

تکامل ساختاری ناحیه جنوب نطنز و نقش آن در توزیع و تمرکز کانه‌زایی سرب-روی

فیروزه شواخی^۱، سعید معدنی پور^{۲(*)}، میثم تدین^۴، ابراهیم راستاد^۳ و محمدجعفر کوپایی^۱

۱. کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

چکیده

ناحیه مورد مطالعه از لحاظ ساختاری در حاشیه غربی پهنه ساختاری ایران مرکزی در پایانه جنوب غربی سامانه گسلی قم-زفره واقع شده است. تحلیل ساختاری ناحیه جنوب نطنز، نشان‌دهنده آن است، گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی شرقی-غربی تا شمال غربی-جنوب شرقی همچون گسل فسخود واقع در حاشیه غربی ایران مرکزی، به‌طور عمده مجموعه واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر (کرتاسه بالائی) است و در ادامه بیشتر توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی قطع و جابجا شده‌اند. بر مبنای مشاهدات صحرایی و پژوهش‌های زمین‌شناسی اقتصادی، ذخایر سرب-روی و باریت در ناحیه جنوب نطنز به دو صورت کانی‌زایی‌های در واحدهای کربناته پرمین و تریاس (کانسار چنگرزه)، که در راستای گسل‌های راندگی و گسل‌های امتدادلغز با مولفه نرمال متأخر قطع‌کننده گسل‌های راندگی تمرکز یافته‌اند. همچنین کانی‌زایی‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری سنگ میزبان در اثر فعالیت گسل‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری بیشتر دارای مؤلفه کشتی، در کانسار یزدان و پیناوند صورت گرفت و در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با مولفه نرمال جوان جابه‌جا شده‌اند. کانه‌زایی در واحدهای پرمین-تریاس در بازه زمانی پس از کرتاسه پایانی و به‌طور عمده سنوزوییک پایانی و در طی زمین‌ساخت ترفشارشی راست‌گرد حاکم بر ناحیه می‌باشد، در حالی که کانه‌زایی هم‌زمان با رسوب‌گذاری در بازه زمانی کرتاسه زیرین-میانی هم‌زمان با رژیم زمین‌ساختی کشتی حاکم بر ناحیه شکل می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: ایران مرکزی، کانه‌زایی سرب و روی، گسل فسخود، گسل قم-زفره، همزاد و غیرهمزاد.

مقدمه

در دوره‌های مختلفی از زمان زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند در ایران گزارش شده است. از این میان در حدود ۲۸۵ مورد در سنگ‌های کربناته و مابقی در سنگ‌های تخریبی، سیرجان (Momenzadeh, 1976 Rastad, 1981)، ایران

تاکنون بیش از ۳۰۰ کانسار روی-سرب با میزبان رسوبی در ایران گزارش شده است. از این میان در حدود ۲۸۵ مورد در سنگ‌های کربناته و مابقی در سنگ‌های تخریبی،

* نویسنده مرتبط: Madanipour.saeed@modares.ac.ir

نرمال و راندگی جوان تر قطع شده است. این مجموعه‌های امتدادی جوان بیشتر رده‌های جوان تر از سامانه گسلی قم زفره می‌باشند (شوخی و همکاران، ۱۳۹۹). توزیع کانسارهای سرب و روی در این ناحیه به نظر بیشتر در ارتباط با ساختارهای گسلی اصلی است و توزیع آنها توسط گسل‌ها کنترل شده است. با پژوهش‌های ساختاری دقیق انجام شده و تحلیل هندسی و جنبشی ساختارهای موجود در پایانه جنوب غربی سامانه گسلی قم-زفره به بررسی روابط ساختاری پرداخته و با توجه به ویژگی‌های کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته و ارتباط نزدیک آن‌ها با ساختارها، به شناسایی این سامانه‌های گسلی و ارتباط آنها با سامانه گسلی قم-زفره و همچنین نقش آنها در توزیع کانسارهای فسخود، چنگرزه، پیناوند و یزدان توجه شده است. همچنین از نظر الگوی زمانی نیز با توجه به نقش ساختارها در توزیع کانه‌زایی و همچنین شناسایی توالی زمانی تکامل ساختاری ناحیه، الگوی توزیع کانه‌زایی نیز نتیجه‌گیری شده است.

موقعیت زمین‌شناسی ناحیه جنوب نطنز

این ناحیه در گوشه جنوب شرقی نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشان (زاهدی و عمیدی، ۱۳۷۰)، در بخش‌های از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طرق (زاهدی و رحمتی، ۱۳۸۱) و ۱/۱۰۰۰۰۰ اردستان (رادفر، ۱۳۷۸) و در گوشه شمال شرقی نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ اصفهان (زاهدی و همکاران، ۱۹۸۷) واقع است. به منظور بررسی‌های دقیق ساختاری، نقشه زمین‌شناسی-ساختاری ناحیه تهیه و در آن اطلاعات جزئی‌تر ساختاری ناحیه ارائه شده است (شکل ۲).

واحدهای سنگی رخنمون یافته در ناحیه از قدیم به جدید عبارت از واحدهای سنگی پرمین (سازند جمال) که شامل آهک-دولومیت‌های زرد و خاکستری است. واحدهای سنگی تریاس که از دولومیت‌های ستر لایه سازند شتری و توالی‌های آواری سازند نایبند تشکیل یافته است. بر روی آنها واحدهای سنگی ژوراسیک (لیاس) منتسب به سازند شمشک که حاوی شیل‌های زیتونی

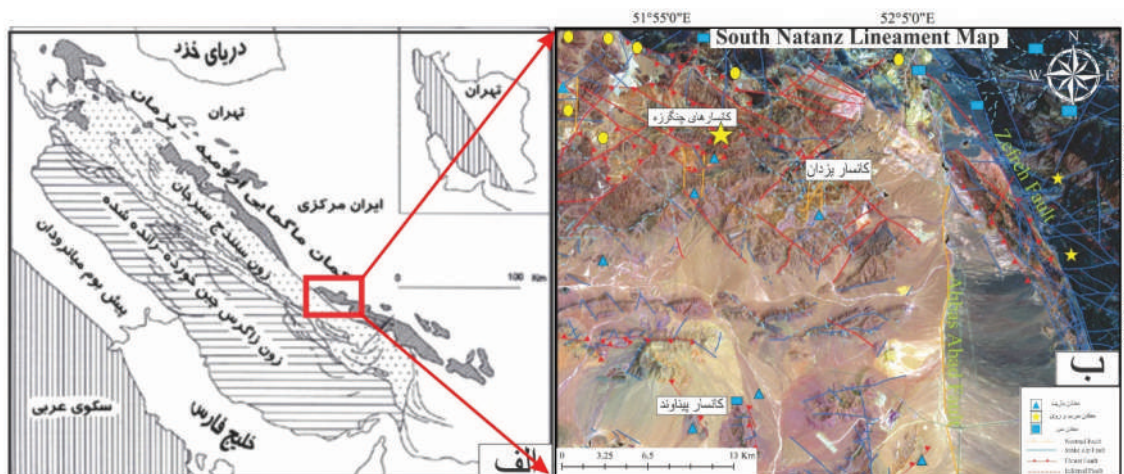
مرکزی (Rajabi et al., 2012a) و البرز (Bazargani et al., 2010 and 2011) قرار دارند. رده‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای سرب-روی با میزبان رسوبی ارائه شده است؛ ولی جدیدترین رده‌بندی برای این کانسار توسط Leach et al., (2010) و Wilkinson (2014) ارائه شده است. Wilkerson (2014) کانسار سرب-روی را بر پایه ویژگی‌های شاخص کانساری و ژنتیکی به دو گروه کلی تقسیم کرده است: ۱) کانسارهای نوع بروندمی-رسوبی یا نوع سدکس؛ ۲) کانسارهای MVT¹. در این رده‌بندی کانسارهای نوع Irish² به‌عنوان کانسارهای نوع جانشینی زیرسطحی³ معرفی شده و در رده کانسارهای سدکس قرار می‌گیرند.

پهنه ساختاری ایران مرکزی بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی ایران است که حد شمالی آن توسط ارتفاعات البرز، حد غربی آن توسط پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان محدود شده و حد شرقی آن با بلوک لوت چندان مشخص نیست (Stocklin, 1974). این پهنه همراه با پهنه آتشفشانی ارومیه-دختر با روند شمال غربی-جنوب شرقی، توسط گسل‌هایی با روند شمال-شمال غربی مانند سیستم‌های گسلی دهشیر، قم-زفره، بیدهند و جنوب ساوه با سازوکار امتدادلغز راست‌بر بریده و جابه‌جاشده است (Alavi, 1991) (شکل ۱). گسل قم-زفره با مؤلفه غالب راستالغز راست‌بر به‌عنوان یکی مهم‌ترین ساختارهای پهنه ایران مرکزی دارای تاریخچه پیچیده‌ای از فعالیت‌های جنبشی می‌باشد (Beygi et al., 2016; Tabaei et al., 2016; Jamali et al., 2008; Safaei et al., 2008). این گسل با جابجایی‌های خود در دگرشکلی نهشته‌های پهنه آتشفشانی ارومیه-دختر و نهشته‌های سنوزوئیک نقش اساسی داشته و با ادامه فعالیت خود آنها را بریده و به میزان زیادی جابجا کرده است. این گسل از چندین پاره گسلی تشکیل شده است و به‌صورت پله‌ای نسبت به هم واقع شده‌اند (Mohajjel and Porouhan, 2003). پژوهش‌های ساختاری انجام شده در ناحیه جنوب نطنز نشان‌دهنده الگوی گسترش سامانه گسلی است و در آن گسل‌های راندگی قدیمی توسط مجموعه‌های امتدادلغز با مولفه‌های

1. Mississippi Valley-type

2. Irish-type

3. Sub-seafloor

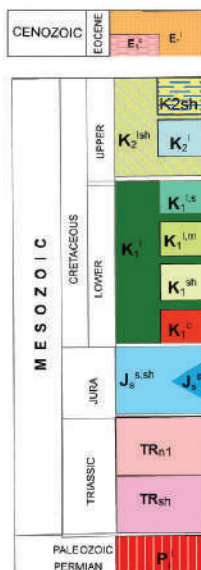
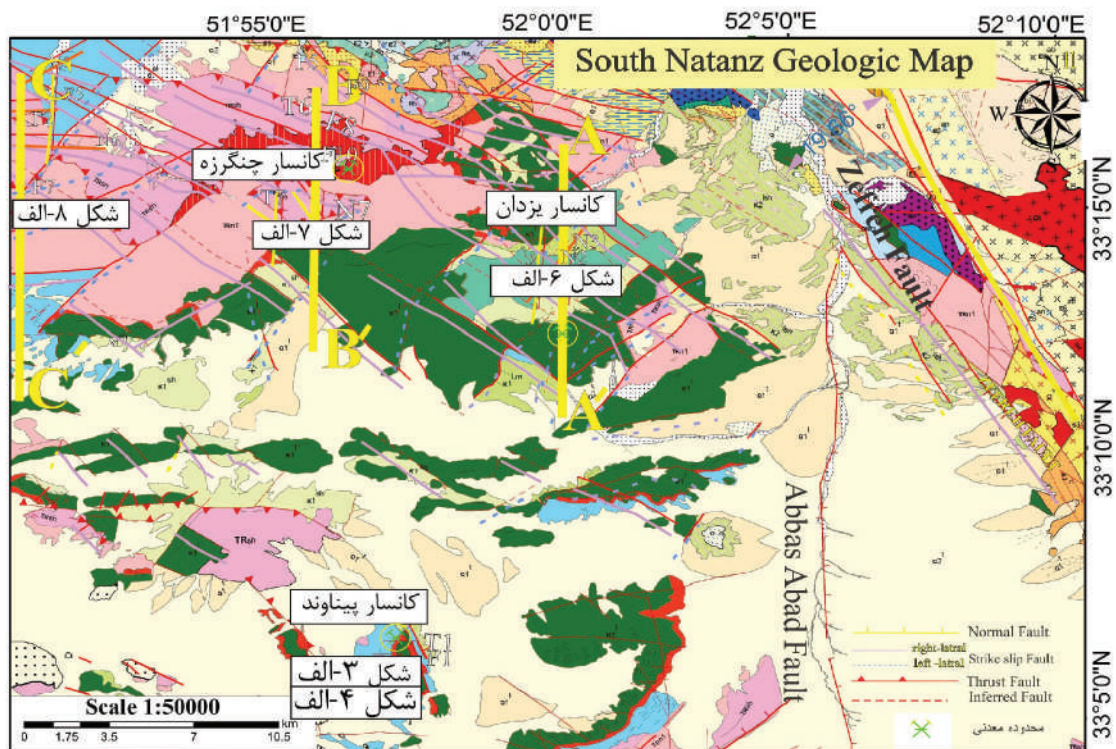


شکل ۱. الف) پهنه‌های ساختاری گستره برخوردی عربی-اوراسیا (مجل و سه‌سند، ۱۳۷۸)، ب) تصویر ماهواره لندست از موقعیت ناحیه و موقعیت خطواره‌های گسلی و توزیع ذخایر معدنی در ناحیه جنوب نطنز

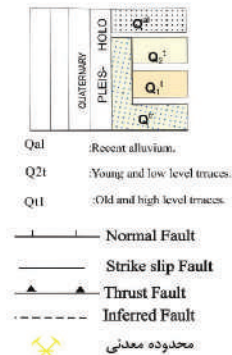
شده است (رادفر، ۱۳۷۸). طی برخورد نهایی ورقه‌های عربی و اوراسیا در الیگوسن-میوسن، واحدهای ولکانیکی و تخریبی و تهنشست‌های الیگوسن به شکل یک کنگلومرا و ماسه‌سنگ قاعده‌ای تظاهر پیدا کرده است. ماسه‌سنگ قاعده‌ای به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار روی واحدهای قدیمی‌تر یا به‌طور گسله در کنار آن دیده می‌شود. تأثیر فاز فرعی مربوط به آلیی نهایی (فاز پاساندین) در اواخر پلیوسن و اوایل کواترنری موجب چین خوردگی رسوبات پلیوسن و دگرشیبی در قاعده کواترنری شده و ناحیه شکل نهایی و امروزی خود را به دست آورده است (رادفر، ۱۳۷۸). این فاز تغییرشکلی در بیشتر مناطق پهنه برخوردی عربی-اوراسیا از نوع ترفشارشی راست‌بر است و سامانه‌های گسلی امتدادلغز با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق پهنه ایران مرکزی-ارومیه‌دختر در نتیجه این فاز تغییرشکلی فعال و یا مجدداً فعال شده‌اند و از آن جمله می‌توان به سامانه گسلی قم-زفره اشاره کرد. در طی برداشت‌های انجام شده در ناحیه جنوب نطنز، (برش‌های ساختاری فسخود، چنگرزه و طرق شکل ۳)، واحدهای سنگی بر اساس ویژگی‌های لیتولوژی شناسایی شد و گستره زمانی آنها از پرمین تا کواترنر می‌باشد. واحدهای سنگی ناحیه نسبت به سن آن از قدیم به جدید دارای بخش‌های زیر است:

خاکستری تیره با بین لایه‌های ماسه‌سنگی می‌باشد، قرار دارد. همچنین واحدهای سنگی کرتاسه زیرین از سه بخش لایه‌های ضخیم کنگلومرایی و ماسه‌سنگی قرمز رنگ که با توالی‌های آهکی اربیتولین‌دار و دولومیتی دنبال می‌شود تشکیل می‌یابد و واحدهای کرتاسه بالایی که شامل آهک‌های مارنی پلاژیک، مارن‌های آهکی با بین لایه‌هایی از آهک و آهک ماسه‌ای است بر روی واحدهای سنگی کرتاسه زیرین قرار می‌گیرند. واحدهای سنگی پالئوسن در این ناحیه وجود ندارد و واحدهای سنگی ائوسن به صورت دگرشیب بر روی واحدهای تریاس قرار دارد. این الگو نشان‌دهنده آن است که در بازه زمانی کرتاسه تا ائوسن زیرین این ناحیه به صورت مرتفع است و رسوب‌گذاری در آن صورت نگرفت. این دگرشیبی نشانگر حرکات شدید فاز کوهزایی دیگری در ناحیه می‌باشد که هم‌زمان در بیشتر نقاط ایران نیز مؤثر می‌باشد (رادفر، ۱۳۷۸). این ناپیوستگی نشان‌دهنده تغییرشکل‌های منتقل شده از گستره فرورانش نئوتتیس به بخش‌های داخلی ایران مرکزی در زمان کرتاسه بالایی است. بی‌درنگ بعد از فاز فشارشی کرتاسه بالایی که ناپیوستگی این واحدها و واحدهای ائوسن را ایجاد کرده، ناحیه همانند سایر نقاط فلات ایران متأثر از کشش ناحیه‌ای در زمان انتهای پالئوسن و ائوسن شده و در طی آن واحدهای ولکانیکی و ولکانی کلاسیک ائوسن تشکیل

تکامل ساختاری ناحیه جنوب نطنز و نقش آن در توزیع و تمرکز ...



- E1c :Grey to red conglomerate, sandstone, nummulitic sandy limestone and siltstone.
- E1l :Light green tuffaceous nummulitic.
- K2sh :Grey-green to yellow marl with intercalation of limestone.
- K2l :Thin bedded crystalline limestone.
- K2lsh :Grey to Yellow cream incarcereous bearing limestone, silty mail and sandy limestone.
- K1lm :Alternation of Orbitolina limestone and marl.
- K1ls :Coarse grained limestone and sandy limestone.
- K1sh :Calcareous shale with ammonite.
- K1l :Orbitolina limestone, sandy limestone, marl and shale.
- K1c :Red conglomerate, sandstone, calcareous sandstone and dolomite.
- Jss.sh :Dark grey shale and sandstone with intercalation of limestone.(SHEMSHAK F.)
- Jssh :Dark grey shale.
- TRn1 :Black shale, quartzitic sandstone, limestone and dolomite. (NAIBAND F.)
- TRsh :Yellowish dolomite.
- Pjl :Dark grey limestone, dolomitic limestone, dolomite and sandstone. (JAMAL F.)



شکل ۲. نقشه زمین شناسی ناحیه جنوب نطنز به همراه موقعیت برش‌های ساختاری از نقاط مختلف شامل، برش ساختاری فسخود (AA)، برش ساختاری چنگرزه (BB)، برش ساختاری طرق (CC). تغییر شکل یافته از نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ (زاهدی و عمیدی، ۱۳۷۰؛ رادفر، ۱۳۷۸؛ زاهدی و رحمتی، ۱۳۸۱)

مزوزوئیک

واحد تریاس این پهنه قابل مقایسه با سازند شتری و نایبند می‌باشد. این واحدها در ناحیه طرق، چنگرزه و فسخود دیده شده‌اند. ستبرای این واحدها در نواحی مختلف متفاوت است. واحد ژوراسیک شامل مجموعه متناوبی از شیل‌های

پالئوزوئیک

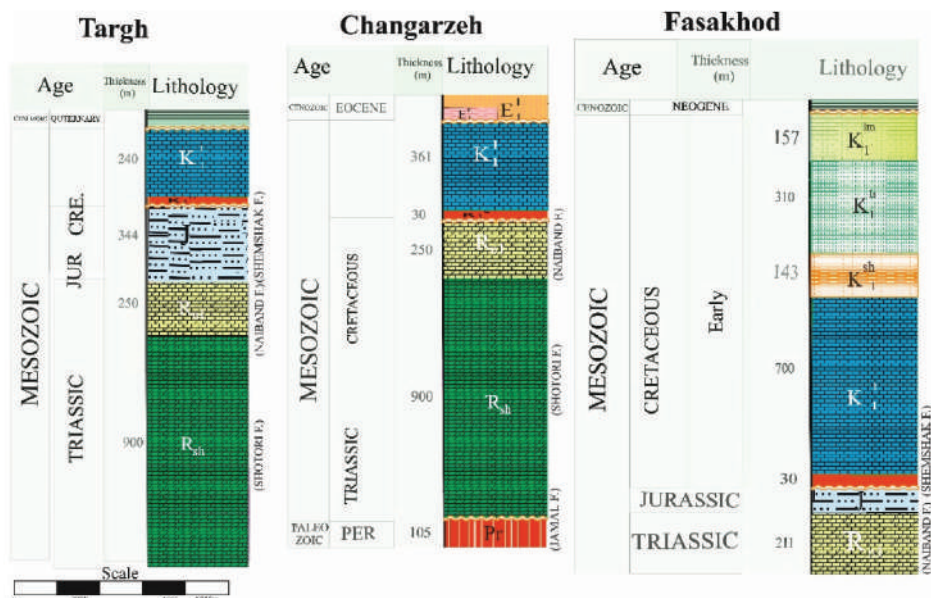
واحد پرمین شامل توالی سنگ‌های آهکی تیره، سنگ‌آهک دولومیتی، دولومیت و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. ستبرای این واحد در جاهای مختلف بین ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر است. در ناحیه فسخود و طرق این واحد دیده نشده است.

کربناتی است و در ناحیه طرق، چنگرزه با ستبرای کمتر اما در ناحیه فسخود با ستبرای بیشتر دیده شده‌اند.

سنوزوئیک

بیشتر شامل واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن، که در ناحیه چنگرزه برونزد این واحدها دیده شد.

خاکستری تا تیره‌رنگ، ماسه‌سنگ دانه‌ریز تا دانه‌متوسط و سیلتستون همراه با میان لایه‌های آهکی و شیلی، با ستبرایی که در نواحی مختلف متفاوت است، می‌باشد. این واحدها در ناحیه طرق با ستبرای حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر و در ناحیه فسخود با ستبرای کمتری دیده شده‌اند. واحدهای کرتاسه شامل ردیفی از سنگ‌های آواری و



Field Description

- Q : Old and high level terraces & Recent alluvium.
- Pt^c : Grey conglomerate, Marl and Sandstone.
- E^c : Grey to red conglomerate, Nummulitic sandy limestone and Silstone.
- Eⁱ : Light green Tuffaceous nummulitic limestone.
- K^{im} : Alternation of Orbitolina limestone and marl.
- K^{ik} : Limestone and Sandy limestone.
- K^l : Orbitolina limestone, Sandy limestone, Marl and shale.
- K^{sh} : Calcareous shale with ammonite.
- K^c : Red Conglomerate, Sandstone, Calcareous sandstone and Dolomite.
- J : Dark grey Shale sandstone with intercalation of limestone. (SHEMESHAK F.)
- R^{nl} : Black shale, quartzitic sandstone, Limestone and Dolomite. (NAIBAND F.)
- R^{sh} : Yellowish dolomite. (SHOTORI F.)
- Pr : Dark gray limestone, Dolomitic limestone, Dolomite and Sandstone. (JAMAL F.)

~~~~~ Unconformity

شکل ۳. ستون‌های چینه‌شناسی تهیه‌شده در سه ناحیه (طرق، چنگرزه، فسخود) در جنوب نطنز که در راستای آنها برش ساختاری نیز تهیه شده است

### روش مطالعه

ناحیه انتخاب و ساختارهای اصلی شامل خطواره‌های گسلی ناحیه تهیه و سپس با استفاده از برداشت‌های دقیق ساختاری در طی برداشت‌های صحرایی خصوصیات هندسی و جنبشی این ساختارها بررسی شده است. در ادامه با رسم مقاطع عرضی زمین‌شناسی و تحلیل این داده‌ها (مجموعه‌ای از گسل‌های راندگی و امتداد لغز متأخر در گستره که در

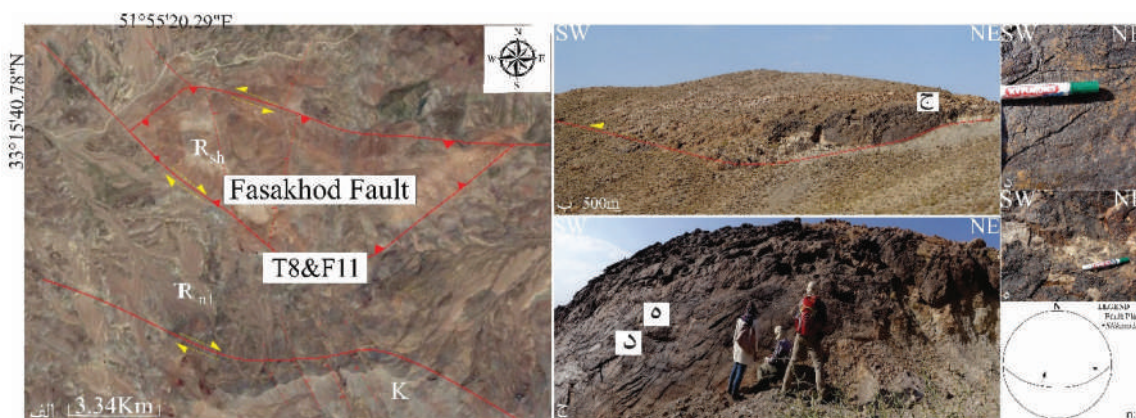
در این پژوهش‌ها تهیه نقشه خطواره‌ها و ساختارهای ناحیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست با کیفیت بالا و تبدیل آنها به نقشه پایه زمین‌شناسی در تلفیق با داده‌های صحرایی صورت گرفت. سه برش ساختاری در ناحیه جنوب نطنز به منظور تهیه مقطع عرضی عمود بر روند ساختاری

از گسل‌ها با مؤلفه غالب معکوس با روند عمده شرقی-غربی تا شمال شرقی-جنوب غربی که به‌طور مجموعه واحدهای قدیمی پرمین-تریاس را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده‌اند و به‌عنوان سامانه گسلی فسخود معرفی شده‌است و سپس توسط مجموعه گسل‌های امتدادلغز با روندهایی همسو و مزدوج با گسل قم-زفره قطع و جابجا شده‌اند می‌باشند. خصوصیات هندسی و جنبشی یکی از گسل‌های سامانه گسلی فسخود، گسل T8 با مشخصات ۵۰/۱۸۰ و ریک خش‌لغزش ۵۰° درجه و با سازوکار معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر می‌باشد (شکل ۴) که به‌موازات گسل امتدادلغز F11 می‌باشد (شواخی و همکاران، ۱۳۹۹) (جدول ۱).

تلفیق با مشاهدات چینه‌شناسی است) منجر به ارائه مدل تکامل ساختاری ناحیه شد. شواهد ساختاری برداشت شده از پهنه‌های گسلی بیشتر شامل خش‌لغز، چین‌های کشیده و فابریک S-C می‌باشد. در ادامه به ارائه ساختارهای موثر در گستره معدنی (کانسارهای چنگرزه، پیناوند، یزدان) که همگی در ناحیه جنوب نطنز واقع شده‌است به تفصیل پرداخته می‌شود و در نهایت به بررسی ویژگی‌های ساختاری کانسارها شامل گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها و ارتباط ماده معدنی با این ساختارها پرداخته شد.

### ساختارهای ناحیه جنوب نطنز گسل‌های راندگی فسخود

ساختارهای اصلی ناحیه جنوب نطنز شامل مجموعه‌ای



شکل ۴. الف) تصویر ماهواره‌ای Google earth از موقعیت گسل فسخود، (ب) نمای دور از سطح گسل فسخود T8، (ج) نمای نزدیک از موقعیت صفحه گسل T8، (د) نمایی از موقعیت خش‌لغز بر روی صفحه گسل T8، (ه) نمایی از موقعیت خش‌لغز بر روی صفحه گسل T8

جدول ۱. خصوصیات هندسی-جنبشی گسل‌های معکوس و راندگی برداشت شده ناحیه جنوب نطنز

| نام ساختار | موقعیت سطح گسل | نوع ساختار به کار رفته برای تحلیل | ریک  | سوی حرکت فرادیواره | سازوکار گسل                          |
|------------|----------------|-----------------------------------|------|--------------------|--------------------------------------|
| T1         | ۵۷/۲۴۵         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۷۰°  | شمال               | معکوس با مؤلفه کوچک راستالغز راست‌بر |
| T2         | ۴۵/۲۱۵         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۱۴۰° | شرق                | معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر      |
| T3         | ۷۰/۳۲۵         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۹۰°  | جنوب               | معکوس محض                            |
| T4         | ۷۰/۱۷۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۹۰°  | شمال               | معکوس محض                            |
| T5         | ۸۰/۲۰۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۶۰°  | شرق                | معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌بر        |
| T6         | ۶۰/۰۰۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۶۰°  | غرب                | معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌بر        |
| T7         | ۷۵/۲۴۵         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۶۰°  | شرق                | معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌بر        |
| T8         | ۵۵/۱۸۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۵۰°  | شمال شرق           | معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر      |

### گسل‌های امتدادلغز ناحیه جنوب نطنز

اندازه‌گیری صحرایی و تحلیل استریوگرافی گسل‌هایی همسو و ناهمسو با گسل زفره را نشان می‌دهد که باعث قطع و جابه‌جایی واحدهای ژوراسیک و کرتاسه شده است. در مجاورت روستای پیناوند، گسل F1 با موقعیت ۷۰/۲۴۰ با ریک ۱۰° درجه، راستای لغزش فرادیواره به سمت شمال شرق و سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس را نشان می‌دهد (شکل ۵). این گسل هم‌راستا با سامانه گسلی قم-زفره است (جدول ۲).

در ناحیه مورد مطالعه مجموعه‌ای از گسل‌های امتدادلغز با روندهایی همسو و مزدوج با سامانه گسلی قم-زفره (شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب) که باعث قطع و جابه‌جایی گسل‌های راندگی با روند عمده شرق-غرب تا شمال شرق-جنوب غربی شده‌اند دیده می‌شود (جدول ۲) اندازه‌گیری صحرایی و تحلیل استریوگرافی گسل F1 در مجاورت کانسار پیناوند که در شکل ۲ نشان داده شده است، شواهد ساختاری در دو سوی این گسل بیانگر سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس است.

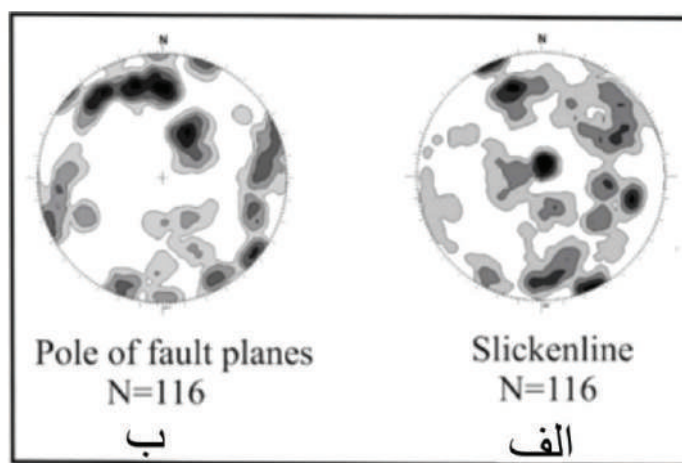


شکل ۴. الف) تصویر ماهواره‌ای Google earth از موقعیت گسل F1، ب) پهنه گسلی F1 که در امتداد آن واحدهای ژوراسیک و کرتاسه زیرین مجاورت واحدهای کرتاسه بالایی قرار گرفت، ج) نمایی از موقعیت خشل‌لغز و صفحه گسلی، د) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی روی استریونت که نشانگر موقعیت سطح گسل F1، با سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس است

جدول ۲. خصوصیات هندسی-جنبشی برخی از گسل‌های امتدادلغز ناحیه جنوب نطنز

| نام ساختار | موقعیت سطح گسل | نوع ساختار به‌کاررفته برای تحلیل  | ریک  | سوی حرکت فرادیواره | سازوکار گسل                          |
|------------|----------------|-----------------------------------|------|--------------------|--------------------------------------|
| F1         | ۷۰/۲۴۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۱۰°  | شمال شرق           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F2         | ۵۵/۱۶۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۲۰°  | شمال شرق           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F3         | ۸۰/۲۵۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۲۰°  | جنوب شرق           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F4         | ۸۰/۳۰۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۱۵۰° | شمال غرب           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F5         | ۸۵/۲۰۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۲۵°  | جنوب شرق           | راستالغز چپ‌بر با مؤلفه شیئی نرمال   |
| F6         | ۷۰/۲۱۵         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۲۳°  | شمال شرق           | راستالغز چپ‌بر با مؤلفه شیئی نرمال   |
| F7         | ۴۰/۱۱۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۴۲°  | شمال غرب           | راستالغز چپ‌بر با مؤلفه شیئی معکوس   |
| F8         | ۶۰/۲۹۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۳۰°  | جنوب غرب           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی نرمال |
| F9         | ۸۰/۲۷۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۱۵۰° | جنوب               | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F10        | ۷۰/۱۴۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۲۰°  | شمال شرق           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |
| F11        | ۵۵/۱۸۰         | پله‌های گسلی و خطوط لغزشی سطح گسل | ۱۰°  | شمال غرب           | راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیئی معکوس |

توزیع موقعیت خش لغز کل گسل‌های برداشت‌شده در ناحیه مورد مطالعه بیانگر این موضوع است، این پهنه در درجه اول به‌طور گسترده گسل‌های امتدادلغز بر روی آن اثر گذاشته و در درجه بعد توسط گسل‌های با مولفه غالب معکوس که دارای امتداد شرقی-غربی، شمال شرقی- جنوب غربی و تا حدودی شمال غربی-جنوب شرقی دچار راندگی شده‌اند. در درجه سوم به‌صورت اقلیت گسل‌هایی با سازکار غالب نرمال با امتدادهای شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی پهنه را دچار کشش کرده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶. الف) توزیع موقعیت خش لغز کل گسل‌های برداشت‌شده در پهنه که نشان‌دهنده کینماتیک عمده امتدادلغز، نرمال و معکوس در ناحیه مورد مطالعه است، ب) توزیع قطب صفحات گسلی برداشت‌شده در پهنه مورد مطالعه که تجمع غالب گسل‌های با روند شرقی-غربی تا شمال شرقی-جنوب غربی را در پهنه نشان می‌دهد

### گسل‌های نرمال ناحیه جنوب نطنز

جنبشی آنها در سه برش ساختاری ارایه شد. در برش ساختاری فسخود (AA') شکل ۷، مجموعه گسلی چند نکته اصلی وجود دارد: مجموعه گسل راندگی (T) که واحدهای قدیمی را در سطح رخنمون می‌دهد، این سامانه راندگی در ادامه توسط مجموعه گسل‌های امتدادلغز (F) با مولفه نرمال و نرمال (N) با مولفه امتدادلغز قطع و جابه‌جا شده‌اند. با توجه به شواهد کانی‌زایی به موازات لایه‌بندی در واحدهای کرتاسه که توسط گسل‌های راندگی جابه‌جا شده، گسل‌های نرمال با مؤلفه امتدادلغز این واحدهای کرتاسه را قطع و جابه‌جا کرده و تمرکز ماده معدنی (باریت) به‌صورت ثانویه در امتداد آنها دیده می‌شود. در این برش ناپیوستگی، بین کرتاسه زیرین و واحدهای قدیمی مشاهده می‌شود.

در برش (BB') مربوط به برش ساختاری چنگرزه شکل ۸، مجموعه گسل راندگی (T) که در این برش که به‌طور عمده تغییرشکل‌هایی را در واحدهای قدیمی پرمو-تریاس

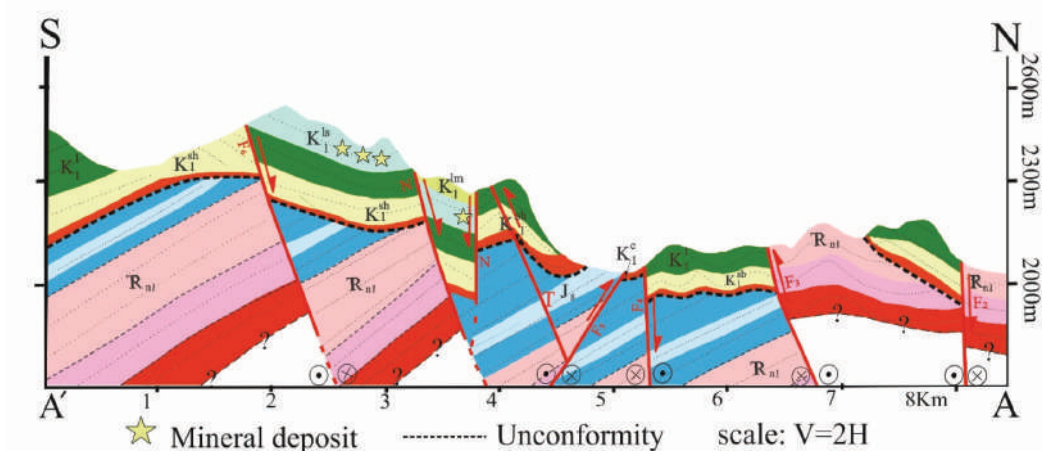
نحوه تشکیل کانسار و الگوی زمین‌ساختی حاکم در این ناحیه در بازه زمانی کرتاسه زیرین می‌تواند نشان‌دهنده کشش و گسلش نرمال هم‌زمان با ته‌نشست واحدهای تخریبی کربناته کرتاسه زیرین در ناحیه باشد. در گستره جنوب نطنز، در برش ساختاری چنگرزه و برش ساختاری فسخود شواهدی از قطع و جابه‌جایی این گسل‌های نرمال با مولفه امتدادلغز مشاهده شد. در ناحیه مورد مطالعه اغلب به‌صورت وجود گسل‌هایی با سازکار غالب نرمال با امتدادهای شمالی-جنوبی، شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی است.

برداشت‌ها منجر به تهیه نقشه زمین‌شناسی ساختاری (شکل ۲) که موقعیت برش‌های ساختاری در سه ناحیه برای پیمایش، (برش ساختاری فسخود (AA') شکل ۷، (BB') مربوط به برش ساختاری چنگرزه شکل ۸، (CC') مربوط به برش ساختاری طرق شکل ۹)، متمرکز و داده‌ها در گسل‌های مختلف برداشت شده و اطلاعات هندسی و

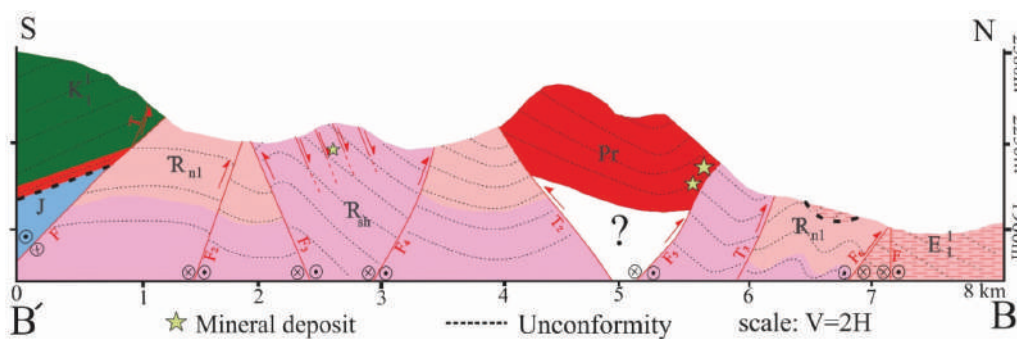


ایجاد کرده و این واحدها را بر روی واحدهای جوان تر رانده‌اند، این سامانه راندگی در ادامه توسط مجموعه گسل‌های امتدادلغز (F) با مولفه نرمال و نرمال (N) با مولفه امتدادلغز قطع و جابه‌جا شده‌اند. کانی‌زایی در امتداد گسل‌های قطع کننده گسل راندگی قابل مشاهده است و در این برش، ناپیوستگی بین کرتاسه زیرین و واحدهای قدیمی مشاهده می‌شود.

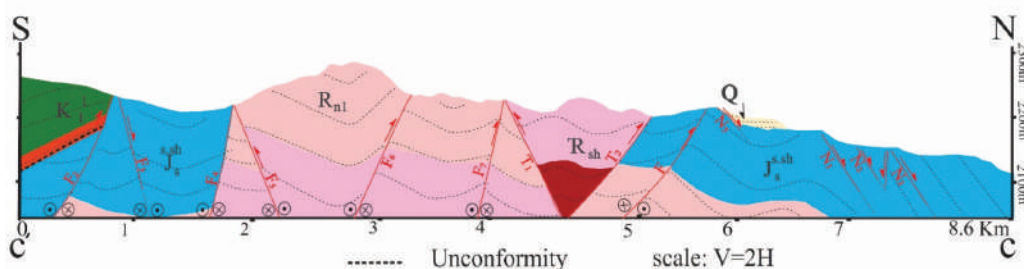
در برش (CC') مربوط به ساختاری ناحیه طرق قدیمی مشاهده می‌شود.



شکل ۷. برش ساختاری-معدنی ناحیه فسخود (AA')، موقعیت برش و راهنمای زمین‌شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است



شکل ۸. برش ساختاری-معدنی ناحیه چنگرزه (BB')، موقعیت برش و راهنمای زمین‌شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است



شکل ۹. برش ساختاری ناحیه طرق (CC')، موقعیت برش و راهنمای زمین‌شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است

## الگوی ساختاری و ویژگی‌های کانه‌زایی در پهنه‌های معدنی جنوب نطنز

با توجه به شواهد مشاهده شده از هندسه و کینماتیک ساختارهای موجود در ناحیه جنوب نطنز، با استفاده از پژوهش‌ها پیشین بر روی سامانه گسل قم-زفره، به بررسی شواهد و ویژگی‌های کانه‌زایی می‌پردازیم. در ناحیه جنوب نطنز، ذخایر سرب-روی (چنگرزه و میلاندر) مشاهده می‌شود. بررسی‌های اولیه حاکی از توزیع این ذخایر در ارتباط با گسل‌های اصلی و فرعی موجود می‌باشد.

### کانسار چنگرزه

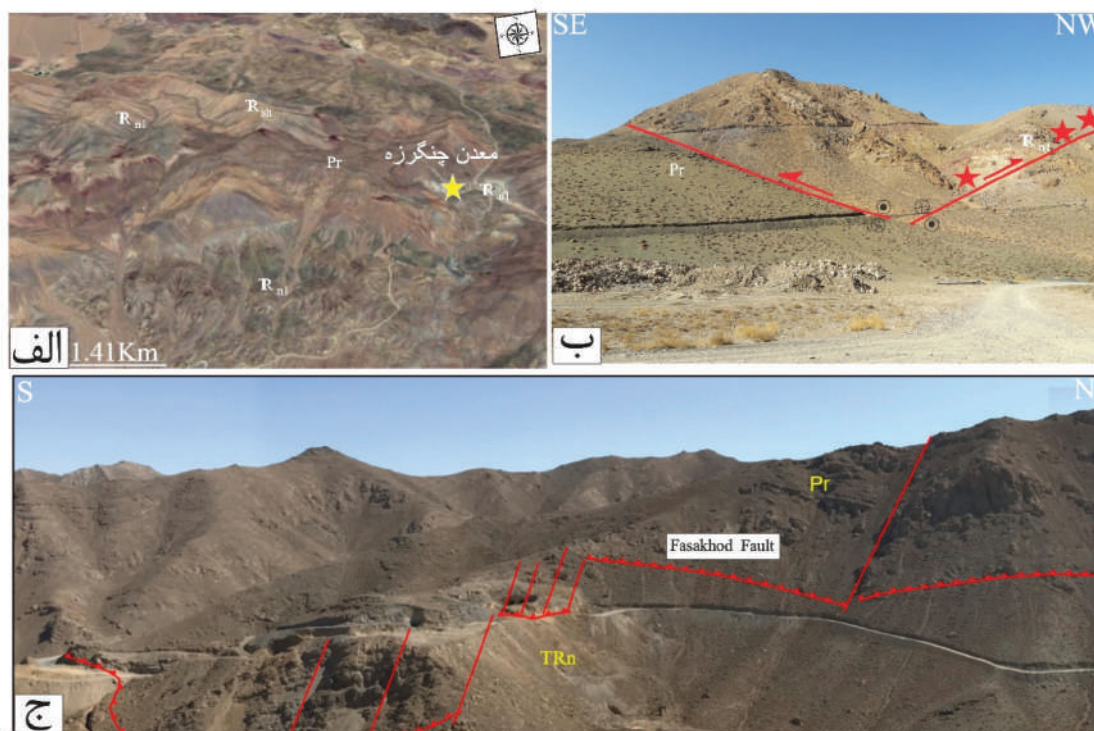
#### هندسه و کینماتیک ساختاری در گستره کانسار چنگرزه

موقعیت کانسارهای چنگرزه در ناحیه جنوب نطنز، در شکل ۲ نمایش داده شده است. کانسار چنگرزه شامل گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی شرقی-غربی تا شمال غربی-جنوب شرقی همچون سامانه گسلی فسخود که به‌طور

عمده مجموعه واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال، نایبند و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده‌اند. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب قطع و جابجا شده‌اند (شکل ۱۳). در راستای گسل‌های امتدادلغز قطع کننده گسل راندگی کانه‌زایی قابل مشاهده است.

### الگوی کانه‌زایی در کانسار چنگرزه

ارتباط کانه‌زایی گسل فسخود با گسل‌های امتدادلغز قطع کننده آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در بخش شرقی کانسار چنگرزه، شواهدی از رانده‌شدگی واحدهای کربناته پرمین بر روی واحدهای آواری نایبند و تشکیل و تمرکز کانه‌زایی در امتداد گسل‌های نرمال امتدادلغز مشاهده می‌شود. کانه‌زایی و ارتباط آن با ساختارهای گسلی در کانسارهای چنگرزه، تمرکز کانی‌زایی باریت، به‌صورت غیرهمزاد در راستای گسل‌های راندگی است (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸).



شکل ۱۰. الف) تصویر ماهواره‌ای Google earth از معدن چنگرزه که نشان‌دهنده راندگی سازنده آهکی پرمین بر روی سازنده نایبند است، ب) نمای دور از ساختار گل‌سرخي مثبت، ستاره قرمز رنگ نشان‌دهنده تمرکز کانی‌زایی باریت را به‌صورت غیرهمزاد در راستای گسل‌های راندگی است، ج) کانه‌زایی و ارتباط آن با ساختارهای گسلی در کانسارهای چنگرزه، نمای از کانه‌زایی و ارتباط آن با گسل فسخود و گسل‌های امتدادلغز قطع کننده آن در بخش شرقی کانسار چنگرزه که واحدهای کربناته پرمین بر روی واحدهای آواری نایبند رانده شده و کانه‌زایی در امتداد گسل‌های نرمال امتدادلغز تشکیل و تمرکز یافته است، (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸)

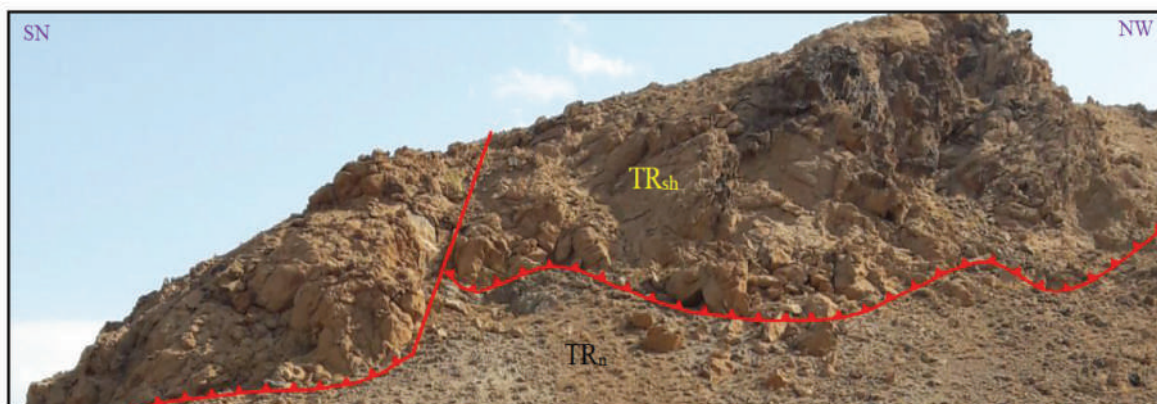
## کانسار میلاندر

صفحه راندگی، ناحیه به شدت تحت تأثیر تبلور دوباره قرار گرفت و به صورت دولومیت‌های درشت تبلور با شکستگی فراوان دیده می‌شود. عامل کانه‌زایی در معدن میلاندر نیز مشابه معدن چنگرزه در کمربندهای گسلی امتدادلغز و نرمال در واحدهای کربناته به شدت خرد شده و پرشیبی می‌باشد و بر روی واحدهای شیلی و آواری سازند نایبند با سن جوان‌تر رانده شده‌اند. در این کانسار در نتیجه عملکرد یک گسل معکوس شاهد رانده شدن واحدهای کربناته سازند شتری به روی واحدهای آواری سازند نایبند می‌باشد. کانه‌زایی در امتداد مجموعه گسل‌های امتدادلغز و نرمال قطع کننده گسل راندگی رخ داده است (شکل ۱۱). با توجه به شواهد صحرایی می‌توان گفت در مجموع فضاهای ایجاد شده توسط گسل‌های امتدادلغز با مولفه نرمال و نرمال با مولفه امتدادلغز و نیز خوردشدگی‌های وسیع بخش‌های کربناته، شرایط مناسب را برای جایگیری کانه‌زایی فراهم آورده است.

هندسه و کینماتیک ساختاری در گستره کانسار میلاندر کانسار میلاندر شامل گسل‌های تراستی با روند شمال غرب-جنوب شرق که سبب رانده شدن واحدهای کربناته سازند شتری به روی واحدهای آواری سازند نایبند می‌باشد. موقعیت گسل تراستی و گسل نرمال با مولفه امتدادلغز و امتدادلغز با مولفه نرمال در کانسار میلاندر (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸) در ناحیه جنوب نطنز، که در شکل ۲ نمایش داده شده است.

## الگوی کانه‌زایی در کانسار میلاندر

در کانسار میلاندر نیز این گسل‌های راندگی با روند شمال غرب-جنوب شرق واحدهای دولومیتی سازند شتری را به صورت راندگی بر روی واحدهای شیلی و ماسه‌سنگی سازند نایبند قرار داده است (شکل ۱۱). دولومیت‌های بالای



شکل ۹. نمای از گسل راندگی و گسل نرمال با مولفه امتدادلغز و امتدادلغز با مولفه نرمال قطع کننده گسل راندگی در کانسار میلاندر (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸)

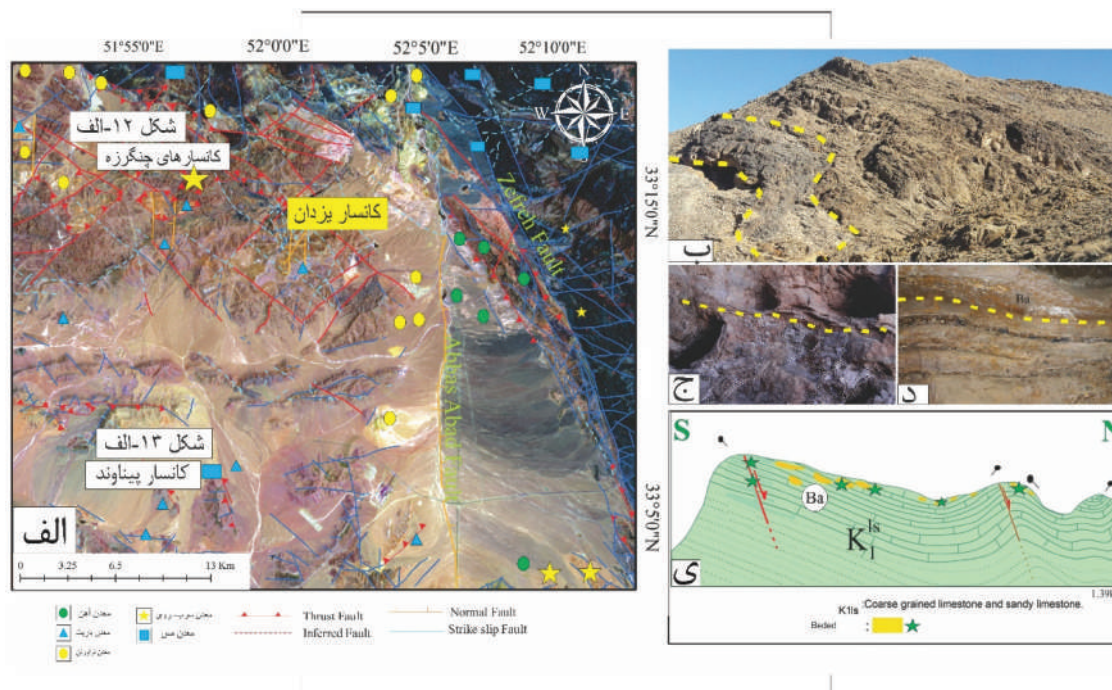
## کانسار یزدان

در این کانسار کانی‌زایی به موازات لایه‌بندی در واحدهای کرتاسه زیرین به صورت همزاد رخ داده است (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸) که به صورت شماتیک در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در این گستره به طور عمده کانه‌زایی به صورت چینه‌سان است. نحوه تشکیل کانسار و الگوی زمین‌ساختی حاکم در این ناحیه در بازه زمانی کرتاسه زیرین تحت تکتونیک کششی فعال می‌باشد و می‌تواند نشان‌دهنده کشش و گسلش نرمال هم‌زمان با تهنشست واحدهای آواری-کربناته کرتاسه زیرین در ناحیه باشد.

هندسه و کینماتیک ساختاری در گستره کانسار یزدان اندازه‌گیری صحرایی و تحلیل استریوگرافی موقعیت گسل‌های نرمال در مجاورت روستای فسخود با سازوکار نرمال و مؤلفه راستالغز راست‌بر اندازه‌گیری شده است سبب جابه‌جایی با مؤلفه غالب نرمال واحدهای کرتاسه شده است.

## الگوی کانه‌زایی در کانسار یزدان

موقعیت کانسار یزدان در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲. الف) تصویر ماهواره لندست از موقعیت کانسارهای یزدان، پیناوند و چنگرزه در بین معادن ناحیه جنوب نطنز، ب) نمای از هندسه صفحه‌ای شکل افق معدنی کانسار یزدان که همراه با سنگ میزبان خود چین خورده است (دید عکس به سمت شمال شرق) (جعفرکوپایی، ۱۳۹۸)، ج) تصویری از بخش تغذیه‌کننده (جعفرکوپایی، ۱۳۹۸)، د) نمای از بخش کانسنگ لایه‌ای که هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان است (جعفرکوپایی، ۱۳۹۸)، ی) طرح شماتیک از روند کانه‌زایی کانسار یزدان بر اساس پیمایش صحرایی. (ستاره سبزرنگ نشان‌دهنده کانی‌زایی به‌صورت هم‌روند در واحدهای کرتاسه زیرین است)

زفره هستند. روند عمومی گسل‌های این ناحیه NE-SW و N-S است. ۲- شاید ساختارهای کششی نرمال هم‌زمان با رسوب‌گذاری؛ کانسار یزدان، که سنگ میزبان آنها آواری-کربناته کرتاسه زیرین و کانه‌زایی در آنها هم‌زمان با سنگ میزبان است. در این کانسارها، شاید کنترل‌کننده ساختاری گسل‌های نرمال هم‌زمان با رسوب‌گذاری است. روند تقریبی این گسل‌ها N-S است مانند گسل‌های N3 و N4 که در شکل ۵ که در برش ساختاری-معدنی ناحیه فسخود (AA') نمایش داده شده است. ممکن است این دسته از کانسارها، توسط ساختارهای بعدی مانند گسل‌های راندگی یا نرمال امتدادلغز فعال شده و دوباره تمرکز ماده معدنی، در امتداد این ساختارها صورت گیرد. به‌نظر می‌رسد عناصر ساختمانی موجود در ناحیه کنترل‌کننده توزیع کانه‌زایی سرب-روی در ناحیه باشد. عملکرد سامانه گسلی در طی تاریخچه تکاملی خود بعد از کرتاسه تا عهد حاضر ساختارهای قدیمی‌تر را قطع و جابجا کرده است. پس از برداشت‌های انجام شده صحرایی در گستره جنوب شرقی گسل زفره و رسم برش‌های

سنگ میزبان کانسارهای یزدان، آواری-کربناته کرتاسه تحتانی است، که کانه‌زایی در آنها شاید در ارتباط با گسل‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری است. این کانسارها پس از تشکیل در سنوزوئیک بر اثر گسل‌های نرمال امتدادلغز قرار دارند و در نتیجه در امتداد گسل‌ها کانه‌زایی تمرکز یافته است.

## بحث

### موقعیت ساختارها در ارتباط با کانه‌زایی در پهنه جنوب نطنز

سازوکار گسل‌های ناحیه جنوب نطنز وجود دو دسته ساختار را نشان می‌دهد، ۱- ساختارهای راندگی و نرمال امتدادلغز کنترل‌کننده کانه‌زایی؛ در کانسارهای چنگرزه و میلاندر که سنگ میزبان آنها بیشتر تریاس و پرمین است، کانه‌زایی بعد از سنگ میزبان و به‌صورت غیرهمزاد است (جعفری، ۱۳۹۸). کنترل‌کننده ساختاری، در این کانسارها گسل‌های راندگی و گسل‌های امتدادلغز بیشتر دارای مؤلفه نرمال می‌باشند و گسل‌های راندگی را جابجا کرده‌اند و خود این گسل‌های امتدادلغز رده‌هایی از حرکت سامانه گسلی قم-

پوشیده شده‌اند که در آن شواهدی از کانه‌زایی همزاد با میزبان آواری-کربناتی<sup>۱</sup> مشاهده می‌شود (جعفرکوهپایی، ۱۳۹۸) و در سایر بخش‌های ایران مرکزی و در پهنه سنندج سیرجان نیز محیط زمین‌ساختی کشتی انجام شده است (Mohajjel et al, 2003) (شکل ۱۳-ج). فاز تغییرشکلی کرتاسه پایانی، به صورت فشردگی هستند و ادامه چین خوردگی و راندگی واحدهای قدیمی‌تر و همچنین واحدهای جوان‌تر از کرتاسه‌زیرین را برداشته‌اند. شواهدی از کانی‌زایی غیرهمزاد با میزبان کربناتی<sup>۲</sup> (MVT) (جعفرکوهپایی، ۱۳۹۸) در راستای گسل‌های راندگی قابل رؤیت (معدن چنگرزه شکل ۱۲-الف) است. در این مرحله بارگذاری ناشی از راندگی در حدی است که به کانه‌زایی ناشی از راندگی در راستای پهنه راندگی و در واحدهای پرمین-تریاس منجر شده است (شکل ۱۳-د). در طی ائوسن ناحیه، متحمل کشش ناحیه‌ای شده است (رادفر، ۱۳۷۸). ولی شواهدی از این فاز تغییرشکلی در ناحیه جنوب نطنز دیده نمی‌شود. به دنبال مشاهده شواهدی از راندگی واحدهای قدیمی‌تر از سنوزوئیک بر روی واحدهای جوان سنوزوئیک و حتی کواترنری می‌توان گفت تغییرشکل فشارشی ناحیه، در بازه زمانی سنوزوئیک پایانی تا پلیوسن همچنان ادامه دارد. این موضوع بیانگر این است، پهنه جنوب نطنز در درجه اول به طور عمده توسط چین خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی متأثر شده‌اند و در درجه بعد توسط گسل‌هایی با حرکت امتدادلغز که دارای امتدادهای شمالی-جنوبی، شمال شرقی-جنوب غربی هستند دچار تغییرشکل شده است و در درجه سوم به صورت اقلیت گسل‌هایی با سازوکار غالب نرمال با امتدادهای شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی ناحیه را تحت تأثیر قرار داده و باعث شده است شواهدی از تمرکز دوباره کانی‌زایی‌هایی اولیه در راستای گسل‌های امتدادلغز با مؤلفه نرمال دیده شود (شکل ۱۳-ی).

گسل‌های راندگی کنترل‌کننده ژنز و توزیع مجدد بخش عمده‌ای از ذخایر سرب و روی این بخش از ایران مرکزی شده است. گسل‌های متأخر امتدادلغز مرتبط با رده‌های جوان‌تر

عرضی عمود بر روند ساختارها مشخص شد، مجموعه‌ای از گسل‌های راندگی که به طور عمده تغییرشکل‌هایی را در واحدهای قدیمی پرمین-تریاس ایجاد کرده و این واحدها را بر روی واحدهای جوان‌تر حتی تا پلیوسن-کواترنری رانده‌اند. بنابراین این سامانه راندگی از نظر سنی پس از کرتاسه و جوان‌تر می‌باشند. این سامانه راندگی در ادامه توسط مجموعه گسل‌های امتدادلغز با مؤلفه نرمال و نرمال با مؤلفه امتدادلغز قطع و جابه‌جا شده‌اند.

### کانه‌زایی در ارتباط با مدل تکاملی ساختاری پهنه جنوب نطنز

تحلیل ساختاری ناحیه جنوب نطنز، نشان‌دهنده آن است، گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی شرقی-غربی تا شمال غربی-جنوب شرقی به طور عمده مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال-نایبند و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر کرتاسه زیرین، حتی تا پلیوسن-کواترنری رانده است. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی قطع و جابجا شده‌اند. این مجموعه‌های امتدادلغز جوان‌تر، به‌ویژه جوان‌تر از ائوسن، در ارتباط با فعالیت‌های راستالغز گسل زفره هستند و رده‌های پایین‌تر منشعب شده از پهنه اصلی این گسل می‌باشند. ترفشارش راست‌بر در امتداد سامانه گسلی قم-زفره و تشکیل سیستم گسل‌های امتدادلغز جوان‌تر در ناحیه جنوب نطنز، قطع و جابجایی چین خوردگی‌ها و راندگی‌های قدیمی‌تر در شکل ۱۳ الف تا ی نشان داده شده است.

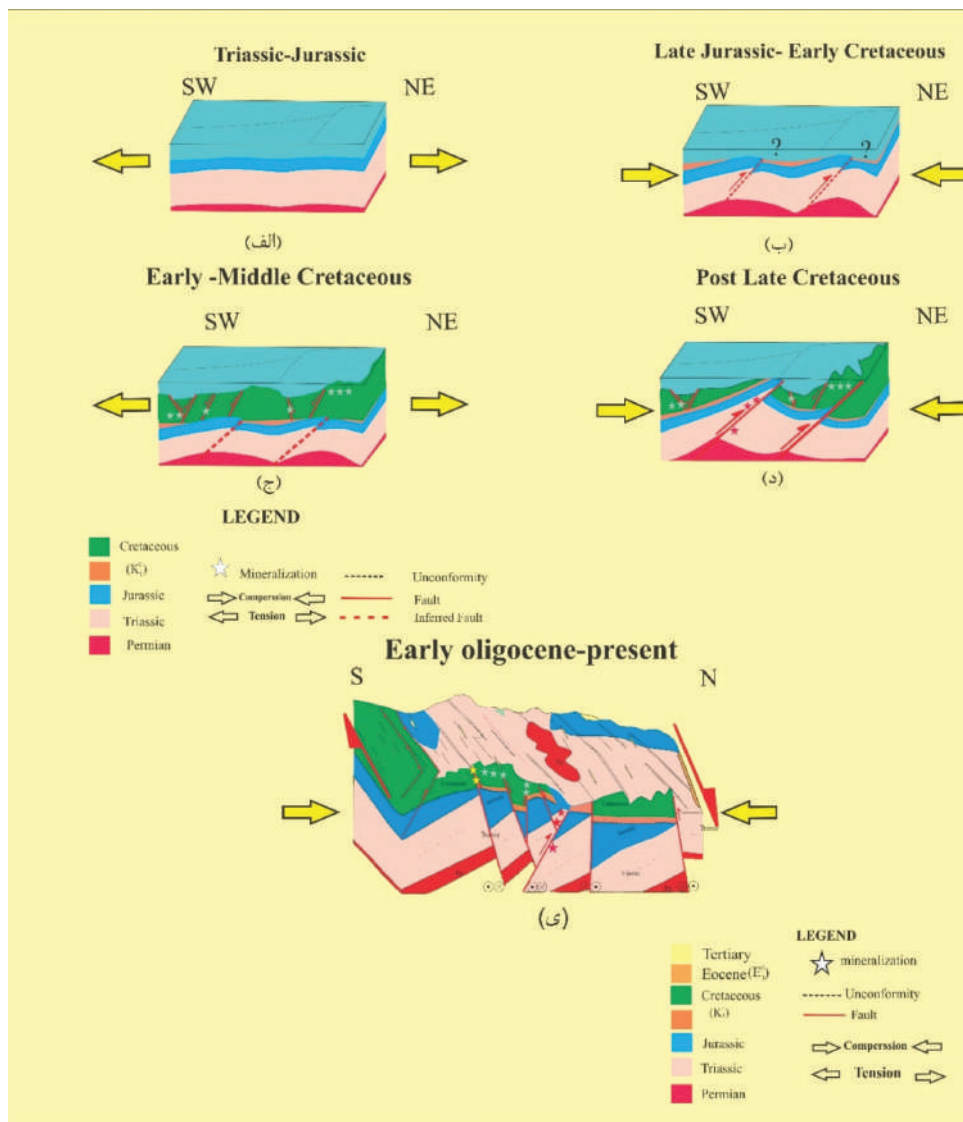
با توجه به شواهد چینه‌شناسی و وضعیت زمان ناپیوستگی‌های مشاهده شده در ناحیه جنوب نطنز، اثراتی از چین خوردگی و گسل خوردگی احتمالی در بازه زمانی قبل از کرتاسه‌زیرین دیده می‌شود (شکل ۱۳، الف و ب) که در طی آن واحدهای پرمین-تریاس-ژوراسیک و قدیمی‌تر دچار چین خوردگی و کوتاه‌شدگی شده‌اند، در این زمان اگرچه گسلش راندگی هم به احتمال در ادامه چین خوردگی وجود داشته ولی شاید به دلیل جابه‌جایی کم و بارگذاری راندگی کم در پهنه گسلی کانه‌زایی انجام نشده است. در ادامه این واحدهای چین خورده توسط واحدهای کرتاسه‌زیرین

1. Sedex-Like

2. Mississippi Valley-type

فعالیت گسل‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری، بیشتر دارای مولفه کششی، صورت گرفت (کانسارهای یزدان) و در ادامه توسط گسل‌های نرمال جوان جابجا شده‌اند. کانه‌زایی‌های با سنگ میزبان با سن پرمین-تریاس (مانند کانسارهای چنگرزه) از نوع دره می‌سی‌سی‌پی و کانه‌زایی‌هایی با سنگ میزبان آواری-کربناتی کرتاسه زیرین (مانند کانسار یزدان) از نوع Sedex-Like در نظر گرفت.

گسل زفره، این مجموعه‌های راندگی و کانی‌سازی‌های همراه آنها را تحت تأثیر قرار داده و در توزیع مجدد آنها نقش داشته‌اند. در این گستره به‌طور عمده کانه‌زایی در واحدهای سنگی پرمین-تریاس رخ داده که بیشتر در ارتباط با گسل‌های راندگی و امتدادلغز متأخر است و واحدهای پرمین-تریاس را بر روی واحدهای جوان‌تر قرار داده است. کانه‌زایی‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری سنگ میزبان در اثر



شکل ۱۳. الگوی شماتیک از تکامل ساختاری پهنه جنوب نطنز و ارتباط آنها با کانه‌زایی‌های سرب و روی، (الف) ته‌نشست واحدهای ژوراسیک و قبل از ژوراسیک در پهنه جنوب نطنز، (ب) چین‌خوردگی و گسل خوردگی احتمالی واحدهای ژوراسیک در پهنه جنوب نطنز و پوشیده شدن چین‌خوردگی‌های قدیمی توسط واحدهای کرتاسه زیرین به‌صورت ناپیوستگی، (ج) کرتاسه آغازین و کانی‌زایی هم‌زمان (پوشیده شدن چین‌خوردگی‌های قدیمی توسط واحدهای کرتاسه زیرین به‌صورت ناپیوستگی)، (د) بعد از کرتاسه پایانی و کانی‌زایی غیرهم‌زمان در راستای گسل‌های راندگی (کانی‌زایی ابتدا به‌صورت هم‌زمان با رسوب‌گذاری است و در ادامه توسط گسل‌های نرمال امتدادلغز جابجا شده است)، (ه) ترافشارش راست‌بر در امتداد سامانه گسلی قم-زفره و تشکیل سیستم گسل‌های امتدادلغز جوان‌تر در پهنه جنوب نطنز و تمرکز دوباره کانی‌زایی در راستای گسل‌های امتدادلغز با مؤلفه نرمال را نشان می‌دهد. ستاره سبز رنگ نشان‌دهنده کانی‌زایی هم‌زمان در واحدهای کرتاسه پایینی و ستاره‌های زرد رنگ برای نمایش تمرکز کانی‌زایی در راستای گسل‌های امتدادلغز با مؤلفه نرمال می‌باشد

## نتیجه‌گیری

از تقابل ترافشارش راستگرد بر راندگی‌های قدیمی‌تر در ایران مرکزی، علوم زمین، ۳۰، ۱۱۸، ۲۶۸-۲۵۵.

- محجل، م. سهندی، م. ر.، ۱۳۷۸. تکامل تکتونیکی پهنه سندنجد-سیرجان در نیمه شمال غربی و معرفی زیرپهنه‌های جدید در آن، علوم زمین، ۳۱-۳۲، ۴۹-۲۸.

- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Survey of Iran, 103, 983-992.

- Bazargani-Guilani, K., Faramarzi, M. and Nekouvaght Tak, M. A., 2010. Multistage dolomitization in the cretaceous carbonates of the east Shahmirzad area, north Semnan, central Alborz, Iran. Carbonates Evaporites, 25, 177-191.

- Bazargani-Guilani, K., Nekouvaght Tak, M. A. and Faramarzi, M., 2011. Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, central Alborz, Iran. Australian Journal of Earth Science, 58, 297-307.

- Beygi, S., Nadimi, A., Safaei, H., Nahodilova, R., Vrana, S., Pertoldova, J., Gadas, P., Skal, R., Jonasova, S. and Zak, K., 2016. Tectonic history of seismogenic fault structures in Central Iran. Journal of Geosciences, 61, 127-144.

- Jamali, F., Hessami Azar, Kh. and Qoreshi, M., 2008. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 68, 182.

- Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D., Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D. and Gardoll, S.J., 2010. Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history: Economic Geology, 105, 593-625.

- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21, 397-412

- Mohajjel, M. and Porouhan, N., 2003. Geometry and Kinematics of the Qom-Zefreh Fault System and its Significance in Transpression Tec-

مجموعه‌ای از گسل‌های راندگی در گستره جنوب شرقی گسل زفره دیده می‌شود. به‌طور عمده تغییرشکل‌هایی را در واحدهای قدیمی پرمین-تریاس تا قبل از کرتاسه زیرین ایجاد کرده‌اند. این سامانه گسلی راندگی و نرمال‌های امتدادلغز بعدی آنها کنترل‌کننده ژنز و توزیع دوباره بخش عمده‌ای از ذخایر سرب و روی، در این بخش از ایران مرکزی شده است. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب قطع و جابه‌جا شده‌اند. کنترل‌کننده ساختمانی به ترتیب گسل‌های راندگی اند و با گسل‌های امتدادلغز با مؤلفه نرمال قطع شده‌اند. در این گستره به‌طور عمده کانه‌زایی در واحدهای سنگی پرمین-تریاس قرار دارد و در وهله اول بیشتر در ارتباط با گسل‌های راندگی و امتدادلغز متأخر است و واحدهای پرمین-تریاس را بر روی واحدهای جوان‌تر قرار داده است و در ادامه توسط گسل راندگی جابه‌جا شده است البته در کانسار یزدان کانی‌زایی به موازات لایه‌بندی در واحدهای کرتاسه زیرین به‌صورت هم‌زاد از نوع Sedex-Like رخ داده است (جعفرکوپائی، ۱۳۹۸).

## منابع

- رادفر، ج.، ۱۳۷۸. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان، سازمان زمین‌شناسی کشور.

- زاهدی، م. و رحمتی، م.، ۱۳۸۱. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ طوق، سازمان زمین‌شناسی کشور.

- زاهدی، م. و عمیدی، س.، ۱۳۷۰. شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کاشان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۷۷، ۹۸.

- زاهدی، م.، صمدیان، م.، طاووسیان، ش. و عمیدی، م.، ۱۹۷۸. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی اصفهان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

- جعفرکوپائی، م.، ۱۳۹۸. ژئوشیمی، ژنز و تیپ کانی‌زایی سرب و روی (باریت) در کانسارهای فسخود و گردنه شیر در جنوب غرب اردستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۲-۲۰۹، ۵۰-۲۱۰.

- شواخی زواره، ف.، معدنی‌پور، س. و راستاد، ا.، ۱۳۹۹. الگوی تکامل ساختاری ناحیه جنوب نطنز شاهدهی

tonics. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 56, 72, GSI, Iran.

- Momenzadeh, M., 1976. Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayar-Isfahan district (west central Iran). Ph.D. thesis. Univ. Heidelberg, 300.

- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012a. 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.

- Rastad, E., 1981. Geological, mineralogical, and facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn-Pb-(Ba-Cu) deposits of the IranKouh Mountain Range, Esfahan, west Central Iran. Ph.D. thesis, University of Heidelberg, 334.

- Safaei, H., Taheri, A. and Vaziri Moghadam, H., 2008. Structural analysis and evolution of the Kashan fault (Qom-Zefreh Fault), Central Iran. Journal of Applied Science, 8, 1426-1434.

- Stocklin, J., 1974. Possible Ancient Continental Margins in Iran. The Geology of Continental Margins, 6, 873-887.

- Tabaei, M., Mehdizadeh, R. and Esmaeili, M., 2016. Stratigraphical evidence of the Qom-Zefreh Fault system activity, Central Iran. Journal of Tethys, 4, 18-26.

- Wilkinson, J. J., 2014. Sediment-Hosted Zinc-Lead Mineralization: Processes and Perspectives, Treatise on Geochemistry 2nd Edition, 219-249.