زون کششی تشکیل‌شده و سپس تحت تاثیر فشارش قرار گیرند) و وارون‌شدگی منفی (گسل‌های معکوس که در یک رژیم فشارشی از قبل موجود تشکیل شده‌اند و سپس تحت کشش قرار گیرند). وارون‌شدگی مثبت در حاشیهٔ کمربندهای کوهزایی متداول بوده و هندسهٔ گسل‌های معکوس حاصل از تکتونیک‌وارون زمانی که نزدیک به سطح زمین می رسند، به گونه‌ای است که شیب آن زیادتر می‌شود. پهنه گسل‌های وارون‌شده می‌تواند به‌صورت دسته گسل‌های موازی تشکیل شوند یا به دلیل تعدیل استرین در فرادیواره، گسل پس‌راندگی تشکیل شود که حرکت گسل در پس‌راندگی‌ها مقداری از دگرشکلی را تعدیل می کند (شکل۳-a-d) (Granado and Ruh, 2019).

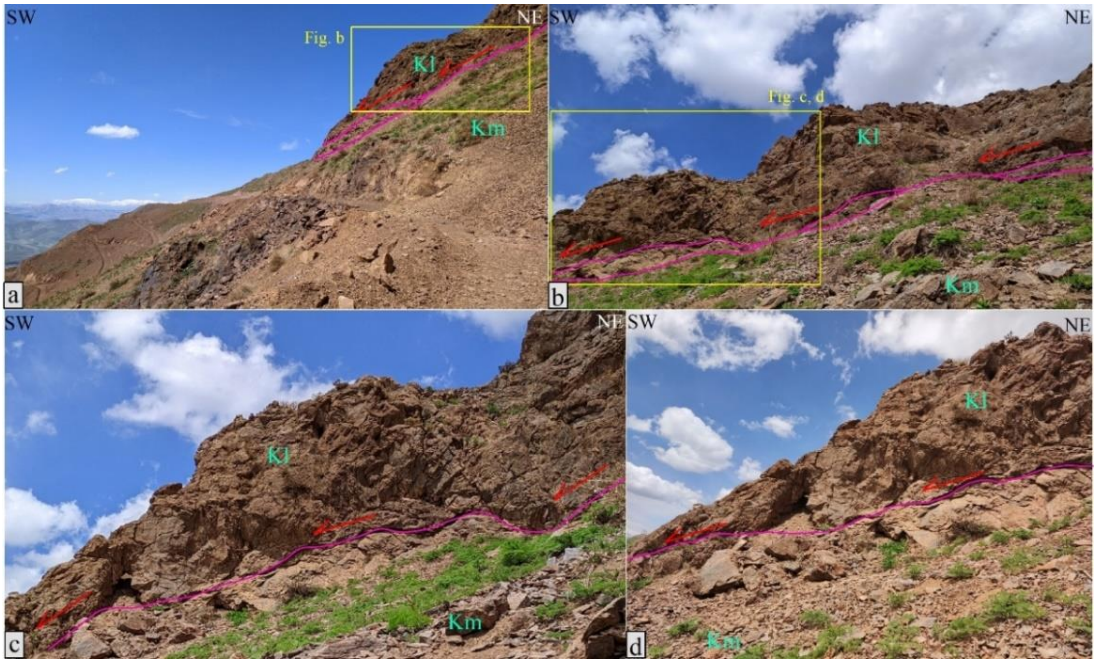


شکل ۳- (a) الگوی ساختاری تکتونیک وارون و رسوبگذاری در حوضه کششی گرابنی، (b) معکوس‌شدگی گسل‌های نرمال به گسل معکوس، (c) تشکیل گسل‌های معکوس همراه با پس‌راندگی و (d) تشکیل گسل‌های موازی و معکوس به علت تکتونیک وارون (Granado and Ruh, 2019).

Fig. 3. (a) The inversion tectonic structural pattern and sedimentation in the graben extensional basin. (b) Inverted of normal faults into reverse faults. (c) The formation of reverse faults with rback thrusts, and(d) The formation of parallel and reverse faults due to inversion tectonics (Granado and Ruh, 2019).

تاثیر تکتونیک برخوردی و فازهای فشارشی شدید در کمربندهای کوهزایی، علاوه بر تکتونیک وارون می‌تواند باعث تشکیل سفره‌های راندگی با جابجایی‌های بسیار زیاد گردد. باتوجه به فشارش مداوم ورقه‌های تکتونیکی عموما گسل‌های معکوس و راندگی به صورت ساختارهای دوپلکسی و سفره‌های راندگی تشکیل شده و باعث دگرشکلی می‌شوند. بنابراین یکی از اثرات مهم تکتونیک برخوردی و فازهای فشارشی شدید در کمربندهای کوهزایی، تشکیل سفره‌های راندگی با جابجایی‌های بسیار زیاد است. در واقع سفره راندگی یک سطح جابه‌جا شده با شیب عمدتاً کم است که در طول آن سنگ‌ها کیلومترها در جهت افقی جابه‌جا شده است و شامل جابه‌جایی تکتونیکی سنگ‌های فرادیواره می باشد (Dennis et al., 1981; Moores and Twiss, 1995). در کوهزاد زاگرس نیز مؤلفه عمود بر روند کوهزایی باعث تشکیل سفره‌های راندگی شده است که سنگ‌ها در یک سطح جابه‌جا شده با شیب عمدتاً کم در جهت افقی جابجایی زیادی داشته اند. این سفره‌های راندگی بعد از شروع برخورد عربی-اوراسیا باعث دگرشکلی شده و بخش هایی از پهنه سنندج سیرجان برروی زاگرس مرتفع رانده شده و در حدود ۵۰ تا ۷۰ کیلومتر از کوتاه-شدگی را سازگار کرده است (Agard et al., 2005). سفره‌های راندگی پهنه سنندج – سیرجان با جابجایی زیاد از برروی پهنه افیولیتی و زاگرس مرتفع به سمت جنوب باختر جابجا شده‌اند (Homke et al., 2009).

همان‌طور که بیان گردید، کانسار آهنگران از نظر جایگاه ساختاری در پهنه سنندج-سیرجان قرار گرفته و در این پهنه سفره‌های راندگی فراوان باعث رانده‌شدن واحدهای قدیمی‌تر برروی واحدهای جوانتر یا رانده‌شدن توالی‌ها از سمت شمال خاوری به روی واحدهای جنوب‌باختری شده است. در منطقه مورد مطالعه واحد آهک اربیتولین‌دار روشن Kl که در بالاترین ارتفاعات محدوده کانسار رخنمون دارد تحت تاثیر عملکرد یک سفره راندگی برروی واحد آهک ضخیم‌لایه تیره واحد Km رانده شده است (شکل a۴). در بالاترین ارتفاعات معدن در قاعده آهک اربتولین‌دار و روشن واحد Kl عملکرد سفره‌راندگی به صورت صفحات برشی زیگموییدال شکل قابل مشاهده است که نشان دهنده حرکت این واحد آهکی در فرادیواره راندگی است (شکل b۴). این حرکت عموما در صفحات راندگی نسبتا موازی صورت گرفته و در بین این قطعات گسلی بخشی از واحد آهکی اربیتولین‌دار به صورت لنزی یا سیگموییدال باقی مانده‌اند (شکل c۴). این راندگی و جابجایی سفره در همه ارتفاعات محدوده معدنی از شمال باختری تا جنوب خاوری قابل مشاهده است (شکل d۴).



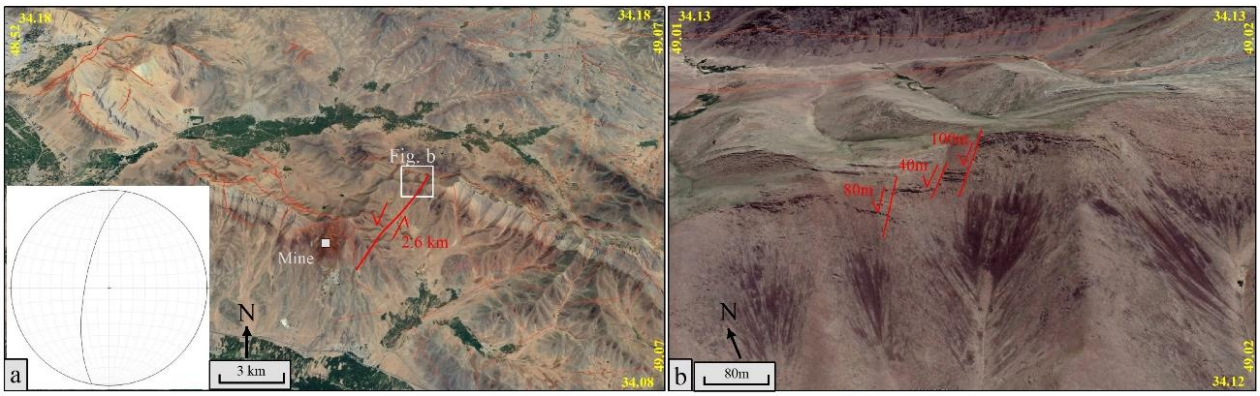
شکل ۴- (a) رانده‌شدن واحد سنگ‌آهکیKl برروی واحد Km ، (b) تشکیل صفحات برشی زیگموییدال به علت حرکت سفره راندگی، (c) و (d) نمای نزدیک از جابجایی در سفره راندگی و تشکیل شکستگی‌ها.

Fig. 4. (a) Thrusting of the Kl limestone unit over the Km unit, (b) The formation of sigmoidal shear planes due to the nappe movement. (c) and (d) A close-up view of the displacement in the nappe and the formation of fractures.

۵- بحث و تحلیل

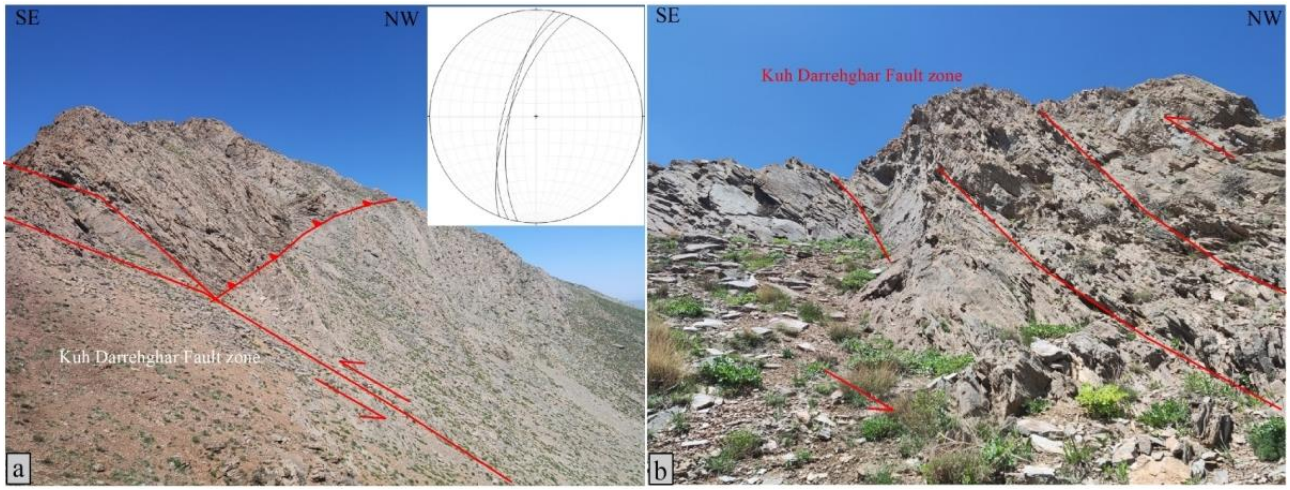
کانی‌سازی در کانسار آهنگران بوسیله ساختارهای تکتونیکی مهمی کنترل شده و گسل‌ها نقش مهمی در مهاجرت سیال کانه‌ساز داشته‌اند. در واقع گسل‌ها ابتدا در یک محیط کششی تشکیل‌شده و در ادامه بوسیله فازهای فشارشی بعدی و تکتونیک وارون به گسل‌های معکوس شده‌اند. با توجه به اهمیت نقش گسل‌ها در محدوده کانسار آهنگران و برای بررسی دقیق ساختارهای مهم، ابتدا در مقیاسی کلی به منطقه، نحوه تشکیل ساختارها بزرگ مقیاس‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مشخص است (شکل b۲)، در بخش خاوری یک گسل با راستای تقریبا شمال خاوری-جنوب باختری و جدایش چپ‌گرد باعث دگریختی شده است. این گسل که گسل کوه‌دره‌غار نامگذاری شده با جدایش چپ‌گرد در نقشه‌های زمین‌شناسی و گزارشات موجود به طور دقیق مشخص نشده است. این گسل عموما در واحد شیل و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده خاکستری تیره واحد Jms باعث دگریختی شده و با توجه به فرسایش‌پذیر بودن این واحد شناسایی شواهد سطحی صفحه گسلش میسر نیست. در واقع راستای این گسل کاملا پوشیده شده و فرسایش سطحی باعث مدفون‌شدن شواهد سطحی گسلش شده است. اما با بررسی دقیق تصاویر ماهواره‌ای و بویژه تصاویر گوگل‌ارث پیرامون محدوده مورد مطالعه، مشخص شده است که گسل کوه‌دره‌غار یک گسل با جدایش چپ‌گرد و راستای N33°E است که باعث جابجایی حدود ۲۶۰۰ متری بخش باختری به سمت جنوب‌خاوری شده است (شکل a۵). این گسل در انتهای شمال‌خاوری به صورت چند شاخه گسلی با جدایش‌های ۴۰ تا ۱۰۰ متری مولفه چپگرد غالب را نشان می دهد (شکل b۵). در واقع بخش‌هایی از یک واحد آهکی سخت بوسیله عملکرد گسل‌های چپ‌گرد جابجا شده‌اند. گسل سمت راست با راستای حدودا N42°E و جدایش ۱۰۰ متری باعث جابجایی بلوک باختری به سمت جنوب شده است. گسل میانی با راستای N39°E و جدایش حدود ۴۰ متری و همچنین گسل سمت چپ با راستای حدود N12°E و جدایش حدود ۷۰ متری باعث دگریختی و جابجایی شده‌اند.

در انتهای جنوب‌خاوری گسل کوه‌دره‌غار و در ارتفاعات خاوری کانسار آهنگران شواهدی از این پهنه گسلی در توالی‌های آهکی قابل مشاهده است. این شواهد به صورت درهم‌ریختگی و چین‌خوردن توالی‌ها و تشکیل شکستگی‌های مرتبط با پهنه گسلی است. لایه‌های آهکی واحد Kl که به علت حرکت سفره راندگی برروی واحدهای دیگر قرار گرفته‌اند، بوسیله گسل چپگرد کوه‌دره‌غار جابجا شده اند. در واقع پهنه گسلی کوه‌دره‌غار باعث جابجایی گسل راندگی شده و البته شواهدی از کینماتیک حرکتی گسل راقابل مشاهده نیست (شکل a۶). شواهد گسلش بیشتر به صورت پهنه های گسلی موازی است که باعث دگریختی واحد آهکی Kl شده است (شکل b۶).



شکل ۵- (a) گسل چپگرد کوه‌دره‌غار در بخش خاوری کانسار آهنگران و استریوگرام نشان‌دهنده مشخصات گسل. چهارگوش قرمز رنگ شکل (b) را نشان می دهد و (b) شاخه های گسلی با جدایش‌های ۴۰ تا ۱۰۰ متری در انتهای شمال خاوری گسل.

Fig. 5. (a) The left lateral Koh-Darrehghar fault in the eastern part of the Ahangaran deposit and stereogram showing the faults attitudes. The red square shows the figure (b), and (b) Fault branches with separations of 40 to 100 meters at the northeast termination of the fault.



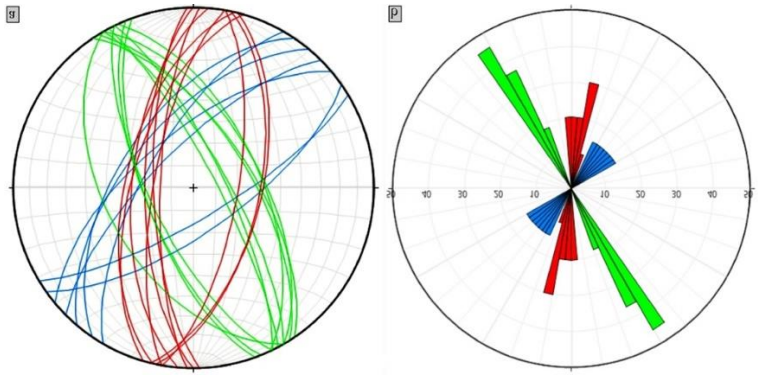
شکل ۶- (a) پهنه گسلی کوه‌دره‌غار که باعث جابجایی سفره راندگی شده است. استریوگرام راستا و شیب شکستگی‌ها را نشان می‌دهد و (b) پهنه‌های شکستگی موازی در واحد آهکی K1.

Fig. 6. (a) The Koh-Dattehghar fault zone that has caused displacement of the nappe. Stereogram showing the trend and dip of the freactures, and (b) Parallel fracture zones in the K1 limestone unit.

دگریختی کلی ناشی از سفره‌های راندگی و گسل چپگرد کوه‌دره‌غار باعث تشکیل شکستگی‌های با روندهای ساختاری متفاوتی شده است. برخی از این سیستم شکستگی‌ها و گسل-های اصلی در محدوده کانسار آهنگران کنترل‌کننده کانی‌سازی بوده و با توجه به برداشت‌های صحرایی دقیق، سه روند کلی را نشان می‌دهند. روند اول شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و آزیموت بین N20°E تا N35°E است و شیب بین ۵۰ تا ۸۰ درجه و به سمت جنوب‌خاوری و شمال‌باختری دارند. گسل‌های سری دوم روند شمالی-جنوبی تا شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و آزیموت N02°E تا N20°W داشته و شیب بین ۶۰ تا ۷۵ درجه به سمت جنوب‌باختری و شمال خاوری دارند. بیشتر گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه دارای این روند می‌باشند. گسل‌های سری سوم نیز روند بین N30°W تا N60°W داشته و با شیب کمتر نسبت به دو سری قبلی باعث دگریختی شده-اند. شیب این گسل‌ها بین ۵۶ تا ۷۶ درجه و به سمت جنوب-باختری و شمال‌خاوری است (شکل a۷). این سه روند اصلی گسلی منطقه مورد مطالعه در دیاگرام گل‌سرخی گسل‌ها نشان داده شده است (شکل b۷).

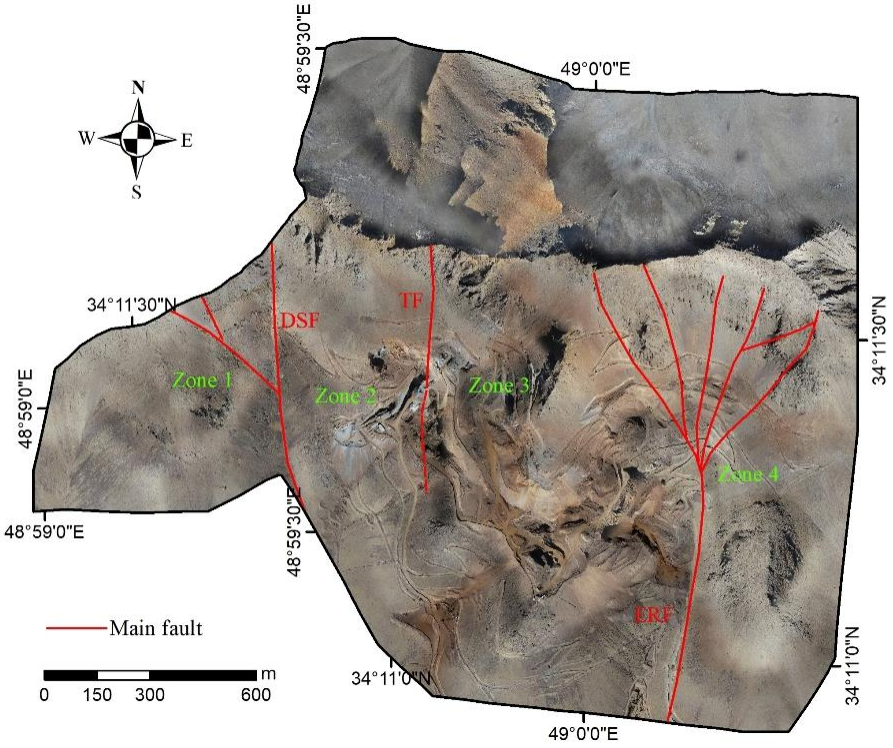
با توجه به روند گسل‌های موجود در محدوده معدنی آهنگران، به نظر می‌رسد که چند گسل اصلی با راستای تقریبا شمالی-جنوبی مهمترین ساختارهای تاثیرگذار بر کانی‌سازی می‌باشند. روند کلی این گسل‌ها در بخش‌های مختلف کانسار و از جنوب به شمال دچار تغییر شده و در بخش‌های شمالی و ارتفاعات منطقه مورد مطالعه چند شاخه می‌شوند. سه پهنه گسلی اصلی دره‌سماق، تونل و جاده شرقی، به ترتیب در بخش باختری، مرکزی و خاوری منطقه مورد مطالعه باعث دگریختی شده‌اند. بر این اساس برای بررسی دقیق ساختارها و با توجه به روند سه گسل اصلی، محدوده مورد مطالعه به چهار پهنه اصلی تقسیم‌بندی شده است (شکل ۸). پهنه ۱ در بخش باختری محدوده مورد مطالعه قرار دارد و مرز باختری این پهنه منطبق بر گسل دره‌سماق است. در این پهنه چند شاخه از گسل اصلی دره‌سماق منشعب شده و با روندهای مختلف و بیشتر راستای شمال باختری-جنوب خاوری باعث دگریختی واحدهای سنگی شده‌اند. در این پهنه دو سری شکستگی رخنمون دارند که یک-سری مربوط به سفره‌های راندگی است و باعث راندگی واحدهای آهکی دولومیتی Kl شده است. سری دوم و جوانتر مربوط به گسل‌های پهنه گسلی دره‌سماق است که به صورت متقاطع این سفره‌های راندگی را جابجا کرده‌اند. الگوی این گسل‌های جوانتر به صورت بادبزنی بود که به سمت جنوب به گسل اصلی دره-سماق می‌پیوندند (شکل a۸). در مورد الگوی گسل‌های این پهنه، این است که گسل‌ها چندین فاز تکتونیکی را در خود ثبت نموده‌اند. شواهدی از فازهای کششی و فشارشی حاکم بر منطقه با توجه به گسل‌های پهنه گسلی دره‌سماق قابل تشخیص است. فازهای فشارشی به صورت سفره‌های راندگی اصلی است که باعث رانده‌شدن واحدهای آهکی شده و ارتفاعات اصلی منطقه را تشکیل داده‌اند. گسل اصلی و مرزی دره سماق که مرز بین

دو پهنه ۱ و ۲ است جدایش چپگرد با مولفه نرمال را نشان می‌دهند (شکل b۸). باتوجه به پوشیده بودن و همچنین عملیات معدن‌کاری در مطالعات صحرایی شواهدی از صفحه گسل جهت مشخص نمودن حرکت دقیق گسل قابل رویت نیست. مولفه نرمال این گسل باعث جدایش حدود ۳۰ تا ۷۰ متری واحد آهکی Kl شده است. این گسل در ارتفاعات و در جایی که واحد آهکی Kl رخنمون دارد، پیچیدگی‌های ساختاری زیادی ایجاد کرده و عموما بلوک باختری گسل به سمت پایین حرکت کرده است.



شکل ۷-(a) استریوگرام نشان دهنده راستا و شیب گسل‌ها و (b) دیاگرام گل‌سرخی نشان دهنده سه روند اصلی گسل‌ها در کانسار آهنگران.

Fig. 7. (a) Stereogram showing the trend and dip of the faults, and (b) Rose diagram shows the three main fault trends in the Ahangaran deposit.



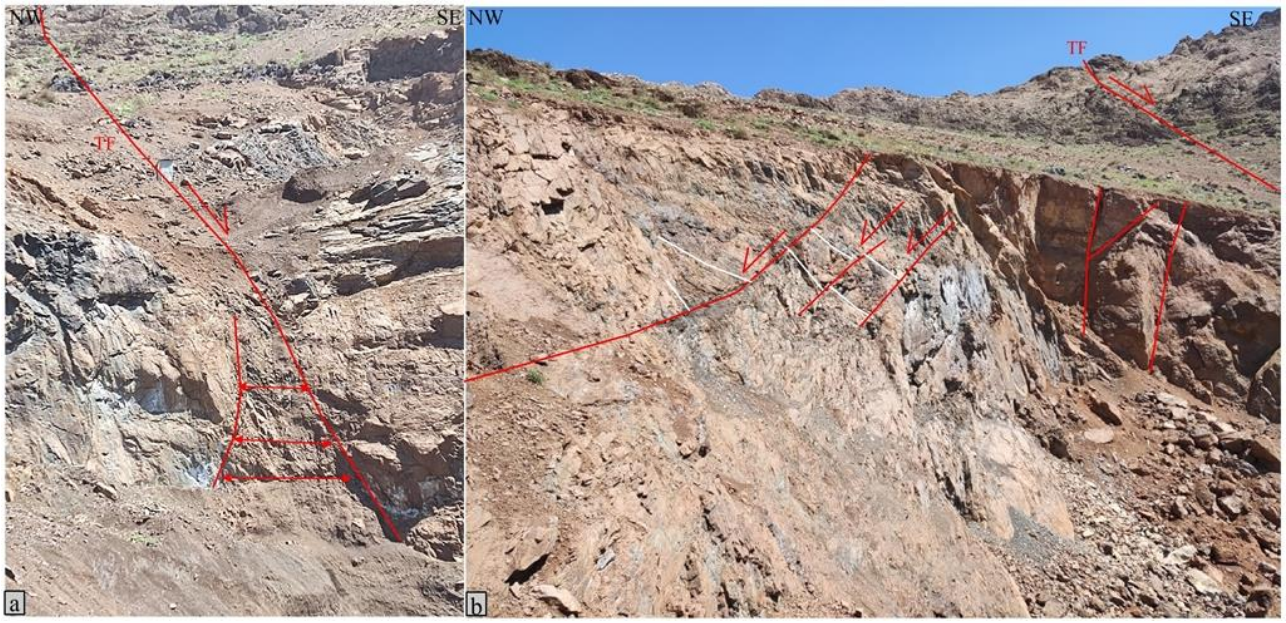
شکل ۸- تصویر ارتوفتو منطقه مورد مطالعه و تقسیم‌بندی به چهار پهنه اصلی با توجه به روند گسل‌های اصلی. DSF: گسل دره‌سماق، TF: گسل تونل و ERF: گسل جاده شرقی است.

Fig. 8. Orthophoto image of the study area and its division into four main zone according to the trend of the main faults. DSF: Darreh-Somagh Fault, TF: Tunnel fault and ERF: Eastern Road Fault.

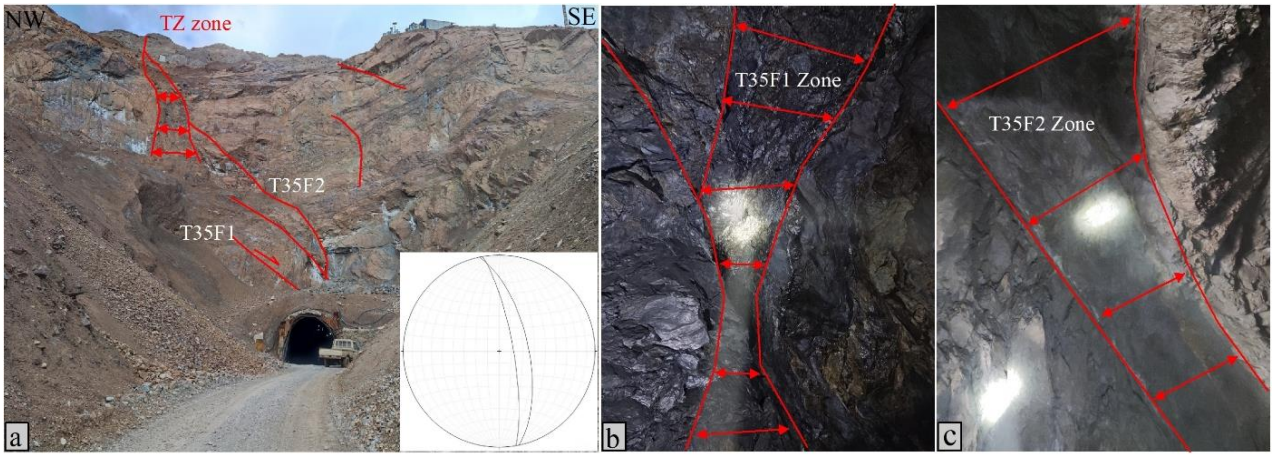
پهنه دوم در منطقه مورد مطالعه در خاور پهنه ۱ قرار دارد و مرز باختری پهنه۲ گسل دره‌سماق و مرز خاوری آن منطبق بر گسل تونل است. در این پژوهش یک ساختار گسلی اصلی که رخنمون آن در ورودی تونل شماره ۲۰۳۵ معدن قابل مشاهده است، به نام گسل تونل نام‌گذاری شده است (شکل a۹). این گسل با جدایش نرمال باعث جدایش حدود ۸۰ متری توالی‌های سنگی در بلوک خاوری شده است. راستای آن حدود N5°W و شیب حدود ۷۵ درجه به سمت جنوب‌خاوری است (شکل b۹). به علت عملکرد این گسل بلوک فرادیواره با بخش خاوری گسل حدود ۵۰ متر به سمت پایین دست جابجا شده است و یک مرز ساختاری مهم در محدوده معدنی آهنگران است. در بلوک فرودیواره گسل تونل نیز الگوی موازی از شکستگی‌ها تشکیل شده که باعث جابجایی‌های نرمال چند سانتی متری تا حدود یک متری شده‌اند.

گسل تونل در منطقه مورد مطالعه به صورت یک پهنه گسلی مهم است و عموما با الگوی پیچیده و شامل چندین شکستگی است (شکل a۱۰). باتوجه به پوشیده‌شدن بیشتر بخش‌های سطحی ردیابی گسلهای سطحی در زیرسطح و تونل های منطقه مورد مطالعه به سختی میسر است. در دیواره خروجی تونل شماره ۳۵ دو شاخه گسلی از گسل تونل به نام-های T35F1 و T35F2 رخنمون دارند. این دو گسل با شیب نسبتا زیاد به سمت جنوب خاوری و جدایش چند متری باعث دگرشکلی شده‌اند. سازوکار این دو گسل در محدوده نزدیک به هم متفاوت بوده و گسل T35F1 سازوکار کششی و نرمال داشته و فرادیواره آن چند متر به سمت جنوب‌خاوری پایین افتاده است (شکل b۱۰). اما گسل T35F2 سازوکار معکوس و فشارشی داشته و باعث بالا آمدن چند متری بلوک فرادیواره شده است (شکل c۱۰).

این شاخه‌های گسلی کنترل‌کننده اصلی کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه هستند و با تغییر روند و چرخش راستا و شیب دگرشکلی پیچیده‌ای در محدوده ایجاد کرده‌اند. در بخش-های از معدن در یک طرف گسل ماده معدنی و در طرف دیگر باطله است که نشان می‌دهد گسل به صورت مجرایی با صفحه ای نفوذناپذیر عمل کرده است (شکل a۱۱). در بخش‌هایی دیگر از معدن در راستای این گسل‌ها ماده معدنی بوده و در طرفین گسل باطله وجود دارد و این موضوع نشان می‌دهد که گسل مجرایی برای عبور سیال کانه‌ساز بوده است. (شکل b۱۱).

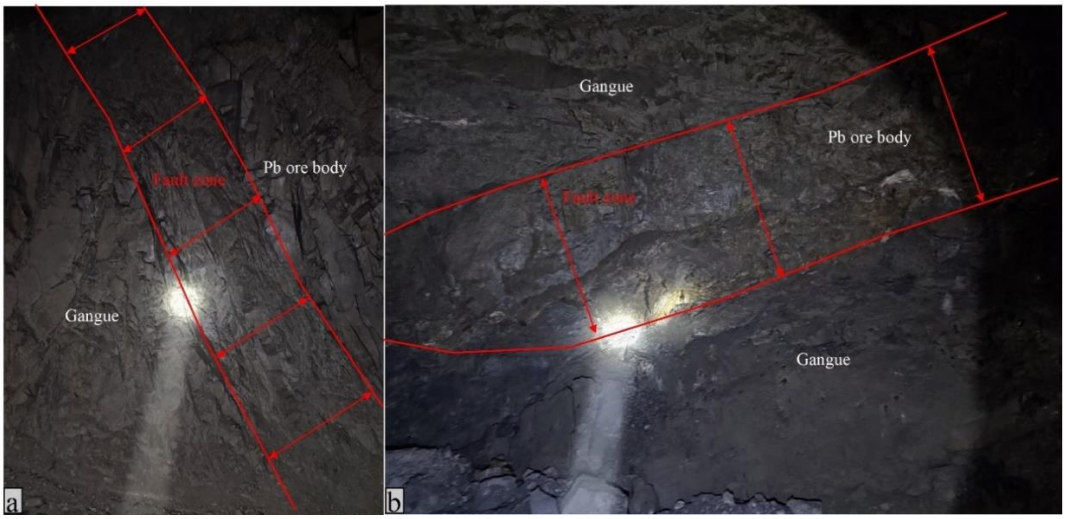


شکل ۹-(a) رخنمون سطحی پهنه گسلی تونل و (b) جدایش نرمال بلوک خاوری گسل و تشکیل الگوی موازی شکستگی‌ها در بلوک فرودیواره.
Fig. 9. (a) The surface outcrop of the TF fault zone and (b) Normal separation of the eastern block of the fault and the formation of the parallel pattern of fractures in the footwall block.



شکل ۱۰-(a) شکستگی‌های پهنه گسلی تونل به همراه استریوگرام آن و (b) رخنمون شاخه گسلی T35F1 و (c) رخنمون زیرسطحی شاخه گسلی T35F1.

Fig. 10. (a) Fractures of the TF fault zone with theis steriogerams, (b) Outcrop of the T35F1fault branch, and (c) Subsurface outcrop of the T35F1 fault branch.



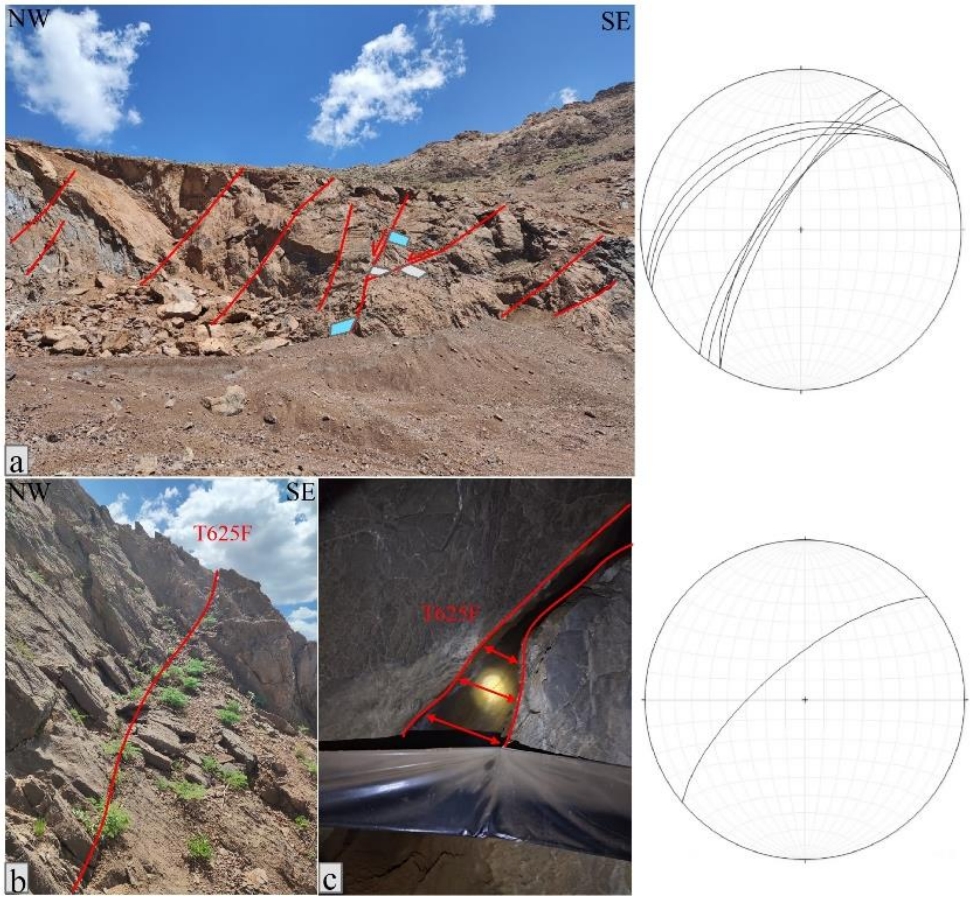
شکل ۱۱-(a) پهنه گسلی به صورت سدی بین باطله و ماده معدنی است و (b) پهنه گسلی دارای کانی‌سازی که در دو طرف آن باطله وجود دارد.

Fig. 11. (a) The fault zone is a barrier between the gangue and ore body, and (b) The fault zone has mineralization with gangue on both sides.

پهنه سوم محدوده مورد مطالعه بین گسل تونل (در سمت باختر) و گسل جاده‌شرقی (در سمت راست) واقع شده است (شکل ۸). این پهنه مهم‌ترین بخش معدن است و عمده تونل-های استخراجی معدن در این پهنه حفر شده است. سیستم شکستگی‌های متعددی در این پهنه دگرشکلی‌های پیچیده‌ای ایجاد کرده که باعث‌شده رگه‌های معدنی دچار تغییر جهت و چرخش شوند. در این پهنه تونل‌های معدن به صورت طبقاتی قرا گرفته و سیستم گسل‌های موجود در افق های مختلف دیده می‌شوند. سیمای ظاهری سطح زمین در این پهنه به علت پوشیده‌شدن با باطله‌ها عمدتا اطلاعات چندانی از شکستگی‌های سطحی فراهم نمی‌کند. اما توپوگرافی پرشیب این پهنه باعث گردیده در بخش‌هایی که حفاری یا ترانشه باشد، اطلاعات دقیق‌تری از ساختارها بدست آید. الگوی گسل‌ها در این پهنه نیز عموما به صورت موازی بوده و پهنه‌های گسلی با شکستگی-های با راستای نزدیک به هم تشکیل شده‌اند. این موضوع باعث شده است حین عبور سیال کانه‌ساز از این مجراهای گسلی، مسیرهای متفاوتی جهت عبور ایجاد شده و کانی‌سازی با روندهای مختلف و رگه‌ای تشکیل گردد. در این پهنه گسل‌های اصلی عموما پرشیب‌تر بوده و با سازوکار نرمال جابجایی چند متری در توالی‌ها ایجاد کرده‌اند. شکستگی‌های نسل دوم که با

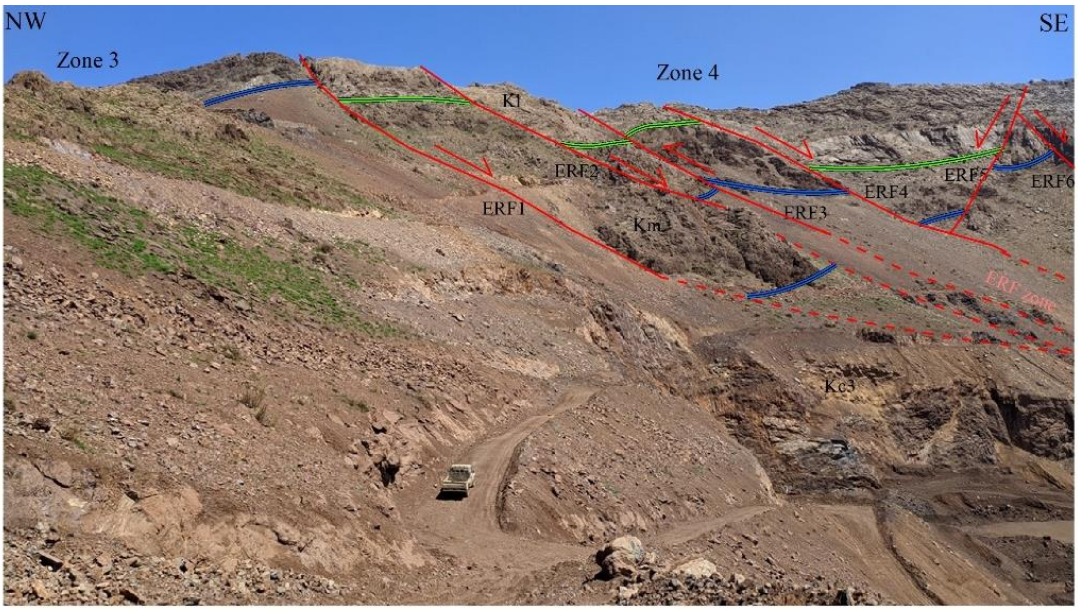
یک زاویه نسبت به روند شکستگی‌های اصلی تشکیل می‌شوند، معمولا کم‌شیب‌تر بوده و مقدار جابجایی کششی آنها نیز کمتر است. در پهنه سوم منطقه مورد مطالعه شکستگی‌های با راستای N20°E تا N50°E شکستگی‌های اصلی هستند که شکستگی-های نسل دوم با راستای N75°E تا N80°E تشکیل شده‌اند (شکل ۱۲a). شواهد دگرشکلی سطحی و عمقی در ارتفاعات مشرف به تونل ۶۲۵ منطقه مورد مطالعه گسلی با راستای عمومی N50E با شیب حدود ۷۰ درجه به سمت شمال‌باختری است (شکل ۱۲b). رخنمون این گسل در سطح باعث جابجایی واحد آهکی Km شده و در تونل نیز پهنه برشی این گسل قابل مشاهده است (شکل ۱۲c). با توجه به تغییر راستا و خمش‌های متوالی صفحه گسلی، پهنه برشی آن نیز از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی متر متغیر است.

پهنه چهارم در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه و در خاور پهنه سوم قرار گرفته است. مرز پهنه چهارم با پهنه سوم منطبق بر گسلی به نام گسل جاده‌شرقی است (شکل ۸). این گسل یک پهنه گسلی بزرگ است که با الگوی بادبزنی در سطح، شامل چند شاخه گسلی است. این پهنه گسلی شامل چندین گسل نرمال است که باعث جابجایی زیادی در بلوک فرادیواره شده است. در واقع بخش خاوری این پهنه گسلی که بلوک فرادیواره است به صورت یک ساختار نیمه‌گرابنی است که ساختارهای پایین افتاده و بالاآمده ایجاد کرده است. در برداشت‌های صحرایی شش شاخه گسلی در این پهنه شناسایی گردیده که گسل اصلی این پهنه در بخش باختری رخنمون دارد و جابجایی نرمال زیادی دارد. این گسل اصلی ERF1 نامگذاری شده و بقیه گسل‌ها که ناشی از حرکت این گسل اصلی تشکیل شده‌اند، گسل‌های ERF2 تا ERF6 می‌باشند (شکل ۱۳).



شکل ۱۲-(a) شکستگی‌های موازی در پهنه سوم منطقه مورد مطالعه، (b) رخنمون شاخه گسلی T625F و (c) رخنمون زیرسطحی و پهنه گسلی T625F. استریوگرام‌ها راستا و شیب گسل‌ها را نشان می‌دهند.

Fig. 12. (a) Parallel fractures in the third zone of the study area, (b) Outcrop of the T625F fault branch, and (c) Subsurface outcrop and fault zone of the T625F. Stereograms show the trend and dip of the faults.



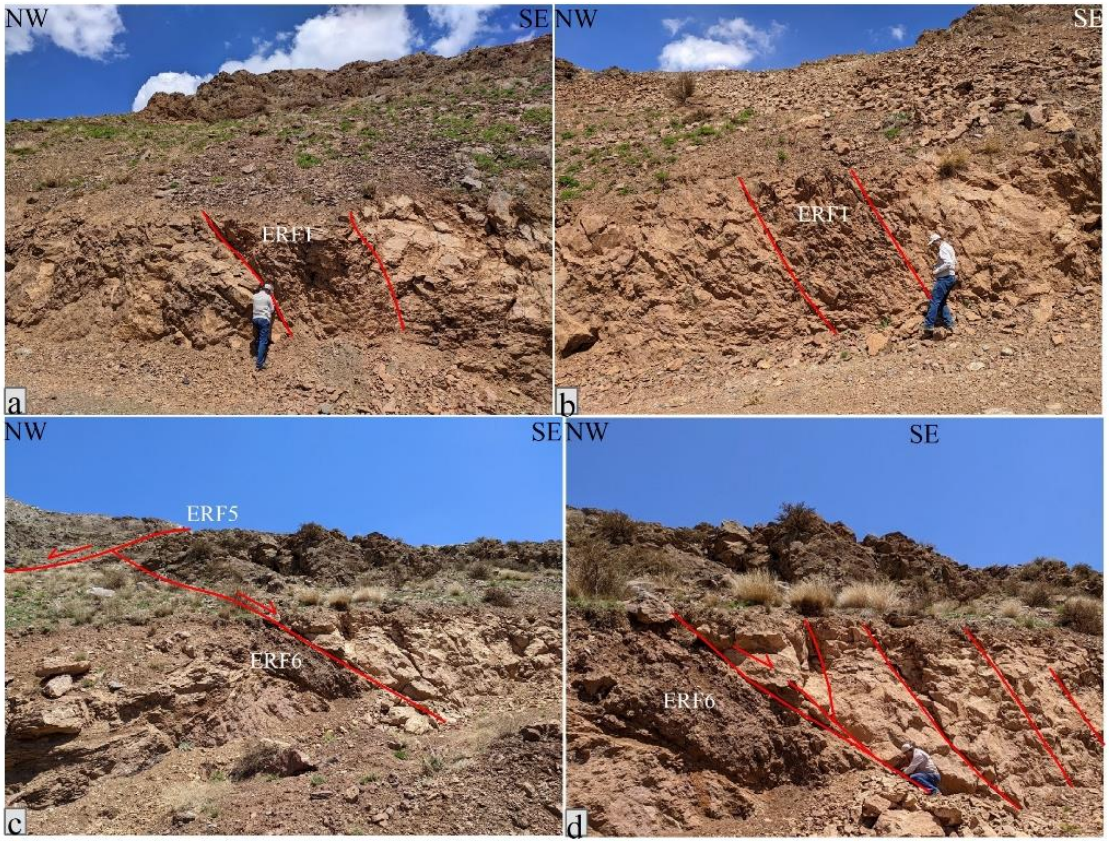
شکل ۱۳- پهنه گسلی ERF در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه. سطح زیرین لایه Km با رنگ ابی و سطح زیرین لایه Kl به رنگ سبز نشان داده شده است.

Fig. 13. The ERF fault zone in the eastern part of the study area. The base of the Km is shown in blue and the base of the Kl is shown in green.

گسل اصلی ERF1 مهمترین گسل پهنه گسلی ERF است و لایه‌های کلیدی در محدوده مورد مطالعه را جابجا کرده است و این گسل مرز ساختاری بسیار مهمی است و باعث دگریختی زیادی شده است. عملکرد این گسل باعث شده است که لایه Km که عمده کانی‌سازی در زیر این لایه است را حدود یکصد متر به سمت پایین جابجا شود (شکل ۱۲). پهنه برشی ایجاد شده بوسیله این گسل در چند سطح ارتفاعی که توپوگرافی بوسیله جاده بریده شده است، بالای دو متر است (شکل a۱۴). مشخصات صفحه گسلی این گسل N20W/75NE است و در افق های مختلف شیب و امتداد آن کمی تغییر می کند (شکل b۱۴). اثر سطحی این گسل با توجه به این که این بخش از معدن کمتر دسخوش تغییر شده، قابل ردیابی است که از ارتفاعات شروع شده و با ادامه جاده شرقی به پایین دست ادامه دارد. در پهنه گسلی ERF فقط گسل EFR5 راستا و شیب متفاوت نسبت به بقیه گسل‌ها داشته و یک ساختار گرابنی بین این گسل و گسل ERF4 ایجاد شده است. در انتهایی‌ترین بخش خاوری پهنه گسلی ERF گسل ERF6 رخنمون دارد که در انتهای شمالی خود به گسل ERF5 متصل می شود (شکل c۱۴). مشخصات گسل ERF6 در این بخش از منطقه مورد مطالعه N40E/45SE است و مرز ساختاری بین دولومیت های تیره و روشن است (شکل d۱۴). در فرادیواره این گسل شکستگی های متعددی با الگوی نسبتا موازی تشکیل شده است.

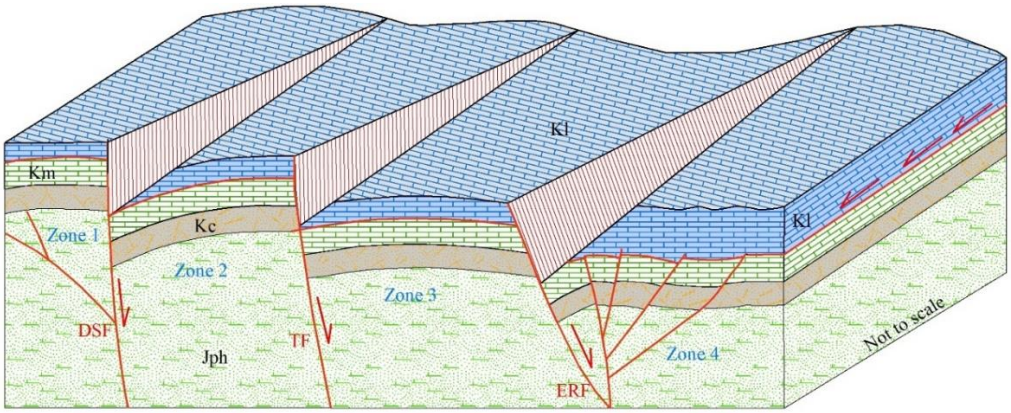
باتوجه به تفسیرهای ساختاری انجام‌شده در بالا واضح است که ارتباط کانی‌سازی با تکتونیک در محدوده معدنی آهنگران پیچیده بوده و گسل‌های اصلی کنترل‌کننده کانی‌سازی هستند. تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به چهار پهنه اصلی و هم‌چنین نقش گسل‌های مرزی و اصلی و سفره‌های راندگی ارتباط بین لایه‌های کلیدی و کانی‌سازی را مشخص می‌کند. همان‌طور که بیان شد کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه عموما در واحد ماسه‌سنگ دولومیتی و سنگ‌آهک دولومیتی Kc3 تشکیل شده است. در محدوده مطالعاتی باتوجه به عملیات معدن‌کاری و همچنین ضخامت کم واحد Kc3 در بیشتر قسمت‌ها پوشیده شده و قابل ردیابی نیست. اما واحد ضخیم لایه آهکی Km که برروی واحد Kc3 قرار دارد صخره‌ساز بوده و جابجایی آن بوسیله گسل‌ها قابل تشخیص بوده و با شناسایی دقیق این واحد آهکی، می توان واحد Kc3 و کانی‌سازی را در افق‌های مختلف ردیابی نمود. پهنه‌های دوم و سوم در منطقه مورد مطالعه مهمترین پهنه‌ها از نظر کانی‌سازی می باشند و بیشتر تونل‌های اکتشافی و استخراجی معدن در این پهنه‌ها قرار دارند. همچنین دو گسل TF و ERF مهمترین ساختارهای تاثیرگذار در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. گسل TF با راستای تقریبا شمالی-

جنوبی و شیب به سمت خاوری باعث پایین افتادن بلوک فرادیواره در بخش باختری به سمت پایین شده است. این موضوع باعث شده که واحد Kc که دارای کانی‌سازی است در بخش خاوری به سمت پایین جابجا شده و کانی سازی در بلوک فرودیواره و باختری گسل در افق های بالاتری قرار گیرد (شکل ۱۵). همچنین گسل ERF با جدایش نرمال با عث پایین افتادکی بلوک فرادیواره به صورت الگوی گرابنی شده است. عملکرد این گسل باعث شده که افق Kc و دارای کانی‌سازی در بلوک فرودیواره در افق‌های بالاتری در پهنه سوم قرار گیرد (شکل ۱۵).



شکل ۱۴-(a) و (b) پهنه گسلی ERF1 در کانسار آهنگران. (c) و (d) گسل EFR6 با شیب به سمت جنوب خاوری.

Fig. 14. (a) and (b The ERF1 fault zone in the Ahangaran deposit. (c) and (d) The EFR6 fault with dips toward southeast.



شکل ۱۵- بلوک دیاگرام نشان‌دهنده گسل‌های اصلی کنترل‌کننده کانی‌سازی در کانسار آهنگران.

Fig. 15. Block diagram showing the main faults controlling mineralization in the Ahangaran deposit.

۶- نتیجه گیری

از نظر جایگاه ساختاری محدوده معدنی آهنگران در پهنه سنندج-سیرجان قرار گرفته و سفره‌های راندگی فراوان باعث رانده‌شدن واحدهای قدیمی‌تر برروی واحدهای جوانتر شده است. جهت حرکت سفره‌های راندگی از سمت شمال‌خاوری به سمت جنوب‌باختری است و واحد آهک اربیتولین‌دار روشن Kl برروی واحد آهک ضخیم‌لایه تیره واحد Km رانده شده است. در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه گسل کوه‌دره‌غار با راستای شمال خاوری-جنوب باختری (N33°E) و جدایش چپ‌گرد، باعث جابجایی حدود ۲۶۰۰ متری شده است در انتهای شمال-خاوری گسل به صورت چند شاخه گسلی با جدایش‌های بین ۴۰ تا ۱۰۰ متری شده است. شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه سه روند کلی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری (N20°E تا N35°E) و شیب بین ۵۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب‌خاوری و شمال‌باختری، روند شمالی-جنوبی تا شمال‌باختری-جنوب-خاوری (N02°E تا N20°W) و شیب بین ۶۰ تا ۷۵ درجه به سمت جنوب‌باختری و شمال خاوری و روند بین N30°W تا N60°W با شیب کمتر نسبت به دو سری قبلی رخنمون دارند. مهمترین ساختارهای گسلی در محدوده معدنی آهنگران شامل پهنه گسلی DSF، TF و ERF است که محدوده مورد مطالعه را به چهار پهنه اصلی تقسیم‌بندی کرده‌اند. مهمترین پهنه‌ها از نظر کانی‌سازی و تاثیر ساختارهای گسلی، پهنه‌های دوم و سوم است و بیشتر تونل‌های اکتشافی و استخراجی معدن در این پهنه‌ها قرار دارند. دو گسل TF و ERF با جدایش نرمال مهمترین ساختارهای تاثیرگذار در منطقه مورد مطالعه می-باشند که باعث پایین افتادن افق‌های دارای کانی‌سازی در بخش فرادیواره شده‌اند.

مراجع

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros [Iran]: constraints from collisional and earlier deformation. International Journal of Earth Sciences 94, 401-419. https://doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4.

Aliani, F., Maanijou, M., Sabouri, Z., Sepahi, A.A., 2012. Petrology, geochemistry and geotectonic environment of the Alvand Intrusive Complex, Hamedan, Iran. Geochemistry 72 (4), 363–383. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.05.001

Azizi, H., Asahara, Y., Mehrabi, B., Chung, S.L., 2011. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of high-K granite from the Suffiabad area, Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran. Geochemistry 71, 363-376. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2011.06.005.

Berberian, M., 1973. Two important deformational and metamorphic phases in the belt northeast of the Zagros thrust line (Iran); a brief structural review of the Sanandaj-Sirjan belt. Geological Survey of Iran. Report No 35.

Boveiri, M., Rastad, E., Peter, J.M., 2017. A sub-seafloor hydrothermal syn-sedimentary to early diagenetic origin for the Gushfl Zn-Pb-(Ag-Ba) deposit, south Esfahan, Iran. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen 194, 61-90. https://doi.org/10.1127/njma/2016/0041.

Coward, M., 1994. Inversion tectonics. In: Hancock, P. (Ed.), Continental Deformation. Pergamon Press.

Dennis, J.G., Price, R.A., Sales, J.K., Hatcher, R., Bally, A.W., Perry, W.J., Hutton, D.W., 1981. What is a Thrust? What is a Nappe? Geological Society, London, Special Publications 9(1), 7-9.

Ehya, F., Lotfi, M., 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 37, 186-194. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.08.007.

Ghazban, F., Mcnutt, R.H., Schwarcz, H.P., 1994. Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, west-central Iran. Economic Geology 89, 1262-1278. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.6.1262.

Granado, P., Ruh, J.B., 2019. Numerical modelling of inversion tectonics in fold-and-thrust belts. Tectonophysics 763, 14-19. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.033.

Hayati, S., Maanijou, M., TaleFazel, E., Mohseni, H., 2016. Relationship between dolomitization alteration and mineralization in Ahangaran epigenetic deposit (southeast of Malayer): mineralogy, geochemistry and mineral chemistry evidences. Applied Sedimentology 7, 1-17. https://doi.org/10.22084/PSJ.2016.1516.

Homke, S., Verges, J., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Sharp, I., Garces, M., Goodarzi, M.H., 2009. Late Cretaceous–Paleocene formation of the proto–Zagros foreland basin, Lurestan Province, SW Iran. Geological Society of America Bulletin 121 (7-8), 963-978. https://doi.org/10.1130/B26035.1.

Jafarian, M., Zamani-pedram, M., 1999. Geological map of Malayer. Geological Survey of Iran, scale 1:100,000.

Karimpour, M.H., Sadeghi, M., 2018. Dehydration of hot oceanic slab at depth 30–50 km: KEY to formation of Irankuh-Emarat Pb–Zn MVT belt, Central Iran. Journal of Geochemical Exploration 194, 88–103. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.07.016.

Maanijou, M., Tale Fazel, E., Hayati, S., Mohseni, H., Vafaei, M., 2020. Geology, fluid inclusions, C–O–S–Pb isotopes and genesis of the Ahangara Pb-Ag (Zn) deposit, Malayer-Esfahan Metallogenic Province, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 195, 104339. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104339.

Maanijou, M., Vafaeizad, M., Aliani, F., 2015. Fluid inclusion and sulfur stable isotope evidence for the origin of the Ahangran Pb-Ag deposit. Journal of Economic Geology 7, 343–367 (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ECONG.V7I2.25816.

Modabberi, S., 1995. Geology, facies analysis, mineralogy, geochemistry and genesis of Ravandje Pb-Ag deposit, Central Iran. Unpublished MSc thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian with Engilsh abstract).

Mohajjel, M., Fergusson, C.L. 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the zagros orogen in northwestern Iran. International Geology Review 56 (3), 263-287. https://doi.org/10.1080/00206814.2013.853919.

Mohajjel, M., FerGusson, C.L. Aahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, SanandajSirjan Zone, Western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21, 397–412. https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4.

Momenzadeh, M., Shafghi, S., Rastad, E., Amstutz, G.S., 1979. The Ahangaran lead-silver deposit, SE-Malayer, west Central Iran. Mineralium Deposita 14, 323–341. https://doi.org/10.1007/BF00206363.

Moores, E. M., Twiss, R.J., 1995. Tectonics. W.H. Freeman, New York.

Niazi, S., 2013. Analysis of geological structures in the Ahangaran Mine. Unpublished MSc thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian with Engilsh abstract).

Niroomand, S., Haghi, A., Rajabi, A., Tabbakh Shabani, A.A., 2019. Geology, Isotope Geochemistry and Fluid Inclusion Investigation on the Robat Zn-Pb-Ba Deposit in the Malayer-Esfahan Metallogenic Belt, Iran. Ore Geology Reviews 112, 103040. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103040.

Rajabi, A., Mahmoodi, P., Rastad, E., Niroomand, S., Canet, C., Alfonso, P., Tabbakh Shabani, A.A., Yarmohammadi, A., 2019. Comments on "Dehydration of hot oceanic slab at depth 30–50 km: KEY to formation of irankuh-emarat Pb-Zn MVT belt, Central Iran" by Mohammad Hassan Karimpour and Martiya Sadeghi. Journal of Geochemical Exploration 205, 106346. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106346.

Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. International Geology Review 54, 1649-1672. https://doi.org/10.1080/00206814.2012.659110.

Rastad, E., 1981. Geological, mineralogical, and facies investigations on the Lowe Cretaceous stratabound Zn–Pb–(Ba–Cu) deposits of the Irankouh Mountain Range, Esfahan, west Central Iran. Unpublished Ph.D. thesis. University of Heidelberg, Heidelberg.

Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., Sepahi, A.A., Shang, C.K. and Vousoughi Abedini, M., 2010. Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran): new evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian Earth Sciences 39(6), 668–683. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.04.014.

Yassaghi, A., Madanipour, S., 2008. Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: Case study of the Mosha Fault, Central Alborz Range, Iran. Journal of structural geology 30, 1507-1519. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.08.006.

Zamanian, H., 1993. Mineralogy, paragenesis and genesis of Ahangaran Ag-Pb deposit, Malayer. Unpublished MSc. thesis. Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran. (In Persian with Engilsh abstract).