



فصلنامه زمین ساخت

تابستان ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۲

doi 10.22077/JT.2023.6316.1155

مدلسازی دوبعدی و سه بعدی و تعیین همبستگی گسل‌ها با کانه‌زایی در کانسار عمارت

رضا احمدی^{۱*}، پانید مسعودیه^۲

۱- استادیار مهندسی معدن، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴

چکیده:

در کانسار سرب‌وروی عمارت واقع در استان مرکزی، فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی زیرزمینی به کمک حفر تونل‌ها و دستک‌ها در ترازهای ارتفاعی مختلف صورت گرفته است. در پژوهش حاضر، گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی مختلف بصورت دوبعدی و سه بعدی، مدلسازی شده و ارتباط میان آنها با کانه‌سازی در منطقه، بصورت کیفی و کمی مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور دست‌یابی به هدف ابتدا، مطالعات آماری کاملی بر روی آنها انجام شد. سپس نقشه دوبعدی امتداد و شیب همراه با نمودار گل سرخ و نقشه دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌ها در ترازهای ارتفاعی مختلف رسم شد. بعد، نمودار سه بعدی امتداد و شیب و مدل سه بعدی گسل‌ها با استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضی گوناگون کاربردی در علوم زمین ترسیم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر این، نقشه طبقاتی هم‌عیار مجموع سرب‌وروی ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار نیز تولید شد. مقایسه کیفی نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌ها و هم‌عیار مجموع سرب‌وروی کانسار برای هر تراز ارتفاعی بطور نظریه‌نظیر، نشان می‌دهد که بطور کلی روند انباشتگی ماده معدنی از روند تمرکز فراوانی خطوط گسلی تبعیت می‌کند ولی فراوانی تعداد گسل‌ها در هر منطقه در میزان عیار ماده معدنی آن منطقه تاثیر چندانی ندارد. همچنین ضریب همبستگی خطی بین تعداد گسل‌ها و عیار ماده معدنی در ترازهای ارتفاعی مختلف، بطور متوسط برابر با ۰/۱۵۷ بدست آمد که معادل همبستگی "بسیار کم" می‌باشد. در واقع نتایج بررسی میزان همبستگی کمی در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار، نتایج بررسی همبستگی کیفی را نیز تایید می‌کند.

کلید واژه: مدلسازی دوبعدی و سه بعدی، همبستگی کیفی و کمی، گسل، کانه‌زایی، نقشه هم‌عیار

* ایمیل: Rezahmadi@gmail.com

تلفن تماس: ۰۹۱۸۸۶۲۲۵۵۷

2D and 3D modeling and determining correlation of faults with mineralization in the Emarat deposit

Reza Ahmadi^{1*}, Paniz Masoudieh²

1- Assistant professor, Mining Engineering Department, Arak University of Technology

2- BSc. Mining Engineering Department, Arak University of Technology

Abstract

In the Emarat Pb-Zn deposit located in the Markazi province, underground exploration and exploitation activities have been carried out at the various elevation levels through drilling tunnels and cross-cuts. In the present research, 2D and 3D modeling of surveyed faults at the variety of levels were performed studying their relationship with ore-bearing in the region qualitatively and quantitatively. To achieve the goal, a complete statistical study was done, first. Afterward, 2D strike and dip map with rose diagram, 2D grid-based map, 3D strike and dip diagram and solid model of the faults surveyed at the various elevation levels were drawn and analyzed using methods and different mathematical algorithms applied in geosciences. In addition, a stratified iso-grade map of total Pb-Zn for different elevation levels was also produced. The qualitative comparison of 2D grid-based maps and iso-grade maps for each elevation level peer to peer shows that in general, trend of mineral depositing follows the trend of faults frequency but frequency of the faults number in each zone does not much effect on the deposit grade. Also, the linear correlation coefficient between the faults number and deposit grade at the various elevation levels was obtained 0.157 on average, equaling to “very low” correlation. In fact, the results of the quantitative correlation at the different elevation levels, confirm the results of the qualitative correlation study.

Keywords: 2D and 3D modeling, Qualitative and quantitative correlation, Fault, Mineralization, Isograde map

*Email: Rezahmadi@gmail.com

Tel: +989188622557

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های نرم‌افزار RockWorks و نقطه‌قوت آن نسبت به اغلب نرم‌افزارهای علوم زمین، طیف وسیع الگوریتم‌ها و روش‌های پردازش اطلاعات و تجزیه و تحلیل گسل‌هاست.

بطور کلی کانسارهای سرب‌وروی انواع گوناگونی دارند که سولفیدهای توده‌ای، ذخایر اسکارنی، کانسارهای رگه‌ای و کانسارهای با سنگ میزبان رسوبی مهم‌ترین تیپ‌های کانی‌سازی آن می‌باشند (کوهساری، ۱۳۹۳).

در هر تیپ از کانی‌سازی سرب‌وروی پدیده‌های زمین‌شناختی نقش موثری دارند. در حال حاضر احتمالاً متداول‌ترین اهداف اکتشافی در میان کانسنگ‌های رسوبی هستند (Rajabi et al., 2013). سرب‌وروی معمولاً به دو صورت با سنگ میزبان کربناتی و با سنگ میزبان شیلی در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند. عقیده بر این است که کانسنگ‌های با سنگ میزبان کربناتی معمولاً دیرزاد (غیرهمزاد) هستند و از محلول‌های هیدروترمال دمای پایین رسوب کرده‌اند (کوهساری، ۱۳۹۳). تشکیل کانسارهای دیرزاد معمولاً (نه لزوماً) همزمان با فعالیت‌های تکتونیکی صورت می‌گیرد. در این شرایط سنگ‌های آهکی و دولومیتی تا حدودی شکسته شده و تنش‌های تکتونیکی و حرکات متعاقب آنها سبب ایجاد برش نفوذپذیر و مکانی مناسب برای نهشت کانه می‌شود. یکی از موارد معمول در این حالات نیز افزودن شدن سیلیس به محیط است که اغلب بصورت نهان‌بلورین به وسیله سیالات گرمابی، حمل و جانشین قسمت‌هایی از سنگ‌ها می‌شود. سیلیس غالباً شکاف‌های سطوح دانه‌های تشکیل دهنده برش‌ها و سطح گسل‌ها را پر می‌کند و یا به صورت رگه‌ها در داخل سنگ‌های منطقه تشکیل می‌شود. چنانچه بخش‌های سیلیسی تحت تاثیر تنش‌ها و یا عوامل دیگر خرد شوند، برای نهشت کانه‌ها محیط مناسبی را پدید می‌آورند (یعقوب‌پور، ۱۳۹۰).

درخصوص بررسی ارتباط میان فعالیت‌های تکتونیکی و ساختاری با کانی‌سازی و کانه‌زایی، در ایران و جهان پژوهش‌های چندی در گذشته صورت گرفته است. از جمله آدی گاناوان و همکاران (Adi Gunawan et al., 2019) ساختار اصلی کنترل‌کننده کانی‌سازی اورانیوم را

برای شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی توجه به ویژگی‌های زمین‌شناختی، سنگ‌شناسی محیط‌میزبان، کانی‌سازی هدف، شرایط رسوب‌گذاری، فعالیت‌های آذرین، فرآیندهای دگرگونی، فعالیت‌های تکتونیکی و ساختاری، نوع دگرسانی و تعیین ارتباط آنها با کانی‌سازی و کانه‌زایی ضروری است. به‌ویژه در ارتباط با مواد معدنی فلزی، موضوع بررسی و شناخت ساختار زمین‌شناسی و فعالیت‌های تکتونیکی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهش حاضر با استفاده از قابلیت‌های گوناگون نرم‌افزار RockWorks مدل‌سازی شکستگی‌ها و بطور مشخص گسل‌های موجود در کانسار سرب‌وروی عمارت بصورت دوبعدی و سه‌بعدی انجام شده و همبستگی میان این شکستگی‌ها با کانه‌سازی در منطقه بطور کیفی و کمی، مورد مطالعه قرار گرفته است. با این نگرش که در صورت وجود ارتباط میان شکستگی‌ها با کانه‌زایی، در مرحله استخراج به‌هنگام گم‌شدن رگه یا لایه ماده معدنی در اثر فعالیت‌های تکتونیکی، بتوان با تعیین محل شکستگی‌ها به ماده معدنی دست یافت. نرم‌افزار RockWorks یک نرم‌افزار جامع و بسیار قوی برای تصویرسازی، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی است و انجام مدل‌سازی‌های مختلف براساس نوع و میزان داده‌ها و اطلاعات اکتشافی در دسترس و نیز تهیه برش‌های مختلف از درون ماده معدنی را برای کاربران علوم زمین امکان‌پذیر می‌سازد. این نرم‌افزار اولین بار در سال ۱۹۸۵ توسط شرکت RockWare توسعه یافت و در حال حاضر آخرین نسخه آن (۲۰۲۲) نیز در دسترس می‌باشد. نرم‌افزار RockWorks شامل مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای مختلف است که هر یک، کاربرد و کارایی خاصی دارند و بصورت یک نرم‌افزار جامع برای تجزیه و تحلیل داده‌های سطحی و اطلاعات به‌دست آمده از گمانه‌های اکتشافی به‌منظور فعالیت‌های زمین‌شناسی و معدنی، ایجاد شده است (Tutorial- RockWare). بطور خلاصه RockWorks شامل چهار بخش شبکه، نقشه، مدل‌های جامد و احجام می‌باشد. البته به‌دلیل حجم بالای منوها و کاربری‌ها، اغلب کاربران غیرحرفه‌ای، با سردرگمی و مشکلاتی مواجه می‌شوند.



در بخش رماجا^۱ در منطقه کالان^۲ کالیمانتان^۳ غربی کشور اندونزی تعیین کردند. آنها داده‌های صفحات درزه و گسل، شیب‌توزیته و صفحه لایه‌بندی را همراه با ارتباط آنها از طریق میان‌بر در عمق ۵۰ تا ۲۰۰ متری از دهانه تونل اکتشافی اکورماجا^۴ با طول ۶۱۸ متر جمع‌آوری کردند. درنهایت، شکستگی‌های توسعه‌یافته و نیز جهت نیروی منجر به شکستگی‌های تونل، شناسایی شدند. تگوائی و همکاران (Tagwai et al., 2021) عوامل موثر بر کانه‌زایی طلا همانند منبع حرارت، مسیرهای مهاجرت (حرکت) و محیط رسوبی را مورد کاوش قرار دادند. آنها به‌طور متوالی مدل اوزان شاهد^۵ را برای وزن‌دهی و کمی‌سازی ارتباط مکانی بین عوامل کنترل‌کننده و تعداد ۳۰ کانسار طلای شناخته‌شده در کلاتان^۶ کشور مالزی بکار بردند. نتایج آنها یک الگوی همبستگی قوی بین کانسارها و عوامل مورد نظر همانند گسل‌های با راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی (NE-SW)، سنگ‌های نفوذی^۷ و سنگ‌های رسوبی نشان داد. لو و همکاران (Lu et al., 2021) طبیعت ساختار شکستگی و اثر کنترل‌کنندگی کانه آن را در معدن طلای نوع رگه کوارتزی باگینشان^۸ کشور چین در کمر بند طلای بایماشان- لانگشان- زی‌یانشان^۹ از طریق کاوش‌های سطحی و چاهک‌ها مطالعه کردند و طبیعت سیستم ساختاری کنترل‌کننده کانه و الگوی ترکیبی معدن طلای باگینشان را ایجاد نمودند. گوهری انارکی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی کانسار سرب- روی و مس رگه‌ای قله‌کفتران را از نظر ساختاری و ارتباط بین ساختارها و کانه‌زایی مورد بررسی قرار دادند. آنها از مطالعات میدانی، سنجش از دور و آنالیز ICP-OES برای این منظور استفاده کردند. نتایج مطالعات ساختاری و ژئوشیمی آنها نشانگر نقش مستقیم ساختارها در کنترل پراکندگی دگرسانی‌ها و کانه‌زایی فلزی سرب- روی و مس در امتداد آنهاست.

در پژوهش حاضر علاوه بر مطالعات میدانی، برداشت‌های صحرائی و داده‌های عیارسنجی، از

الگوریتم‌های ریاضی کاربردی در علوم زمین برای مدلسازی دوبعدی و سه‌بعدی گسل‌ها و بررسی ارتباط میان گسل‌ها و کانه‌زایی در کانسار سرب‌وروی عمارت، بهره گرفته شده که تاکنون در هیچ پژوهشی مورد استفاده قرار نگرفته است. براساس یافته‌های این پژوهش یعنی تعیین ارتباط میان شکستگی‌ها با کانه‌زایی در منطقه و تولید مدل‌های سه‌بعدی گسل‌ها، در مواقع مورد نیاز می‌توان با ردیابی موقعیت گسل‌ها، به لایه یا رگه ماده معدنی گم‌شده، دست یافت.

۲- موقعیت جنرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار سرب‌وروی عمارت مطابق شکل ۱(الف) در فاصله حدود ۴۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان اراک در استان مرکزی واقع شده است. توپوگرافی منطقه عمارت بسیار ناهموار بوده، چینه‌شناسی یکنواخت، چین‌خوردگی شدید، فقدان سنگ‌های آذرین و استراتی‌باندبودن (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱) از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه می‌باشد (Ehya et al., 2010; Rastad, 1981) که جهت چین‌خوردگی‌ها مطابق با روند چین‌خوردگی زاگرس است. کانسار سرب‌وروی عمارت بر روی پهنه تکنیکی سنندج- سیرجان و کمر بند فلزایی سرب‌وروی ملایر- اصفهان واقع شده است (شکل ۱ الف). وجود فعالیت‌های کوهزایی و تکنیکی همراه با چین‌خوردگی و گسلش، یک منطقه کوهستانی همراه با تغییرات ارتفاعی از دامنه تا نقاط مرتفع را ایجاد کرده است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه عموماً واحدهای رسوبی کربناته و شیل و مارن متعلق به دوره کرتاسه تا ژوراسیک با گسل‌خوردگی است که از دامنه‌های شیب‌دار تشکیل شده‌اند. واحد سنگ آهک اوریتولین دار دارای رنگ رخنمونی خاکستری روشن و ریخت‌شناسی خشن، صخره‌ساز و مرتفع می‌باشد که توسط چندین گسل با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی قطع شده است. در مشاهدات میدانی اولیه به نظر می‌رسد بخش‌های گسل خورده، عامل هدایت و کنترل محلول‌های کانه‌دار و رگه‌های سیلیسی منطقه هستند. رگه‌های سیلیسی با ضخامت‌های مختلف از ۲۰ سانتی‌متر تا ۵ متر در منطقه مشاهده می‌شوند. این رگه‌های سیلیسی دارای آغشتگی هماتیسی و لیمونیتی هستند و می‌توانند کلید

- 1- Remaja
- 2- Kalan
- 3- Kalimantan
- 4- Eko-Remaja
- 5- Weight of Evidence
- 6- Kelantan
- 7- Intrusive
- 8- Baoginshan
- 9- Baimashan-Longshan-Ziyunshan

عرض، چین‌خوردگی، گسل‌خوردگی و سایر موارد زمین‌شناسی در دسترس می‌باشد. این تونل‌ها با اختلاف طبقاتی حدود ۱۰ متر حفاری شده‌اند. به دلیل وجود چین‌خوردگی‌ها و گسل‌خوردگی‌ها در مواردی که رگه گم شود، برای یافتن آن چال‌های پودری بصورت کیفی (بدون عیارگیری) در دیواره تونل‌ها عمدتاً بصورت افقی تا عمق بیشینه ۲۱ متر حفاری می‌شود. در شکل ۲ نمایی از تونل‌های حفرشده در ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۲۰۰۸، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴ متری کانسار سرب‌وروی عمارت نشان داده شده است.

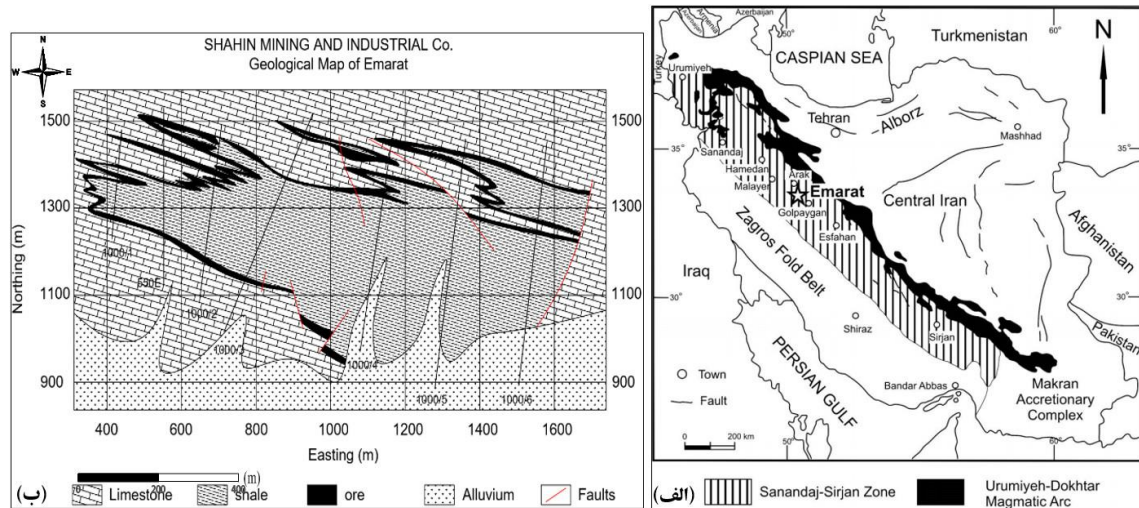
شکل ۳ نقشه طبقاتی زمین‌شناسی ترازهای ارتفاعی ۲۰۰۸، ۱۹۸۸، ۱۹۶۸-۱۹۶۴ و ۱۹۴۰ متری کانسار سرب‌وروی عمارت را نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها علاوه بر نمایش واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده منطقه و گسل‌های موجود در هر تراز ارتفاعی، موقعیت تونل‌های اکتشافی حفرشده در آن تراز ارتفاعی نیز نمایش داده شده است. مطابق این شکل، زمین‌شناسی منطقه در ترازهای ارتفاعی مختلف، ساده و یکنواخت بوده و تماماً از سه واحد سنگ‌آهک، کانه (ماده معدنی) و شیل تشکیل شده است. در حقیقت شناسایی واحدهای سنگی و ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی در ترازهای ارتفاعی مختلف مطابق این شکل، براساس اطلاعات اکتشافی حاصل از بررسی‌های اولیه و نیز طراحی و حفر تونل‌های اکتشافی افقی در ترازهای ارتفاعی مختلف صورت گرفته است.

اکتشافی مفیدی باشند.

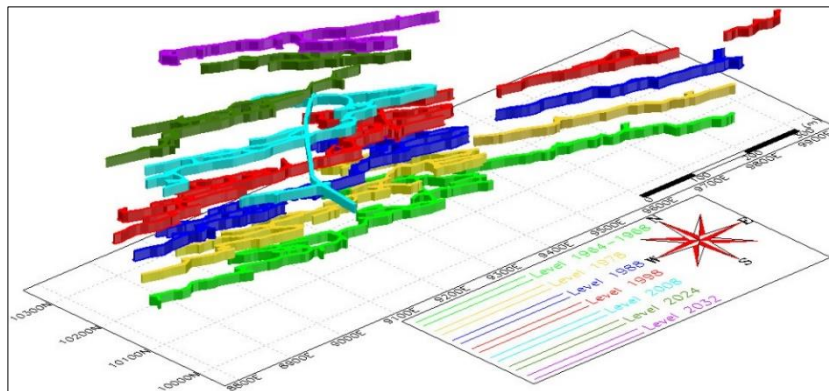
ماده معدنی سرب‌وروی درون یک لایه سیلیسی آهکی در مرز یک نوار سنگ‌آهک توده‌ای خاکستری تیره‌رنگ در کمربین و یک لایه شیلی کرتاسه در کمربالاً قرار دارد. این تشکیلات متعلق به کرتاسه تحتانی یا میانی است (Rajabi et al., 2012). در کانسار عمارت مانند آنچه در کانسارهای پورفیری و نظایر آن دیده می‌شود، تغییرات تدریجی کاهش یا افزایش عیار در سنگ میزبان وجود ندارد، بنابراین در این کانسار مرز رگه معدنی و سنگ‌های میزبان، تیز است. کانی‌های شاخص منطقه عمدتاً شامل اسفالریت و گالن با مقادیر جزئی پیریت، کالکوپیریت، کلسیت، کوارتز و دولومیت است. درباره منشاء اولیه سرب‌وروی این کانسار، نحوه حمل، تجمع و رسوب کانی‌ها، نظرات مختلفی ارائه شده است. شواهد نشان می‌دهد که کانه جایگزین سنگ میزبان شده، بنابراین کانسار از نوع دیرزاد است (Ehya et al., 2010). داده‌های موجود نشان می‌دهند که کانسار سرب‌وروی عمارت بسیاری از ویژگی‌های مهم کانسارهای سرب‌وروی نوع دره می‌سی‌سی‌پی^۱ (شهاب‌پور، ۱۳۹۴؛ علیرضایی، ۱۳۹۵) را دارد، بنابراین باید آن را یک کانسار MVT دانست (Ehya et al., 2010). شکل ۱(ب) نقشه زمین‌شناسی سطحی ساده شده کانسار سرب‌وروی عمارت را نشان می‌دهد که بر روی این نقشه چهار واحد سنگ‌شناختی سنگ‌آهک، شیل، آبرفت و کانه مشاهده می‌شود.

۳- مواد و روش‌ها

در کانسار سرب‌وروی عمارت فعالیت‌های اکتشافی زیادی انجام شده که مهم‌ترین آنها حفر تونل‌های اکتشافی و استخراجی و دستک‌ها (با طول کلی حدود ۱۱۰۰۰ متر) در ترازهای ارتفاعی مختلف، برداشت زمین‌شناسی و نقشه‌برداری آنها، حفر چال‌ها در داخل تونل‌های اکتشافی و نمونه‌گیری و عیارسنجی آنها (برداشت تعداد ۴۲۹ نمونه اکتشافی در مجموع)، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی از طریق نمونه‌گیری از ترازهای ارتفاعی مختلف (در هر ۱۰ متر پیشروی تونل) و عیارسنجی نمونه‌ها است. تونل‌های اکتشافی با سطح مقطع ۲۰ تا ۲۲ مترمربع اغلب دنباله‌روی رگه هستند، بنابراین اطلاعات خوبی از قبیل عیار، طول و



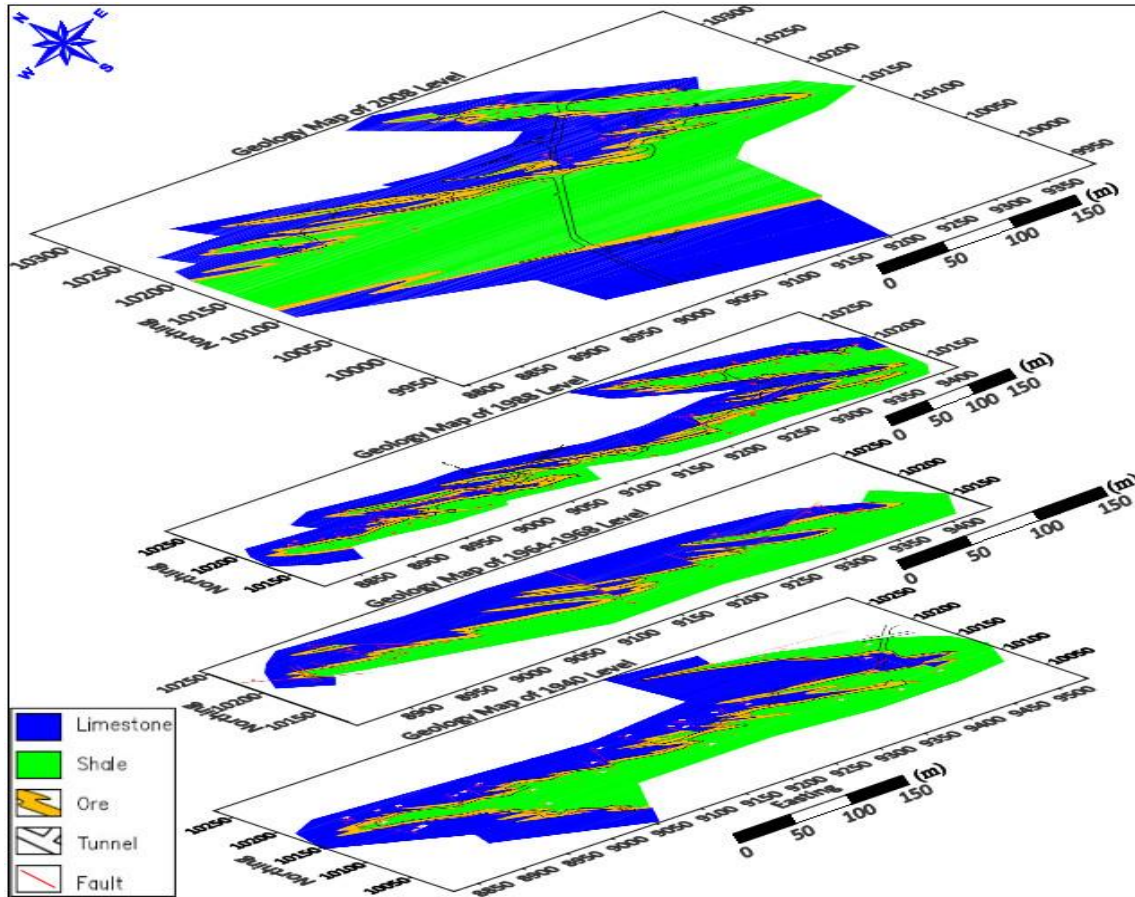
شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی و جایگاه زمین‌شناسی، (ب) نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده کانسار سرب‌وروی عمارت (ملاک‌پور، ۱۳۸۸).



شکل ۲: نقشه سه‌بعدی تونل‌های حفرشده در ترازهای ارتفاعی ۱۹۶۴-۱۹۶۸ و ۱۹۷۸، ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸، ۲۰۲۴، ۲۰۳۲، ۲۰۷۴، ۲۰۹۸، ۲۱۲۲ متری کانسار سرب‌وروی عمارت.

در شکل ۴ نقشه امتداد و شیب گسل‌های ترازهای ارتفاعی ۱۹۶۴، ۱۹۷۸، ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸، ۲۰۳۲، ۲۰۷۴ و ۲۰۹۸-۱۹۶۴ کانسار سرب‌وروی عمارت همراه با نمودار گل سرخ نشان داده شده است. با وجود گسل‌های متعدد با راستاهای گوناگون و طول‌های متفاوت در ترازهای ارتفاعی مختلف در این شکل استنباط می‌شود که منطقه از نظر تکتونیک، شدیداً فعال می‌باشد. امتداد عمومی گسل‌ها در راستای شمال-جنوبی، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی-جنوب‌غربی است.

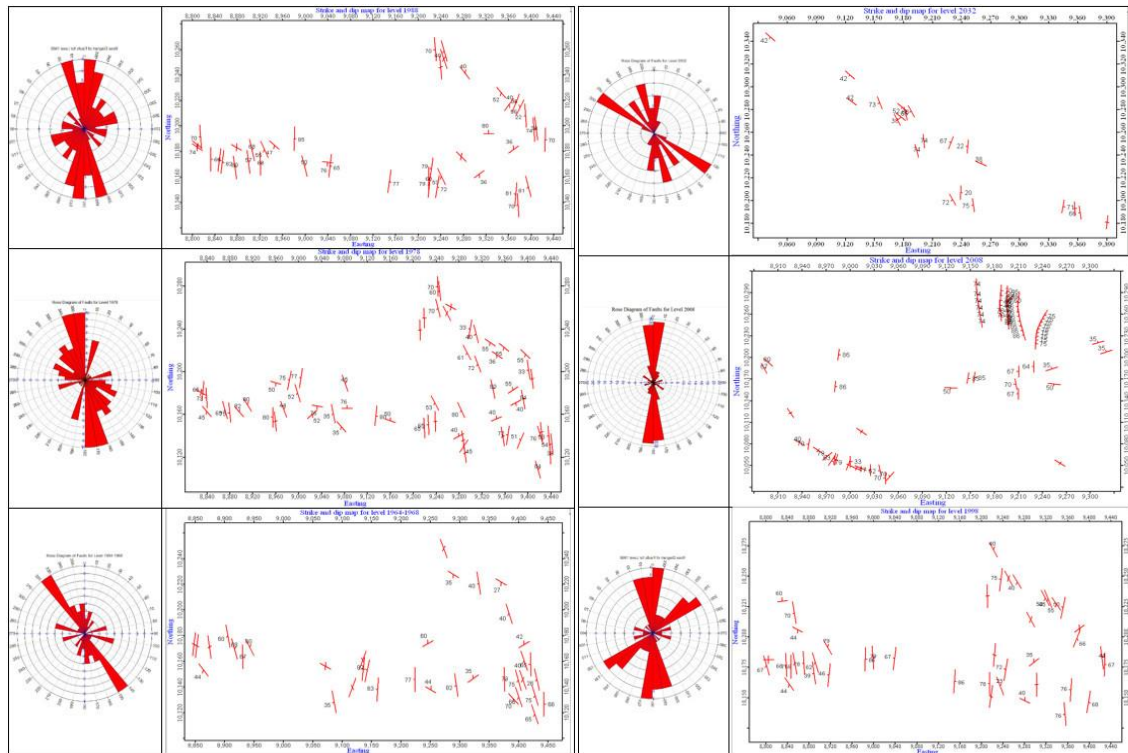
به‌منظور تجزیه و تحلیل وضعیت گسل‌های موجود در محدوده کانسار، ابتدا مطالعات آماری کاملی بر روی آنها انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ خلاصه شده است. مطابق داده‌های این جدول بیشترین و کمترین تعداد فراوانی گسل‌ها به ترتیب برابر با ۷۳ عدد (در تراز ارتفاعی ۲۰۰۸ متر) و ۲۱ عدد (در تراز ارتفاعی ۲۰۳۲ متر) است. طول گسل‌های منطقه بین ۲/۹ تا ۳۲۱/۷ متر (هر دو در تراز ارتفاعی ۲۰۰۸ متر) اندازه‌گیری شده است. همچنین متوسط طول گسل‌ها در ترازهای ارتفاعی مختلف، تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر ندارند.



شکل ۳: نقشه طبقاتی زمین‌شناسی ترازهای ارتفاعی ۲۰۰۸، ۱۹۸۸، ۱۹۶۸-۱۹۶۴ و ۱۹۴۰ متر (به ترتیب از بالا به پایین) کانسار سربوروی عمارت (ویرایش شده از فرجی، ۳۸۸).

جدول ۱: ویژگی‌های آماری گسل‌های موجود در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سربوروی عمارت.

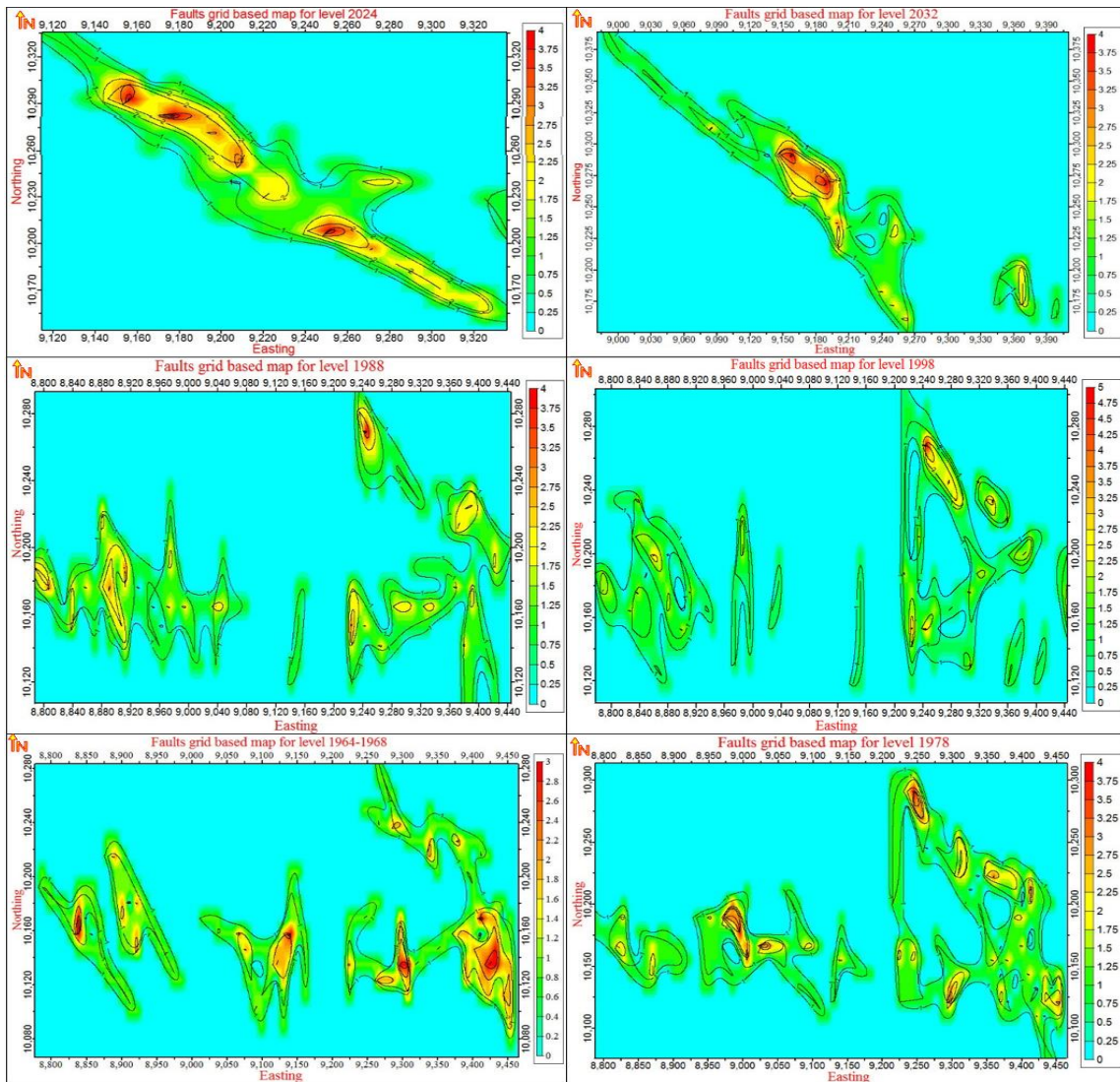
تراز ارتفاعی (متر)	فراوانی تعداد گسل‌ها	طول کوتاه‌ترین گسل (متر)	طول بلندترین گسل (متر)	دامنه تغییرات طول گسل (متر)	میانگین طول گسل‌ها (متر)
۲۰۳۲	۲۱	۱۴/۹	۱۱۳/۸	۹۸/۹	۴۸/۸
۲۰۲۴	۲۳	۷/۶	۱۰۳/۷	۹۶/۱	۳۶/۹
۲۰۰۸	۷۳	۲/۹	۳۲۱/۷	۳۱۸/۸	۳۵/۷
۱۹۹۸	۴۴	۱۲/۶	۱۲۷/۸	۱۱۵/۲	۴۶/۴
۱۹۸۸	۴۵	۱۰	۱۱۴/۹	۱۰۴/۹	۴۳/۵
۱۹۷۸	۶۴	۵/۹	۱۰۵	۹۹/۱	۴۱/۸
۱۹۶۸-۱۹۶۴	۳۸	۹/۴	۱۵۶/۱	۱۴۶/۷	۵۵/۲



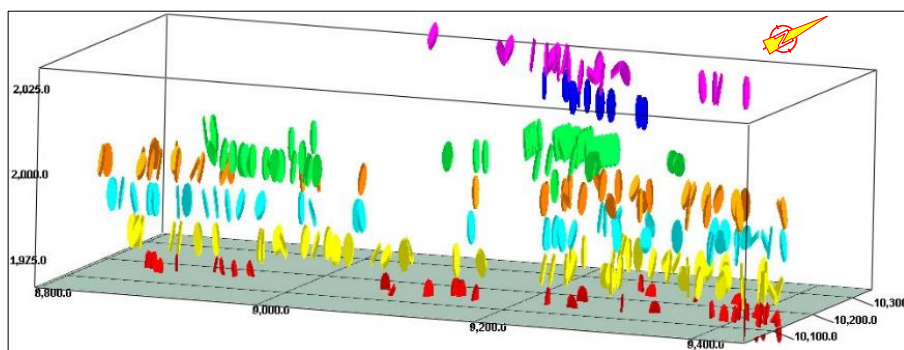
شکل ۴: نقشه امتداد و شیب گسل‌های ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت همراه با نمودار گل سرخ.

در شکل ۶ نمودار سه‌بعدی امتداد و شیب گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت نشان داده شده است. در این نوع نمودار، گسل‌ها با استفاده از اندازه‌گیری‌های امتداد و شیب گسل و نیز مختصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع یک نقطه از گسل (مثلاً نقطه میانی گسل) بصورت قرص‌های^۲ جهت‌یافته در فضای سه‌بعدی نمایش داده می‌شوند. در این شکل رنگ‌های قرمز، زرد، آبی روشن، نارنجی، سبز، آبی تیره و بنفش به ترتیب مربوط به گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۲۰۰۸، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴ متر هستند. مقدار شعاع تمام قرص‌ها برابر با پنج متر و مقدار ضخامت آنها برابر با دو متر (براساس سعی و خطا به‌منظور بهترین مشاهده چشمی) انتخاب شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که تعداد گسل‌های موجود در کل محدوده زیاد بوده که از سطح زمین تا اعماق یافت می‌شوند. اغلب گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی مختلف، پرشیب و نزدیک به قائم هستند. همچنین گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی ۲۰۲۴ و ۲۰۳۲ متر فقط در نیمه شرقی محدوده قرار دارند. به عبارت دیگر تعداد گسل‌های موجود در نیمه شرقی محدوده از نیمه غربی، بیشتر است.

در شکل ۵ نقشه دویبعدی مبتنی بر شبکه^۱ گسل‌های ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴ متر به ترتیب از بالا به پایین نشان داده شده است. برای رسم نقشه‌های دویبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌های این ترازهای ارتفاعی ابتدا سطح محدوده دارای گسل‌ها در هر تراز ارتفاعی، شبکه‌بندی شد. در مرحله شبکه‌بندی، ابتدا اندازه و ابعاد سلول‌های شبکه با توجه به میزان کمینه، بیشینه و متوسط طول گسل‌های موجود در ترازهای ارتفاعی مختلف مطابق جدول ۱ و نیز حفظ یکنواختی فرایند کار به‌منظور مقایسه نتایج در مراحل بعدی کار، برای تمام ترازهای ارتفاعی، ۱۰×۱۰ متر انتخاب شد. سپس تعداد فراوانی (گسل‌های واقع در هر سلول شبکه به مرکز آن سلول نسبت داده شد. در این نوع شبکه که به آن شبکه فراوانی نیز گفته می‌شود، عدد هر سلول شامل مجموع تعداد گسل‌هایی است که ابتدا یا انتهای آنها در داخل سلول بوده یا از درون آن سلول عبور می‌کنند. در نهایت نتایج بصورت نقشه‌های منحنی‌های میزان رسم شد. مطابق این شکل تمرکز فراوانی خطوط گسلی با راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در ترازهای ارتفاعی بالا (۲۰۳۲ و ۲۰۲۴) به راستای تقریبی شرقی- غربی در ترازهای ارتفاعی پایین‌تر (۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴) تبدیل می‌شود.



شکل ۵: نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌های ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌و‌روی عمارت.



شکل ۶: نمودار سه‌بعدی نمایش امتداد و شیب گسل‌های برداشت‌شده در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌و‌روی عمارت.



برای ساخت این مدل‌ها ابتدا خروجی نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌های هر تراز ارتفاعی به صورت رقمی^۴ در آمد. داده‌های ورودی این مدل مختصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع یک نقطه از هر گسل (مثلاً نقطه میانی گسل) به اضافه مقادیر عددی خروجی نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه تمام ترازهای ارتفاعی کانسار می‌باشند. برای ساخت این مدل‌های سه‌بعدی از یک مدل شبکه‌ای اولیه به ابعاد $70 \times 110 \times 680$ متر با سلول‌هایی (وکسل‌هایی) به اندازه $5 \times 10 \times 10$ متر استفاده شد. شکل ۸ مدل سه‌بعدی ایجاد شده به این روش با استفاده از الگوریتم مدل‌سازی نزدیک‌ترین نقطه^۵ را نشان می‌دهد که در آن مقدار هر سلول بر اساس مقدار نزدیک‌ترین نقطه کنترل می‌شود. معلوم (تعداد گسل‌ها در نقاط معلوم) تعیین می‌شود. این الگوریتم برای داده‌هایی که تدریجی^۶ نیستند (همانند گسل‌های موجود در یک منطقه)، مناسب‌ترین می‌باشد. میزان هموارسازی داده‌ها هم در راستای افقی (شمالی- جنوبی و شرقی- غربی) و قائم (عمقی) بطور یکسان انتخاب شد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که همانند شکل ۷ در گوشه‌های محدوده کانسار گسل‌چندانی وجود ندارد. همچنین پراکندگی حضور گسل‌ها در بخش‌های میانی نیمه شرقی (با گسترش به سمت شرق) و جنوبی نیمه غربی محدوده، مشهودتر است. از جنبه صرفاً عددی، سلول‌های دارای تعداد گسل بیشتر، اغلب در بخش جنوبی نیمه غربی محدوده قرار دارند.

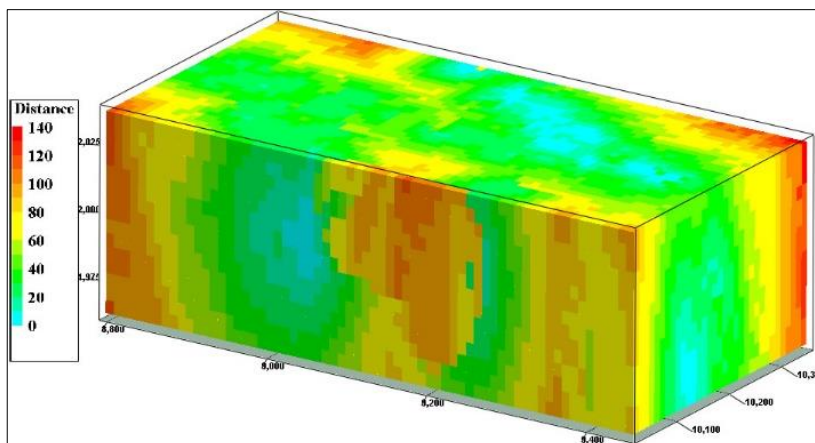
در شکل ۷ مدل جامد^۱ (سه‌بعدی) موقعیت گسل‌های برداشت شده در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت نشان داده شده است. این مدل به کمک نمودار سه‌بعدی قرص‌های نمایش‌دهنده گسل‌ها تولید شد که داده‌های ورودی آن مختصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع یک نقطه از هر گسل (مثلاً نقطه میانی گسل) به اضافه مشخصات امتداد و شیب هر گسل می‌باشند. برای ساخت این مدل از یک مدل شبکه‌ای اولیه به ابعاد $70 \times 110 \times 650$ متر با سلول‌هایی (وکسل‌هایی)^۲ به اندازه $5 \times 10 \times 10$ متر استفاده شد. الگوریتم مورد استفاده در این نوع مدل‌سازی، مبتنی بر فاصله تا نزدیک‌ترین گسل^۳ است. درحقیقت این الگوریتم به هر گره مدل بلوکی (مرکز هر سلول) مقداری بر اساس فاصله آن گره تا نزدیک‌ترین گسل اختصاص می‌دهد. یعنی مقدار تخصیص داده شده به هر سلول بر اساس فاصله بین مرکز آن سلول تا نزدیک‌ترین نقطه بر روی نزدیک‌ترین قرص به آن سلول است.

مطابق راهنمای رنگی این شکل، تمرکز گسل‌ها در گوشه‌های مدل از سایر بخش‌ها کمتر است. مناطق مشخص شده با رنگ آبی روشن بیشترین تمرکز گسل‌ها را نمایش می‌دهند. در این مناطق که اغلب در بخش میانی نیمه شرقی محدوده قرار دارند، مقادیر سلول‌های شبکه از صفر تا ۱۰ متغیر است؛ یعنی این سلول‌ها یا روی خود گسل قرار دارند و یا بسیار نزدیک به گسل هستند. بطور کلی در بخش بزرگی از محدوده، مقادیر سلول‌های شبکه کمتر از ۶۰ است و این امر نشان‌دهنده آن است که تعداد زیادی گسل در کل پیکره محدوده وجود دارند.

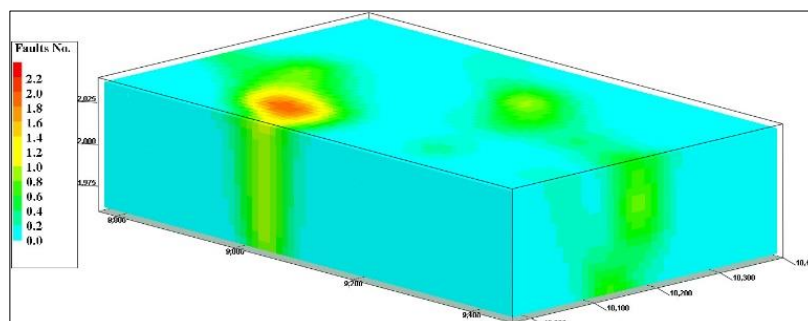
به منظور مقایسه، مدل جامد گسل‌های موجود در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت با روش و الگوریتم‌های دیگری نیز تولید شد. در این روش از داده‌های نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌های ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۲۰۰۸، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴ متر استفاده شد.

4- Digitize
5- Closest point
6- Gradational

1- Solid model
2- Voxel
3- Distance to Closest Fracture



شکل ۷: مدل جامد گسل‌های کانسار سرب‌وروی عمارت تولیدشده از نمودار سه‌بعدی امتداد و شیب گسل‌های ترازهای ارتفاعی مختلف.



شکل ۸: مدل جامد گسل‌های کانسار سرب‌وروی عمارت با استفاده از داده‌های رقمی نقشه‌های مبتنی بر شبکه ترازهای ارتفاعی مختلف به کمک الگوریتم نزدیک‌ترین نقاط.

حاشیه نیمه غربی، نسبت به سایر مناطق دیگر بیشتر است. در تراز ارتفاعی ۲۰۲۴ متر، تقریباً نیمی از محدوده دارای عیار نسبتاً بالا (بالاتر از مقدار متوسط عیار) و نیم دیگر دارای عیار نسبتاً پایین (پایین‌تر از عیار متوسط) است. در ترازهای ارتفاعی پایین‌تر، سطح محدوده با عیار نسبتاً بالا (بالاتر از عیار متوسط) از سطح محدوده با عیار نسبتاً پایین (پایین‌تر از عیار متوسط)، کمتر است.

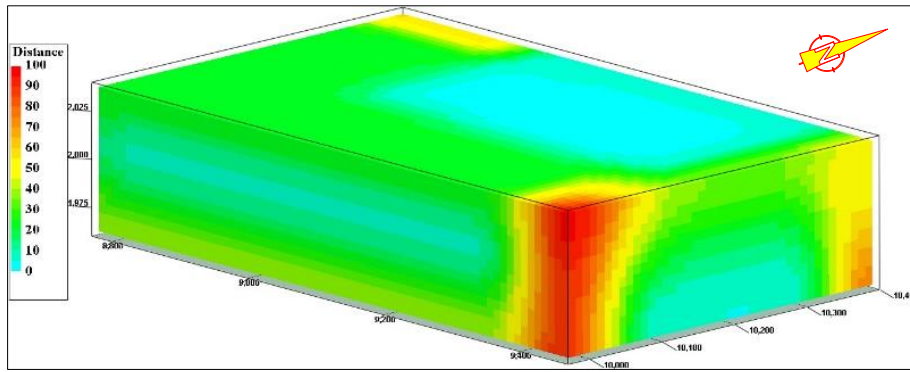
۴- بحث و نتایج

در ادامه میزان ارتباط و همبستگی میان گسل‌های موجود در کانسار سرب‌وروی عمارت و کانه‌زایی در منطقه، هم بصورت کیفی و هم بصورت کمی تعیین شده است.

در شکل ۹ مدل سه‌بعدی ایجادشده با استفاده از الگوریتم مدل‌سازی فاصله تا نقطه^۱ نشان داده شده است که در آن مقدار هر سلول براساس فاصله آن تا نزدیک‌ترین نقطه کنترل تعیین می‌شود. میزان هموارسازی داده‌ها هم در راستاهای افقی (شمالی- جنوبی و شرقی- غربی) و قائم بطور یکسان انتخاب شد. مطابق این شکل نیز در گوشه‌های محدوده کانسار بویژه گوشه‌های شمال شرقی و غربی و جنوب شرقی، گسل چندانی وجود ندارد. بیشترین پراکندگی حضور گسل هم در نیمه شمالی مایل به شرق محدوده است که نتایج مدل شکل ۷ را تایید می‌کند.

شکل ۱۰ نقشه طبقاتی هم‌عیار مجموع سرب‌وروی (برحسب درصد) ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۴-۱۹۶۸ متر کانسار سرب‌وروی عمارت را نشان می‌دهد. مطابق این شکل در بالاترین تراز ارتفاعی یعنی ۲۰۳۲ متر، عیار کانسار در نیمه شرقی و یک پهنه نواری شکل با راستای شمالی- جنوبی در

1- Distance to Point



شکل ۹: مدل جامد گسل‌های کانسار سرب‌وروی عمارت با استفاده از داده‌های رقمی نقشه‌های مبتنی بر شبکه ترازهای ارتفاعی مختلف به کمک الگوریتم نزدیک‌ترین فاصله.

ارتباط بوده و البته در بسیاری از بخش‌ها ماده معدنی را قدری جابجا کرده است.

۶- همبستگی کمی گسل‌ها و کانه‌زایی

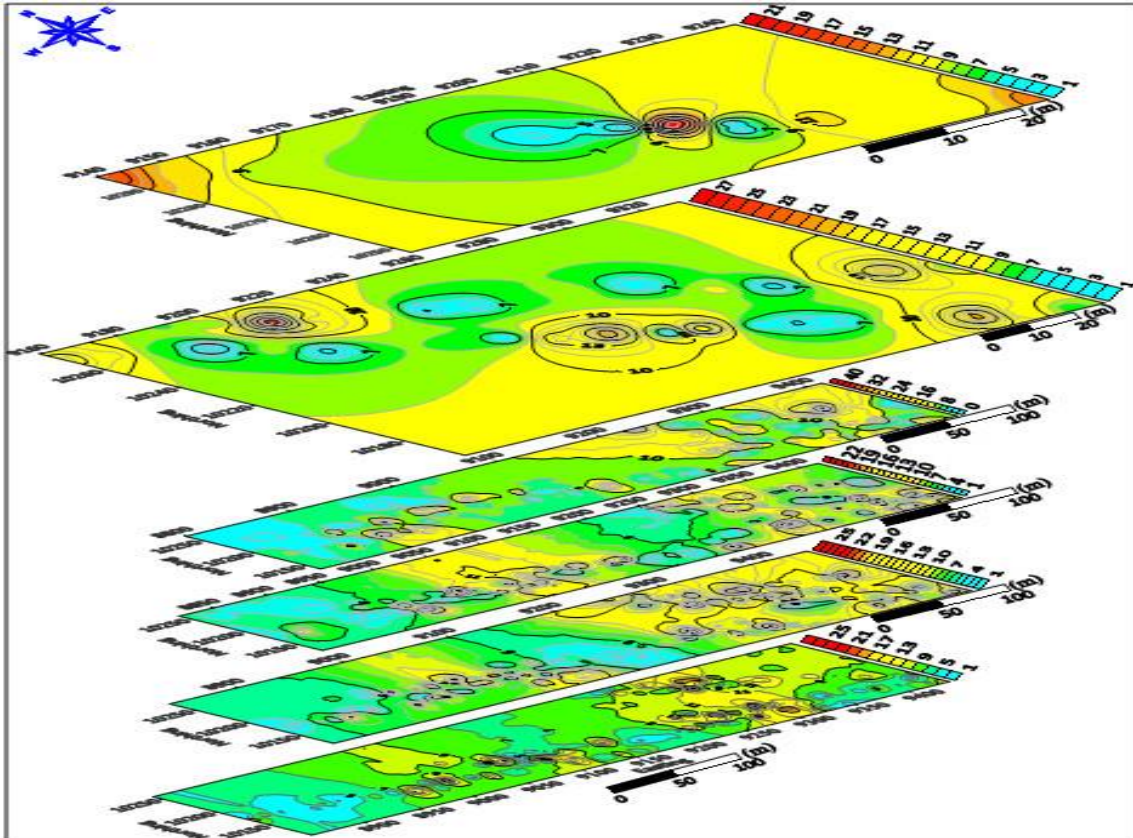
برای تعیین میزان همبستگی کمی بین گسل‌های موجود در کانسار و کانه‌زایی در منطقه، ابتدا داده‌های عیارسنجی مجموع سرب‌وروی (بر حسب درصد) و تعداد گسل‌های درون یک محدوده مشخص، هم‌اندازه و یکسان، بعد از شبکه‌بندی معین و برابر، با استفاده از الگوریتم عکس مجذور فاصله درون‌یابی شدند. این فرآیند، بسیار حساس بوده و نیاز به دقت بالایی دارد. مشخصات شبکه‌های درون‌یابی ایجادشده برای ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار، مطابق جدول ۲ می‌باشد. اندازه شبکه برای هر تراز ارتفاعی متناسب با میزان سطح گستره آن تراز ارتفاعی، تعیین شده است. سپس با تولید تعداد زیادی داده درون‌یابی شده به کمک داده‌های اولیه، میزان ضریب همبستگی داده‌ها از نوع خطی پیرسون^۱ (Schober et al., 2018) تعیین شد. در جدول ۳ نیز میزان همبستگی کمی بین تعداد گسل‌ها با عیار ماده معدنی (مجموع سرب‌وروی) در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت آورده شده است. داده‌های این جدول نشان می‌دهند که میزان ضریب همبستگی بین تعداد گسل‌ها و عیار ماده معدنی در ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۸-۱۹۶۴ متر بطور متوسط (بدون در نظر گرفتن علامت ضریب همبستگی) برابر با ۰/۱۵۷ است که براساس واژه‌های توصیفی مربوط به میزان ضرایب همبستگی در جدول ۴، معادل همبستگی "بسیار کم" می‌باشد. مطابق داده‌های جدول ۳ بیشترین میزان ضریب همبستگی برابر

۵- همبستگی کیفی گسل‌ها و کانه‌زایی

به‌منظور بررسی میزان ارتباط میان گسل‌های موجود در کانسار سرب‌وروی عمارت و کانه‌زایی در منطقه بصورت کیفی، نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌ها (شکل ۵) و نقشه‌های هم‌عیار مجموع سرب‌وروی کانسار (شکل ۱۰) برای هر تراز ارتفاعی بطور نظیره‌نظیر با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه شکل‌ها نشان می‌دهد که بطور کلی در ترازهای ارتفاعی مختلف، روند پیدایش و نهشته‌شدن ماده معدنی (کانه‌زایی) از روند تمرکز فراوانی خطوط گسلی تبعیت می‌کند، ولی در بخش‌هایی که تمرکز فراوانی خطوط گسلی بالاست، لزوماً میزان عیار ماده معدنی زیاد نیست؛ همچنین در بخش‌هایی که تمرکز فراوانی خطوط گسلی پایین است، میزان عیار ماده معدنی کم نیست. به عبارت دیگر بطور کیفی ارتباط مستقیمی بین حضور ماده معدنی و وجود گسل دیده می‌شود، ولی فراوانی تعداد گسل‌ها در هر منطقه در میزان عیار ماده معدنی آن منطقه تاثیر چندانی ندارد. البته این امر با رگه‌ای نبودن نوع کانسار سرب‌وروی عمارت همخوانی دارد؛ کما اینکه قبلاً استراتژی باندبودن نوع کانسار تایید شده است.

همچنین با توجه به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که بطور کلی تمرکز و انباشت ماده معدنی در نیمه شرقی محدوده کانسار، از نیمه غربی بیشتر است. شکل‌های ۴ تا ۹ نیز همگی نشان از فراوانی بیشتر تعداد گسل‌ها در نیمه شرقی محدوده دارند. این بدان معنی است که پیدایش ماده معدنی، با حضور و تعداد گسل‌ها در منطقه، ارتباط مستقیم دارد. یعنی این گسل‌ها در ترازهای ارتفاعی مختلف با کانه‌زایی ماده معدنی در

1- Pearson correlation coefficient



شکل ۱۰: نقشه طبقاتی هم‌عیار مجموع سرب‌وروی ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۴-۱۹۶۸ متر (به ترتیب از بالا به پایین) کانسار سرب‌وروی عمارت.

جدول ۲: مشخصات شبکه‌های درون‌یابی ایجادشده به‌منظور تعیین همبستگی در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت.

تعداد گره‌ها	اندازه شبکه (متر)	تراز ارتفاعی (متر)
۲۴۲	۵×۵	۲۰۳۲
۷۳۵	۵×۵	۲۰۲۴
۸۰۶	۱۰×۱۰	۱۹۹۸
۸۴۰	۱۰×۱۰	۱۹۸۸
۹۶۰	۱۰×۱۰	۱۹۷۸
۹۶۰	۱۰×۱۰	۱۹۶۴-۱۹۶۸

جدول ۳: میزان همبستگی خطی بین تعداد گسل‌ها با عیار ماده معدنی (مجموع سرب‌وروی) در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت.

میزان ضریب همبستگی	تراز ارتفاعی (متر)
۰/۰۲۳	۱۹۶۴-۱۹۶۸
۰/۲۲۸	۱۹۷۸
-۰/۰۶۳	۱۹۸۸
۰/۰۶۸	۱۹۹۸
۰/۱۵۷	۲۰۲۴
-۰/۰۴	۲۰۳۲

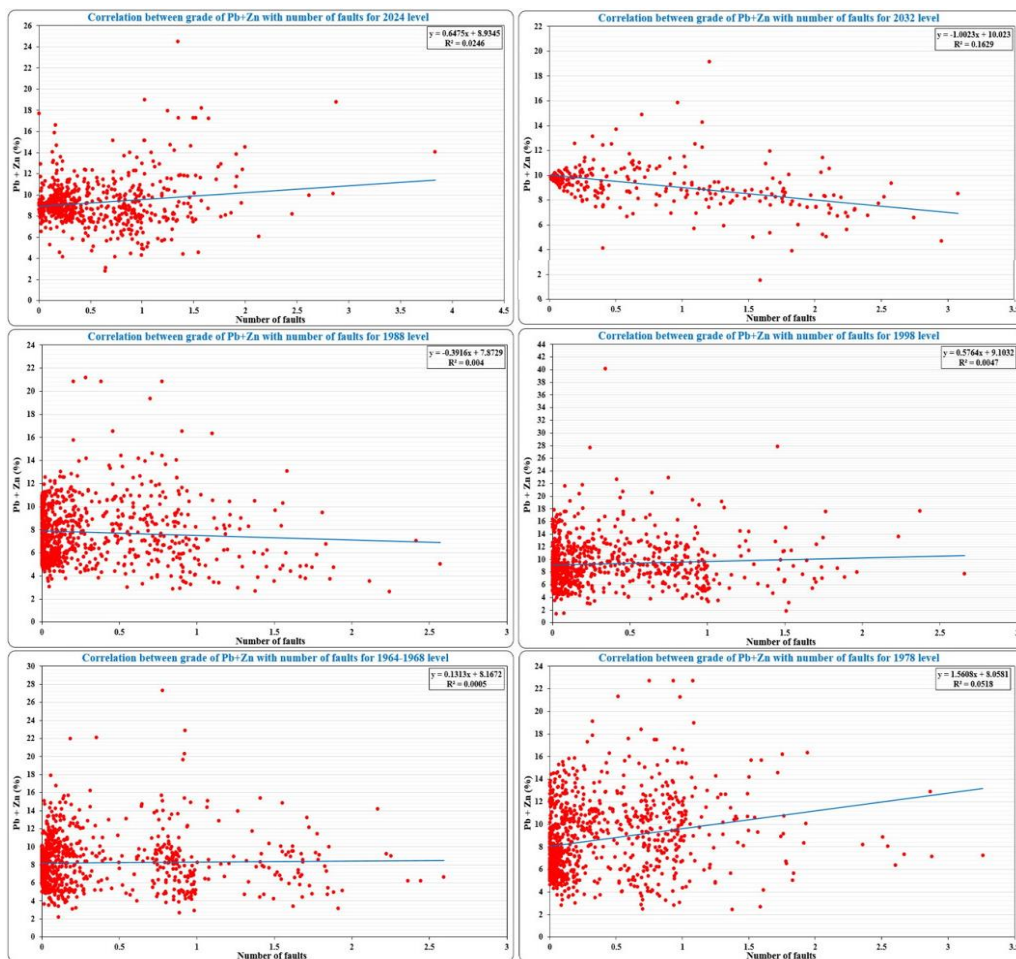
با ۰/۲۲۸ مربوط به تراز ارتفاعی ۱۹۷۸ متر و کمترین مقدار برابر با ۰/۰۴- مربوط به تراز ارتفاعی ۲۰۳۲ متر است. در واقع در تراز ارتفاعی ۲۰۳۲ متر ضریب همبستگی بین داده‌های تعداد گسل‌ها با عیار ماده معدنی نسبت به ترازهای ارتفاعی دیگر بطور وارونه، بیشینه است؛ یعنی در این تراز ارتفاعی نه تنها هیچ ارتباط مستقیمی بین تعداد گسل‌ها با عیار ماده معدنی وجود ندارد، بلکه تمرکز فراوانی خطوط گسلی با میزان عیار ماده معدنی رابطه وارون دارد. به عبارت دیگر با افزایش فراوانی خطوط گسلی، میزان عیار ماده معدنی کاهش می‌یابد. احتمالاً در این تراز ارتفاعی که در حال حاضر بالاترین تراز ارتفاعی منطقه است، گسل‌های سطحی ثانویه رخ داده‌اند که نه تنها هیچگونه کانه‌زایی پرعیاری درون آنها رخ نداده است، بلکه موجب جابجایی ماده معدنی از محل اصلی خود نیز شده‌اند. همچنین مقادیر عددی داده‌های ضریب همبستگی جدول ۳، نتایج مقایسه میزان همبستگی کیفی نقشه‌های دوبعدی مبتنی بر شبکه گسل‌ها و نقشه هم‌عیار مجموع سرب‌وروی ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت را تایید می‌کند.

جدول ۴: واژه توصیفی مربوط به میزان ضریب همبستگی بین دو متغیر (احمدی، ۱۳۷۹؛ Banks, 2014).

میزان همبستگی	۰-۰/۲	۰/۰-۲۱/۴	۰/۰-۴۱/۷	۰/۰-۷۱/۹	۰/۱-۹۱
واژه توصیفی	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد

داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، بسیار ضعیف است. با توجه به مقادیر ضریب تعیین در نمودارهای شکل ۱۱ و اطلاعات جدول ۴ مشاهده می‌شود که در تمام ترازهای ارتفاعی کانسار سرب‌وروی عمارت (بجز تراز ارتفاعی ۱۹۷۸ متر)، میزان همبستگی بین داده‌های تعداد گسل‌ها و عیارسنجی مجموع سرب‌وروی "بسیار ضعیف" و در تراز ارتفاعی ۱۹۷۸ متر "ضعیف" است. مقدار نسبتاً بالای ضریب تعیین در تراز ارتفاعی ۲۰۳۲ متر (برابر با ۰/۱۵۲۹) نسبت به سایر ترازهای ارتفاعی دیگر کانسار هم معرف میزان همبستگی "متوسط" است که البته با توجه به شکل هندسی و ضریب زاویه خط راست، بیانگر میزان همبستگی از نوع وارون بین داده‌های تعداد گسل‌ها و عیارسنجی مجموع سرب‌وروی است.

در شکل ۱۱ نیز نمودار پراکندگی داده‌های عیارسنجی مجموع سرب‌وروی در مقابل تعداد گسل‌های موجود برای ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۴-۱۹۶۸ متر کانسار سرب‌وروی عمارت (در محدوده‌های شبکه‌بندی شده یکسان) نشان داده شده است. در این نمودارها شکل هندسی و معادله خط راست مبین میزان همبستگی خطی بین داده‌ها نیز نمایش داده شده است. البته در گوشه بالا سمت راست این نمودارها بجای میزان ضریب همبستگی، مقدار ضریب تعیین که متداول‌تر است، آورده شده است. معیار ضریب تعیین نشان‌دهنده میزان انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (محاسباتی) است که بهترین حالت آن به‌ازای مقدار برابر با یک است و اگر صفر باشد، یعنی میزان همبستگی



شکل ۱۱: نمودار پراکندگی داده‌های عیار مجموع سرب‌وروی در مقابل تعداد گسل‌ها برای ترازهای ارتفاعی ۲۰۳۲، ۲۰۲۴، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸، ۱۹۷۸ و ۱۹۶۴-۱۹۶۸ متر کانسار سرب‌وروی عمارت.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تعیین ارتباط میان گسل‌های موجود در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار سرب‌وروی عمارت اراک با کانه‌زایی در منطقه بطور کیفی و کمی، از الگوریتم‌های ریاضی کاربردی در علوم زمین با استفاده از یک سری فرآیندهای محاسباتی استفاده شد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بطور کلی در ترازهای ارتفاعی مختلف، روند پیدایش و نهشتگی ماده معدنی از روند تمرکز فراوانی خطوط گسلی تبعیت می‌کند، ولی در بخش‌هایی که تمرکز فراوانی خطوط گسلی بالاست، لزوماً میزان عیار ماده معدنی زیاد نیست؛ همچنین در بخش‌هایی که تمرکز فراوانی خطوط گسلی پایین است، میزان عیار ماده معدنی کم نیست. به عبارت دیگر بطور کیفی ارتباط مستقیمی بین حضور ماده معدنی و وجود گسل دیده می‌شود، ولی فراوانی تعداد گسل‌ها در هر منطقه در میزان عیار ماده معدنی آن منطقه تاثیر چندانی ندارد. بطور کلی تمرکز و انباشت ماده معدنی در نیمه شرقی محدوده کانسار، از نیمه غربی بیشتر است؛ فراوانی تعداد گسل‌ها نیز در نیمه شرقی محدوده بیشتر است. این بدان معنی است که پیدایش ماده معدنی، با حضور و تعداد گسل‌ها در منطقه، ارتباط مستقیم دارد. همچنین میزان ضریب همبستگی خطی بین تعداد گسل‌ها و عیار ماده معدنی در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار بطور متوسط برابر با ۰/۱۵۷ است که براساس واژه‌های توصیفی، معادل همبستگی "بسیار کم" می‌باشد. در واقع نتایج بررسی میزان همبستگی کمی در ترازهای ارتفاعی مختلف کانسار، نتایج بررسی همبستگی کیفی را تایید می‌کند. براساس نتایج پژوهش حاضر به دلیل فراوانی تعداد گسل‌ها در کانسار سرب‌وروی عمارت و تمرکز عمده ماده معدنی درون گسل‌ها در این کانسار، پیشنهاد می‌شود هنگام عملیات استخراج در مواردی که رگه یا لایه معدنی گم شود (که اغلب در اثر گسل خوردگی منطقه این اتفاق می‌افتد)، به منظور ردیابی رگه یا لایه گم شده ابتدا موقعیت گسل‌های واقع در نزدیکی دیواره‌های تونل تعیین شود، سپس چال‌های اکتشافی افقی ردیاب در گسل‌های اطراف دیواره تونل حفر شود. این کار منجر به دستیابی به نتیجه مطلوب در مدت زمان کوتاه خواهد شد. نتایج این پژوهش برای

کلیه کاربران علوم زمین در زمینه اکتشاف و استخراج مواد معدنی (شامل مهندسی معدن، زمین‌شناسان، معدن‌کاران و معدن‌داران) بویژه آن دسته از مواد معدنی فلزی که در اعماق زیاد و در محیط‌های زمین‌شناسی فعال از نظر تکنیکی شکل گرفته‌اند، قابل استفاده خواهد بود.

منابع

احمدی، ر.، ۱۳۷۹. ارزیابی کانسار تپه سرخ با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی به روش همبستگی زمین‌آماري داده‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

شهاب‌پور، ج.، ۱۳۹۴. زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۸ صفحه.

علیرضایی، س.، ۱۳۹۵. زمین‌شناسی کانسارها، موسسه انتشارات امیرکبیر، ۹۸۴ صفحه.

فرجی، ک.، ۱۳۸۸. طرح استخراج کانسار سرب و روی عمارت: گزارش ارائه شده توسط شرکت صنعتی و معدنی شاهین، ۳۰ ص.

کریم‌پور، م.ح.، سعادت، س.، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی: ویرایش جدید (با اصلاحات و اضافات)، ارسلان: انتشارات مشهد، ۵۳۶ صفحه.

کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۳. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه یزد، ۳۸۰ صفحه.

گوهری انارکی، م.، تدین، م.، ندیمی، ع.، کتال، ر.، ۱۴۰۰. تکامل ساختاری پس از ائوسن محدوده معدنی قله کفتران و بررسی ارتباط بین ساختارها و کانه‌زایی سرب-روی و مس، شمال گسل تروود، فصلنامه زمین‌ساخت، سال پنجم، شماره ۲۰، ۷۷-۹۵.

ملاک‌پور، ح.، ۱۳۸۸. گزارش عملیات اکتشافی معدن عمارت، شرکت صنعتی و معدنی شاهین.

نجف‌زاده، ع.، خلیلی مبرهن، ش.، احمدیان، ج.، ۱۳۹۰. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۴۲۸ صفحه.

یعقوب‌پور، م.ع.، ۱۳۹۰. مبانی زمین‌شناسی اقتصادی، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۷۶ صفحه.

Adi Gunawan, M., Roni Cahya, S. and Heri, S., 2019. Fracture Analysis of Uranium-Bearing Rock in Eko-Remaja Exploration Tunnel at Depth 50-200 Meters, Kalan, West Kalimantan, Journal of Physics:

Conference Series 1363 012013 DOI 10.1088/1742-6596/1363/1/012013, 1-6.

Banks, J., 2014. Discrete-event system simulation, 5th edition, Pearson, 560 pages.

Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010. Emarat carbonate-hosted Zn–Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study, *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 186–194.

<http://www.rockware.com/Rockworks2022>

Lu, Y., Li, X., Liu, Y. and Leng, J., 2021. The Establishment of Ore-controlling Fracture System of Baoginshan Gold Mine Based on Fracture-Tectonic Analysis, *Mobile Information Systems*, <https://doi.org/10.1155/2021/5887680>, 1-9.

Rajabi, A., Rastad, E. and 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 (14), 1649-1672.

Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2013. Metallogeny of Permian–Triassic carbonate-hosted Zn–Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration, *Australian Journal of Earth Sciences*, 60 (2), 197-216.

Rastad, E., 1981. Geological, mineralogical, and ore facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn-Pb (Ba-Cu-) deposits of the Irankuh Mountain range, Esfahan, West Central Iran, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 334 page.

Schober, P., Boer, C. and Schwarte, L., 2018. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation *Anesthesia & Analgesia*, 126 (5), 1763-1768.

Tagwai, M.G., Jimoh, O.A., Ariffin, K.S. and Abdul Razak, M.F., 2021. Investigation based on quantified spatial relationships between gold deposits and ore genesis factors in northeast Malaysia, *Journal of Spatial Science*, 66 (2), 229-252.