



RESEARCH ARTICLE



10.22067/econg.2025.1143



The role of fault structures in accomodation and separation of mineral veins in the Zizgan and Amre mines, southeast of Tafresh

Somayyeh Oroji ¹, Ali Yassaghi ^{2*} ¹ M.Sc. student, Department of Tectonic Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran² Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 04 March 2025

Revised: 18 November 2025

Accepted: 22 November 2025

Keywords

Faults hosting mineral veins

Strike-slip faults

Zizgan and Amreh mines

Urmia-Dokhtar belt

ABSTRACT

Interpretive study of geological structures is one of the main pillars of exploration operations of mineral deposits. Considering the spatial relationship of vein mineralizations with fault zones, this study has been conducted to investigate such a relationship in the Zizgan and Amreh mining areas located in the Urmia-Dokhtar volcanic belt. Faults in this belt play an important role as the accommodation controller of mineralization as well as the displacement of mineral veins. The metallic and non-metallic mineralization identified in these mines is mainly lead metallic minerals as veins in tuff, andesite, and andesite-basaltic tuff rock units of the Eocene. Field investigation of the spatial relationship of mineralization and fault structures showed that the mineral veins were mainly injected and emplaced under the influence of dextral faulting. These faults and veins have been cut and displaced by younger sinistral faults. These results indicate that in the Zizgan and Amreh mines, dextral and sinistral faults play a significant role in the placement and displacement of mineral veins, respectively.

*Corresponding author

Ali Yassaghi

✉ yassaghi@modares.ac.ir

How to cite this article

Oroji, S. and Yassaghi, A., 2025. The role of fault structures in accomodation and separation of mineral veins in the Zizgan and Amre mines, southeast of Tafresh. *Journal of Economic Geology*, 17(3): 131–152. (in Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/econg.2025.1143>



©2025 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.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Igneous activity in the Urmia-Dokhtar volcanic belt, due to the subduction of the Young Tethys oceanic plate beneath central Iran, began in the Paleocene and reached its peak during the Eocene (Stöcklin, 1968). These activities have been associated with the formation of metal and non-metal deposits in central Iran (Kazemi et al., 2019). Zizgan and Amreh Mines, under investigation in this study, are located in this belt. The accommodation of metallic and non-metallic ores within fault zones indicates the importance of structural studies in mineral exploration in these mines. Spatial relationship of faults with veins, which can control both accommodation and displacement of veins, shows that mineralization in these mines is of veins and often fills fractures and faults (Hosseini and Asghari, 2019). This study aims to perform geometrical and kinematic analyses of faults in the Zizgan and Amreh mines, as well as to find their spatial and temporal relationship with mineral veins.

Material and methods

In order to analyze the relationship between fault structures and vein mineralization in the studied mines, interpretation of satellite images and field mapping has been carried out to identify the relation between fault structures and mineral veins, as well as measuring their location and spatial relationship.

The host rock for mineralization in Amreh and Zizgan mines is located in tuff and andesitic tuff of unit E_5 of Eocene rock units. This mineralization, which has mainly taken place along existing faults and fractures, includes numerous veins of barite, so galena and lead are located inside a waste of barite. The veins under investigation in this study are in line with the general trend of northeast and southeast faults. Examples of this correlation between faults and the main veins of Zizgan Mine include vein 2 with the FL5 fault and vein 4 with the FR6 fault. Most of these faults, which are parallel to the veins,

have a dextral mechanism. Sinistral faults, however, have cut and displaced mineral veins and also some dextral faults. Examples of these vein-cutting faults are the interruption and displacement of veins 1 and 3 of Zizgan mine by FL2 and FL10 faults, respectively. Therefore, from the point of view of the relationship between faults and mineral veins, the faults are classified into two categories: host mineralization with a dominant dextral fault mechanism and sinistral fault mechanisms that cut and displace mineralized veins with a dominant left-lateral separation. Such a connection of vein with sinistral faults indicates the young activity of these faults in the Urmia Dokhtar belt. This interpretation can be used as a standard in the exploration of this vein in the mines of the study area and the belt.

Discussion

Strike-slip faults, as the main structures controlling the accommodation of veins, have two different dextral and sinistral mechanisms. The dextral faults have been cut and displaced by sinistral faults. Some sinistral faults have been cut and displaced by other sinistral faults. Therefore, these faults are younger than the dextral ones. An example of this is the displacement of the FL17 fault by the FL16 fault (Figure 1). Therefore, sinistral faults are younger than dextral ones. The dominant azimuth of strike of the sinistral faults is consistent with the trend of the Tafresh and Kushek-Nusrat faults as the main fault zones in the Urmia Dokhtar belt (Khodaparast et al., 2024). There is much recorded evidence on changing the mechanism of faults from dextral to sinistral in the Urmia Dokhtar zone. The most important of which is the Kushek Nusrat fault zone, which is located in the northeast of the study area (Figure 2). The presented evidence on the relationship between veins and faults in the region shows that their trends are dominantly consistent (Figure 12C). Therefore, these mineralized veins have been accommodated as hydrothermal veins in fault zones. In addition, the changes in the thickness of the veins and their disruption by layering indicate that mineralization in this area is not simultaneous with sedimentation.



نقش ساختارهای گسلی در جایگزینی کانی‌سازی و جدایش رگه‌های معدنی در محدوده معادن زیزگان و آمره، جنوب شرق تفرش

سمیه اوروجی^۱، علی یساقی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی تکنیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
بررسی تفسیری ساختارهای زمین‌شناسی از ارکان اصلی عملیات اکتشافی ذخایر معدنی است. با توجه به ارتباط فضایی کانه‌زایی‌های رگه‌ای با پهنه‌های گسلی، این پژوهش به پی‌جویی چنین ارتباطی در مناطق معدنی زیزگان و آمره واقع در کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر پرداخته است. گسل‌ها در این کمربند نقشی مهم به عنوان کنترل‌کننده جایگزینی کانه‌زایی و جابه‌جایی رگه‌های معدنی دارند. آثار معدنی فلزی و غیرفلزی شناسایی شده در این معادن اغلب کانی‌های فلزی سرب و روی به صورت رگه‌ای و در واحدهای سنگی توف، آندزیت و توف آندزیتی-بازالتی ائوسن هستند. برداشت‌های میدانی از ارتباط فضایی کانی‌زایی و ساختارهای گسلی نشان‌داد که رگه‌های معدنی اغلب تحت تأثیر گسلش راستالغز راست‌گرد تریق و جای‌گیری شده‌اند. این گسل‌های راست‌گرد و رگه‌ها توسط گسل‌های جوان‌تر چپ‌گرد قطع و جابه‌جا شده‌اند. نتایج بیانگر آن است که گسل‌های راستالغز راست‌گرد و چپ‌گرد به ترتیب در جای‌گیری و جابه‌جایی رگه‌های معدنی در مناطق معدنی زیزگان و آمره نقش به‌سزایی دارند.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱ واژه‌های کلیدی گسل‌های میزبان رگه‌های معدنی گسل‌های راستالغز معادن زیزگان و آمره کمربند ارومیه دختر نویسنده مسئول علی یساقی yassaghi@modares.ac.ir ✉

استناد به این مقاله

اوروجی، سیمیه و یساقی، علی، ۱۴۰۴. نقش ساختارهای گسلی در جایگزینی کانی‌سازی و جدایش رگه‌های معدنی در محدوده معادن زیزگان و آمره، جنوب شرق تفرش. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۷(۳): ۱۳۱-۱۵۲. <https://doi.org/10.22067/econg.2025.1143>

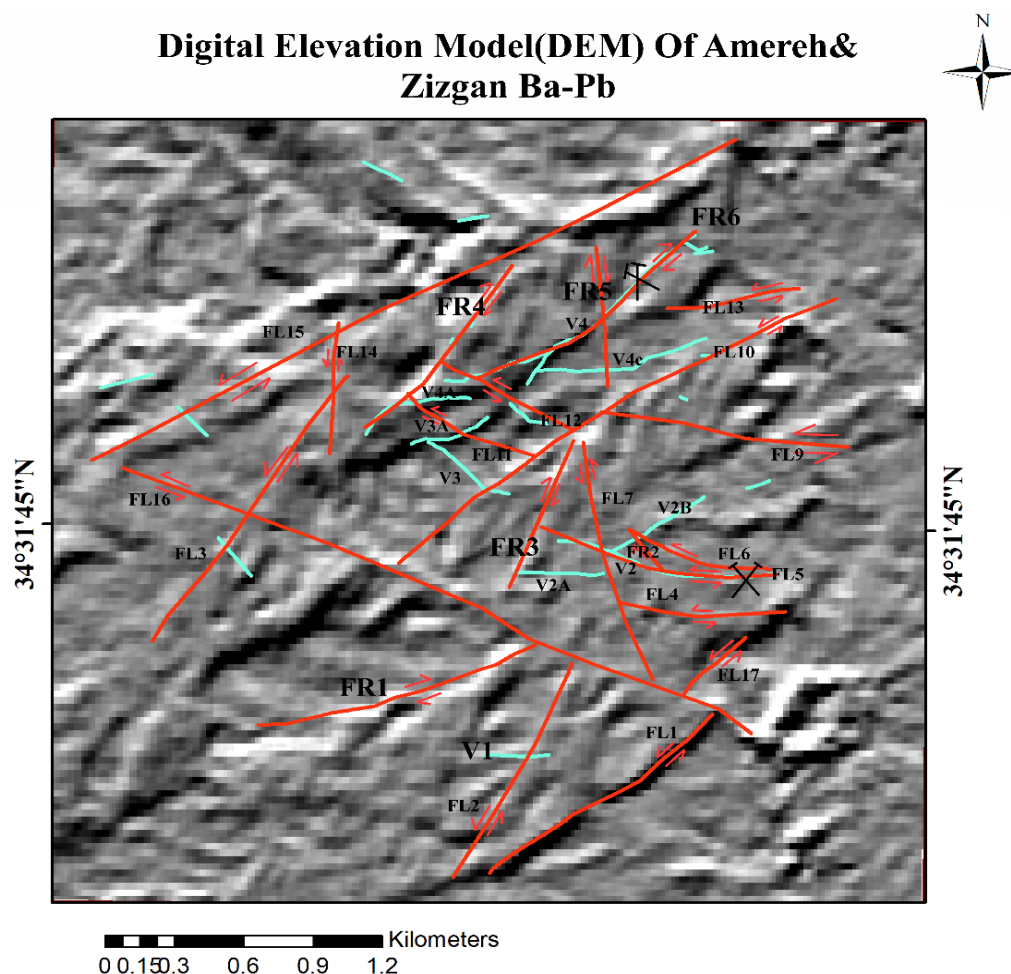
مقدمه

گسل خوردگی با ایجاد پهنه های خرد شده افزایش نفوذپذیری واحدهای سنگی و سهولت جریان سیالات کانه دار را تأمین می کند. چنین پهنه های گسلی می تواند پیش از کانه زایی وجود داشته و به عنوان معبری برای عبور سیال کانه دار عمل کرده باشد و یا اینکه هم زمان با کانه زایی نیز فعالیت داشته باشد (Johri et al., 2020; Blenkinsop et al., 2014). گسل ها نه تنها در شکل گیری ماده معدنی؛ بلکه پس از کانه زایی موجب قطع و جابه جایی رگه های معدنی می شوند (Micklethwaite et al., 2021; Yildirim et al., 2015). مثال هایی از چنین کانی زایی در فلات ایران، رگه های معدنی کانسار سرب و روی همچون ونکان در سنگ های آذرآواری- رسوبی به سن ائوسن در ایران مرکزی است (Pezeshki Gharache et al., 2021). در پهنه ساختاری ارومیه- دختر ایران مرکزی، معادن بسیاری وجود دارد که با فعالیت های آذرین در این کمربند که مرتبط با فروورانش ورق اقیانوسی تیس جوان به زیر ایران مرکزی از زمان پالئوسن است، ارتباط دارد (Stöcklin, 1968). این فعالیت ها با تشکیل کانسارهای فلزی و غیر فلزی در ایران مرکزی همراه شده است (Kazemi et al., 2019). مناطق معدنی زیرگان و آمره مورد بررسی در این پژوهش، در این کمربند قرار گرفته اند و سنگ های آتشفشانی- رسوبی با سن ائوسن تا الیگوسن واحدهای سنگی اصلی آن را تشکیل می دهند (شکل ۱). این سنگ ها شامل سنگ آهک، مارن، توف، توفیت، کنگلومرا، ماسه سنگ، ریولیت، آندزیت هستند. در این مناطق معدنی کانی زایی فلزی و غیر فلزی نوع گرمابی مانند سرب و مس در واحدهای سنگی توف، آندزیت و توف آندزیتی- بازالتی ائوسن قرار گرفته اند (Hashemi, 2015). گسل های راستالغز در تکامل ساختاری کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر نقش اساسی داشته و شواهد ساختاری خمشی- برشی متأثر از عملکرد این گسل ها در منطقه قم و راوند، در این پهنه به خوبی شناخته شده است. ارتباط فضایی و زمانی مشخصی بین گسل ها با رگه های معدنی وجود دارد و آنها را به عنوان

کنترل کننده اصلی کانه زایی در نظر می گیرند (Hosseini and Asghari, 2019). گسل های تفرش و ایندس با روند شمال غرب- جنوب شرق و با سازوکار راستالغز (Khodaparast et al., 2024) از ساختارهای اصلی در گستره معدن مورد بررسی هستند. قرارگیری کانه های فلزی و غیر فلزی با کانه زایی متمرکز بر پهنه های گسلی، اهمیت بررسی های ساختاری را در پی جویی های اکتشافی کانه زایی این معادن دوچندان می کند. ارتباط فضایی گسل ها با رگه ها در مناطق مجاور این معادن در کمربند ارومیه دختر که می توانند از ذخیره تا جابه جایی رگه ها را کنترل کنند، بیانگر آن است که کانه زایی در این معادن به صورت رگه ای و اغلب از نوع پرکننده شکستگی ها و گسل هاست (Haddadpour et al., 2012). هدف از این پژوهش، تحلیل هندسی و جنبشی گسل ها در محدوده معادن زیرگان و آمره و همچنین پی جویی ارتباط فضایی و زمانی آنها با رگه های معدنی است.

روش مطالعه

برای تحلیل ارتباط بین ساختارهای گسلی با کانه زایی رگه ای در محدوده معدن مورد بررسی، ابتدا با استفاده از تفسیر تصویرهای ماهواره ای، گسل های میزبان کانه زایی و یا قطع و جابه جا کننده آنها شناسایی شده است (شکل ۱). این تصویر ماهواره ای واجد خطواره های گسلی به عنوان نقشه پایه در انجام بررسی های میدانی به کار رفته و با تدقیق ساختارهای گسلی و رگه های شناسایی شده و اندازه گیری موقعیت و ارتباط فضایی آنها، نقشه زمین ساختاری از محدوده مورد بررسی تهیه شده است (شکل ۲). تحلیل های صورت گرفته شامل سازوکار گسل ها بر اساس شواهد جنبشی برداشت شده از روی سطح گسل ها و همچنین ارتباط آنها با رگه های معدنی به عنوان پرکننده فضاها یا جابه جایی آنها با گسل هاست. با استفاده از این تحلیل ها و تلفیق آنها با برداشت های میدانی و نقشه زمین ساختاری، پهنه های حاوی کانه زایی رگه ای شناسایی و ارتباط فضایی آنها با ساختارهای گسلی تفسیر شده است.



شکل ۱. تصویر DEM منطقه مورد بررسی معادن زیزگان و آمره که در آن گسل ها و رگه های معدنی شناسایی شده است.

Fig. 1. DEM image of the study area of Zizgan and Amreh mines in which the faults and mineralized veins have been identified.

گسل ها

نقشه زمین شناسی تفرش در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰). در این پژوهش، علاوه بر گسل تفرش، گسل های دیگری که با کانی زایی معدنی نیز در ارتباطند، شناسایی و تحلیل شده اند (شکل های ۱ و ۲) که در ادامه جزئیاتی از تحلیل هندسی و جنبشی برخی از آنها که با کانی زایی همراه و یا رگه های معدنی را قطع و جابه جا کرده اند، ارائه شده است. از نظر ارتباط گسل ها و رگه های معدنی، دو دسته گسل به عنوان میزبان ماده معدنی و یا قطع و جابه جا کننده رگه های معدنی هستند.

گسل تفرش با راستای شمال غربی - جنوب شرقی و با طولی بیش از ۶۰ کیلومتر از گسل های بنیادین در گستره معادن مورد بررسی است (شکل ۳). این گسل از حدود ۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تفرش می گذرد و تا حدود ۴ کیلومتری شمال شرقی روستای طریز آباد ادامه می یابد. شیب این گسل ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب شرقی است (Khodaparast et al., 2024). این گسل موجب قرارگیری سنگ های آتشفشانی ائوسن بر روی یکدیگر و یا بر روی واحدهای سنگی پلیوسن شده است (گزارش

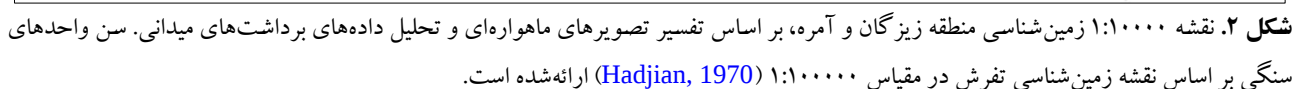


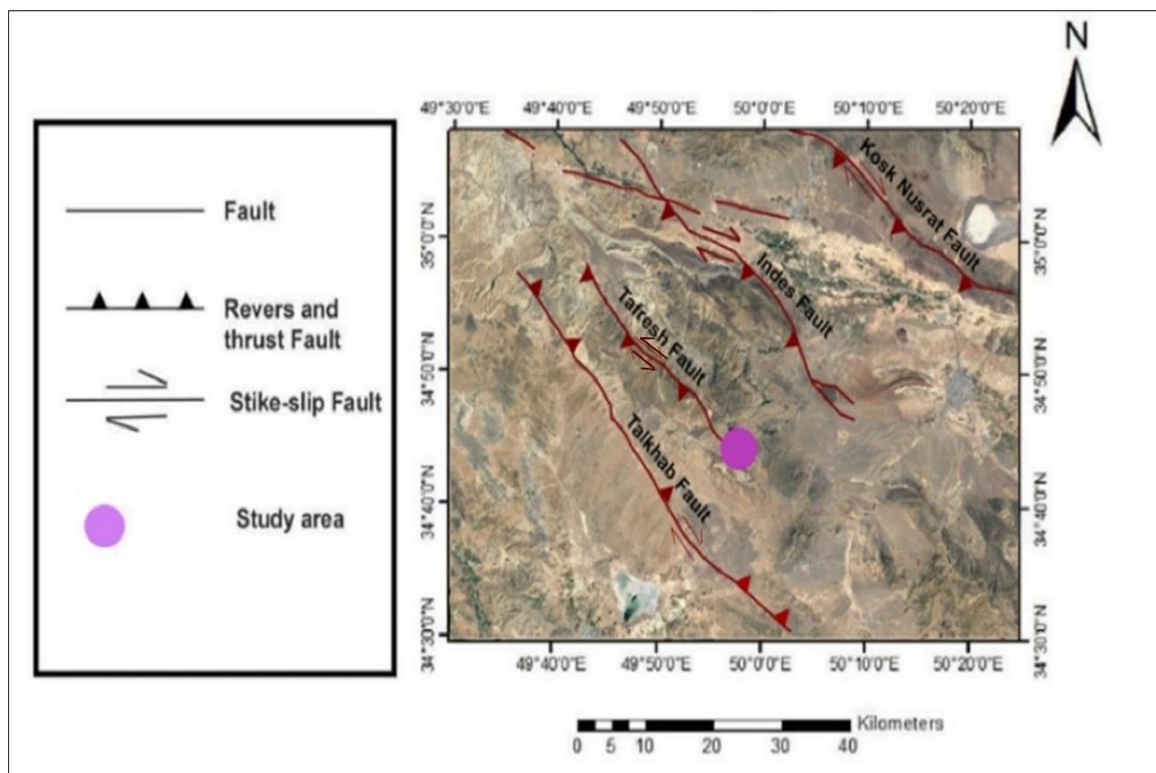
Fig 2. 1:100000 geological map of the Zizgan and Amreh regions, based on the interpretation of satellite images and field survey data. The age of the rock units is based on the geological map of Tafresh at a scale of 1:100000 ([Hadjian, 1970](#)).

- گسل FL2 با روند شمال شرق- جنوب غرب و طولی در حدود ۱۱۰۰ متر (شکل ۴- A و B) واحد سنگی، E5 و رگه ۱ معدنی باریت را قطع کرده و بنابراین از انواع گسل های قطع و جابه جا کننده رگه های معدنی منطقه است (شکل های ۲ و ۳). بر اساس موقعیت هندسی صفحه های گسلی (۶۶/۲۱۰) و همچنین زاویه ریک NE ۳۲ درجه خش لغز و موقعیت شکستگی های برشی ریدل بر روی این صفحه های گسلی، سازوکار گسل FL۲ به صورت امتداد لغز چپ گرد تحلیل شده است (شکل ۴- C).

- گسل FL5 با روند عمومی شرقی- غربی یکی از بزرگ ترین گسل های منطقه مورد بررسی در شمال روستای زیرگان است و

گسل (۸۲/۱۷۰) و زاویه ریک خش لغز آن NE ۲۷ درجه است. با توجه به رشد منشورهای کلسیتی بر روی سطح گسل، سازوکار امتداد لغز چپ گرد با مؤلفه نرمال برای گسل تحلیل شده است (تحلیل استرنوگرافی در شکل ۶).

گسل FL6 با روند غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق، واحدهای سنگی E_5 و E_5^{st} و رگه ۲ معدنی را قطع کرده است و بنابراین این گسل از انواع جابه جا کننده رگه های معدنی منطقه است (شکل های ۲ و ۶-B). برداشت ساختاری از موقعیت سطح



شکل ۳. نقشه گسل های بنیادین گستره مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره ای گوگل ارث. موقعیت محدوده معادن زیرگان و آمره با دایره نشان داده شده است. سازوکار گسل ها از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ گسل های ایران (Sheykholeslami, et al., 2013)

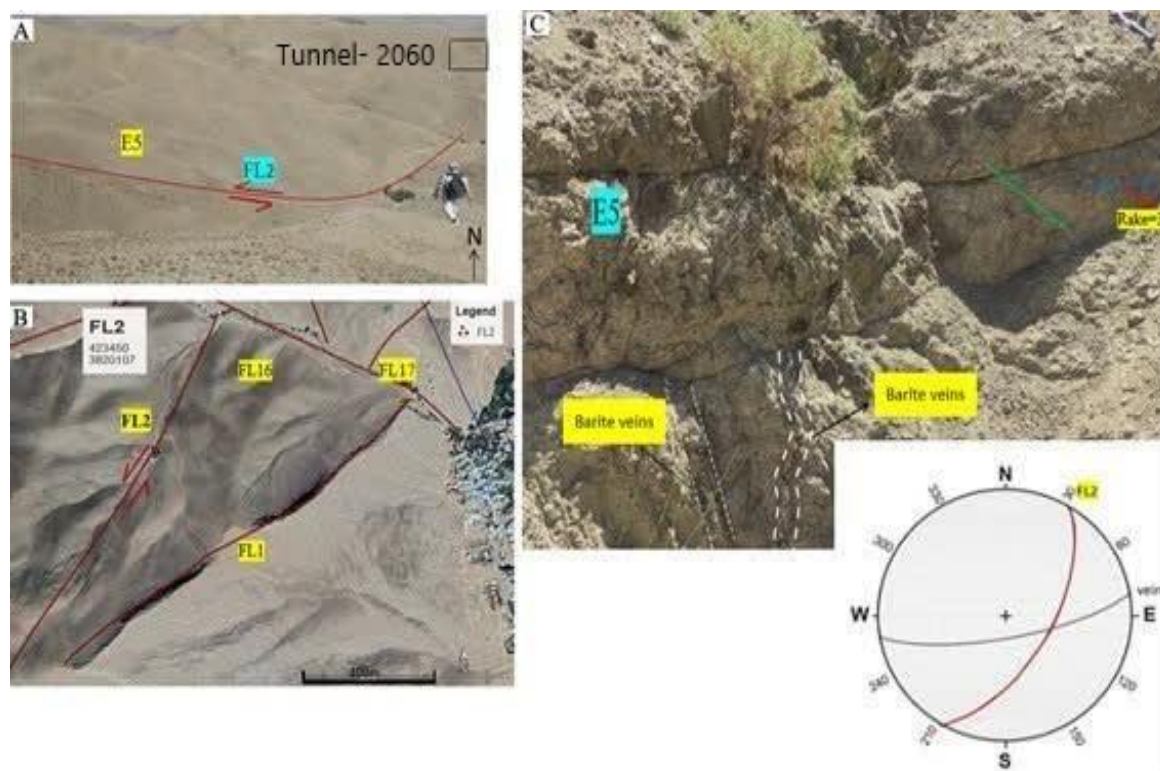
Fig. 3. Map of the fundamental faults of the study area on a Google Earth satellite image. The location of the Zizgan and Amreh mines is indicated by a circle. Fault mechanisms from the 1:1000000 map of Iranian faults (Sheykholeslami, et al., 2013)

این تونل برون زد رگه چهار باریت به موازات پهنه گسلی با توسعه عدسی های گسلی حاصل تداخل صفحه های برشی S و C توسعه یافته است (شکل ۷-B). این رگه معدنی و گسل FR6 لایه بندی را قطع کرده اند.

در معدن قدیمی آمره، پهنه گسل FR6 از دو پهنه قدیمی با سازوکار مورب لغز با مؤلفه غالب معکوس و پهنه جوان تر با

گسل FR6 با روند شمال غرب- جنوب شرق در شرق روستای آمره قرار دارد و واحدهای سنگی E_4 و E_5^{st} را قطع کرده است (شکل های ۲ و ۷-A). به موازات گسل FR6، رگه ۴ با کانی زایی باریت تزریق شده و بنابراین این گسل از انواع میزبان رگه های معدنی است (شکل ۷-A). تونل قدیمی معدن آمره با هدف استخراج رگه ۴ به موازات گسل FR6 حفر شده است. در دهانه

سازوکار مورب لغز و مؤلفه غالب راستالغز تشکیل شده که این پهنه گسل راستالغز به دلیل قطع کردن رگه و پهنه گسل معکوس جوان تر است (شکل ۷-۷).



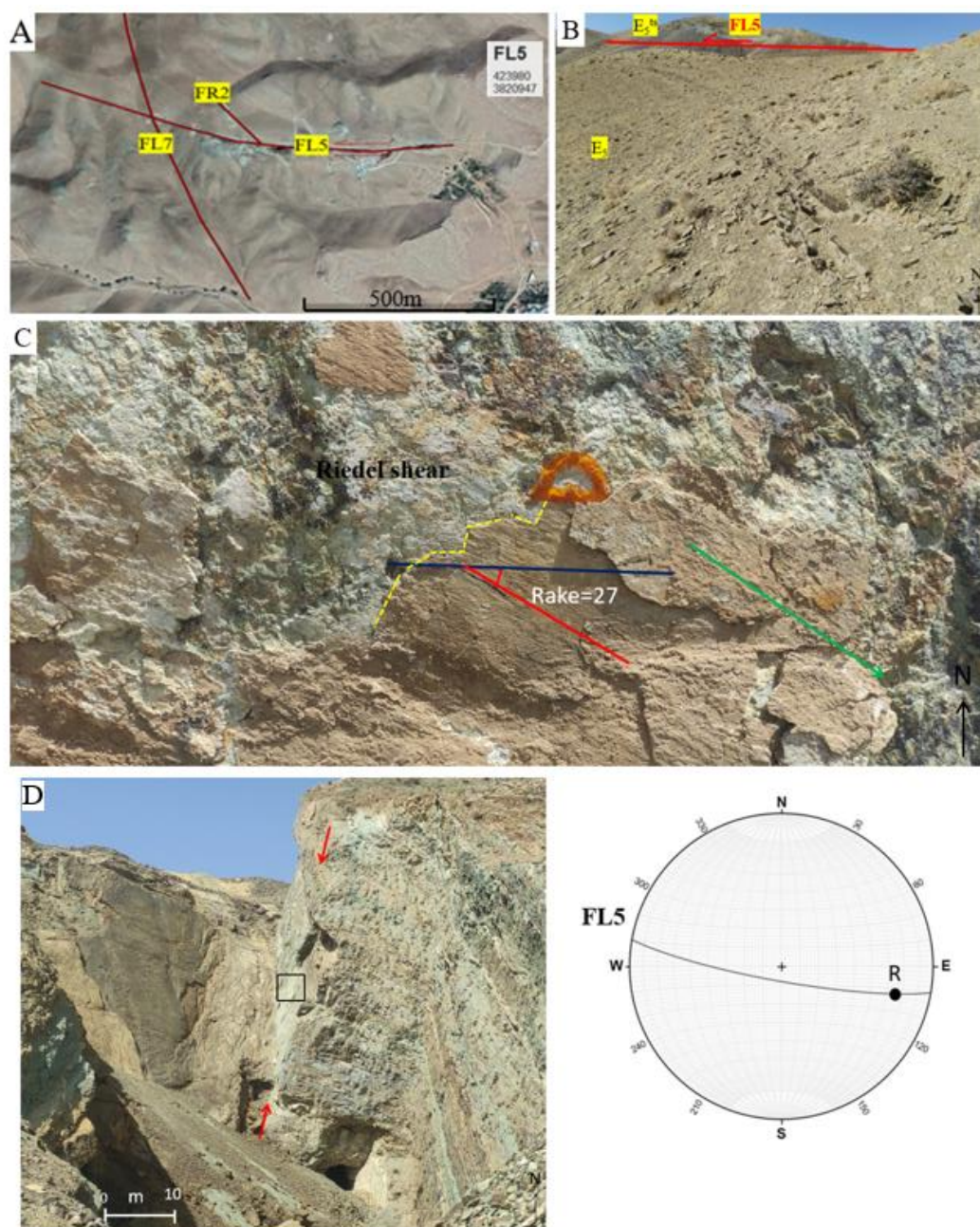
شکل ۴. A: اثر سطحی گسل FL2، B: تصویر Google Earth از محدوده معادن زیرگان و آمره، گسل FL2 که رگه معدنی ۱ را قطع کرده است و C: جابه جایی رگچه باریت توسط گسل. تصویرهای استریوگرافی از صفحه گسل و رگه ۱، زاویه ریک راستای جابه جایی بلوک های گسل از سمت شمال شرق است. جهت حرکت بلوک مفقوده با پیکان سبز نشان داده شده است. جهت دید تصویر به طرف جنوب است.

Fig. 4. A: Surface trace of the FL2 Fault, B: Google Earth image of the FL2 Fault cut through vein 1 in the Zizgan and Amreh mines area, and C: Displacement of the barite vein by the fault. Stereographic images of the fault plane and of the vein No. 1, the rake angle of the fault movement direction is from the northeast. The movement direction of the fault missing block is shown by the green arrow. The direction of view in is toward north.

رگه های معدنی

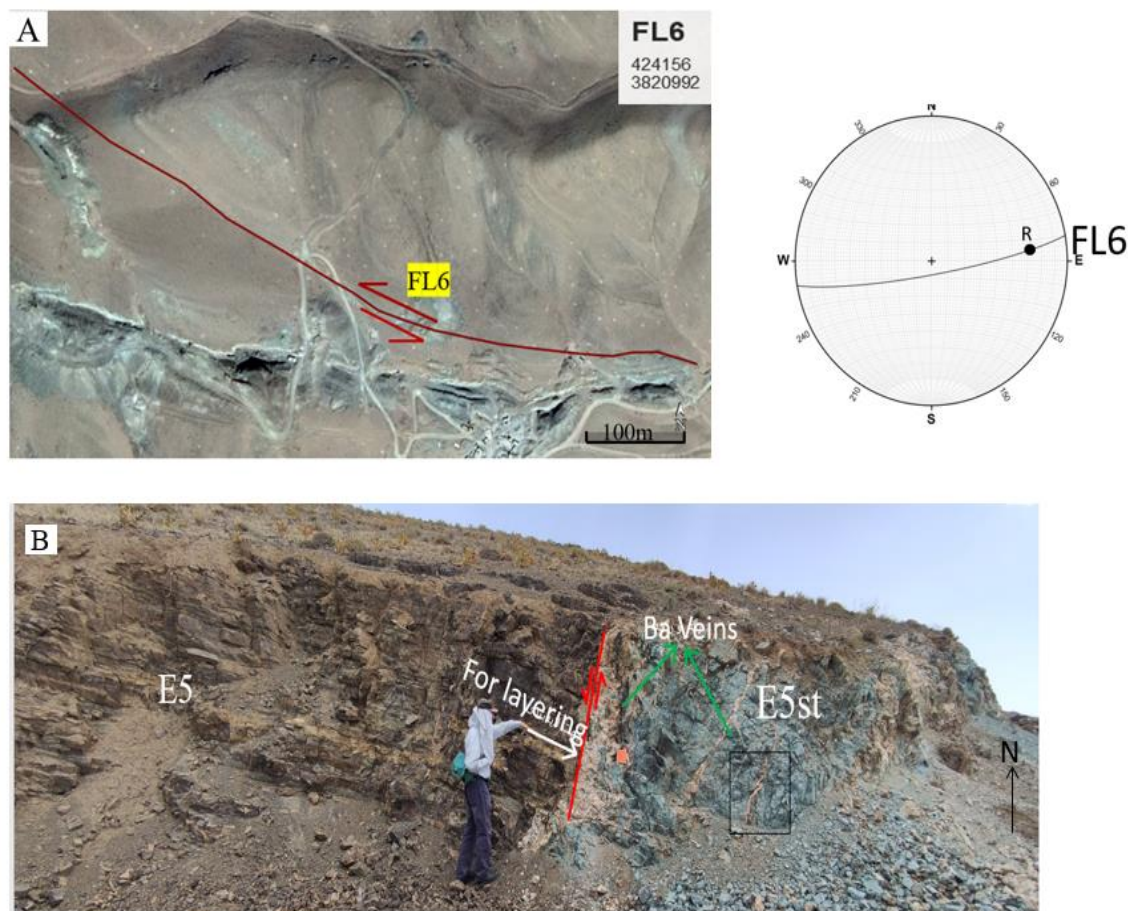
سنگ میزبان کانی زایی این دو معدن توف و توف آندزیتی، واحد E5 است. این کانی زایی اغلب در امتداد صفحه های گسلی و شکستگی های همراه برداشت شده اند (برای مثال شکل های ۶-B و ۷-A). در معدن باریت آمره علاوه بر کانی زایی باریت و سرب شواهدی از رگه های متعدد با هم یافت گوناگون وجود دارد (Hadjian, 1970).

کانی زایی رگه ای ماده معدنی باریت و سرب و با نسبت کمتر گالن موجود در معدن باریت آمره (۴۰۰ متری جنوب شرقی روستای آمره) و معدن باریت زیرگان (۵۰۰ متری شمال شرقی روستای زیرگان)، به صورت کانسارهای گرمایی پرکننده پهنه گسل ها هستند و بنابراین از نوع کانه زایی دیرزاد (زمین ساختی) هستند.



شکل ۵. A: تصویر از Google Earth از محدوده معادن زیرگان و آمره، گسل FL5، B: اثر سطحی گسل FL5، C: استرئوگرام از موقعیت سطح گسل که بر روی آن زاویه ریک راستای جابه جایی بلوک های گسل از سمت جنوب شرق است. جهت حرکت بلوک مفقوده با پیکان سبز نشان داده شده است و D: تصویرهای استریوگرافی از سطح گسل و خش لغز آن و نمایی از تونل معدن که در راستای رگه ۲ و به موازات صفحه گسلی حفر شده است. جهت دید تصویرهای بالا به طرف شمال است.

Fig. 5. A: Google Earth image of the FL5 Fault in the Zizgan and Amreh mines area, B: Surface trace of the FL5 Fault, C: FL5 Fault surface on which its rake angle is from the southeast. The movement direction of the missing block is shown by the green arrow, and D: Stereographic projection of the fault surface and a view of the mine tunnel drilled along the vein No. 2 and parallel to the fault plane. The direction of view in the above images is toward north.



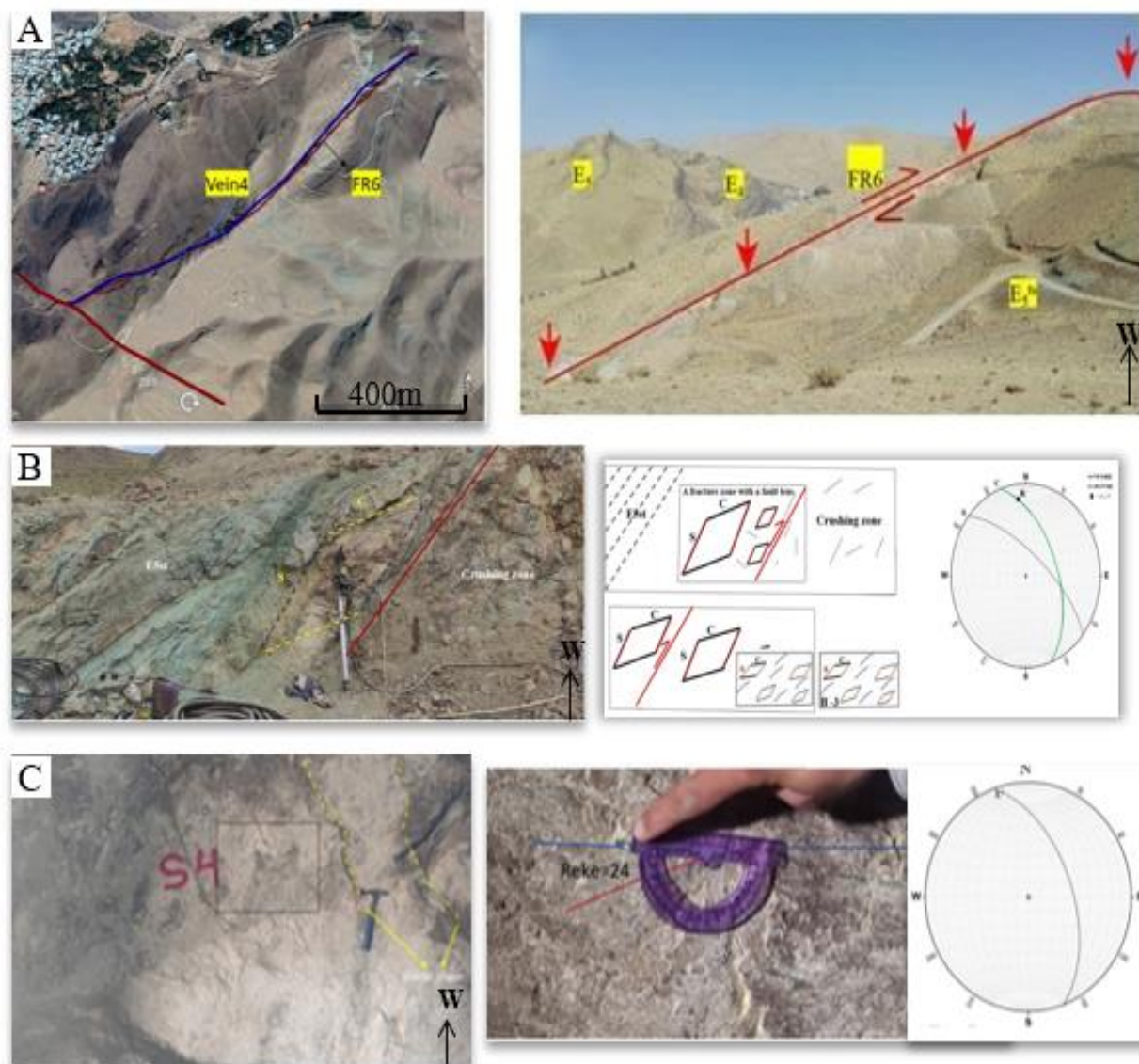
شکل ۶. A: تصویر Google Earth از محدوده معادن زیزگان و آمره، گسل FL6 و B: نمایی از اثر سطحی گسل FL6 که رگه های باریت با روند شمال غرب را قطع کرده است. استریوگرام موقعیت سطح گسل FL6 و خش لغز روی آن را نشان می دهد که بر اساس آنها راستای جابه جایی گسل به سمت جنوب شرق تحلیل شده است. نگاه تصویرها به سمت شمال

Fig. 6. A: Google Earth image of the Zizgan and Amreh mines area, and B: View of the FL6 fault trace, which has cut the NW-trending barite veins. Stereographic projection of the FL6 fault surface containing slickenside, based on which the direction of fault movement has been analyzed toward southeast. The direction of view is toward north

رگه ۱

این رگه با طول تقریبی ۲۵۰ متر و روند کلی شرق شمال شرق در جنوب غرب معدن زیزگان در سنگ میزبان E5 قرار دارد که تحت تأثیر گسل FL2 انتهای غربی، این رگه جابه جا شده است (شکل های ۲ و ۸-A). رگه شماره ۱ با ضخامت میانگین ۱/۵ متر و موقعیت فضایی ۷۸/۱۷۰ از کانه زایی باریت تشکیل شده است (شکل ۸-B و C).

رگه های باریت اغلب در امتداد گسل ها جایگزین شده اند و کانه های گالن و سرب در درون این رگه های باریتی وجود دارند. همچنین کانی های کلسیت، لیمونیت، هماتیت و با مقادیر کمتر مالاکیت آزوریت و پیرولوسیت در سنگ های محدوده زیزگان و آمره مشاهده می شود. در محدوده معادن زیزگان و آمره، رگه های معدنی بسیاری وجود دارند که در این بخش تشریحی از رگه های ۱، ۲، (رگه زیزگان)، ۳ و ۴ (رگه آمره) ارائه شده است.



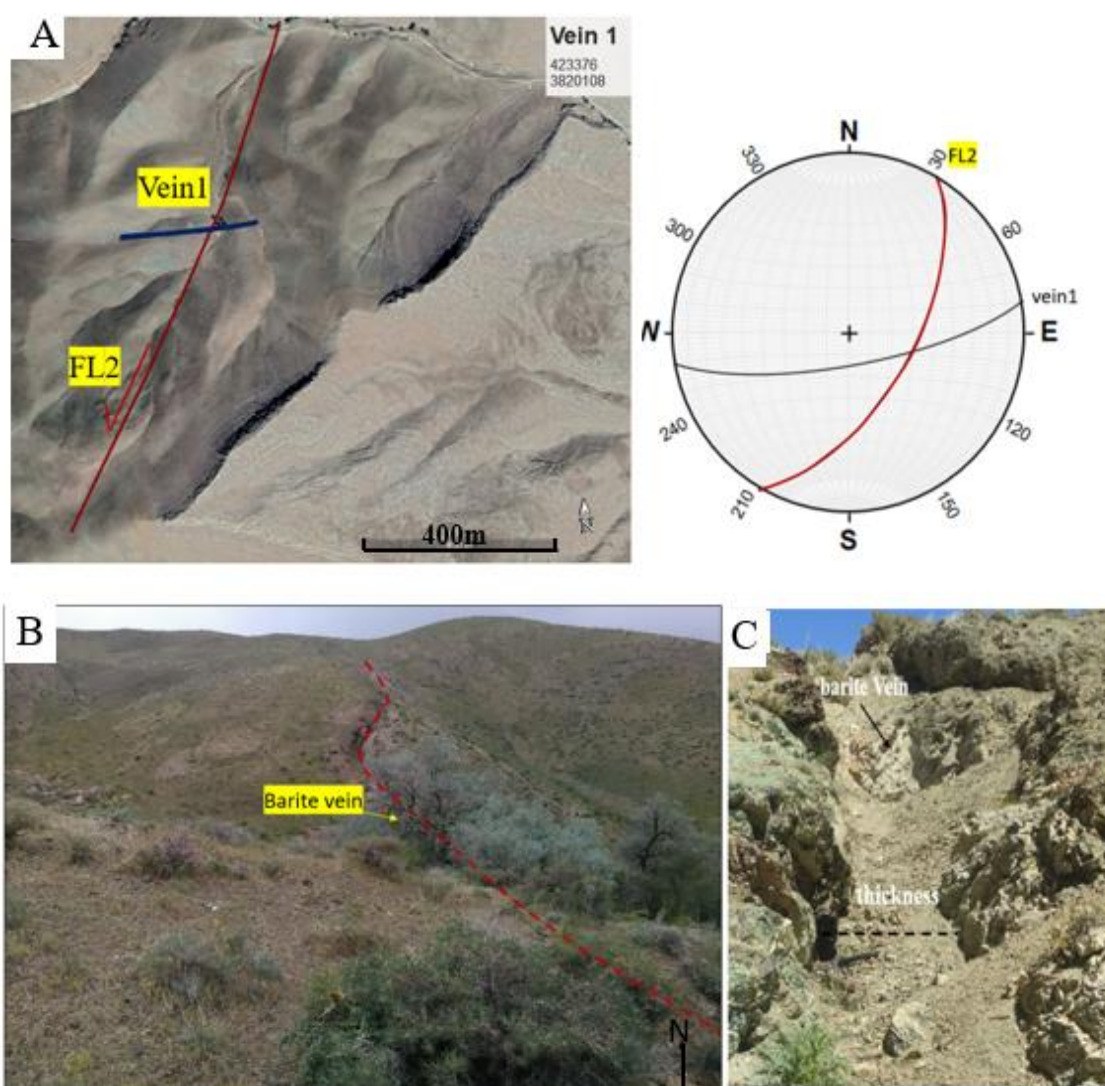
شکل ۷. A: تصویر Google Earth از محدوده معادن زیرگان و آمره، گسل FR6 و اثر سطحی آن، **B:** نمایی از قسمت بیرونی دیواره غربی تونل A، سطح مقطع گسلی، عدسی های گسلی و شکستگی های S و C قابل مشاهده است، تصویر شماتیک ترسیم شده از عدسی های گسلی تلاقی سطوح برشی S و C را نشان می دهد که جهت دید تصویر B به طرف غرب است. موقعیت صفحه های برشی برابر $S=45/205$ و $C=70/160$ که در استرنوگرام نمایش داده شده است و **C:** تصویری از داخل تونل که شکستگی های ریدل با خط چین زرد رنگ و کادر سیاه که در بزرگ نمایی زاویه ریک خش لغز گسل FR6 مشخص است. زاویه ریک گسل داخل تونل برابر 24° SW درجه و جهت حرکت بلوک مفقوده به سمت جنوب غرب است.

Fig. 7. A: Google Earth image of the FR6 Fault and its surface trace in the Zizgan and Amreh mines area, **B:** view of the outside part of the western wall of tunnel A, the fault cross-section, fault lenses and S and C shear fractures are visible, Figure B shows the schematic structure of the fault lenses and S and C shear fractures, the direction of view in figure B is to the west. The positions of the shear planes are $S = 45/205$ and $C = 70/160$, which are shown in the stereogram, and **C:** Image from inside the tunnel, show the Riddle fractures marked with a yellow line and the rake angle of the fault marked with a black box. Zoom in of the fault rake angle inside the tunnel 24° SW degrees and the movement direction of the missing block is toward southwest.

رگه ۲

رگه ۲ با روند کلی شرقی-غربی و طولی در حدود ۱۰۵۰ متر یا رگه اصلی معدنی زیرگان در جنوب این معدن و در مجاورت با روستای زیرگان در واحدهای سنگی E_5 (توف های سبز) و E_5^{st} قرار دارد (شکل ۲). موقعیت هندسی رگه ۸۰/۱۹۰ است و توسط

گسل FL5 با زاویه کوچک حاده قطع شده است (شکل ۹-۱). همانند رگه ۴ این رگه نیز در پهنه های گسلی مورب لغز با مؤلفه غالب معکوس مانند گسل FR6 تزریق و جایگزین شده است و توسط گسل های جوان تر با مؤلفه غالب تر راستالغز مانند گسل FL5 بریده شده اند.



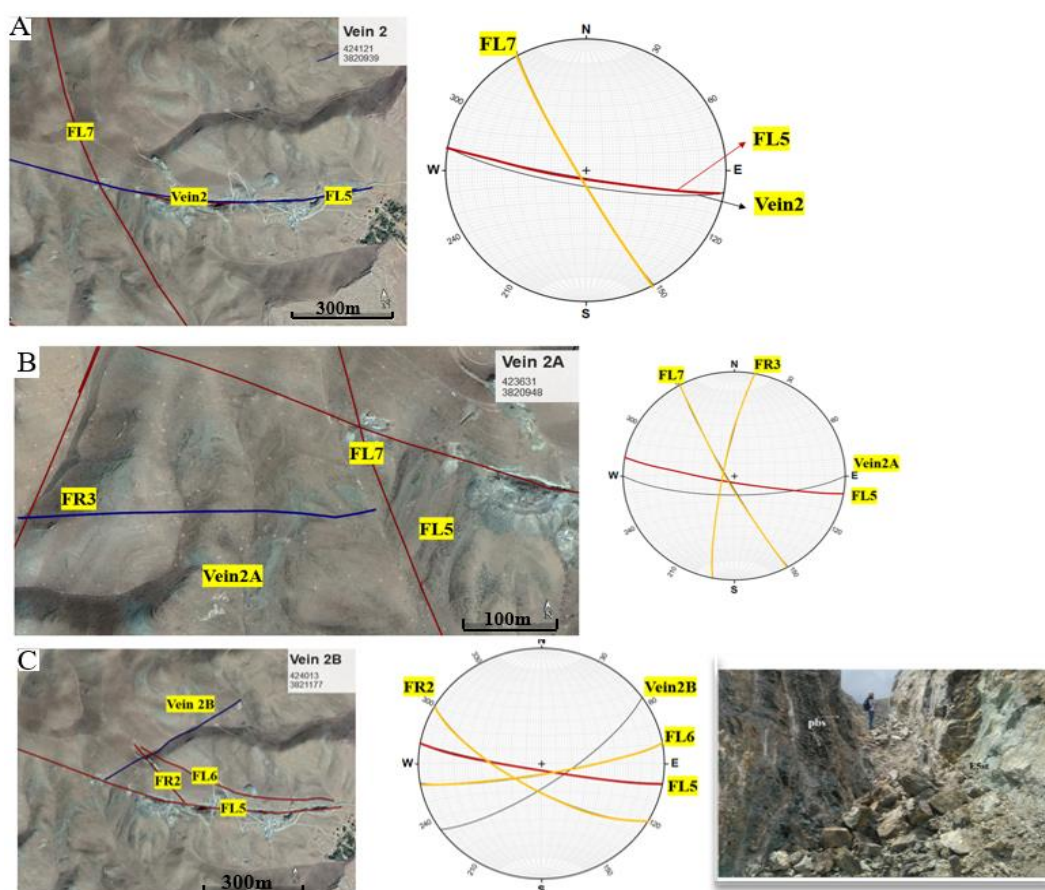
شکل ۸. A: تصویر از Google Earth از محدوده معادن زیرگان و آمره، گسل رگه ۱ و گسل FL2، B: تصویر استریوگرافی از موقعیت فضایی رگه ۱ و گسل FL2 و C: نمایی از رگه ۱ و ضخامت رگه با میانگین ۱/۵ متر. جهت دید در تصویرها به طرف شمال است.

Fig. 8. A: Google Earth image of the vein 1 and FL2 Fault in the Zizgan and Amreh mines area, B: Stereographic projection of the vein 1 and FL2 Fault, C: View of vein 1 and of the vein thickness with an average of 1.5 meters. The direction of view in the images is toward north.

رگه های فرعی ۲

مانند رگه اصلی باریت به همراه گالن و سرب است (شکل ۹-۲).
- رگه فرعی 2B با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و طولی در حدود ۵۰۰ متر رگه اصلی ۲ را قطع کرده است (شکل ۲). موقعیت هندسی این رگه ۷۵/۱۴۵ است. این رگه توسط گسل های FR2 و FL6 قطع و جابه جا شده است (شکل ۹-۲). در این رگه کانی زایی باریت به همراه گالن در برخی قسمت ها مشاهده شده است (شکل ۹-۲).

علاوه بر رگه اصلی ۲، رگه های فرعی نیز در این منطقه وجود دارد. رگه فرعی 2A و 2B به ترتیب در غرب رگه اصلی و قطع کننده رگه اصلی ۲ (رگه معدن زیزگان) در واحدهای سنگی E5 قرار دارند. رگه فرعی 2A با امتداد کلی شرقی - غربی، طولی در حدود ۴۰۰ متر دارد (شکل ۲). موقعیت هندسی این رگه ۷۵/۱۸۰ است و توسط گسل FL7 در انتهای شرقی و گسل FR3 در انتهای غربی آن محدود شده است. کانه زایی در این رگه فرعی



شکل ۹. A: تصویر Google Earth و استرئوگرام از محدوده معادن زیزگان و آمره، از رگه 2 و گسل های FL5 با رنگ قرمز و FL7 با رنگ نارنجی، B: از ارتباط بین رگه 2A با گسل اصلی FL5 و دیگر گسل های منطقه و C: از رگه 2B و گسل اصلی FL5 زیزگان با رنگ قرمز و دیگر گسل های منطقه با رنگ نارنجی

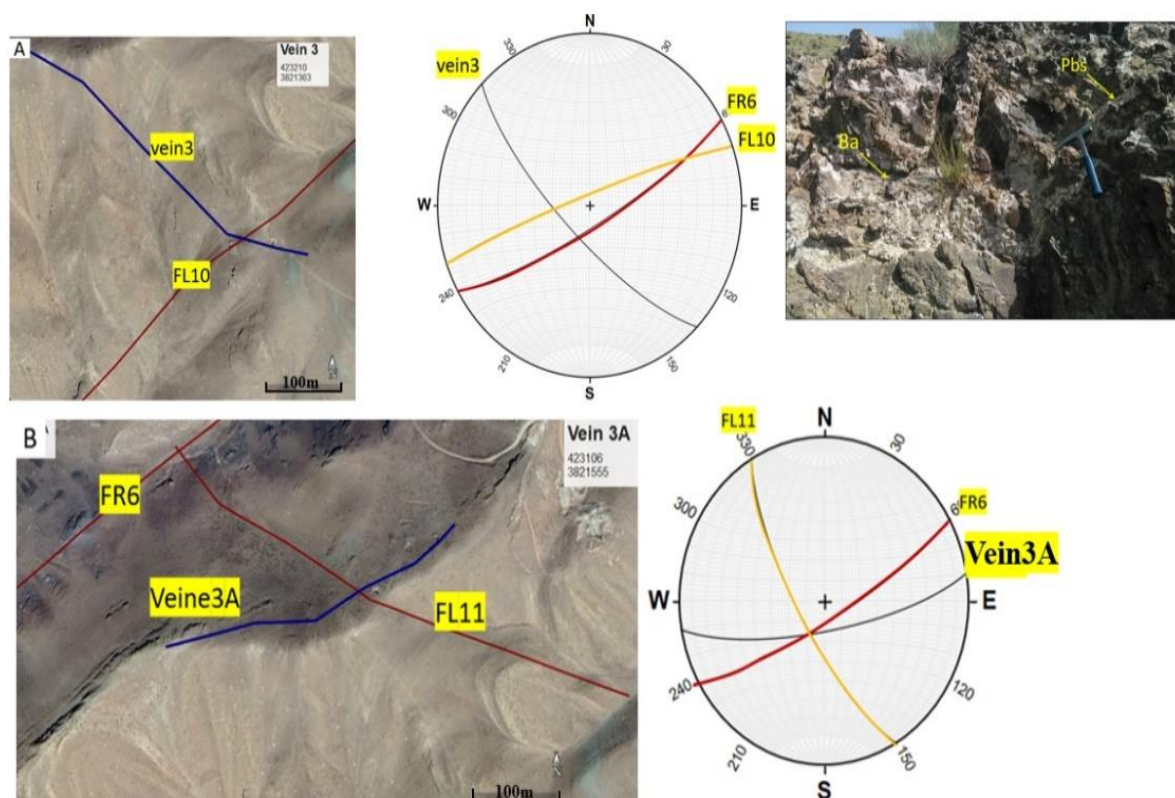
Fig. 9. A: Google Earth images and stereographic projections of the vein 2, and of the FL5 Fault in the Zizgan and Amreh mines area. The FL5, and the FL7 faults are shown in orange and red, respectively, B: the vein 2A and the main FL5 fault and other faults in the region, and C: the vein 2B and its relationship with the main Zizgan FL5 fault in red and other faults in the region in orange

رگه ۳

رگه ۳ در غرب محدوده زیزگان در واحدهای سنگی E_5^{st} قرار دارد. این رگه با طولی در حدود ۴۵۰ متر امتدادی شمال غرب- جنوب شرق دارد و موقعیت هندسی آن ۷۵/۲۲۵ است. به دلیل رخنمون پراکنده از رگه همروندی آن با گسل های منطقه قابل ردیابی نبوده است. گسل FL10 انتهای جنوب شرقی رگه را قطع و آن را به صورت چپ گرد جابه جا کرده است. کانه زایی اصلی در این رگه باریت به همراه گالن و سیلیس است. ضخامت این رگه به طور میانگین نیم متر است (شکل ۱۰- A).

رگه فرعی ۳

رگه فرعی 3A در انتهای رگه ۳ و بر روی واحد سنگی E_4 ، E_4^b و E_4^a قرار دارد. این رگه با طولی در حدود ۳۸۰ متر و روند کلی شرق شمال شرق- غرب جنوب غرب دارای موقعیت هندسی ۷۵/۱۷۰ است و تقریباً به موازات گسل FR6 است (شکل های ۱ و ۱۰- B). به نظر می رسد این رگه ادامه کانه زایی رگه ۳ باشد و توسط گسل FL11 قطع و به صورت چپ گرد جابه جا شده است (شکل ۱۰- B).



شکل ۱۰. A: تصویر Google Earth و استرنوگرام از محدوده معادن زیزگان و آمره، از رگه ۳ و ارتباط آن با گسل های FL10 و FR6. نمایشی از کانی زایی باریت به همراه کانه گالن در پهنه رگه ۳، جهت دید تصویر به سمت شمال غرب است و B: رگه 3A و ارتباط آن با گسل FL11 را نشان می دهد. در استرنوگرام گسل اصلی FR6 با رنگ قرمز و تقریباً به موازات رگه است و گسل FL11 با رنگ نارنجی نشان داده شده است.

Fig. 10. A: Google Earth image and stereographic projections of the Zizgan and Amreh mines area, vein 3, and its relationship to the FL10 and FR6 faults. View of barite mineralization with galena ore in vein 3, the photo is looking northwest, and B: the vein 3A and its relationship to the FL11 Fault. The main FR6 Fault in the projection is shown in red and approximately parallel to the vein, and the FL11 Fault is shown in orange.

رگه ۴

و روند شمال غرب - جنوب شرق با موقعیت هندسی ۷۰/۲۰۰ هستند (شکل ۱). این سه رگه فرعی در محدوده کوچکی بین ۳ گسل FL13، FL10 و FR5 قرار دارند (شکل ۱۲-C). کانه زایی باریت با سیمای بلورین در پهنه گسل ها وجود دارد (شکل ۱۲-D).

بحث

ارتباط فضایی گسل ها

فعالیت پهنه های گسلی با سازوکار غالب راستالغز و یا با مؤلفه راستالغز طی زمان با توسعه شکستگی های برشی همراه است که به عنوان شکستگی های برشی ریدل همسو (R و P) و شکستگی های برشی ریدل ناهمسو (R') بسته به راستا و سازوکار آنها نسبت به راستا و سازوکار پهنه دگرشکلی اصلی تحلیل می شوند (Fossen, 2010). شکستگی های R در مرحله آغازین حرکت گسل راستالغز، زمانی که تنش های انباشته شده در سنگ بر نیروی اصطحاک بین دو بلوک گسلی غلبه می کنند، هم روند؛ ولی با زاویه حاده حدود ۱۵ درجه نسبت به راستای پهنه گسل اصلی به وجود می آیند و سازوکاری مشابه سازوکار پهنه گسل اصلی راستالغز دارند. شکستگی های برشی ریدل P با روندی متفاوت نسبت به روند گسل اصلی (با زاویه باز ۱۶۵ درجه نسبت به راستای پهنه گسل اصلی)؛ ولی با سازوکاری یکسان با سازوکار پهنه گسل اصلی و شکستگی های R توسعه می یابند. شکستگی های برشی آنتی ریدل R' با زاویه حاده حدود ۷۵ درجه نسبت به راستای پهنه گسل اصلی به وجود می آیند؛ ولی سازوکاری متفاوت سازوکار پهنه گسل اصلی راستالغز دارند. مدل سازی های تجربی از اثر حرکت پهنه گسلی راستالغز در عمق بر روی پوشش رسوبی سطحی آن نشان داده است که شکستگی های برشی ریدل R در ابتدا توسعه یافته اند و در ادامه شکستگی های برشی آنتی ریدل (R') توسعه می یابند (شکل ۱۳-A). در ادامه، برش خوردگی شکستگی های برشی ریدل P موجب اتصال شکستگی های برشی ریدل R به یکدیگر و توسعه پهنه گسلی راستالغز در پوشش رسوبی می شود (شکل ۱۳-B و C).

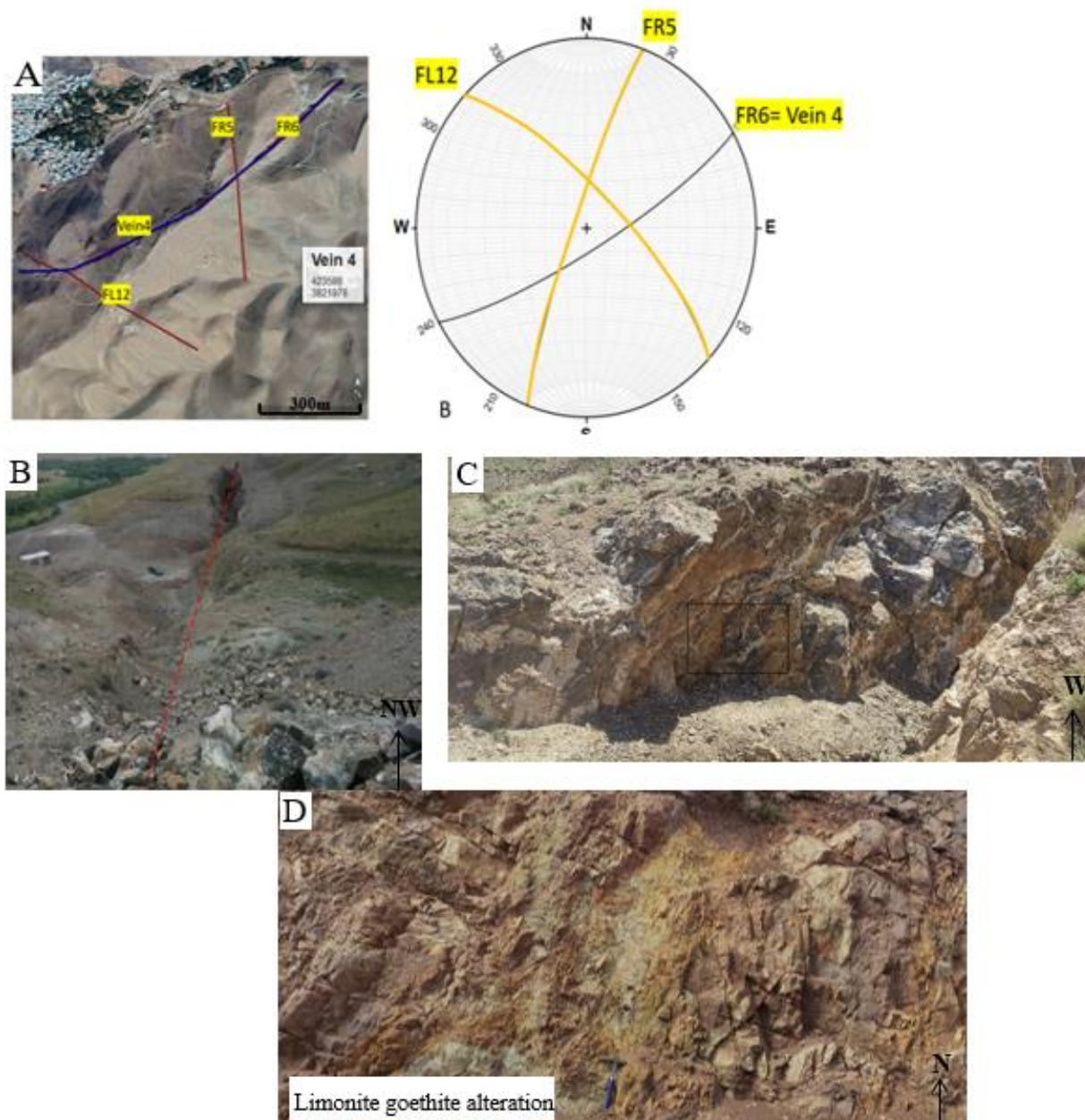
رگه ۴ یا رگه اصلی آمره بر روی واحد سنگی E_4^b ، E_4 و E_5^{st} توسعه یافته است. این رگه طولی در حدود ۱۴۵۰ متر دارد و با موقعیت هندسی ۸۰/۱۵۰ منطبق بر امتداد گسل FR6 است. این رگه در طول روند خود توسط گسل های جوان تر جابه جا شده است. گسل FL12 موجب خمش راست گرد انتهای جنوب غربی این رگه شده است (شکل ۱۱-A). باریت کانه اصلی برداشت شده از این رگه است که به صورت پرکننده شکاف ها و با سیمای بلورین است. همراه باریت گالن، مالاکیت، آزوریت، لیمونیت و گوئیت نیز در طول رگه ۴ قابل مشاهده است (شکل ۱۱-B، C و D).

رگه های فرعی ۴

- رگه فرعی 4A در غرب معدن آمره و در ادامه غربی رگه اصلی ۴ بر روی واحد سنگی E_4^a و E_4^b قرار دارد (شکل ۱). این رگه دارای طولی در حدود ۵۵۰ متر و موقعیت هندسی ۷۰/۳۵۰ است. این رگه هم روند با رگه اصلی ۴ است که توسط گسل های FL1 و FR4 قطع و یا تغییر روند داده است. کانه زایی در این رگه مانند رگه اصلی ۴، باریت به همراه مقدار کمی گالن، لیمونیت و گوئیت است (شکل ۱۲-A).

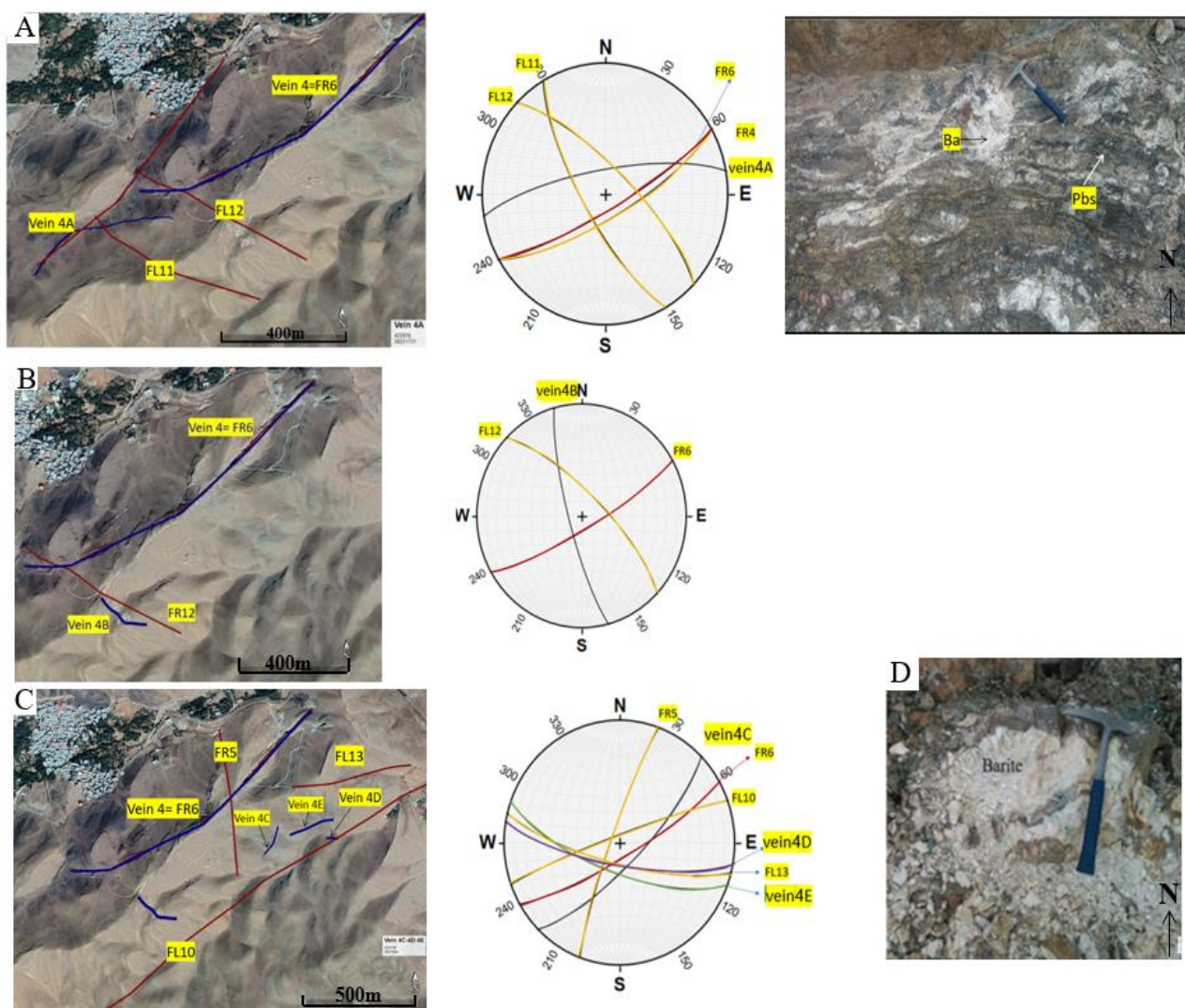
- رگه فرعی 4B در قسمت جنوب غربی آمره و با طولی در حدود ۲۰۰ متر و موقعیت هندسی ۸۰/۲۵۵، به صورت یک رگه مجزا از رگه اصلی ۴ و بر روی واحد سنگی E_5^{st} قرار دارد. این رگه به دلیل فعالیت چپ گرد گسل FL12 قطع و روند آن نیز تغییر یافته است (شکل ۱۲-B).

- رگه های فرعی 4C، 4D و 4E در جنوب شرقی معدن آمره و در فاصله کمی از رگه اصلی آمره ۴ و بر روی واحد سنگی E_5^{st} و E_5 قرار دارند. رگه 4C با طولی در حدود ۱۳۵ متر دارای روند کلی شمال غرب - جنوب شرق با موقعیت هندسی ۷۵/۱۳۵، رگه 4D با طولی در حدود ۲۱۵ متر دارای روند کلی شرقی - غربی با موقعیت هندسی ۷۵/۱۹۰ و رگه 4E دارای طولی در حدود ۵۰ متر



شکل ۱۱. A: تصویر Google Earth و استرئوگرام از محدوده معادن زیرگان و آمره، رگه ۴ و ارتباط آن با گسل های FL12، FR5 و FR6. رگه ۴ تقریباً به موازات گسل FR6 (آمره) است. گسل های فرعی FL12 و FR5 با رنگ نارنجی در استرئوگرام نشان داده شده است، B و C: به ترتیب دورنمایی از رگه و نمایی از رگه ۴ با کانه زایی باریت و گالن و D: تصویری از دگرسانی لیمونیت و گویت در رگه ۴. جهت دید در تصویرهای B تا D به ترتیب به طرف شمال غربی، غرب و شمال است.

Fig. 11. A: Google Earth images and stereographic images of the Zizgan and Amreh mines area, of vein 4, and its relationship to the FL12, FR5, and FR6 faults. Vein 4 is approximately parallel to the FR6 (Amereh) Fault. The FL12 and FR5 faults in the stereogram are shown in orange, B and C: Perspective and view of the vein 4 with barite and galena mineralization, and D: Image of limonite and goethite alteration in the vein 4. The viewing direction of the images B to D are toward northwest, west and north, respectively.



شکل ۱۲. A: تصویر Google Earth و تصویر استریوگرافی از محدوده معادن زیرگان و آمره، رگه 4A و ارتباط آن با گسل های FL11، FL12 و FR6. رگه 4 تقریباً به موازات گسل اصلی FR6 (رنگ قرمز) است و گسل های FL11 و FL12 با رنگ نارنجی قطع کننده رگه هستند. تصویری از کانه باریت به همراه گالن، جهت دید روبه شمال، B: رگه 4B و ارتباط آن با گسل FL12، C: رگه 4 تقریباً به موازات گسل اصلی FR6 آمره با رنگ قرمز و گسل فرعی FL12 با رنگ نارنجی نشان داده شده است و D: کانه زایی باریت در رگه 4C در منطقه مورد بررسی

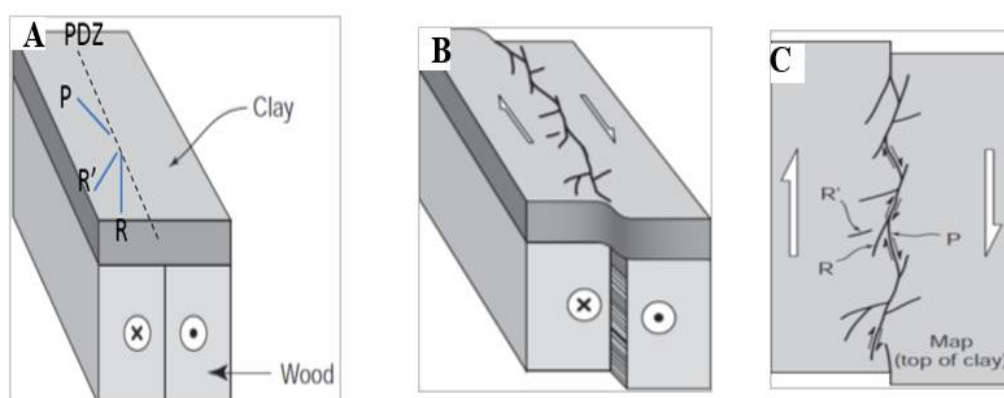
Fig. 12. A: Google Earth images and stereographic images of the Zizgan and Amreh mines area, the vein 4A and its relationship with the FL11, FL12 and FR6 faults. The vein 4 is approximately parallel to the main FR6 Fault (in red color) and the FL11, FL12 faults (in orange color) cutting the vein. Image of barite ore with galena mineralization, View of the image toward north, B: The vein 4B and its relationship with the FL12 Fault, C: The vein 4, approximately parallel to the FR6 Fault, is shown in red color and the FL12 Fault in orange color in the stereographic projection, and D: Barite mineralization in the vein 4

سازوکار غالب امتدادلغز گسل ها دارد (برای مثال شکل ۵). این گسل های امتدادلغز دو سازوکار متفاوت راست گرد با امتدادهایی

مقدار زاویه ریک کمتر از ۳۰ درجه اندازه گیری شده از خش لغز برداشت شده از سطوح گسل های منطقه مورد بررسی بیانگر

گسل FL12 است (شکل های ۷ و ۱۵). از دیگر مثال های قابل توجه در منطقه مورد بررسی، قطع شدگی گسل های راست بر FR1، FR2، FR3 و FR4 توسط گسل های چپ بر FL5، FL6، FL9 و FL11 است. این گسل های راست بر دارای روندی مشابه با FR6 هستند؛ در حالی که، گسل های چپ بر، روندی همسان با FL12 دارند (شکل های ۱، ۲ و ۱۵-A و B).

از آزمون های ۰۲۰ تا ۰۷۰ درجه (مانند گسل های FR4 و FR6) و سازوکار چپ گرد با آزمون امتدادی از ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه دارند (مانند گسل های FL5 و FL15) (شکل ۱۴-A و B). از نظر ارتباط قطع شوندگی، انواع راست گرد به وسیله گسل های چپ گرد قطع و جابه جا شده اند. نمونه ای از این ارتباط، قطع شدگی و جابه جایی گسل FR6 توسط



شکل ۱۳. A: توسعه شکستگی های برشی ریدل، B: از یک پهنه اصلی گسل راستالغز یا پهنه دگرشکلی اصلی در محدوده های معدنی زیرگان و آمره و C: انواع شکستگی های برشی ریدل و جابه جایی های آنها نسبت به جابه جایی در پهنه اصلی گسل

Fig. 13. A: Formation of the Ridel shear fractures, B: Ridel shear fractures on a principal deformation zone with dextral kinematics in the Zizgan and Amereh mines area, and C: Plane view of the Ridel shear fractures and their relation to displacement of the principal deformation zone

گسل PDZ، عامل توسعه گسل های متفاوت چپ گرد و راست گرد در منطقه مورد بررسی در نظر گرفته شود. در مورد سازوکار این گسل دیدگاه های متفاوتی وجود دارد که عمده آن به دلیل نبود اطلاعات از پهنه گسل است. بر اساس شکل ۱۴، گسل های چپ گرد تقریباً هم روند با روند رگه های معدنی هستند. این گسل های چپ گرد هم به عنوان گسل میزبان رگه های معدنی هستند (به طور مثال: گسل FL5 میزبان رگه ۲) و هم گسل های قطع کننده رگه های معدنی هستند (به طور مثال: گسل FL2 قطع کننده رگه ۱) (شکل های ۱، ۲، ۴ و ۵). از طرف دیگر، برخی گسل های راست گرد نیز میزبان رگه های معدنی هستند (به طور مثال: گسل FR6 و رگه ۴) (شکل های ۱، ۲ و ۷). البته فراوانی

علاوه بر این، برخی گسل های چپ گرد توسط دیگر گسل های چپ گرد قطع و جابه جا شده اند. مثالی از این مورد جابه جایی گسل FL17 توسط گسل FL16 است (شکل ۱). بنابراین گسل های چپ گرد نسبت به گسل های راست گرد جوان تر هستند. آزمون امتداد غالب گسل های چپ گرد با روند گسل تفرش در منطقه مورد بررسی و گسل کوشک نصرت (Khodaparast et al., 2024) در خارج از منطقه مورد بررسی (به عنوان گسل های بنیادین کمر بند ارومیه دختر) همخوانی دارد.

گسل تفرش از مجاورت محدوده مورد بررسی عبور می کند (شکل ۳)؛ بنابراین می تواند به عنوان گسل اصلی کنترل کننده دگرشکلی منطقه مورد بررسی باشد و همچنین می تواند به عنوان

گسل‌های با سازوکار چپ‌گرد میزبان رگه‌های معدنی بیشتر از انواع راست‌گردهای میزبان است. بنابراین می‌توان سازوکار گسل تفرش را به صورت چپ‌گرد در نظر گرفت.

با فرض گسل تفرش به عنوان گسل اصلی کنترل‌کننده دگرشکلی‌های منطقه، مراتب اولیه فعالیت این گسل می‌تواند با میزبانی رگه‌های معدنی همراه باشد. بر این اساس، می‌توان گسل FL5 که میزبان رگه ۲ است را به عنوان شکستگی برشی نوع P حاصل از فعالیت گسل تفرش در نظر گرفت؛ همچنین گسل FL12 که هم‌روند با رگه ۳ است را به عنوان شکستگی برشی نوع R حاصل از فعالیت این گسل تحلیل کرد. بر اساس این تحلیل، گسل FR6 که میزبان رگه ۴ است و سازوکار راست‌گرد دارد، به عنوان گسل آنتی ریدل (R') پهنه گسل تفرش تحلیل می‌شود. از آنجا که گسل‌های میزبان رگه‌های معدنی توسط گسل‌های جوان‌تر راستالغز و اغلب چپ‌گرد قطع و جابه‌جا شده‌اند، می‌توان چنین استنباط کرد که حرکت چپ‌گرد گسل‌ها در منطقه چیره است. این گسل‌ها مانند گسل‌های FL15 و FL16، روندهای غالب شمال‌شرق و جنوب‌شرق را دارند (شکل‌های ۱، ۲، ۱۴-A).

بررسی آزمون امتداد این گسل‌های جوان‌تر چپ‌گرد قطع‌کننده رگه‌ها با گسل‌های مرتبه قدیمی‌تر چپ‌گرد میزبان کانی‌زایی (به عنوان مثال گسل FL5 در شکل ۱)، نشان‌دهنده آن است که گسل‌های میزبان ریدل P که اغلب جوان‌تر از انواع ریدل R هستند، می‌توانند به عنوان گسل‌های مرتبه جوان‌تر مسبب توسعه گسل‌های چپ‌گرد قطع‌کننده رگه‌ها در نظر گرفته شوند.

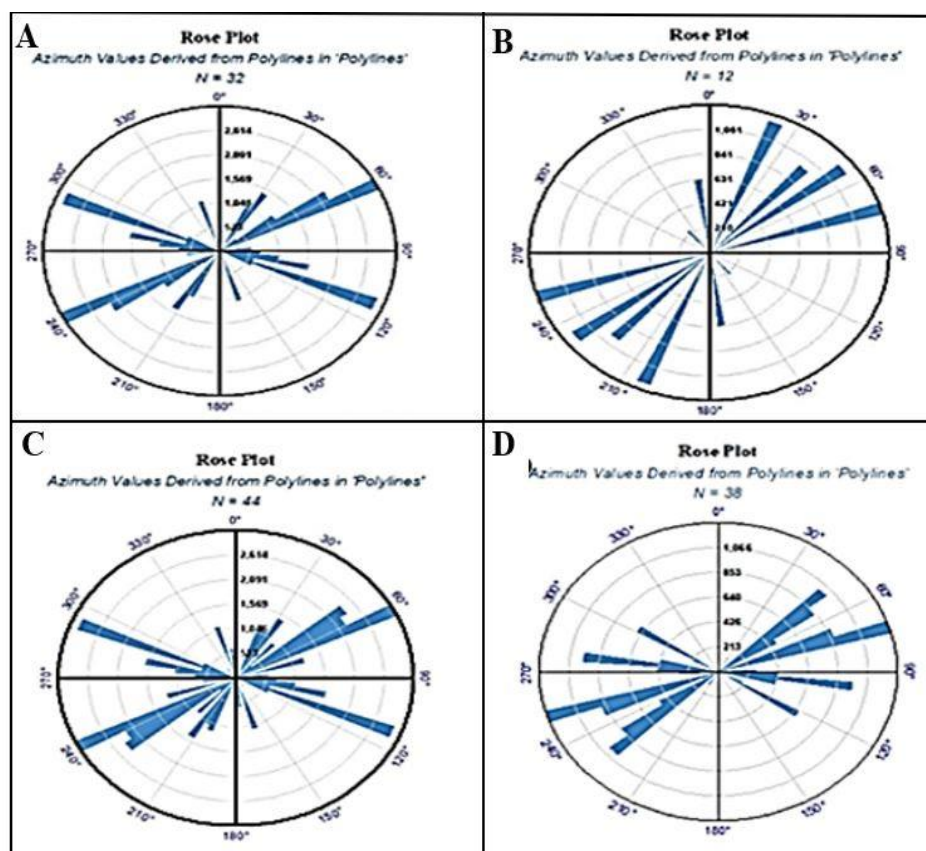
ارتباط فضایی گسل‌ها و رگه‌ها

شواهد ارائه‌شده از ارتباط رگه‌ها و گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که روند غالب گسل‌ها با رگه‌ها همخوانی دارد و مشتمل بر دو روند عمومی شمال‌شرق و شمال‌غرب است (شکل ۱۴-C و D). این بررسی همچنین نشان می‌دهد که بیشتر رگه‌ها هم‌راستا با گسل‌های راستالغز راست‌گرد دارای روند شمال‌شرق هستند. مثالی از این ارتباط فضایی رگه‌ها با گسل‌های راستالغز راست‌گرد،

هم‌روندی رگه شماره ۴ (رگه معدنی آمره) با گسل FR6 است (شکل‌های ۱ و ۶-A). مثالی دیگر از این ارتباط فضایی بین رگه ۲ با روند عمومی شرقی-غربی با گسل راستالغز چپ‌گرد FL5 است. بنابراین این رگه‌های معدنی اغلب به صورت رگه‌های گرمابی در پهنه‌های گسلی تزریق و جایگزین شده‌اند. تغییرات ضخامت رگه‌ها و اینکه آنها لایه‌بندی را نیز قطع می‌کنند بیانگر آن است که کانه‌زایی در این منطقه هم‌زمان با رسوب‌گذاری نیز نیست.

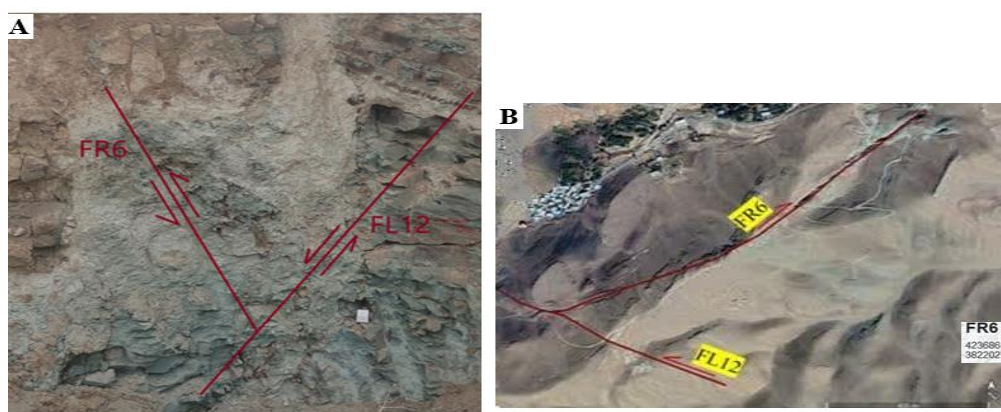
برداشت‌های میدانی از دیواره غربی دهانه تونل A معدن آمره (شکل ۶-B) نشان از قرارگیری این رگه معدنی (رگه ۴) در پهنه برشی با توسعه عدسی‌های گسلی و با سازوکار مورب لغز و مؤلفه امتدادی راست‌گرد دارد (گسل FR6 در شکل ۷). این مسئله نشان می‌دهد که کانی‌زایی هم‌زمان با توسعه این گسل‌های راست‌گرد جایگزین شده‌اند. قطع‌شدگی این رگه و پهنه گسلی FR6 با گسل جوان‌تر با سازوکار چپ‌گرد نشان‌دهنده آن است که گسل‌های چپ‌گرد قطع‌کننده رگه‌ها و گسل‌های راست‌گرد هستند و این مهم باید در پی جویی‌های اکتشافی معادن آمره و زیرگان مورد توجه قرار گیرد. قطع‌شدگی رگه شماره ۱ که روندی شرق-شمال‌شرق دارد توسط گسل FL2 با روند شمال‌شرق و انشعاب‌های فرعی این گسل مثال دیگری از جوان‌تر بودن گسل‌های چپ‌گرد نسبت به رگه‌های معدنی منطقه است. قطع و جابه‌جا شدن رگه‌های 2A، 2B، 3 و 4B و به ترتیب توسط گسل‌های FR3، FR2، FL10 و FL12 (شکل ۱) از دیگر مثال‌ها در این رابطه هستند.

طبق شکل ۴، گسل FL5 با سازوکار غالب راستالغز چپ‌گرد تقریباً به موازات رگه شماره ۲ است؛ ولی رگه را در بخش‌هایی قطع کرده است. این مسئله نشان‌دهنده ادامه فعالیت گسل پس از تشکیل رگه است. بنابراین، گسل طی زمان از میزبان کانی‌زایی به قطع و جابه‌جا کننده آن تبدیل شده است. این نشان‌دهنده فعالیت نسل‌های گسل‌های راستالغز چپ‌گرد در طی زمان است.



شکل ۱۴. A: نمودار گل سرخی های گسل های چپ گرد، B: گسل های راست گرد، C: تمامی گسل های منطقه مورد بررسی (دو سازوکار امتداد لغز چپ گرد و راست گرد) و D: رگه ها از محدوده معادن زیزگان و آمره. نمودار گل سرخی ها بر اساس طول تجمعی رگه ها و گسل های دارای آزمایش مشخص ترسیم شده اند.

Fig. 14. Rose diagrams of the A: sinistral faults, B: dextral faults, C: both sinistral and dextral faults, and D: all veins in the Zizgan and Amreh mines area. Rose diagrams are drawn based on the acumulative length of the faults and veins with certain azimuth.



شکل ۱۵. A: تصویر میدانی و B: تصویر ماهواره Google Earth از ارتباط گسل FL12 و FR6 در محدوده معادن زیزگان و آمره

Fig. 15. A: Field image connection, and B: Google Earth satellite image of the relationship between the FR6 and FL12 faults in the Zizgan and Amreh mines area

نتیجه گیری

سنگ میزبان کانی زایی محدوده معادن آمره و زیزگان در کمربند ارومیه، دختر توف و توف آندزیتی واحد E5 است. این کانی زایی که اغلب در امتداد گسل ها و شکستگی های موجود صورت گرفته است، شامل رگه های متعدد باریت است؛ به گونه ای که گالن و سرب در درون باطله ای از باریت قرار دارد. رگه ها با روندهای عمومی شمال شرق و جنوب شرق هم روند با روند گسل ها هستند. نمونه هایی از این ارتباط هم روندی رگه های اصلی معدن زیزگان شامل رگه ۲ با گسل FL5 و رگه ۴ با گسل FR6 است. غالب این گسل هایی که هم روند با رگه ها هستند، سازوکار راستالغز راست گرد دارند. گسل های چپ گرد، رگه های معدنی و برخی گسل های راست گرد را قطع و جابه جا کرده اند. مثال هایی از این گسل های قطع کننده رگه ها، قطع شدگی و جابه جا شدن رگه های ۱ و ۳ معدن زیزگان به ترتیب توسط گسل های FL2 و FL10 است. ضخامت رگه های معدنی جایگزین شده در پهنه گسل ها متفاوت است که می تواند بیانگر آن باشد که سازوکار کانه زایی،

حاکم بر منطقه گرمابی بوده است. بنابراین از دیدگاه ارتباط گسل ها با رگه های معدنی نیز گسل ها به دو دسته میزبان کانی زایی با سازوکار غالب راست گرد و قطع و جابه جا کننده رگه ها با سازوکار غالب چپ گرد رده بندی می شوند. چنین ارتباط قطع شوندگی رگه ها با گسل های راستالغز چپ گرد بیانگر فعالیت جوان این گسل ها در کمربند ارومیه دختر است. این مسئله می تواند به عنوان معیاری در پی جوی های اکتشافی این رگه در معادن منطقه مورد بررسی نیز باشد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

قدردانی

از دانشگاه تربیت مدرس و شرکت رادمان صنعت سرب آذر معادن زیزگان و آمره که امکان انجام این پژوهش را در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد فراهم آوردند، قدردانی می شود.

1. pre-mineralization
2. syn-mineralization
3. post-mineralization
4. Principal Deformation Zone

References

- Blenkinsop, T.G., Oliver, N.H.S., Dirks, P.G.H.M., Nugus, M., Tripp, G. and Sanislav, I., 2020. Structural Geology Applied to the Evaluation of Hydrothermal Gold Deposits. In: J.V. Rowland and D.A. Rhys (Editors), Applied structural geology of ore-forming hudrothermal systems, Society of Economic Geologists, V. 21, pp. 1–23. <https://doi.org/10.5382/rev.21.01>
- Fossen, H., 2010. Extensional tectonics in the North Atlantic Caledonides: a regional view. In: D.L. Law, R.W.H. Butler, R.E. Holdsworth, M. Krabbendam and R.A. Strachan (Editor), Continental Tectonics and Mountain Building: The Legacy of Peach and Horne, Geological Society, London, Special Publication, V. 335. <https://doi.org/10.1144/SP335.31>
- Hadjian, H., 1970. Geological map of Tafresh, scale1:100.000, Geological Survey of Iran.
- Johri, M.D., Zoback, M. and Hennings, P., 2014. A scaling law to characterize fault-damage zones at reservoir depths. AAPG Bulletin, 98(10): 2057–2079. <https://doi.org/10.1306/05061413173>
- Haddadpour, A., Mohammadi, R. and Golzar, H., 2012. Petrography, geochemistry and lead mineralization in the Hezarabad (Ashtian) region. Journal of Environmental Geology, 6(20): 49–63. Retrived November 10, 2025 from <https://sanad.iau.ir/en/Article/931402>
- Hashemi, F., 2015. Mineralogy, geochemistry and genesis of the Varandan Ba- Pb- Cu deposit in the Urumieh-Dokhtar Zone, South of Kashan. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood, Iran, 251 pp. Retrived November 10, 2025 from <https://shahroodut.ac.ir/en/thesis/thesis.php?thid=QE247>
- Hosseini, S.A. and Asghari, O., 2019. Multivariate geostatistical simulation on block-support in the presence of complex multivariate relationships: iron ore deposit case study. Natural Resources Research, 28(1): 125–144. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9379-2>
- Kazemi, K., Kananian, A., Xiao, Y. and Sarjoughian, F., 2019. Petrogenesis of Middle-Eocene granitoids and their Mafic microgranular enclaves in central Urmia-Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Evidence for interaction between felsic and mafic magmas. Geoscience Frontiers, 10(2): 705–723. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.04.006>
- Khodaparast, S., Madanipour, S., Enkelmann, E., Hessami, K. and Nozaem, R., 2024. Time constraints on the late Cenozoic fault evolution along the northern margin of the Iranian Plateau in the Arabia-Eurasia collision zone. Tectonics, 43(8): e2023TC008034. <https://doi.org/10.1029/2023TC008034>
- Micklethwaite, S., Ford, A., Witt, W. and Sheldon, H.A., 2015. The where and how of faults, fluids and permeability – insights from fault stepovers, scaling properties and gold mineralization. Geofluids, 15: 240–251. <https://doi.org/10.1111/gfl.12102>
- Pezeshki Gharache, F., Mousivand, F., Rezaei-Kahkhaei, M. and Fardoost, F., 2021. Ore facies, mineralogy, alteration, geochemistry and genesis of the Vanakan (Sokan) barite-zinc-lead-copper deposit, north east of Semnan. Journal of Economic Geology, 13(1): 29–55. (in Persian with English abstrac) <https://doi.org/10.22067/econg.v13i1.82657>
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG bulletin, 52(7): 1229–1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Sheykholeslami, M.R., Javadi, H.R. and Asadi, M., 2013. Iran Fault Map on Provincial Subdivisions. Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (GSI), Tehran, Iran.
- Yıldırım, E., Yıldırım, N., Dönmez, C. and Günay, K., 2021. Geology of the Yeşilyurt gold deposit: an example of low-angle normal fault related mineralization, Eastern Anatolia-Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 164: 261–279. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.797729>