



# فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۱

doi 10.22077/JT.2023.5758.1144

## ارتباط کانی سازی رگه‌ای با تکامل ساختاری در پهنه بُرشی گله‌چاه، شرق ایران

هادی علی نیا<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی خطیب<sup>۲</sup>، محمد حسین زرین کوب<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتر، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

### چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

محدوده گله‌چاه در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی آیسک و در بخش شمال غربی پهنه لوت و در یک پهنه بُرشی فرعی (پهنه بُرشی گله‌چاه) با راستای شمال غرب- جنوب شرق واقع شده است. با مطالعه تصاویر ماهواره‌ای همراه با برداشت‌های صحرایی و ترسیم نمودارهای گل سرخی، شکستگی‌های منطقه به ترتیب زمان رخداد در سه گروه قرار می‌گیرند. گسل‌های تقریباً شمالی- جنوبی به صورت امتدادلغز راستگرد با مؤلفه معکوس که توسط گسل‌های دیگر قطع شده‌اند. این گسل‌ها فاقد کانی سازی هستند. گسل‌های شمال غربی- جنوب شرقی به صورت امتدادلغز راستگرد با مؤلفه معکوس. این گسل‌های اصلی پهنه بُرشی (Y) و گسل‌های مزدوجی که زاویه کمتری با پهنه بُرشی دارند (P و R) مجراهایی برای بالا آمدن و نهشت کانه‌ها فراهم کرده‌اند. گسل‌های شمال شرقی- جنوب غربی به صورت امتدادلغز چپگرد با مؤلفه نرمال که دو دسته قبلی را قطع کرده‌اند. بررسی الگوهای تنش دیرین، حاکی از دو مرحله تکاملی در محدوده گله‌چاه است. در اولین مرحله، وارد شدن تنش در راستای شمال شرق- جنوب غرب باعث ایجاد پهنه بُرشی تقریباً شمالی- جنوبی با مرزهای گسلی امتدادلغز راستگرد با مؤلفه معکوس شده است. با تداوم فشارش، چین خوردگی‌هایی با روند محوری شمال غرب- جنوب شرق به وجود آمده‌اند. سپس در اثر یک تنش محلی در راستای شمال تا شمال غرب- جنوب تا جنوب شرق، پهنه بُرشی گله‌چاه با روند شمال غرب- جنوب شرق و با مرزهای گسلی امتدادلغز راستگرد با مؤلفه معکوس به وجود آمده است. با ادامه فعالیت پهنه بُرشی گله‌چاه، شکستگی‌های ریدل ناهمسو با روند شمال شرق- جنوب غرب باعث جابه‌جایی گسل‌های پیشین و رگه‌های کانی سازی شده‌اند.

**واژه های کلیدی:** پهنه لوت، پهنه بُرشی گله‌چاه، تکامل ساختاری، کانی سازی رگه‌ای، شکستگی‌های ریدل.

## The relationship between vein-style mineralization and structural evolution in Galleh Chah shear zone, eastern Iran

Hadi Alinia<sup>1\*</sup>, Mohammad Mahdi Khatib<sup>2</sup>, Mohammad Hossein Zarrinkoub<sup>3</sup>

1. PhD Candidate, Geology Department, University of Birjand, Birjand, Iran

2. Professor, Geology Department, University of Birjand, Birjand, Iran

3. Professor, Geology Department, University of Birjand, Birjand, Iran

### Abstract

Galleh Chah area is located in the 1:100000 geological map of Ayesk, in the northwestern part of the Lut zone, in a sub-shear zone (the Galehchah shear zone) along the northwest-southeast direction. By studying satellite images along with field observations and drawing rose diagrams, fractures in the region are placed in three groups in order of occurrence time. 1. Almost north-south faults that are dextral strike-slip with a reverse component that are cut by other faults. These faults lack mineralization. 2. Northwest-southeast faults as dextral strike-slip with reverse component. These main shear zone faults (Y) and conjugate faults that have a smaller angle with the shear zone (R and P) have provided conduits for the rise and deposition of ores. 3. The northeast-southwest faults are left-lateral with a normal component that cut off the previous two groups. The paleostress patterns indicates two evolutionary stages in the Galleh Chah region. In the first stage, the stress in the northeast-southwest direction has caused the creation of an almost north-south shear zone with dextral strike-slip faults with a reverse component. In this stage, folds with a northwest-southeast axial trend have been created. Then, as a result of a local stress in the direction of north to northwest-south to southeast, Galleh Chah shear zone with northwest-southeast trend and with dextral strike-slip faults with reverse component has been formed. With the continued activity of Galleh Chah shear zone, antithetic Riedel fractures with the northeast-southwest trend have caused the displacement of previous faults and mineralization veins.

**Key Words:** Lut Block, Galleh Chah Shear Zone, Structural Evolution, Vein-Style Mineralization, Riedel Fractures

---

\*Email: alini\_hadi@yahoo.com

Tel: +989159166612



## ۱. مقدمه

این پهنه‌های بُرشی فرعی راستگرد در درون پهنه لوت به‌شمار می‌رود که کانی‌سازی سرب و روی در امتداد برخی از گسل‌های آن رخ داده است. مهرابی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای با هدف زمین‌شناسی اقتصادی در سه محدوده گله‌چاه، شوراب و چوپان، گسل‌ها و درز و شکاف‌ها را کنترل‌کننده اصلی کانی‌سازی می‌دانند. نخبه‌اللقهای و همکاران (۱۳۸۸) زمین‌شناسی اقتصادی منطقه چوپان در ۶۸ کیلومتری جنوب غرب فردوس را بررسی کرده و کانی‌سازی آنتیموان آن را از نوع اپی‌ترمال کم‌سولفید می‌دانند. رحیمی (۱۳۸۳) در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، کانی‌سازی آنتیموان شوراب در جنوب غرب فردوس را بررسی کرده و کانی‌سازی رگه-رگچه‌ای آن را مرتبط با شکستگی‌های شرقی-غربی می‌دانند.

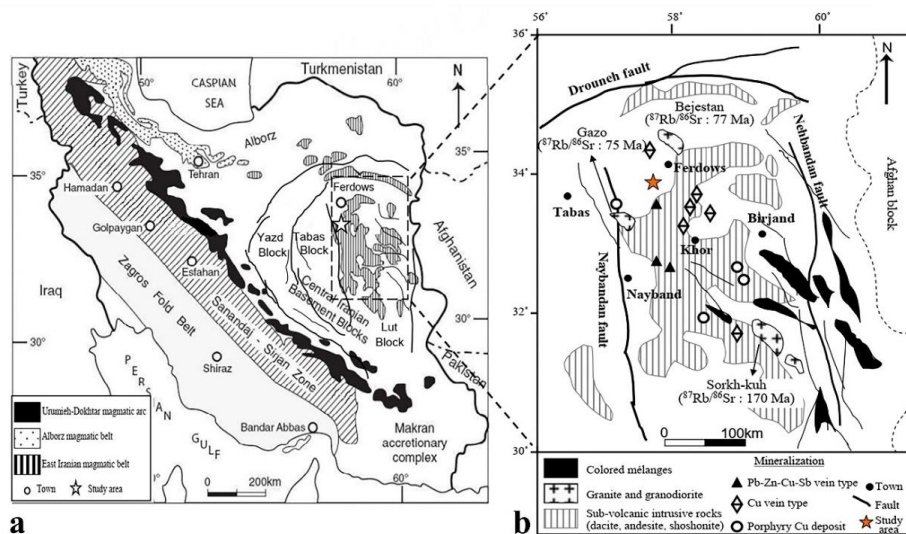
در این پژوهش پس از بارزسازی ساختارهای شکنا به کمک تصویرهای ماهواره‌ای و برداشت‌های صحرایی، با استفاده از نرم‌افزار wintensor تغییرات الگوی تنش در گستره مورد مطالعه بررسی می‌شود تا نقش شکستگی‌ها در جایگیری و نهشت مواد معدنی محرز گردد.

## ۲. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده معدنی گله‌چاه در حدود ۱۳۵ کیلومتری شمال غرب بیرجند و ۴۷ کیلومتری جنوب غرب سرایان، در استان خراسان جنوبی، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰' تا ۳۳° شمالی و بین طول‌های جغرافیایی ۵۸° تا ۳۰' ۵۸° شرقی، از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای در برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه و ۱:۱۰۰۰۰۰ آیسک قرار گرفته است (شکل ۱). مجموعه ماگمایی شرق ایران که محدوده معدنی پلی‌متال مورد مطالعه در آن واقع شده است، شامل مجموعه سنگ‌های آندزیت، داسیت، ریولیت، توف و ایگنمبریت است که در برخی نقاط سنگ‌های نیمه‌نفوذی اسیدی-حدواسط به درون آن‌ها نفوذ کرده‌اند. براساس مطالعات انجام شده در گستره مورد مطالعه، به‌طور کلی دو واحد سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنگ‌های آتشفشانی-نیمه‌عمیق کالک‌آلکالین به سن ترشیری در منطقه دیده می‌شود. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه شامل تناوب شیل، سیلتستون، مارن و ماسه‌سنگ‌های کرم‌رنگ ژوراسیک سازند شمشک است که در

ساختارهای زمین‌شناسی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی، به‌ویژه در کانسارهای گرمابی، نقش دارند (انصاری جعفری و همکاران، ۱۳۹۴؛ غلام‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ Wil-Mohebi et al, 2015؛ son et al, 2018؛ Blen-Chauvet, 2019؛ Sun et al, 2018؛ kinsop et al, 2020). از میان ساختارهای زمین‌شناسی، ساختارهای شکنا نقش مهم‌تری در تشکیل کانسارها دارند (سخدری و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Rajabi et. al, 2022؛ Lopes et. al, 2018). یکی از متداول‌ترین الگوهای دگرشکلی ناهمگن، تمرکز دگرشکلی در پهنه‌های صفحه‌ای است که با حرکت پهنه‌های نسبتاً سخت سنگ دیواره همراه است. دگرشکلی در این پهنه‌های دارای کرنش زیاد، معمولاً یک مؤلفه چرخشی دارد که بازتابی از جابه‌جایی قطعات سنگ دیواره نسبت به یکدیگر است. این پهنه‌های دارای کرنش زیاد، «پهنه‌های بُرشی» نامیده می‌شوند (Passchier and Trouw, 2005). دگرشکلی در یک پهنه بُرشی باعث ایجاد فابریک‌ها و مجموعه کانی‌های شاخصی می‌شود که بیانگر شرایط فشار-دما، نوع جریان، نوع حرکت و سرگذشت دگرشکلی در پهنه بُرشی است. حضور پهنه‌های بُرشی، فضا‌های مناسبی برای ته‌نشست مواد معدنی ایجاد می‌کند (Fa-Haddad-Martim et. al., 2018؛ brecio-Silva et al., 2018؛ Kavyani-Sadr et al., 2022).

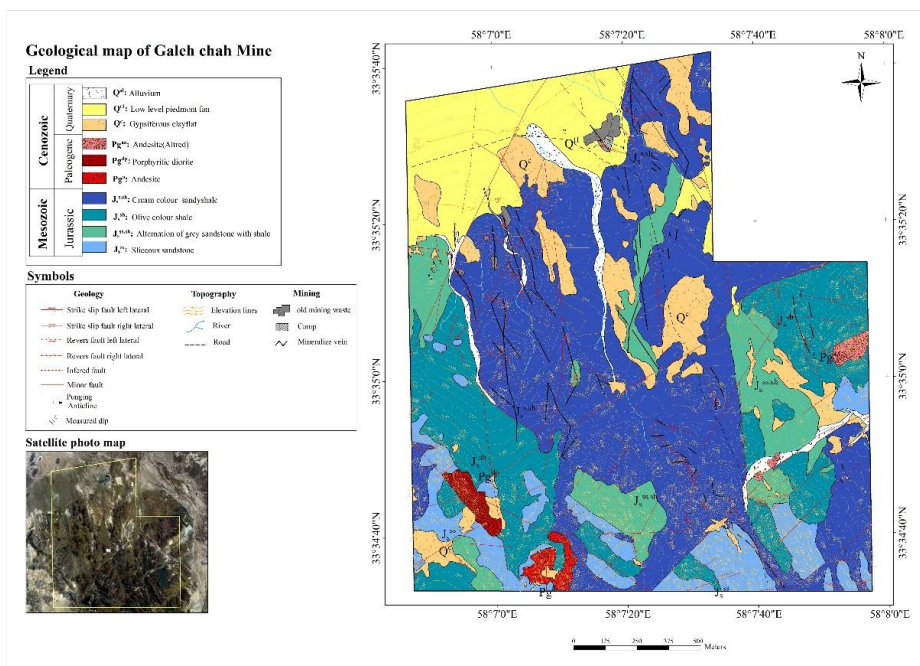
یکی از مناطق دارای پهنه‌های بُرشی متعدد، منطقه واقع در بین دو سیستم گسلی امتدادلغز، گسل نهبندان در شرق پهنه لوت و گسل نایبند در غرب پهنه لوت است. به‌نظر می‌رسد وجود این پهنه‌های بُرشی باعث شده است که ذخایر معدنی فلزی و غیر فلزی در گستره لوت اکثراً دارای ساختار رگه‌ای باشند (خطیب، ۱۳۷۷). عملکرد پهنه‌های بُرشی واقع در بین گسل نهبندان و نایبند، به صورت ساختارهای مختلف (از جمله شکستگی‌های ریدل) نمایان شده است و کانی‌سازی‌های متعددی در ارتباط با این پهنه‌های بُرشی تشکیل شده‌اند. برای مثال، در پهنه‌های بُرشی وابسته به پهنه گسلی نهبندان، ذخایر معدنی فراوانی بر جای گذاشته شده است که از هندسه گسل تبعیت می‌کنند (خطیب، ۱۳۷۷). پهنه بُرشی گله‌چاه یکی از



شکل ۱. (a) موقعیت منطقه معدنی گله‌چاه در نقشه ساختمانی ایران (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۰). (b) پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی پلی‌متال رگه‌ای و پورفیری در کمربند ولکانوبولوتونیک ناحیه مرکزی (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۰).

سنوزوئیک حرکات کوهزایی منتسب به فاز پیرنه به همراه فعالیت‌های ماگمایی وسیع ائوسن-لیگوسن سبب تشکیل حجم عظیمی از سنگ‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی در منطقه شده است (Lotfi, 1982). این سنگ‌ها طی ائوسن بالایی-لیگوسن زیرین به درون واحدهای سنگی ژوراسیک-کرتاسه نفوذ و آن‌ها را قطع کرده‌اند.

سرتاسر منطقه گسترش وسیعی دارد و بخش اصلی معدن گله‌چاه در این واحد سنگ‌چینه‌ای قرار گرفته است (شکل ۲). بر روی این سازند، نهشته‌های آهکی سازند بغمشاه با ترکیب شیل مارنی تا ماسه ریزدانه با مرز مشخصی قرار گرفته است که در بخش‌های فوقانی به ماسه‌سنگ‌های آهکی تبدیل می‌شود. پس از رسوبگذاری سازندهای مذکور، طی



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی - معدنی گستره مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.



### ۳. روش مطالعه

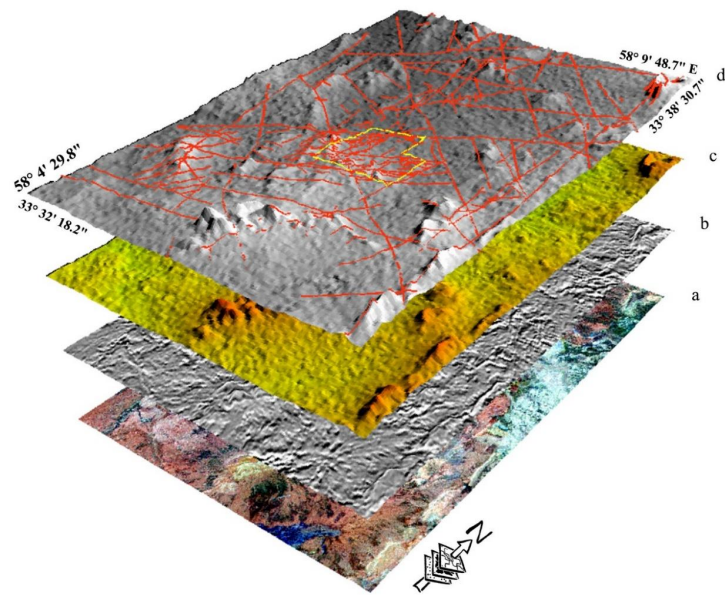
امروزه برای انجام مطالعات آماری شکستگی‌ها، تنها به یافته‌ها و برداشت‌های صحرایی اکتفا نمی‌شود و برای رسم نقشه پایه پراکنندگی شکستگی‌ها، از فنون دیگری از جمله سنجش از دور و پردازش داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌گردد (غلامزاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ Ahma-di and Pekkan, 2021). از این‌رو به منظور تهیه نقشه شکستگی‌ها، از داده‌های لندست ۷ با تفکیک مکانی ۱۴/۲۵ متر (داده تلفیقی با باند ۸) استفاده گردید و پس از پردازش مناسب، تعبیر و تفسیر بر روی آنها انجام شد. در مرحله بعد، برای بررسی دقیق کنترل‌کننده‌های ساختاری، منطقه مورد مطالعه در یک شبکه ۱۶ سلولی (اندازه هر سلول ۵۰۰ متر\*۵۰۰ متر، معادل با ۰/۲۵ کیلومترمربع) قرار داده شد و عوارض ساختاری هر شبکه برداشت گردید. از آنجا که سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر فرآیندهای زمین‌ساختی فعال، دگرسانی و عوامل فرسایش قرار گرفته‌اند، سازوکار حرکتی برخی از گسل‌ها با اطمینان قابل تشخیص و اندازه‌گیری نیست. به منظور تشخیص سازوکار حرکتی گسل‌ها از پارامترهایی مانند آثار لغزش روی سطح گسل، جابه‌جایی واحدها نسبت به یکدیگر و پردازش تصویرهای ماهواره‌ای بهره گرفته شد. پس از پایان عملیات صحرایی، نقشه ساختاری گسل‌ها به همراه رخنمون رگه‌های موجود در منطقه تهیه و دیاگرام گل سرخی شکستگی‌ها و رگه‌های کانی‌سازی ترسیم گردید. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار wintensor راسنای تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) برای هر شبکه ترسیم و الگوی تنش در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

### ۴. بحث و تحلیل

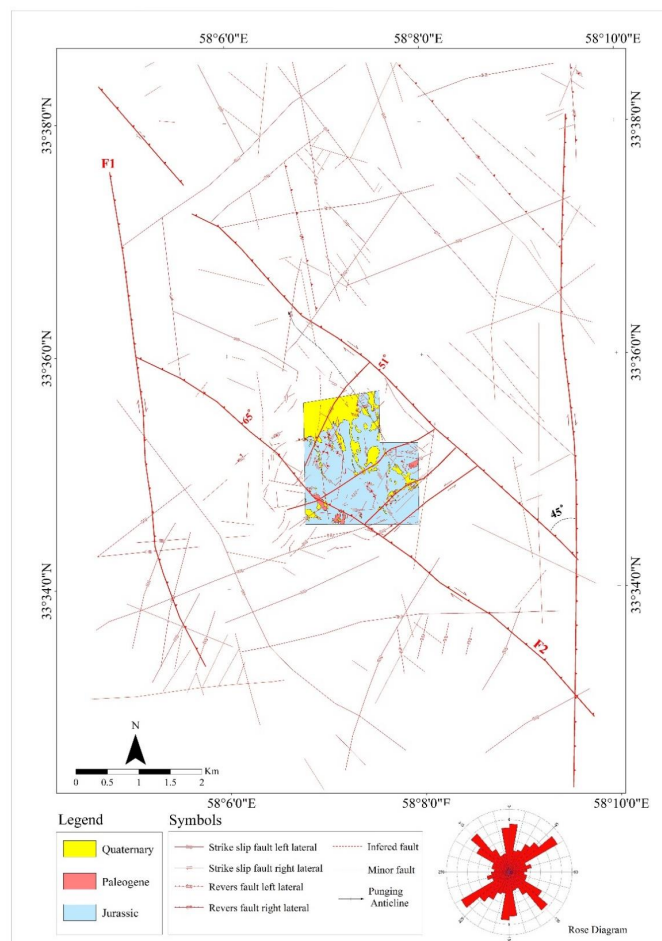
در پردازش داده‌های لندست، ابتدا تصاویری با رنگ کاذب از ترکیب باندهای ۷۴۲ که بهترین خروجی «ضریب شاخص بهینه» (OIF) را جهت تفکیک واحدها ارائه می‌دهد، ساخته شد و سپس با استفاده از فیلترهای بالاگذر عمل بارزسازی اولیه انجام گرفت (شکل ۳a). برای استخراج بهتر خطوط، فیلترهای جهت‌دار در جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه بر روی باند R تصویر رنگی کاذب اعمال شد (شکل ۳b). سپس با استفاده از توابع GIS، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) از نقشه‌های توپوگرافی منطقه تهیه و سپس با استفاده از نرم‌افزار

ER Mapper فیلتر تابش خورشید با جهات مختلف (با آزیموت ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه) و زوایای مختلف (۴۵ و ۹۰ درجه) اعمال شد (شکل ۳c). همه خروجی‌های به‌دست آمده به‌عنوان لایه‌های رستری ذخیره و در نهایت با استفاده از محیط Arc GIS فراخوانی و با استفاده از روش‌های بصری، خطوط رگه‌های گسلی موجود شناسایی شدند. در ادامه رقومی کردن شکستگی‌های استخراج شده انجام گرفت (شکل ۳d). سپس از طریق کنترل‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های صحرایی، گسل‌ها شناسایی و وجود دو پهنه برشی یکی با راستای تقریباً شمالی-جنوبی و دیگری با راستای شمال غرب-جنوب شرق (به نام پهنه گله‌چاه) محرز گردید (شکل ۴). علاوه بر این، همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، در پهنه برشی گله‌چاه شکستگی‌های فرعی با راستای شمال شرق-جنوب غرب قابل تشخیص هستند.

در نگاه کلی‌تر، ساختار محدوده مورد مطالعه را می‌توان متشکل از دو پهنه فشارشی-برشی راستگرد با آزیموت N02 و N330 دانست (شکل ۴). پهنه برشی بزرگ‌تر (F1) با راستای تقریبی شمالی-جنوبی به طول حدود ۸/۷ کیلومتر و عرض حدود ۶/۷ کیلومتر بوده است. فعالیت این پهنه برشی راستگرد موجب پیدایش فضاهای باز گردیده و نفوذ ماگماها و تشکیل توده‌های نیمه‌عمیق و آتشفشانی را تسهیل کرده است (اعتمادخواه و همکاران، ۱۳۹۸؛ Wein-berg et al., 2004). همچنین فعالیت این پهنه برشی موجب پیدایش پهنه‌های برشی فرعی شده است که یکی از آن‌ها پهنه برشی راستگرد گله‌چاه با راستای شمال غرب-جنوب شرق به طول حدود ۷ کیلومتر و عرض حدود ۱/۸ کیلومتر می‌باشد که با پهنه برشی بزرگ‌تر، زاویه‌ای در حدود ۴۵ درجه می‌سازد (شکل ۴). فعالیت پهنه برشی گله‌چاه سبب ایجاد شکستگی و بلوک‌های گسلی شده است که با ادامه فعالیت پهنه برشی، بلوک‌های گسلی دچار چرخش شده‌اند. در اثر این چرخش، فضاهای باز بیشتری برای نهشت محلول‌کانه‌دار در شکستگی‌ها ایجاد شده است. برای مثال می‌توان به کار پژوهشی کایوانی صدر و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد که از طریق مدل‌سازی آزمایشگاهی، اثر کنترل‌کننده‌های ساختاری در نهشت مواد معدنی



شکل ۳. ترکیب باندی ۷۴۲ تصویر ماهواره‌ای لندست به منظور تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و شکستگی‌ها. (b) تصویر ماهواره‌ای با فیلتر جهت دار. (c) مدل رقومی ارتفاعی با فیلتر جهت تابش خورشید. (d) نقشه خطواره‌های استخراج شده بر روی یکی از تصاویر فیلتر جهت دار که موقعیت محدوده معدنی گله‌چاه به رنگ زرد بر روی آن نمایش داده شده است.



شکل ۴. نقشه ساختاری گستره مورد مطالعه که وجود دو پهنه برشی راستگرد را نشان می‌دهد (پهنه برشی شمالی - جنوبی با نماد F1 و پهنه برشی گله‌چاه با نماد F2 نمایش داده شده است). علاوه بر این، گسل‌های فرعی در جهت شمال شرق - جنوب غرب، پهنه برشی گله‌چاه را قطع کرده و باعث جابه‌جایی رگه‌های کانی سازی شده‌اند.



منطقه چشمه خوی در شمال غرب بیرجند را بررسی کرده و چرخش پادساعتگرد بلوک‌های سنگی در عبور و کانی‌سازی محلول‌های کانه‌دار را مهم می‌دانند. مرز شرقی پهنه بُرشی گله‌چاه را گسل امتدادلغز راست‌بُر با مؤلفه شیبی معکوس با شیب میانگین ۵۱ درجه به سوی شمال شرق و مرز غربی آن را گسل امتدادلغز راست‌بُر با مؤلفه شیبی معکوس با شیب میانگین ۶۵ درجه به سوی شمال شرق تشکیل داده است (شکل ۴). براساس دیاگرام گل‌سرخ خطواره‌های منطقه (شکل ۶)، شکستگی‌های این پهنه را از نظر زمان رخداد می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: الف) گسل‌هایی که دارای روند تقریباً شمالی-جنوبی هستند (N02) و سازوکار آنها امتدادلغز راست‌بُر با مؤلفه معکوس می‌باشد. این شکستگی‌ها توسط گسل‌های جوانتر قطع شده و فاقد کانی‌سازی هستند. ب) گسل‌هایی که روند شمال غرب-جنوب شرق دارند (N330) و سازوکار آنها امتدادلغز راست‌بُر با مؤلفه معکوس است. این گسل‌ها بیشترین کانی‌سازی را به خود اختصاص داده‌اند. پ) گسل‌هایی که دارای روند شمال شرق-جنوب غرب بوده (N50) و دارای سازوکار امتدادلغز چپ‌بُر هستند.

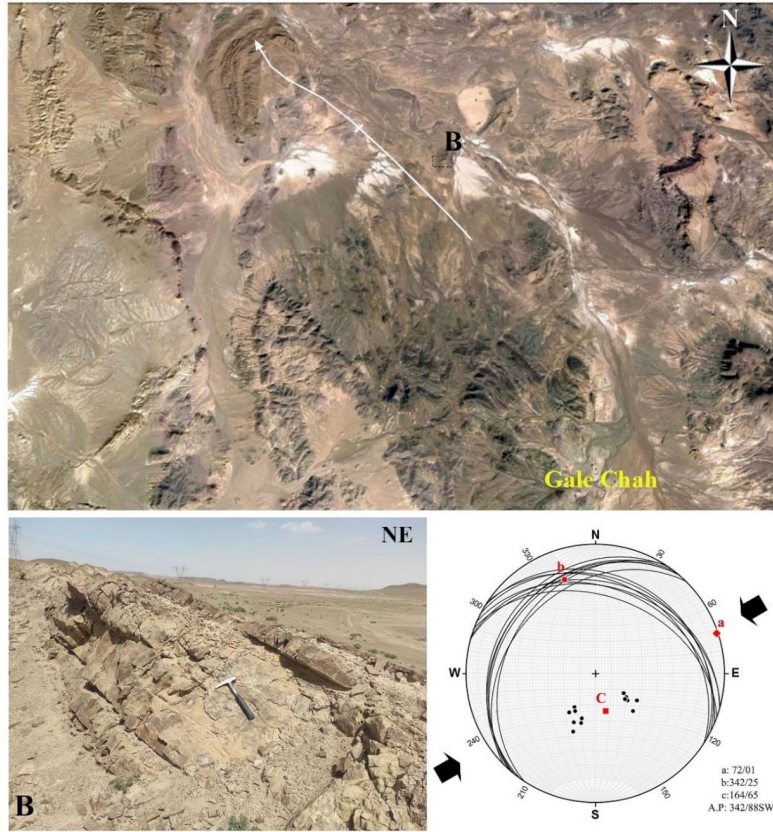
براساس روابط متقاطع بین گسل‌ها، در ابتدا گسل‌های دارای روند شمالی-جنوبی تشکیل شده‌اند زیرا توسط گسل‌های دیگر قطع شده‌اند. سپس در مرحله بعد گسل‌های دارای روند شمال غرب-جنوب شرق به وجود آمده و گسل‌های شمالی-جنوبی را قطع کرده‌اند. در نهایت گسل‌های دارای روند شمال شرق-جنوب غرب به وجود آمدند. این گسل‌ها دو دسته گسل‌های قبلی را قطع کرده و باعث جابه‌جایی رگه‌های کانی‌سازی و چین‌ها شده‌اند و فاقد کانی‌سازی هستند.

علاوه بر شکستگی‌های شناسایی شده در گستره مورد مطالعه، چین خوردگی کوچک‌مقیاس نیز در شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک دیده می‌شوند. مهمترین ساختمان چین‌خورده محدوده، تاقدیس گله‌چاه می‌باشد. این چین که نام آن از روستای گله‌چاه واقع در حدود ۲ کیلومتری جنوب شرقی آن گرفته شده است در طول جغرافیایی  $32^{\circ} 07' 58^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $22^{\circ} 35' 33^{\circ}$  قرار دارد. روند این تاقدیس شمال غرب-

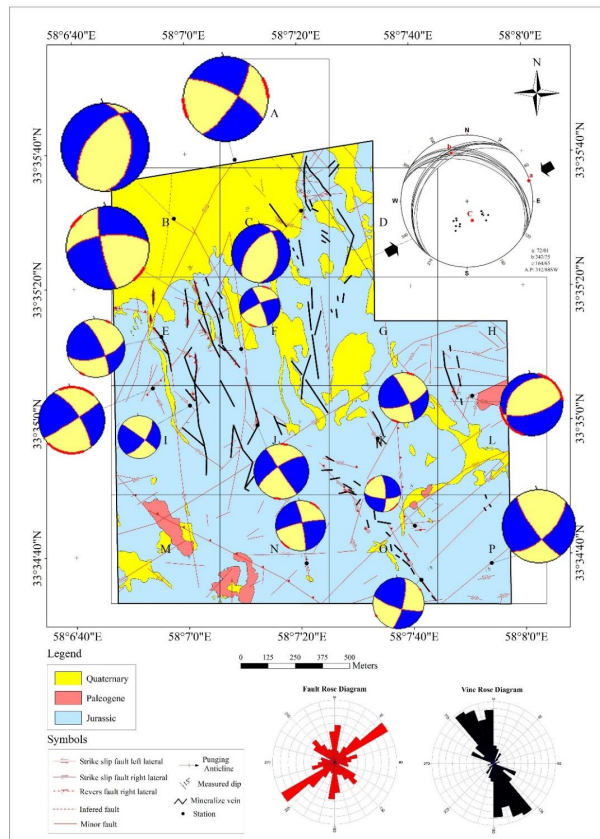
جنوب شرق بوده و در حدود ۲/۵۸ کیلومتر درازا دارد. شیب لایه‌های شیلی و ماسه‌سنگی در بخش شمالی ۳۰ تا ۴۰ درجه و در بخش جنوبی کمتر از ۳۰ درجه می‌باشد. با توجه به برداشت‌هایی که از یال‌های این چین صورت گرفته است، سطح محوری (A.P) آن به صورت تاقدیس و دارای مختصات N18W/88SW می‌باشد. موقعیت محور (b) در این چین N18W/25 و زاویه برداشت شده بین دو یال 73 درجه می‌باشد. این چین در تقسیم بندی فلوتی (Fossen, 2016) بر مبنای شیب سطح محوری از نوع «قائم»، براساس پلانچ محور چین از نوع «دارای میل ملایم» و بر اساس زاویه بین یال‌ها از نوع «چین باز» به شمار می‌رود (شکل ۵). در ادامه به منظور بررسی موقعیت دقیق کنترل‌کننده‌های ساختاری، منطقه مورد مطالعه در یک شبکه ۱۶ سلولی قرار داده شد و عوارض ساختاری هر شبکه برداشت و دیاگرام گل‌سرخ گسل‌ها و رگه‌های کانی‌سازی ترسیم گردید (جدول ۱، شکل ۶).

ماده معدنی به صورت رگه‌هایی با امتداد کلی شمال غرب-جنوب شرق و عمدتاً به موازات هم در محدوده معدنی گله‌چاه پراکنده شده است (جدول ۲). ضخامت رگه‌های کانه‌دار در این گستره از حدود ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. پراکندگی محصولات گوسان مربوط به این رگه‌های کانه‌دار باعث شده است تا منطقه معدنی از قطعات سیاه رنگ سیلیس لیمونیتی واکسی شده پوشیده گردد. بررسی انجام شده نشان می‌دهد که این منطقه معدنی توسط شیل و ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا سیاه رنگ میزبانی می‌شود. نهشت مواد معدنی در این منطقه به صورت رگه‌ای و از نوع ذخایر هیدروترمال می‌باشد (زرین کوب، ۱۳۸۲). کانه‌سازی به‌طور مشخص در شکستگی‌ها و گسل‌ها انجام شده است و این ساختارها یکی از مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی این منطقه معدنی به‌شمار می‌روند (شکل ۷).

مطالعه، چین خوردگی کوچک‌مقیاس نیز در شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک دیده می‌شوند. مهمترین ساختمان چین‌خورده محدوده، تاقدیس گله‌چاه می‌باشد. این چین که نام آن از روستای گله‌چاه واقع در حدود ۲ کیلومتری جنوب شرقی آن گرفته شده است در طول جغرافیایی  $32^{\circ} 07' 58^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $22^{\circ} 35' 33^{\circ}$  قرار دارد. روند این تاقدیس شمال غرب-



شکل ۵. نمایی از تاق‌دیس گله‌چاه همراه با تصویر سیکلوگراف آن. این چین از نوع مایل به راستای میل شمال غرب است.



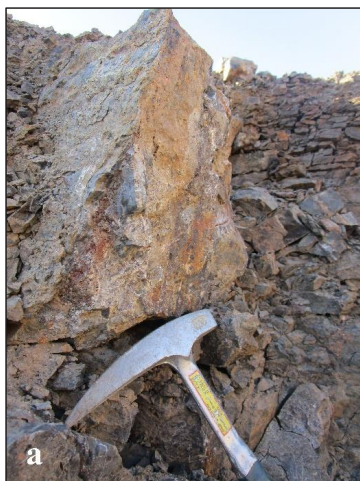
شکل ۶. نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت گسل‌ها (رنگ قرمز) و رگه‌ها (رنگ سیاه) و سیکلوگراف آنها در ایستگاه‌های برداشت شده.





جدول ۱. مشخصات گسل‌های برداشت در تعدادی از ایستگاه‌ها در منطقه معدنی گله‌چاه.

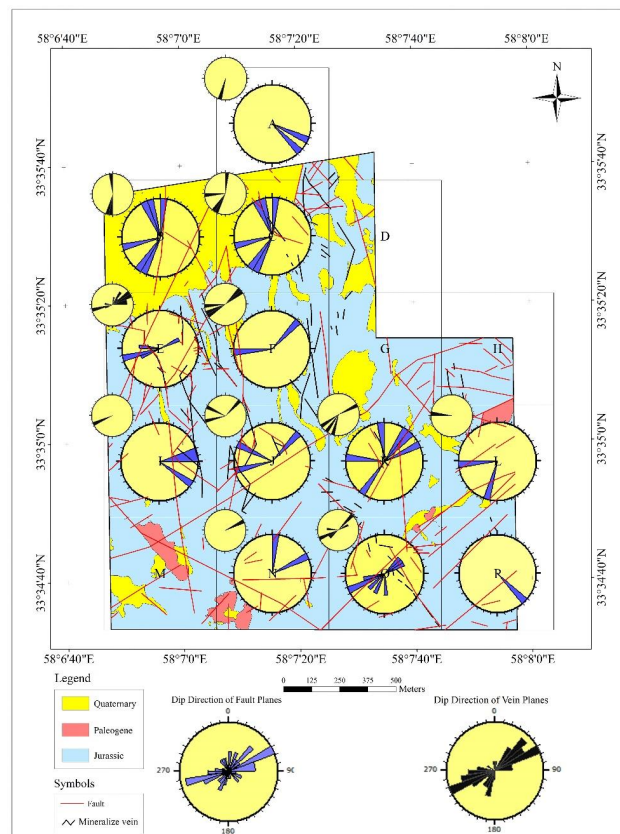
| شماره ایستگاه | X      | Y       | امتداد | شیب | پیچ | توصیف  | سلول |
|---------------|--------|---------|--------|-----|-----|--|------|
| S11           | 607628 | 3722852 | 330    | 79  | 52  | گسل نرمال با مؤلفه امتدادی چپ لغز              |      |
| S13           | 607640 | 3722859 | 225    | 60  | 38  | گسل معکوس با مؤلفه امتدادی راست گرد            |      |
| S15           | 605916 | 3721598 | 110    | 66  | 77  | گسل نرمال با مؤلفه امتدادی چپ لغز              |      |
| S18           | 605975 | 3721521 | 82     | 86  | 10  | گسل معکوس با مؤلفه امتدادی راست لغز            |      |
| S19           | 605972 | 3721539 | 240    | 60  | 158 | گسل امتداد لغز راست گرد با مؤلفه شیبی معکوس    |      |
| S121          | 605950 | 3721620 | 185    | 61  |     | شیب و امتداد گسل - خش لغز مشاهده نگردید        |      |
| S124          | 605085 | 3715216 | 205    | 36  | 42  | گسل امتدادلغز راست لغز با مؤلفه شیبی معکوس     |      |
| S127          | 604726 | 3715750 | 50     | 78  | 145 | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی نرمال     | O    |
| S134          | 604880 | 3715767 | 105    | 85  |     | شیب و امتداد گسل - خش لغز مشاهده نگردید        | P    |
| S136          | 604987 | 3715806 | 350    | 72  |     | شیب و امتداد گسل - خش لغز مشاهده نگردید        | P    |
| S143          | 604824 | 3715721 | 140    | 64  | 15  | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی نرمال       | P    |
| S150          | 604391 | 3715963 | 45     | 36  |     | شیب و امتداد گسل - خش لغز مشاهده نگردید        | O    |
| S151          | 604386 | 3715963 | 70     | 35  | 12  | گسل معکوس با مؤلفه امتدادی لغز راست گرد        | O    |
| S153          | 604232 | 3715918 | 0      | 60  | 40  | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی نرمال       | N    |
| S154          | 604170 | 3715874 | 65     | 71  | 27  | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی معکوس     | N    |
| S165          | 604553 | 3715593 | 340    | 71  | 142 | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی معکوس       |      |
| S21           | 604640 | 3715658 | 255    | 59  | 165 | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی گسل نرمال |      |
| S22           | 604640 | 3715658 | 170    | 47  | 134 | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی معکوس       |      |
| S25           | 604630 | 3715872 | 225    | 61  | 42  | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی نرمال       | O    |
| S27           | 604552 | 3716042 | 80     | 51  |     | گسل در امتداد واحد ماسه سنگ سیلیسی شده         | O    |
| S28           | 604446 | 3716028 | 255    | 74  | 172 | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی نرمال     | O    |
| S210          | 604405 | 3716115 | 245    | 74  | 140 | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی معکوس       | O    |
| S211          | 604380 | 3716163 | 250    | 69  | 8   | گسل امتدادلغز راست گردی با مؤلفه شیبی معکوس    | O    |
| S212          | 604354 | 3716204 | 355    | 79  | 165 | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی معکوس       | K    |
| S213          | 604354 | 3716196 | 275    | 74  | 170 | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی معکوس     | K    |
| S214          | 604327 | 3716232 | 25     | 69  | 169 | گسل امتدادلغز چپ گرد با مؤلفه شیبی معکوس       | K    |
| S218          | 604256 | 3716349 | 51     | 79  | 166 | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی نرمال     | J    |
| S219          | 604371 | 3716318 | 70     | 70  | 22  | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی معکوس     | K    |
| S220          | 604492 | 3716446 | 235    | 45  |     | شیب و امتداد گسل - خش لغز مشاهده نگردید        | K    |
| S221          | 604492 | 3716427 | 220    | 44  | 57  | گسل معکوس با مؤلفه امتدادی راست گرد            | K    |
| S223          | 604611 | 3716301 | 35     | 49  | 38  | گسل امتدادلغز راست گرد با مؤلفه شیبی معکوس     | K    |



شکل ۷. (a) نمایی نزدیک از رگه کانی‌سازی سرب و روی در منطقه معدنی گله‌چاه. (b) نمایی از ساختار رگه‌ها در یک نمونه دستی به شکل رگه‌های متقاطع و استوک ورت.

جدول ۲. مشخصات رگه‌های کانی‌سازی برداشت شده در ایستگاه‌های مختلف در منطقه معدنی گله‌چاه.

| شماره ایستگاه | X      | Y       | امتداد | شیب | سلول | شماره ایستگاه | X      | Y       | امتداد | شیب | سلول |
|---------------|--------|---------|--------|-----|------|---------------|--------|---------|--------|-----|------|
| S123          | 605119 | 3715215 | 205    | 74  | E    | S341          | 603682 | 3717064 | 255    | 46  | E    |
| S124          | 605085 | 3715216 | 205    | 36  | E    | S342          | 603684 | 3717054 | 255    | 66  | E    |
| S126          | 604745 | 3715725 | 235    | 76  | K    | S42           | 604464 | 3716650 | 270    | 86  | K    |
| S127          | 604726 | 3715750 | 50     | 78  | L    | S45           | 604846 | 3716650 | 270    | 60  | L    |
| S128          | 604694 | 3715791 | 71     | 72  | E    | S410          | 603605 | 3717061 | 275    | 67  | E    |
| S146          | 604558 | 3715990 | 50     | 71  | E    | S411          | 603620 | 3716995 | 70     | 64  | E    |
| S148          | 604406 | 3716016 | 275    | 65  | E    | S413          | 603620 | 3716961 | 35     | 54  | E    |
| S154          | 604170 | 3715874 | 65     | 71  | E    | S414          | 603634 | 3716864 | 35     | 55  | E    |
| S25           | 604630 | 3715872 | 225    | 61  | E    | S415          | 603648 | 3716817 | 15     | 49  | E    |
| S29           | 604430 | 3716014 | 45     | 54  | E    | S416          | 603660 | 3716808 | 75     | 61  | E    |
| S210          | 604405 | 3716115 | 245    | 74  | E    | S417          | 603660 | 3716805 | 255    | 60  | E    |
| S211          | 604380 | 3716163 | 250    | 69  | I    | S420          | 603646 | 3716631 | 250    | 81  | I    |
| S215          | 604280 | 3716265 | 200    | 80  | I    | S421          | 603664 | 3716547 | 245    | 64  | I    |
| S218          | 604256 | 3716349 | 51     | 79  | J    | S425          | 603941 | 3716535 | 260    | 57  | J    |
| S219          | 604371 | 3716318 | 70     | 70  | J    | S426          | 603938 | 3716520 | 295    | 51  | J    |
| S221          | 604492 | 3716427 | 220    | 44  | F    | S427          | 603903 | 3716688 | 50     | 74  | F    |
| S311          | 604110 | 3717777 | 200    | 74  | F    | S428          | 603898 | 3716702 | 55     | 66  | F    |
| S319          | 604145 | 3717463 | 220    | 89  | F    | S430          | 603823 | 3716750 | 245    | 82  | F    |
| S321          | 604051 | 3717436 | 5      | 72  | F    | S431          | 603812 | 3716835 | 265    | 75  | F    |
| S322          | 604041 | 3717449 | 150    | 81  | E    | S433          | 603691 | 3716954 | 65     | 63  | E    |
| S322          | 604041 | 3717449 | 210    | 71  | E    | S435          | 603677 | 3716991 | 65     | 59  | E    |
| S323          | 604023 | 3717484 | 265    | 75  | E    | S436          | 603464 | 3717086 | 90     | 59  | E    |
| S325          | 603559 | 3717448 | 190    | 80  | E    | S439          | 603451 | 3717008 | 90     | 72  | E    |
| S325/1        | 603558 | 3717449 | 200    | 66  | E    | S443          | 603484 | 3716929 | 60     | 71  | E    |
| S336          | 603639 | 3717228 | 355    | 61  | E    | S444          | 603494 | 3716915 | 55     | 71  | E    |
| S337          | 603668 | 3717113 | 55     | 61  | E    | S447          | 603522 | 3716862 | 265    | 80  | E    |
| S340          | 603673 | 3717102 | 45     | 50  | E    |               |        |         |        |     |      |

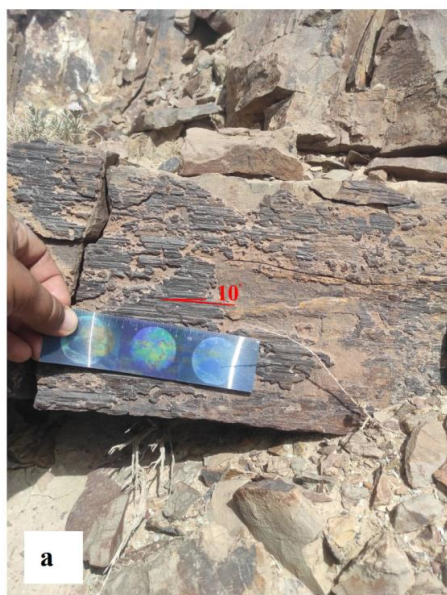


شکل ۸. جایگاه هندسی گسل‌ها و رگه‌ها و شیب سطح آنها بر روی نقشه ساختمانی گستره مورد مطالعه.

تنش در یک منطقه، استفاده از سطوح محوری چین‌ها است (رضاییک و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین موقعیت محورهای اصلی تنش به دست آمده از سطح محوری تاقدیس گله‌چاه،  $\sigma_1=72/01$ ،  $\sigma_2=342/25$  و  $\sigma_3=164/65$  می‌باشد.

دومین مرحله تنش در جهت شمال غرب- جنوب شرق با موقعیت محورهای اصلی تنش  $\sigma_1=156/17$ ،  $\sigma_2=10/70$  و  $\sigma_3=249/11$  می‌باشد که باعث ایجاد پهنه بُرشی راستگرد گله‌چاه (F2) با راستای شمال غرب- جنوب شرق و شکستگی‌های همراه آن گردیده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). مقدار ضریب برشی محاسبه شده برای پهنه بُرشی گله‌چاه نسبت به محور  $\sigma_1$ ،  $0/16$  اندازه‌گیری شده است.

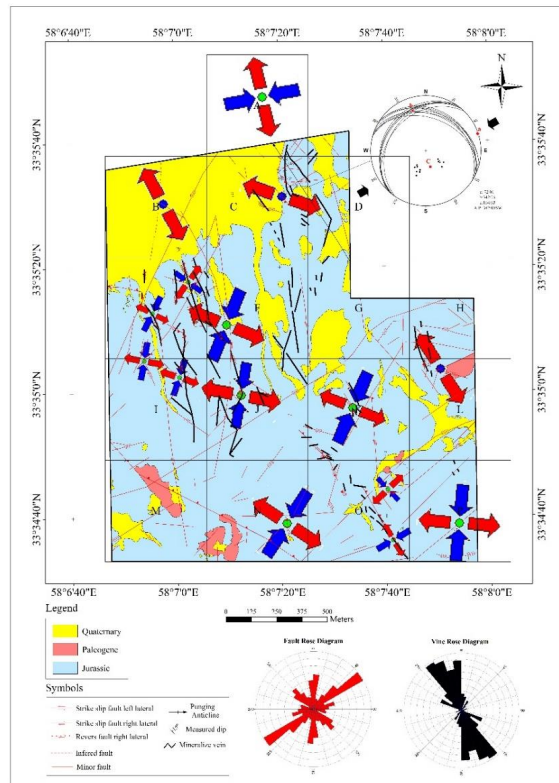
با توجه به ساختارهای گسلی برداشت شده در منطقه معدنی گله‌چاه (شکل ۹) و براساس روابط متقاطع میان گسل‌ها، روند تکامل ساختاری منطقه را می‌توان در دو مرحله خلاصه کرد. اولین مرحله تنش، در جهت شمال شرق- جنوب غرب با موقعیت محورهای اصلی تنش  $\sigma_1=215/03$ ،  $\sigma_2=116/73$  و  $\sigma_3=306/17$  بوده است که باعث ایجاد پهنه بُرشی راستگرد شمالی- جنوبی (F1) و شکستگی‌های همراه آن شده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). مقدار ضریب بُرشی آن نسبت به محور  $\sigma_1$ ،  $0/36$  اندازه‌گیری شده است. در این مرحله، تنش سبب رخداد چین‌خوردگی‌هایی با راستای محوری شمال غرب- جنوب شرق در منطقه شده است. برای مثال می‌توان به تاقدیس گله‌چاه اشاره نمود. علاوه بر این، یکی از روش‌های تعیین موقعیت محورهای



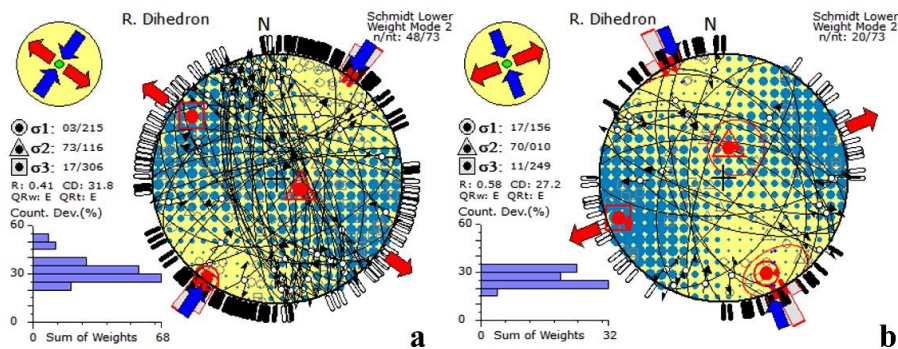
شکل ۹. (a) نمایی نزدیک از سطح یک گسل معکوس با مؤلفه امتدادی راستگرد که خش‌نغزها را نشان می‌دهد. (b) نمایی نزدیک از سطح یک گسل نرمال با مؤلفه امتدادی چپگرد که خش‌نغزها را نمایش می‌دهد.

ریدل همسو با پهنه بُرشی اصلی (R و P) و همچنین در امتداد شمال غرب- جنوب شرق منطبق بر شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه بُرشی اصلی (R) تشکیل شده اند (شکل ۱۲a). با عملکرد دومین تنش به صورت محلی در راستای شمال غرب- جنوب شرق، دو گسل اصلی پهنه بُرشی گله‌چاه به صورت امتدادلغز راستگرد با مؤلفه شیبی معکوس در راستای تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی (Y) ایجاد شده است. در ادامه

در تحلیل شکستگی‌های این پهنه بُرشی می‌توان اینگونه تفسیر کرد که در پایان ژوراسیک در اثر عملکرد یک تنش در راستای شمال شرق- جنوب غرب، دو گسل اصلی پهنه بُرشی اصلی به صورت امتدادلغز راستگرد با مؤلفه شیبی معکوس در راستای تقریباً شمالی- جنوبی تا شمال غرب- جنوب شرق (Y) ایجاد شده است. در ادامه فعالیت پهنه بُرشی، گسل‌های مزدوجی در امتداد شمال غرب- جنوب شرق منطبق بر شکستگی‌های



شکل ۱۰. نقشه ساختمانی منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت تنش در ایستگاه‌های برداشت شده.

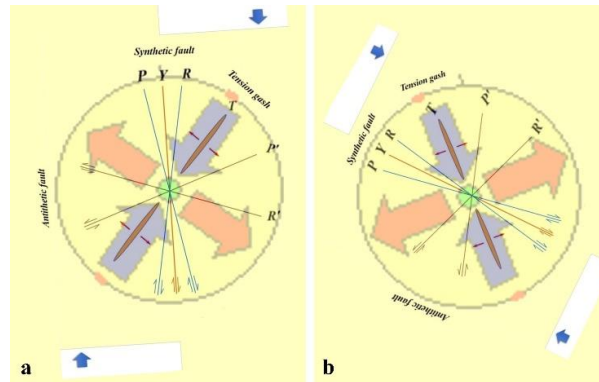


شکل ۱۱. موقعیت محورهای تنش در گستره مورد مطالعه در اواخر ژوراسیک (a) و پالئوژن (b).

ایجاد کند (شکل ۷). با توجه به برداشت‌های ارائه شده، کانی‌سازی به صورت رگه‌هایی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق و عمدتاً به موازات هم در منطقه معدنی گله‌چاه پراکنده‌اند (شکل ۷). در واقع کانه‌ها در راستای گسل‌های اصلی پهنه برشی (Y) و در راستای گسل‌های مزدوجی که زاویه کمتری با پهنه برشی دارند (R) و نهشته شده‌اند. این رگه‌ها توسط شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه برشی اصلی (R) در منطقه معدنی گله‌چاه جابه‌جا شده‌اند.

فعالیت پهنه برشی، گسل‌های مزدوجی در امتداد شمال غرب- جنوب شرق منطبق بر شکستگی‌های ریدل همسو با پهنه برشی اصلی (P و R) و همچنین در امتداد شمال شرق- جنوب غرب منطبق بر شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه برشی اصلی (R) تشکیل شده‌اند (شکل ۱۲b).

گسل‌های اصلی پهنه برشی (Y) و گسل‌های مزدوجی که زاویه کمتری با پهنه برشی دارند (P و R)، مجراهایی برای بالا آمدن سیالات هیدروترمالی فراهم کرده‌اند. از سوی دیگر، محل تلاقی این شکستگی‌ها توانسته است فضای مناسبی برای نهشت مواد معدنی



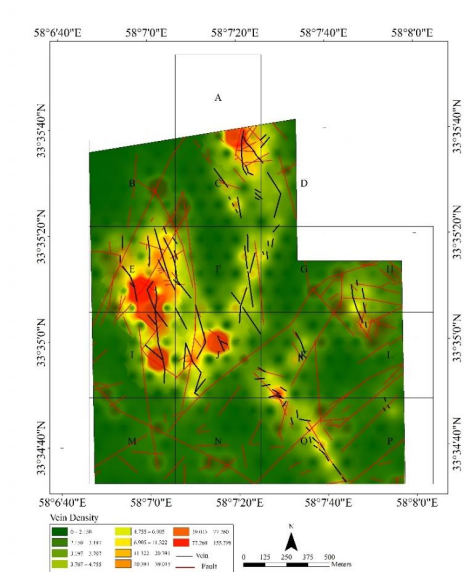
شکل ۱۲. موقعیت شکستگی‌های ریدل همسو و ناهمسو در تنش‌های حاکم بر منطقه در اواخر ژوراسیک (a) و پالئوژن (b).

زیرا تنش بیشتر باعث ایجاد کرنش حجمی بیشتر و ایجاد شکستگی‌های بیشتری می‌گردد. علاوه بر این همان‌گونه که در نقشه همپوشانی تراکم رگه‌های کانی‌سازی و گسل‌ها مشاهده می‌گردد (شکل ۱۳). بیشتر رگه‌ها در بخش شمال‌غربی منطقه متمرکز هستند و به‌طور کلی بین گسل‌های دارای روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و تراکم رگه‌ها انطباق خوبی وجود دارد. این روندها بخصوص محل تلاقی گسل‌ها مکان‌های مناسبی برای نهشت مواد معدنی فراهم کرده‌اند. همچنین بیشترین تراکم شکستگی‌ها در شبکه سلولی E، C، و O مشاهده می‌شود که این موضوع بیانگر فعال بودن این مناطق از نظر تکتونیکی است. این فعال بودن احتمالاً می‌تواند به توده‌های نیمه‌نفوذی (میکرودیوریت و داسیت-ریوداسیت) مربوط باشد.

پس از بررسی تنش‌های وارد بر منطقه، با استفاده از روش هاردکستل، نقشه تراکم گسل‌ها ترسیم گردید. در این روش پس از فراخوانی داده‌ها در محیط نرم‌افزار ARC GIS با استفاده از یک شبکه مناسب، پارامترهای مختلف مانند طول خطواره‌ها (a)، تقاطع خطواره‌ها (b) و تعداد خطواره‌ها (c) مربوط به هر سلول مشخص شد و سپس با استفاده از رابطه (۱)، تراکم گسل‌ها در هر سلول به دست آمد.

$$pf = \left(\frac{a}{A}\right) + \left(\frac{b}{B}\right) + \left(\frac{c}{C}\right) \quad (1)$$

در رابطه فوق مقادیر A، B و C به ترتیب میانگین پارامترهای طول گسل‌ها، تقاطع گسل‌ها و تعداد گسل‌ها در منطقه است. روند تمرکز شکستگی‌ها در هر بخش در جهت تنش بیشینه آن بخش است



شکل ۱۳. نقشه همپوشانی تراکم رگه‌های کانی‌سازی با گسل‌ها در شبکه ۱۶ سلولی ایجاد شده در محدوده مورد مطالعه. همانطور که مشاهده می‌شود رابطه نزدیکی بین گسل‌ها و رگه‌های کانی‌سازی وجود دارد و بیشتر این انطباق بین گسل‌ها و رگه‌ها در سلول‌های E، C، I وجود دارد.



## ۵. نتیجه گیری

امتداد لغز راستگرد با مؤلفه معکوس هستند که نشان دهنده غلبه فشارش است. در ادامه، با تداوم فشارش چین خوردگی‌هایی با روند محوری شمال غرب- جنوب شرق به وجود آمده‌اند. تاقدیس گله‌چاه به‌عنوان یکی از این چین‌ها، در لایه‌های متناوب ماسه‌سنگ و شیل ایجاد شده است.

سپس در اثر عملکرد تنش محلی در راستای شمال تا شمال غرب- جنوب تا جنوب شرق، پهنه برشی گله‌چاه با روند شمال غرب- جنوب شرق تشکیل شده است. در این مرحله گسل‌های امتداد لغز راستگرد با مؤلفه معکوس به وجود آمدند. ماهیت این گسل‌ها نشان دهنده غلبه فشارش در منطقه است. گسل‌های این مرحله، گسل‌های قبلی را قطع کرده‌اند. گسل‌های اصلی پهنه برشی (Y) و گسل‌های مزدوجی که زاویه کمتری با پهنه برشی دارند (P و R)، مجراهایی برای بالا آمدن سیالات هیدروترمالی فراهم کرده‌اند. از سوی دیگر، محل تلاقی این شکستگی‌ها نیز فضای مناسبی برای نهشت مواد معدنی ایجاد کرده است. در ادامه فعالیت پهنه برشی، شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه برشی با روند شمال شرق- جنوب غرب باعث جابه‌جایی گسل‌های پیشین و همچنین جابه‌جایی رگه‌های کانی‌سازی شده‌اند.

### منابع

اعتمادخواه، ز.، خطیب، م.م. و زرین کوب، م.ح.، ۱۳۹۸. نگرشی نو بر جایگیری ماگما و فرگشت ساختاری شمال پهنه سیستان. فصلنامه علوم زمین، سال ۲۹، شماره ۱۱۴، ۸۴-۷۳.

انصاری جعفری ش.، رحیمی، ب.، قائمی، ف.، و بجستانی، ع.م.، ۱۳۹۴. مدل ساختاری بر پایه مطالعه شکستگی‌ها در کانسار طلای زرمهر. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ش. ۱۷.

خطیب، م. م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران. دانشگاه شهید بهشتی، رساله دکترا، ۲۲۴ صفحه.

رحیمی، س.ه.، ۱۳۸۳. بررسی ژئوشیمی، دگرسانی، سیال‌های درگیر و ژنر کانسار آتیموان شوراب (جنوب خراسان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۱۹ صفحه.

منطقه معدنی گله‌چاه یک پهنه برشی راستگرد فرعی با راستای شمال غرب- جنوب شرق است که درون یک پهنه برشی راستگرد با راستای تقریباً شمالی- جنوبی قرار گرفته است. گسل واقع در مرز شرقی پهنه برشی گله‌چاه، دارای شیب میانگین ۵۱ درجه به سمت شمال شرق، و گسل واقع در مرز غربی آن دارای شیب میانگین ۶۵ درجه به سمت شمال شرق می‌باشد. با توجه به داده‌های حاصل از مطالعه تصویرهای ماهواره‌ای و تهیه نقشه توزیع شکستگی‌ها، گسل‌های محدوده مورد مطالعه را به ترتیب زمان رخداد می‌توان در سه گروه قرار داد. ۱- گسل‌های دارای روند تقریباً شمالی- جنوبی که از نوع امتداد لغز راست‌گرد با مؤلفه معکوس هستند و کانی‌سازی اندکی در آنها صورت گرفته است. ۲- گسل‌های دارای روند شمال غرب- جنوب شرق که از نوع امتداد لغز راست‌گرد با مؤلفه معکوس هستند و بیشترین کانی‌سازی را به خود اختصاص داده‌اند. ۳- گسل‌های دارای روند شمال شرق- جنوب غرب که از نوع امتداد لغز چپ‌گرد هستند و کانی‌سازی در آنها مشاهده نمی‌گردد. بنابراین آشکارا می‌توان دید که کانی‌سازی عمدتاً در شکستگی‌های دارای روند شمال غرب- جنوب شرق رخ داده است. این رگه‌های کانی‌سازی در بخش شرقی دارای شیب میانگین ۵۱ درجه به سمت شمال شرق، و در بخش غربی دارای شیب میانگین ۶۵ درجه به سمت شمال شرق می‌باشند. یعنی هم‌روند با گسل‌های شمال غرب- جنوب شرق هستند. براساس این مطابقت می‌توان گفت که کانی‌سازی در منطقه گله‌چاه توسط ساختارهای شکنا (شکستگی‌ها) کنترل شده است. فعالیت پهنه برشی شمالی- جنوبی با ایجاد فضاهای باز، زمینه نفوذ ماگماها و تشکیل سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق را فراهم کرده است. سپس در مرحله بعد، سیالات مشتق شده از این توده‌ها در کانی‌سازی سرب و روی مشارکت کرده‌اند.

بررسی الگوهای تنش دیرین، حاکی از دو مرحله تکاملی در محدوده گله‌چاه است. در اولین مرحله، وارد شدن تنش در راستای شمال شرق- جنوب غرب باعث ایجاد پهنه برشی با روند تقریباً شمالی- جنوبی شده است. گسل‌های این مرحله از نوع



Geological Lineaments Extraction Using Remote Sensing and GIS—A Review. *Geosciences* 11, 183, <https://doi.org/10.3390/geosciences11050183>.

Alavi, M., 1991, Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 983- 992.

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. *Reviews in Economic Geology*, 21, 1-23.

Chauvet A., 2019, Structural Control of Ore Deposits: The Role of Pre-Existing Structures on the Formation of Mineralized Vein Systems. *Minerals*, 9, 56, <https://doi.org/10.3390/min9010056>.

Fabricio-Silva W., Rosière C. A. and Bühn B., ۲۰۱۸, The shear zone-related gold mineralization at the Turmalina deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: structural evolution and the two stages of mineralization. *Mineralium Deposita*, <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0811-7>.

Fossen, H., 2016, *Structural Geology*. Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup> Edition, 510 p.

Haddad-Martim P. M., E. John, M. Carranza and C. R. de Souza Filho, 2018, The Fractal Nature of Structural Controls on Ore Formation: The Case of the Iron Oxide Copper-Gold Deposits in the Carajás Mineral Province, Brazilian Amazon. *Economic Geology*, 113(7), 1499-1524.

Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S., and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2011. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block. Eastern Iran. *Journal of Geopersia* 1 (1), 19- 36.

Kavyani-Sadr Kh., Rahimi B., Khatib M.M. and

رضاییک، س.، سعیدی، ع.، آرین، م. و سربی، ع.، ۱۴۰۰. تعیین موقعیت تنش دیرین بر پایه مطالعه ناپوستگی‌ها و چین‌خوردگی‌های موجود در پهنه برخوردی زاگرس- مطالعه موردی منطقه کرمانشاه. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۵، شماره ۵۷، ۴۵-۷۵.

سخدری، م.، بهزادی، م.، یزدی، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و صادقی نایینی، م.، ۱۴۰۰. زمین‌شناسی، کانی‌زایی و ژئوشیمی طلا در ناحیه گدار سرخ، منطقه معدنی موله، پهنه سندج- سیرجان. زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۳، شماره ۲، ۲۶۵-۲۴۵.

غلام زاده، م.، رحیمی، ب.، قائمی، ف. و احمدی روحانی، ر.، ۱۳۹۴. بررسی شکستگی‌های ساختاری منطقه اخلمد (شمال غرب بینالود) با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و مطالعه الگوهای فراکتالی سیستم‌های شکستگی. فصلنامه زمین‌ساخت، دوره ۱، شماره ۲، ۹۲-۷۷.

کاویانی صدر، خ.، خطیب، م.م. و زرین کوب، م.ح.، ۱۳۹۴. اث‌ر کنترل‌کننده‌های ساختاری در نهشت مواد معدنی منطقه چشمه‌خو ری (شمال‌باختر بیرجند). فصلنامه علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵، ۳۳۲-۳۲۳.

محمدی، س.، ندیمی، ع. و اعلمی‌نیا، ز.، ۱۳۹۷. بررسی ارتباط کانی‌سازی و پهنه‌های دگرسانی با ساختارهای زمین‌ساختی با کمک مطالعات دورسنجی در منطقه جنوب اردستان (شمال شرق اصفهان). زمین‌ساخت، سال دوم، ش. ۷، ۲۴-۴۷.

مهرابی، ب.، طالع فاضل، ا. و نخبه‌الفقهای، ع.، ۱۳۹۰. کانه‌زایی پلی‌متال سرب- روی، مس و آنتیموان نوع انتشاری، رگچه‌ای و رگه‌ای در محدوده معدنی گله‌چاه- شوراب، مجموعه ماگمایی شرق ایران. زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۱، ۷۷-۶۱.

نخبه‌الفقهای، ع.، بهزادی، م.، خاکزاد، ا. و یزدی، م.، ۱۳۸۸. ژئوشیمی، کانه‌زایی و ژنز کانسار آنتیموان چوپان واقع در خراسان جنوبی. زمین‌شناسی کاربردی، سال پنجم، شماره ۱، ۷۶-۸۶.

زرین کوب، م.ح.، ۱۳۸۲. پی‌جویی طلا و آنتیموان در منطقه شوراب. اولین همایش معدن و علوم وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس.

Ahmadi H. and Pekkan E., 2021. Fault-Based

Close spatial relationship between plutons and shear zones. *Geology*, 32(5), 377-380.

Wilson C. J. L., Osborne D. J., Robinson J. A. and Miller J. M., 2016, Structural Constraints and Localization of Gold Mineralization in Leather Jacket Lodes, Ballarat, Victoria, Australia. *Economic Geology*, 111, 1073–1098.

Kim Y-S., 2022, Assessment of open spaces related to Riedel-shears dip effect in brittle shear zones. *Journal of Structural Geology*, 154.

Lopes, R.W., Mexias, A.S., Philipp, R.P., Bongioiolo, E.M., Renac, C., Bicca, M.M. & Fontana, E., 2018, Au-Cu-Ag mineralization controlled by brittle structures in Lavras do Sul Mining District and Seival Mine deposits, Camaquã Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 88, 197-215.

Lotfi, M., 1982, Geological and geochemical investigation on the volcanogenic Cu-Pb-Zn-Sb ore mineralization in the Shurab- Gale chah and north west of Khur. Unpublished PhD thesis, University of Hamburg, ۱۵۲.

Mohebi, A., Mirnejad, H., Lentz, D., Behzadi, M., Dolati, A., Kani, A. and Taghizadeh, H., 2015, Controls on porphyry Cu mineralization around Hanza Mountain, south-east of Iran: An analysis of structural evolution from remote sensing, geophysical, geochemical and geological data. *Ore Geology Reviews*, 69, 187-198.

Passchier C. W. and Trouw R. A. J., 2005, *Microtectonics*. 2nd edition, Springer, p. 366.

Rajabi, A., Canet, C., Alfonso, P., Mahmoodi, P., Yarmohammadi, A., Sharifi, Sh., Mahdavi, A. & Rezaei, R., 2022, Mineralization and Structural Controls of the AB-Bid Carbonate-Hosted Pb-Zn ( $\pm$ Cu) Deposit, Tabas-Posht e Badam Metallogenic Belt, Iran. *Minerals*, 12(95), <https://doi.org/10.3390/min12010095>.

Sun T., Xu, Y., Yu, X., Liu, W., Li, R., Hu, Z. and Wang, Y., 2018, Structural Controls on Copper Mineralization in the Tongling Ore District, Eastern China: Evidence from Spatial Analysis. *Minerals*, 8, 254; <https://doi:10.3390/min8060254>.

Weinberg, R.F., Sial, A.N. and Mariano, G., 2004,