



# فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۱

doi 10.22077/JT.2023.5953.1148

## جایگاه ساختاری کانسار آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در پهنه زمین درز سیستان، جنوب غرب سفیدابه

محمد بومری<sup>۱</sup>، عبدالرضا پرتابیان<sup>۲\*</sup>، معصومه حسین پور<sup>۳</sup>

۱- استاد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- دانشیار تکنونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

### چکیده:

کانسار های آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در قسمت میانی پهنه زمین درز سیستان و در جنوب غرب شهر سفیدابه واقع شده اند. به منظور بررسی ساختاری این دو کانسار در ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای، خطواره های تکنونیک استخراج و نقشه های بیشترین چگالی طول و امتداد استخراج شد. در برداشت های میدانی گسل ها، رگه ها و کانی زایی های رخ داده در امتداد این ساختارها برداشت شد. سپس با کمک نرم افزار های تحلیل تنش، جهت تنشهای اصلی در هر دو منطقه استخراج و ارتباط فضایی بین ساختارهای میدانی، خطواره های تکنونیک و کانی زایی های رخ داده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. کانی زایی اصلی در امتداد پهنه های برشی فشارشی با روند شمال غرب- جنوب شرق ناشی از ایجاد یک خم فشارشی بین دو گسل اصلی نه و غرب آساگی رخ داده است. این ساختارهای سنگ های رسوبی و آذرین پالئوژن منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. دایره مور نشان دهنده یک رژیم ترا فشارش تا امتداد لغزی با جهت تنش اصلی حداکثر با امتداد شمال غرب- جنوب شرقی (۰۳/۲۱۵) می باشد. در این رژیم تنش علاوه بر گسل های رانندگی یک دسته گسلهای با سازو کار کششی هم راستا با جهت تنش اصلی حداکثر در منطقه ایجاد شده اند که با توسعه مناطق ضعف، فضای مناسبی را برای تزریق سیالات در منطقه مورد مطالعه فراهم کرده اند.

**واژه های کلیدی:** آنتیموان، ترا فشارش، تکنونیک امتداد لغز، تکنونیک و کانی زایی، خطواره

\* ایمیل: partabian\_reza@science.usb.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۷۷۸۲۶۱۳

## Structural investigation of Sefidabe and Hyderabad antimony ore deposits in the Sistan Suture Zone, southwest of Sefidabe

Mohammad Boomeri<sup>1</sup>, Abdolreza Partabian<sup>2\*</sup>, Masomeh Hoseinpour<sup>3</sup>

1. Professor of Economic geology, Department of Geology, college of science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2. Associate professor of Tectonics, Department of Geology, college of science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3. Master of Science of Economic Geology, Department of Geology, college of science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

### Abstract

Sefidabe and Hyderabad antimony ore deposits are located in the southwest of Sefidabe and in the Sistan Suture Zone. In order to structural analysis of these areas, at first, using satellite images, tectonic lineaments were extracted and the areas with the highest density of length and direction were determined. Then, in the field surveys, veins, faults and mineralization occurred along them were taken. By using stress analysis software, the direction of the principal stresses in the area and the relationships between these structures, tectonic faults and mineralization were analyzed. Compressive shear zones with a northwest-southeast trend are caused by a constraining bend formed between the two of Neh and West-Asagi main faults, is the main factor of mineralization in the study area. This positive flower structure has strongly affected the Paleogene sedimentary and igneous rocks of the region. The Moore's circle indicate a compressional to wrench tectonic regime with the maximum stress direction (03/215) in the northwest-southeast. In this stress regime, in addition to thrust faults, a group of conjugate faults with an acute angle and tensile fractures aligned with the direction of maximum principal stress have formed, which have provided a suitable environment for fluid injection by creating weak zones.

**Key words:** Antimony, Tectonics and mineralization, Transpression, Wrench tectonic, Lineament

---

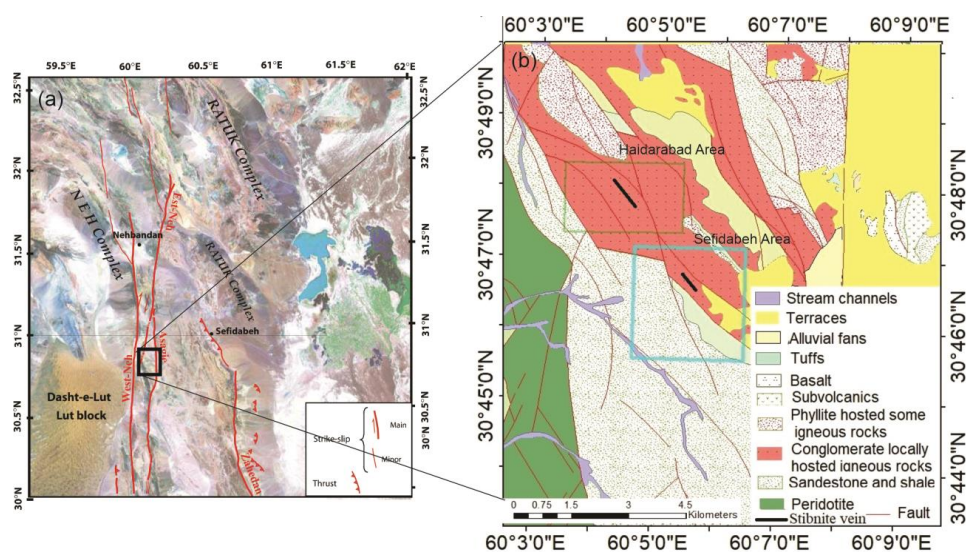
\*Email: partabian\_reza@science.usb.ac.ir

Tel: +989177822613

## ۱- مقدمه

محلول‌ها از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها تا فاصله زیادی وجود دارد. بسته شدن و باز شدن گسل‌ها و شکستگی‌ها و تغییرات ناگهانی فشار در طول آنها نقش زیادی در ته نشین و رسوب سولفید آنتیموان دارد (Scratch et al., 1984). رگه‌های حاوی کانی زایی آنتیموان در شرق ایران به خصوص در استان سیستان و بلوچستان در محدوده‌های متعددی از جنوب زاهدان تا نهبندان شکل گرفته‌اند. مناطق توزگی، شورچاه، سفید سنگ، در گیابان، بائوت، چاه بریش، لخشک، حیدرآباد و سفیدآبه از مهمترین کانسارهای و نشانه‌های آنتیموان در این استان می‌باشند (خرمی، ۱۳۹۱؛ بومری، ۱۳۹۳؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مارزی، ۱۳۹۵؛ بومری و همکاران، ۱۳۹۷؛ مجددی مقدم، ۱۳۹۸). کانسارهای آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در جنوب غرب شهر سفیدابه واقع شده‌اند (شکل ۱). این کانسار تنها معدن آنتیموان فعال در استان است که دارای کارخانه تولید شمش آنتیموان می‌باشد.

عمده کانسارهای آنتیموان به شکل رگه‌ای می‌باشند به عبارت دیگر شکل‌گیری آنها توسط گسلها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود (Scratch et al., 1984; Guillemette and Williams-Jones 1993). محلول‌های گرمابی از اعماق زمین از طریق گسل‌ها و شکستگی به سمت بالا مهاجرت کرده و بتدریج کانی‌های مختلف از آنها ته‌نشست می‌شود. محل ته‌نشست کانی‌ها، در گسلها به عوامل فیزیکی (تغییرات فشار و دما و جوشش) و عوامل شیمیایی (pH و Eh) وابسته است (Guilbert and Park, 1986; Liot et al., 2020). باز شدن فضا‌های خالی به دلیل فعالیت یک گسل یا فشار سیال در ترازهای بالای پوسته و ورود سیال به داخل آنها به کاهش ناگهانی فشار سیال، خروج گازها و ته‌نشست مواد معدنی منجر می‌شود (Robb, 2005). آنتیموان نسبت به خیلی از عناصر دیگر از پایداری بیشتری در محلول‌های گرمابی برخوردار است و امکان انتقال آن در این



شکل ۱: (a) نقشه کوچک مقیاس تصویر ماهواره‌ای پهنه زمین درز و مناطق اطراف به هم‌اره گسل‌های اصلی را نشان می‌دهد. (b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

مجددی مقدم، ۱۳۹۸). هدف از این مطالعه شناسایی و بررسی، انواع درزه‌ها، گسل‌ها، رگه‌ها و لایه‌ها و دیگر ساختارها، مشخصات و رفتار آنها با استفاده از مطالعات دورسنجی و صحرایی می‌باشد. نقش و ارتباط این ساختارها در تشکیل رگه‌های آنتیموان دیگر هدف این مطالعه است.

رگه‌های آنتیموان سفیدابه در سنگهای کنگلومرای کرم رنگ پالئوسن ناشی از یک سیستم گرمایی رخ داده است، و در ارتباط با گسل‌های راندگی و امتداد لغز می‌باشد (بومری و همکاران، ۱۴۰۰، کوهساری، ۱۴۰۱). کانی‌زایی رخ داده در این کانسار از نوع رگه‌ای، اپی‌ترمال، استیبینیت-کوارتز است (فرشید پور، ۱۳۹۱،



## ۲- زمین شناسی و تکتونیک

کانسار آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در بخش شمالی پهنه زمین درز سیستان واقع شده اند. بخش شمالی زمین درز سیستان به دو مجموعه سنگ شناختی رتوک در شرق و نه در غرب تفکیک شده که پهنه رسوبی سفیدابه آنها را از هم جدا می کند (Tirrul et al., 1983). این دو مجموعه حاوی افیولیت‌هایی سنونین تا ماستریشین، فیلیت‌های کرتاسه تا ائوسن، سنگ‌های رسوبی-آواری قاره‌ای پالئوژن می‌باشند (Tirrul et al., 1983). این مطالعه سنگ‌های حوضه سفیدابه را به ۱۱ سازند متفاوت تقسیم‌بندی کرده اند که عبارت اند از سنگ‌های فلیش‌گونه، رخنمون‌های ازافیولیت ملانژ و سنگ‌های آذرین خروجی و درونی بازیک تا اسیدی. این سنگ‌های آذرین بیشتر مرتبط با گسل‌های امتداد لغز شرق ایران و ماگماتیسیم بعد از برخورد می‌باشند (Nazari et al., 2022).

وضعیت ساختاری پهنه زمین درز سیستان با جایگیری بین دو صفحه قاره‌ای لوت و هلمند و غلبه زمین ساخت برخوردی، بسیار پیچیده است. حرکت شمال و شمال‌شرقی صفحه هندوستان و اثرات ناشی از آن در شکل‌گیری و ساختار زمین ساختی پهنه زمین درز نقش داشته است (آقانباتی، ۱۳۸۳). محدوده‌های مورد مطالعه بین دو گسل اصلی و امتداد لغز گسل نه و گسل غرب آساگی قرار گرفته است و به شدت تحت تاثیر این گسلها قرار گرفته است (Aghanabati, 1991). در منطقه نهبندان تا سفیدابه گسل‌های امتداد لغز راستگرد با روند تقریبی شمالی-جنوبی شکل‌گیری ساختارها را تحت کنترل دارند (شکل ۱).

مجموعه‌های افیولیتی، توریداتی، فلیشی، سنگ‌های آذرین ولکانیکی و ساب ولکانیکی پهنه مورد مطالعه را پوشش داده اند (شکل ۱). قسمت شرقی محدوده‌های مورد مطالعه شامل فلیش‌های دگرگونی شد به فیلیت و اسلیت می‌باشد. قسمت غربی سنگ‌های رسوبی توریداتی رخنمون دارند. مرز بین اکثر مجموعه‌ها و واحدهای سنگی عمدتاً گسله می‌باشند به صورتی که در محدوده مورد مطالعه یک منطقه برشی و گسل‌های متقاطع سنگها را قطع کرده اند. واحد‌های زمین‌شناسی در این محدوده و اطراف آن به شرح زیر می‌باشد:

مجموعه افیولیت ملانژ در غرب محدوده‌های اکتشافی و در مجاورت پهنه لوت قرار گرفته اند. این واحد به سن کرتاسه قدیمترین واحد سنگی موجود در منطقه است و عمدتاً از مجموعه‌های گابرویی و هارزبورژیتی سرپانتینیزه شده تشکیل شده و در امتداد گسل نه شرقی برونزد دارند. در مجاورت با محدوده مورد مطالعه فقط پریدوتیت‌ها (هارزبورژیت) برونزد دارند که در مجاورت با سنگ‌های رسوبی واقع شدند (شکل ۱b). آثار معدنکاری قدیمی، رگه‌های منیزیت و هونیت در پریدوتیت‌ها دیده می‌شود. این واحد دارای روند شمالی جنوبی است و به سمت جنوب به افیولیت‌های شرق آساگی، چهل کوره و نصرت آباد ختم می‌شود. مجموعه توریداتی و فلیشی: گسترده‌ترین مجموعه سنگی موجود در منطقه است که کانی‌زایی آنتیموان در آن رخ داده است (شکل ۲a). این مجموعه متشکل از واحدهای سنگی و توالی‌های مختلفی تشکیل شده است که عمدتاً شامل، ماسه سنگ، شیل، سیلتستون و کمتر گل‌سنگ و ندرتا سنگ آهک و کنگلومرا می‌باشد این مجموعه دگرسان شده و دارای رنگ‌های متنوع می‌باشند. این مجموعه شامل واحدهای مختلفی به شرح زیر است:

واحد فیلیتی شدیداً دگرسان شده و به رنگ زرد و قهوه ای مشاهده می‌شود. این واحد به صورت متناوب با واحد کنگلومرایی در شرق قرار گرفته است. این واحد با امتداد شمال غرب و جنوب شرقی با مرز گسله از واحد‌های توریداتی در غرب متمایز شده است. سنگ‌های آذرین در این واحد به فراوانی نفوذ کرده است.

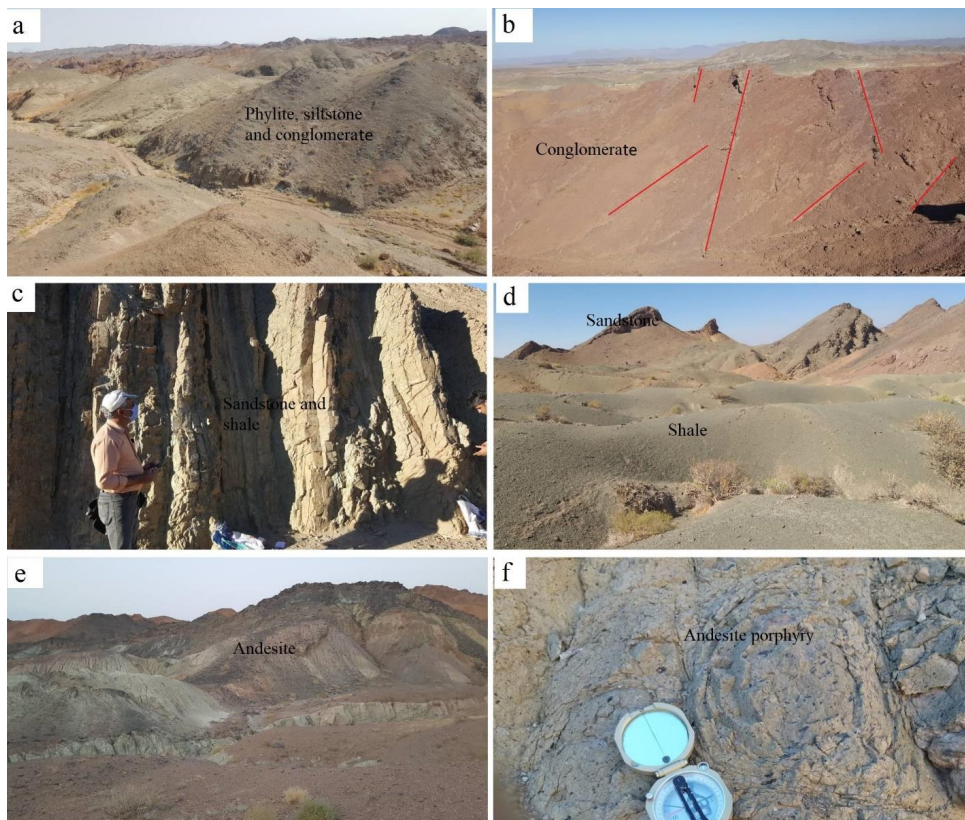
نهشته‌های کنگلومرایی برشی شده با ضخامت نسبتاً زیاد و در بخش وسیعی از محدوده مورد مطالعه با روند شمال غرب-جنوب شرق رخنمون دارند (شکل ۲b). سن این واحد الیگومیوسن است. این مجموعه دارای مرز گسله با واحدهای زیرین و فوقانی خود می‌باشد. این سنگها مهم‌ترین میزبان کانه‌زایی کانسار آنتیموان دار محدوده مورد مطالعه است. در مناطق مختلف رخنمون این واحد به شدت برشی و سیلیسی شده و حاوی رگه‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوانی می‌باشد.

زیر واحد ماسه سنگ-شیل شامل ماسه سنگ‌های نازک



رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای دیده می‌شود و در بیشتر قسمت‌ها سیلیسی و دگرسان شده است. این مجموعه دارای روند شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد.

لایه و ضخیم لایه در تناوب با شیل‌های نرم سبزرنگ رخنمون دارد (شکل ۲c و d). ماسه سنگ‌های ضخیم لایه از مساحت و گسترش کمتری در منطقه برخوردار بوده و به



شکل ۲: زمین‌شناسی: (a) واحد فلیش شامل تناوب شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا؛ دید به سمت شرق (b) واحد کنگلومرای با رگه‌ها و گسل‌هایی با روند متفاوت، دید به سمت جنوب (c) تناوب لایه‌های نازک و شیب زیاد ماسه سنگ و شیل (d): لایه‌های ضخیم شیل با میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ، دید به سمت شرق (e): پرونده‌هایی از سنگ‌های آذرین حدواسط (f): نمای نزدیک از بافت و کانی‌های سنگ‌های آذرین منطقه که میزان ژئودهای کوارتزی می‌باشند. خطوط قرمز محل گسل است.

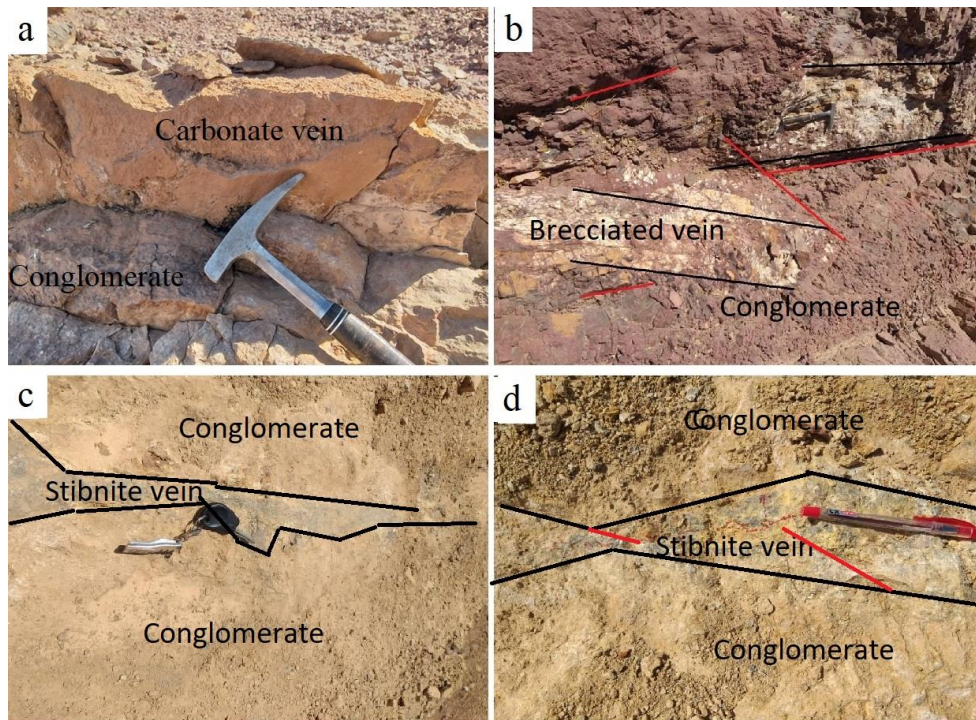
کربناتی، سیلیسی-کربناتی، لیمونیتی، هماتی و سیلیسی-آهنی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند (شکل ۳a و b). اغلب رگه‌های فاقد کانی‌زایی که درزه‌ها و گسل‌ها را پر کردند رگه‌های کربناتی هستند. کالسدونی در بعضی از رگه‌های کربناتی-سیلیسی به فراوانی در محدوده وجود دارد که دارای ساخت و بافت‌های پرکننده فضای خالی می‌باشند و از مشخصات سیستم‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین می‌باشند. رگه‌های کانی‌زایی شده در یک پهنه خردشده و برشی و اغلب در واحدهای کنگلومرای، شیل و مادستون دیده می‌شوند. رگه‌های کانی‌زایی شده اصلی بیش از یک کیلومتر در جهت شمال‌غرب-جنوب شرق گسترش دارد. ضخامت این رگه در بعضی محل‌ها به بیش از ۳۰ سانتیمتر می‌رسد. این رگه به طور غالب دارای شیب

سنگ‌های آذرین به صورت کمربند آتشفشانی با امتداد شمال غرب-جنوب شرق از حیدرآباد به سمت مجموعه خروجی-نفوذی اساگی تا کمربند چاچی در پاکستان رخنمون دارد. سنگ‌های موجود در محدوده‌های مورد مطالعه و اطراف آن را می‌توان متعلق به مجموعه اساگی دانست (کیخا، ۱۴۰۰). سنگ‌های آذرین در محدوده مورد مطالعه به صورت خروجی (لاوا و آذرآوری)، استوک و دایک رخنمون دارند (شکل ۲c و f). پتروگرافی و ژئوشیمی و شیمی کانی این سنگ‌های به طور مفصل بررسی شده است.

رگه‌های متعددی در محدوده‌های مورد مطالعه وجود دارند که شامل انواع کانی‌زایی شده و غیرکانی‌زایی شده می‌شوند. انواعی که فاقد کانی‌زایی هستند از لحاظ ترکیب متنوع می‌باشند و شامل انواع سیلیسی،

مخفی بلور سیلیس می باشد. مقداری کربنات، اکسید آنتیموان، اکسید آهن و کانی های رسی نیز در این رگه ها وجود دارند. جابجایی عرضی در طول این رگه به فراوانی دیده می شود. رگه های فرعی استیبینیت عمود بر رگه اصلی با طول محدود وجود دارند.

تندی به سمت جنوب غرب با میزان متغیر می باشد. کانی زایی آنتیموان در این رگه ها کاملاً آشکار و در بیشتر جاها به صورت توده ای در مرکز رگه دیده می شود (شکل ۳c و d). کانه اصلی در این رگه استیبینیت هست که عمدتاً همراه کوارتز و اشکال آمورف و



شکل ۳: عکس های صحرایی رگه ها در محدوده سفیدآبه و حیدرآباد، (a) یک رگه کربناته با روند شرقی-غربی، (b) یک زون برشی شده و دگروسان شده در امتداد رگه و گسل که جابجایی عرضی دارد، (c) رگه استیبینیت در محدوده سفیدابه که نازک شدگی و ضخیم شدگی نشان می دهد، (d) رگه استیبینیت که دارای نازک شدگی و ضخیم شدگی است.. خطوط قرمز محل گسل است.

درک درستی از نحوه کانه زایی در منطقه باشد. به طور کلی خطواره های زمین شناسی شامل عوارض ساختاری مانند شکستگی ها، گسل ها و مرز لایه ها، آبراهه ها و خطوط دیگری مانند راه ها و دیگر عوارض مصنوعی خطی می باشند که باید از یکدیگر جدا شده و عوارض مصنوعی حذف گردند (et Hashim al, ۲۰۱۳; al et Corgne, ۲۰۱۰). امروزیکی از بهترین روش های استخراج خطواره ها تصاویر ماهواره ای می باشند (Koike and Masoud, ۲۰۰۶).

به منظور استخراج خطواره های تکتونیکی در دو محدوده سفیدابه و حیدرآباد از تصاویر LAND- LC08\_L1TP\_158039\_20210131\_202) SAT8-OLI (10131\_01\_RT استفاده شده است. ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شده است. سنجنده OLI

زون کانی زایی هم روند با ساختارهای عمومی منطقه بوده و از روند گسل های راننده و امتداد لغز تبعیت میکند، شیب گسل و شیب رگه ی کانه دار یکسان ولی بر عکس شیب سنگ های میزبان می باشد که حاکی از نقش کنترل کننده های ساختاری در منطقه می باشد و ارتباطی با لایه بندی سنگهای رسوبی میزبان ندارد.

### ۳- مواد و روش ها

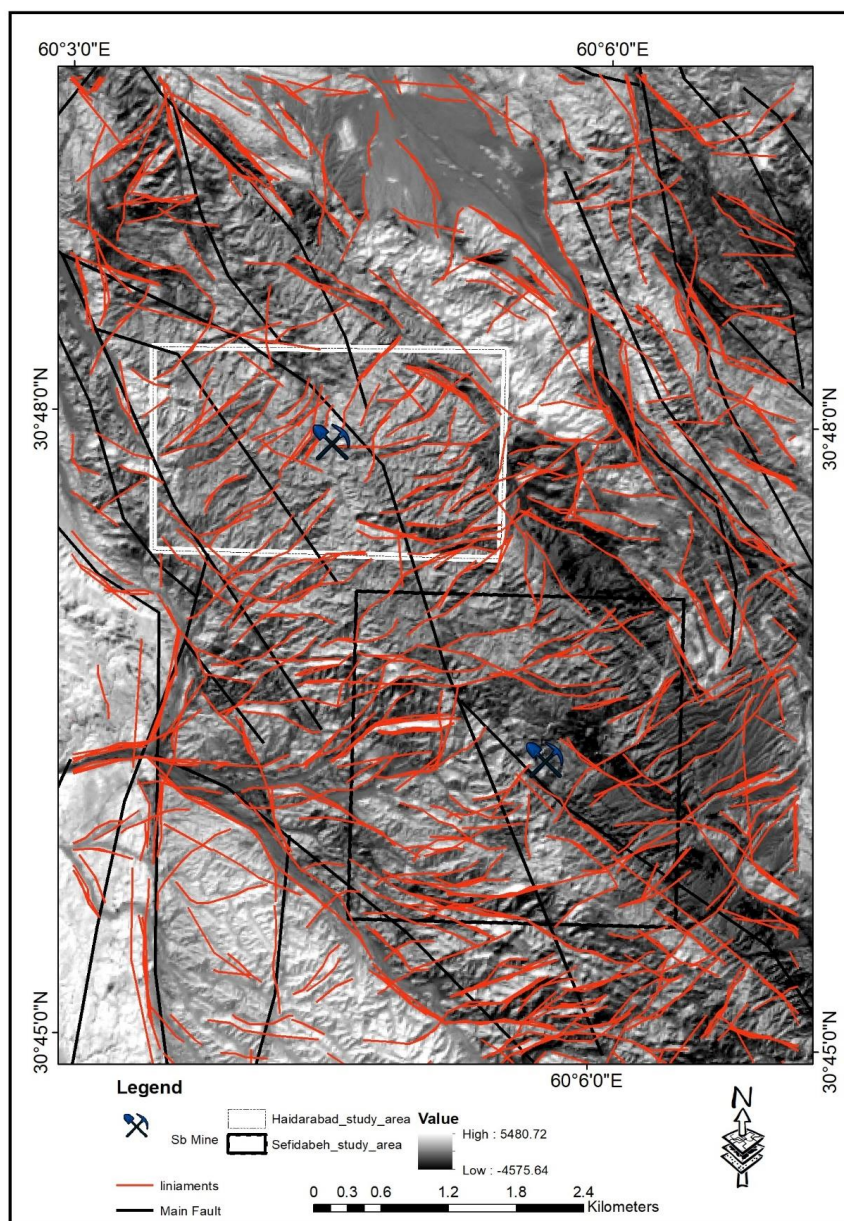
#### ۳-۱- استخراج خطواره ها

مطالعه خطواره های تکتونیکی به عنوان مناطق مستعد جهت کانه زایی و ارتباط معنی دار این ساختارها با مناطق کانه زایی موضوع مطالعات زیادی می باشد (Lahram and Rowan; ۲۰۱۰ Hashim and Marghany) (۱۹۸۰). بنابراین استخراج و بررسی مناسب آنها در مناطق در حال اکتشاف می تواند کمک شایانی به



تصویر با تفکیک بالا استفاده شده است. سپس تصویر خروجی در نرم افزار PCI Geomatica برای استخراج خطواره‌ها به صورت اتوماتیک مورد استفاده قرار گرفته است. خطواره‌های استخراج شده به صورت دستی و اتوماتیک وارد نرم افزار Arc Gis 10.3 شده با مقایسه آن و تصاویر ماهواره ای خطواره‌های مصنوعی حذف گردید (شکل ۴).

نصب شده بر روی آن دارای ۹ بانده طیفی می باشد. بانده پانکروماتیک این ماهواره دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر می باشد که با توجه به تفکیک پذیری بالای آن می توان برای استخراج خطواره ها به صورت دستی از آن استفاده کرد (Roy et al, 2014). در این مطالعه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) (Nama 2004) در نرم افزار ENVI 5.3 برای تهیه یک



شکل ۴: خطواره‌های استخراج شده بر روی تصویر خروجی PCA

کلیدی برای بررسی تنش در منطقه)، انواع رگه‌ها (دارای کانه زایی یا بدون کانه زایی) به عنوان مناطق ضعف ساختاری و همچنین روندهایی که در امتداد آنها کانه زایی شده است برداشت و مورد بررسی

### ۲-۳ برداشت‌های ساختاری در عملیات میدانی

به منظور بررسی ساختاری در دو محدوده مورد مطالعه مشخصات انواع گسل‌ها (به عنوان سطوح ضعف و

ویژگی‌های فضایی آنها از جمله امتداد، شیب، ریک و جهت لغزش در صورت وجود برداشت گردند. به طور کلی در هر دو منطقه مورد مطالعه انواع گسل‌های راندگی و امتداد لغز برداشت گردید (شکل ۶).

گسل‌های سفیدابه: از این محدوده تعداد ۷۰ گسل برداشت شده است. رزدیگرام امتداد این ساختارها (شکل ۷) نشان دهنده ۴ دسته گسل با امتداد و مکانیسم متفاوت می باشد. دسته اول گسل‌های راندگی شمال غرب- جنوب شرقی با فراوانی بیشتر نسبت به دسته های دیگر است. سه دسته دیگر با مکانیسم امتداد لغز عبارت هستند از گسل‌های با امتداد شمالی- جنوبی و گسل‌های مزدوج شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب تا شرقی غربی که با هم یک زاویه حاده می سازند.

گسل‌های حیدرآباد: از این محدوده تعداد ۵۳ گسل با مکانیسم راندگی و امتداد لغز برداشت شده است (شکل ۶ و ۷). این ساختارها در سه دسته اصلی قرار می گیرند. دسته اول گسل‌های راندگی با امتداد شرقی غربی دارای بیشترین فراوانی و دو دسته دیگر گسل‌های امتداد لغز با روند شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب می باشند که به صورت مزدوج و با هم یک زاویه حاده می سازند.

#### ۴- نتایج

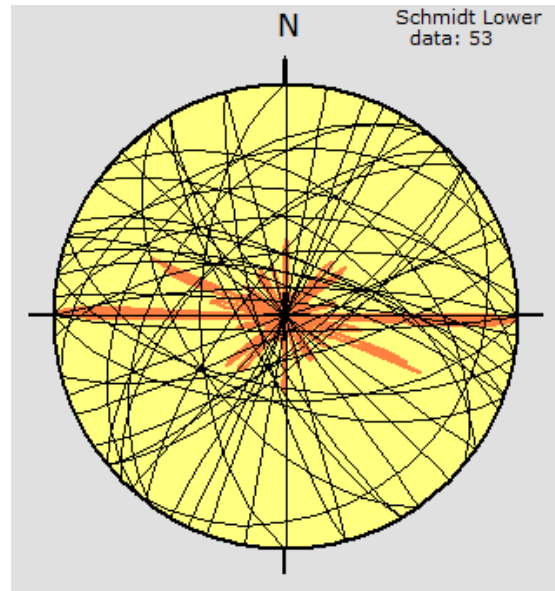
### ۴-۱- آنالیز خطواره‌ها و ارتباط آنها با ساختارها

به منظور مطالعه‌ی ساختاری در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از ابزارهای موجود در نرم افزار Arc GIS نقشه چگالی طول خطواره‌ها و روند خطواره‌ها در دو منطقه سفیدابه و حیدرآباد استخراج گردید. (شکل ۸). در منطقه حیدرآباد بخصوص در جنوب شرق آن دو دسته خطواره با روند‌های شمال غربی و شمال شرقی دارای چگالی بیشتری می‌باشند. در منطقه حیدرآباد نقشه چگالی روند خطواره‌های نشان دهنده، تراکم بالایی راستای شمال شرقی- جنوب غرب در مرکز می‌باشد. رزدیگرام خطواره‌های نشان دهنده دو دسته خطواره اصلی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق (با چگالی بیشتر) و شمال شرق- جنوب غرب می باشد (شکل ۸) در منطقه سفیدابه نقشه چگالی خطواره‌های نشان دهنده تراکم بیشتر خطواره‌های با روند شرقی- غربی با

قرار گرفت. ایستگاه‌های برداشت داده‌ها روی شکل ۷ مشخص شده است.

### ۳-۲-۱- رگه‌ها:

به طور خلاصه وضعیت فضایی رگه‌های برداشت شده در دو محدوده به شرح زیر می باشد (شکل ۵).



شکل ۵: مشخصات رگه‌های در محدوده مورد مطالعه

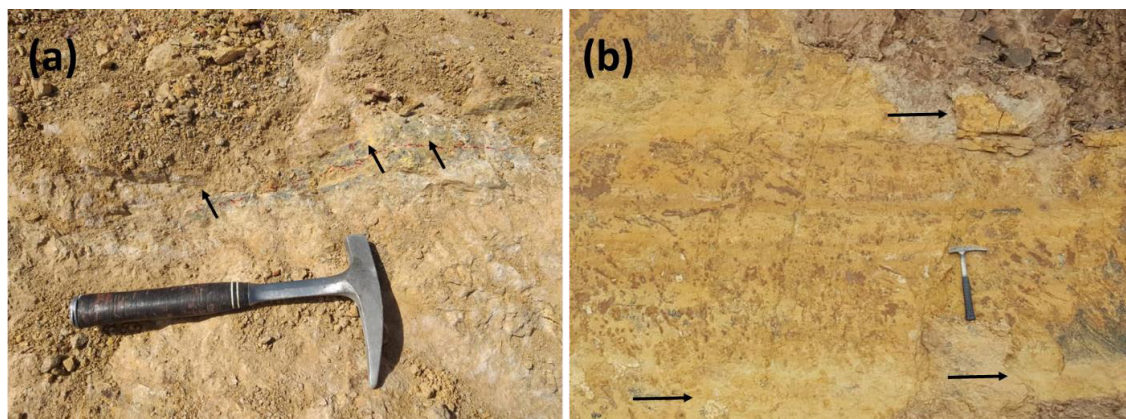
۵۳ رگه از هر دو منطقه برداشت شده است. پراکنده گی رگه‌ها در منطقه سفیدابه شامل سه روند می شود. دسته اول دارای امتداد شمال شرقی، دسته دوم دارای امتداد شمال غربی و دسته سوم امتداد شرقی- غربی می باشند. رگه‌های همراه با کانی زایی و دگرسانی به ترتیب فراوانی دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق، شرقی- غربی و شمال شرق- جنوب غرب می باشند. تعدادی رگه در امتداد شکستگی‌های مزدوج با جهت‌های شمال شرق و شرقی غربی نفوذ کرده‌اند و از لحاظ فراوانی با دیگر دسته‌ها دارای پراکنده گی کمتری می باشند. روند رگه اصلی استینیت شمال غربی است ولی شاخه‌های فرعی آن روند متفاوتی دارند.

در محدوده حیدرآباد پراکنده گی فضایی رگه‌ها کمتر بوده و عمدتاً در دو دسته شمالی جنوبی تا شمال- غرب جنوب شرق و شرقی غربی تا شمال غرب- جنوب شرق قرار گرفته‌اند و رگه اصلی استینیت دارای روند شمال غرب می باشد.

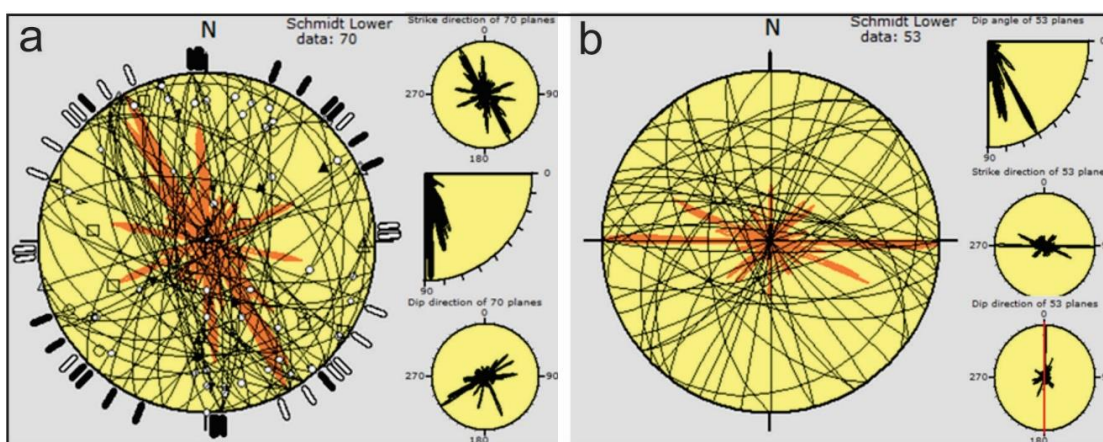
### ۳-۲-۲- گسل‌ها

در عملیات صحرایی سعی شد انواع گسل‌ها و





شکل ۶: سطوح گسلی به همراه خش لغز. (a): گسل معکوس به همراه مولفه امتداد لغز راستگرد. (b): گسل امتداد لغز راستگرد.



شکل ۷: داده‌های آماری جهت و شیب گسل‌های منطقه سفیدابه (a) و حیدرآباد (b)

مشخصات محورهای اصلی تنش و مقدار  $R$  (نسبت بزرگی بیضی تنش (فرمول ۱) استفاده کرد (Angelier, 1991). با استخراج این مشخصات می‌توان به رژیم تکنیکی در منطقه در هنگام شکل‌گیری ساختارهای شکنا و وضعیت فضایی آن پی برد (Angelier 1994).

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad -1$$

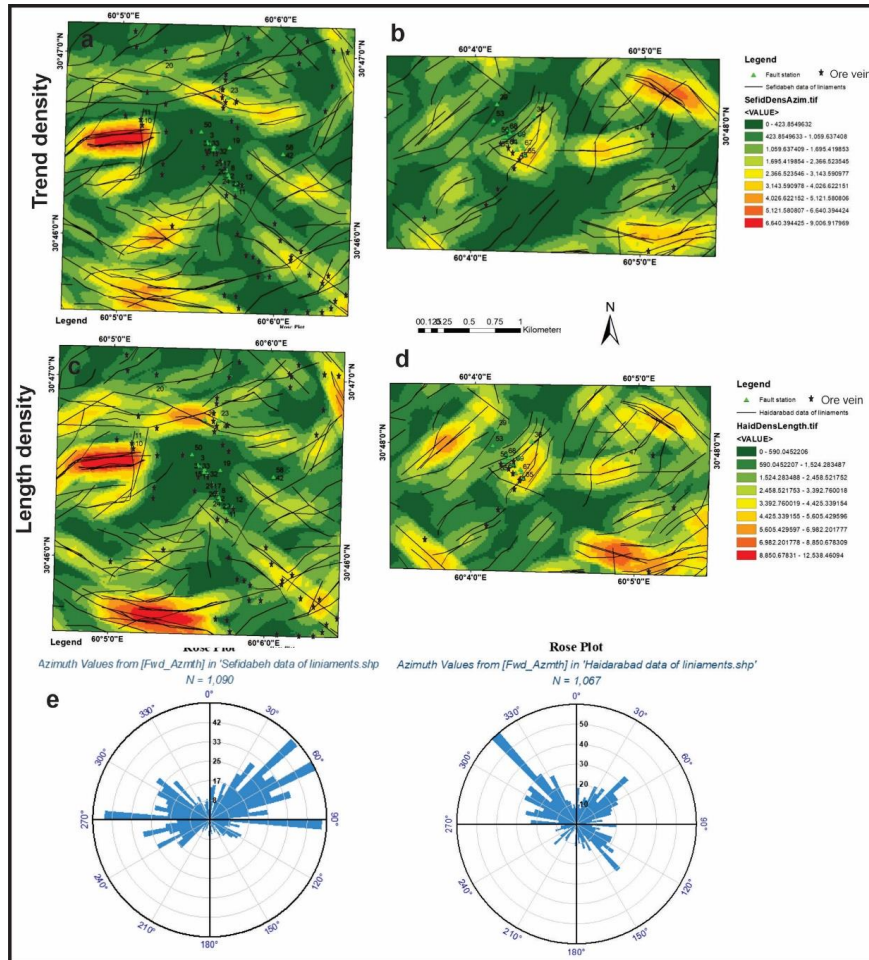
اطلاعات برداشت شده از گسل‌های منطقه مورد مطالعه وارد نرم افزار Wintesor شد و سپس با استفاده از روش وارون سازی جهت تنش‌های اصلی در منطقه و همچنین مقدار  $R$  محاسبه گردید. با توجه به اینکه منطقه سفیدابه و حیدرآباد دارای سیستم گسلی با روند کمی متفاوت هستند در ابتدا برای هر منطقه این محاسبات به صورت جداگانه انجام شد (شکل ۹ و ۱۰). تن‌های اصلی منطقه حیدرآباد:

$\sigma_1:21/359$

طول زیاد در قسمت جنوب، شرق و مرکز منطقه است. علاوه بر آن خطواره‌های با امتداد شمال غرب-جنوب شرق با طول متوسط از جنوب شرق تا مرکز منطقه امتداد دارند. زردی‌گرام خطواره‌ها سه دسته خطواره به ترتیب فراوانی، (۱) شمال شرق-جنوب غرب (۲) شرقی-غربی (۳) شمال غرب-جنوب شرق را نشان می‌دهد.

#### ۴-۲- جهت تنش‌ها در منطقه مورد مطالعه

تاثیر تنش‌های تکنیکی بر روی پوسته زمین می‌تواند باعث واکنش‌های مکانیکی و ایجاد شکستگی‌ها در مقیاس مختلف در آن گردد (Aleksandrowski, 1985). به عبارتی دیگر می‌توان با اندازه‌گیری‌های مشخصات فضایی ساختارهای دگرشکلی‌شکننده مانند گسل‌ها به روش وارون سازی به ویژگی تنش‌ها و روند آنها در هنگام شکل‌گیری ساختارها پی برد (Bott 1959). به عبارتی اندازه و جهت لغزش بر روی صفحه گسلی (به عنوان ساختار شکنا) را می‌توان برای تعیین



شکل ۸: چگالی طول و امتداد خطواره‌های برداشت شده در محدوده های سفیدابه و حیدرآباد. محل برداشت های میدانی بر روی تصاویر مشخص شده است. (value: شان دهنده تراکم طول و تعداد خطواره ها در واحد سطح است).

$\sigma_2: 24/128$

$\sigma_2: 08/092$

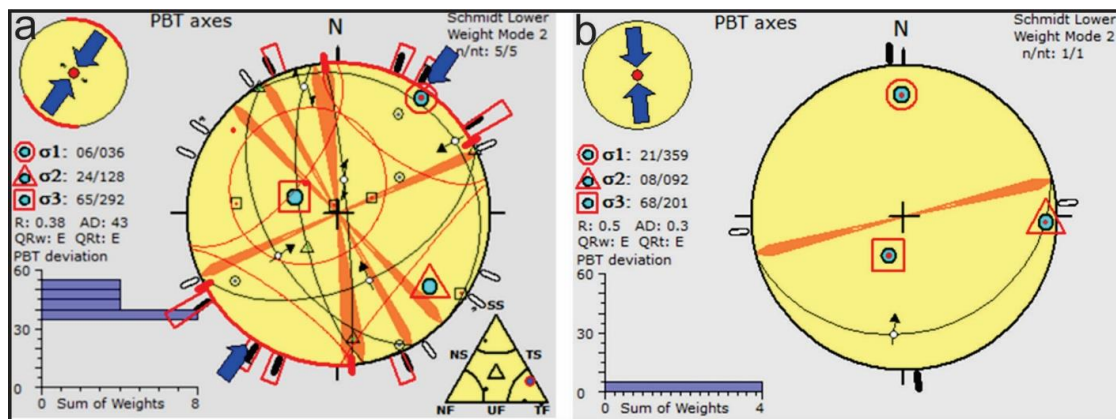
$\sigma_3: 65/292$

$\sigma_3: 68/201$

استخراج گردید.

و در منطقه سفیدابه

$\sigma_1: 06/036$



شکل ۹: داده های آماری و روند تنش اصلی در منطقه سفیدابه (a) و حیدرآباد (b)



به عبارت دیگر با توجه به مقدار R به دست آمده و پلات اطلاعات بر روی دایره مور سه بعدی یک رژیم تکنونیک ترفشارشی (Transpression) تا امتداد لغزی (Wrench) (شکل ۱۰) برای این منطقه می‌توان پیشنهاد کرد (Angelier, 1994).

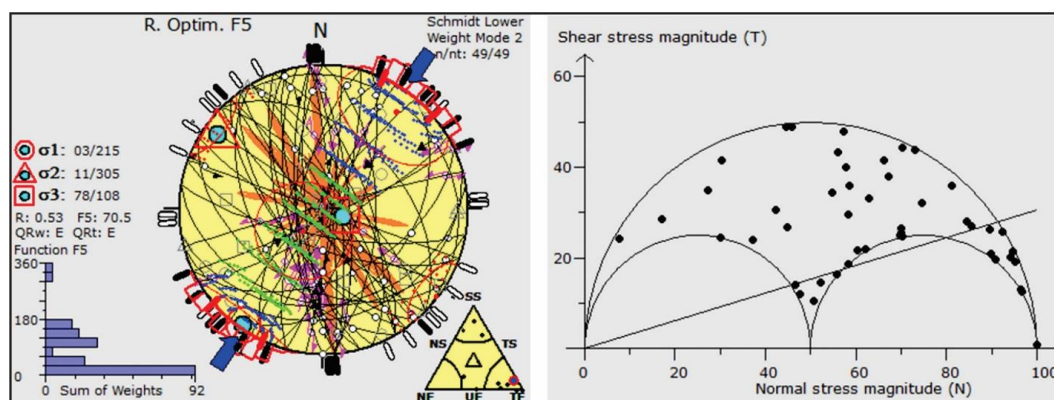
با توجه به نزدیکی این دو منطقه در گام بعدی برای نتیجه‌گیری بهتر تمام اطلاعات باهم تلفیق و جهت مشخصات تنش‌های اصلی برای کل منطقه استخراج گردید (شکل ۴). به شرح زیر می‌باشد.

$$\sigma_1 = 05/024$$

$$=14/293\sigma_2$$

$$=75/133\sigma_3$$

$$R=0.39$$



شکل ۱۰: (a) داده‌ها و روند تنش اصلی در منطقه مورد مطالعه شکل (b) دایره مور سه بعدی حاصل از برداشت از گسل‌های میدانی.

و شرقی-غربی محیط مناسبی را جهت نفوذ رگه‌ها و در گام بعدی منجر به ایجاد آلتراسیون در امتداد آنها شده‌اند (به طور مثال، Mohammadi et al., 2018; Glen, 1995).

بررسی سیستم تنشی کلی منطقه با تنش روند حداکثر (05/024) و تنش حداقل (75/133)، رگه‌های برشی شده می‌تواند وجود یک سیستم شکستگی مزدوج با زاویه مناسب نسبت به تنش حداکثر را آشکار کند. اطلاعات میدانی نشان دهنده این است که عمده کانی‌زایی بر اثر ایجاد زون‌های برشی-فشارشی در منطقه با روند شمال غرب-جنوب شرق شکل گرفته‌اند. به عبارت دیگر با توجه به روند گسل‌های اصلی منطقه و ساختارهای برداشت شده می‌توان یک مدل خم چپ فشارشی (Contractional retraining left bend) یا (C.R.B) را در محدوده مورد مطالعه پیشنهاد داد که باعث ایجاد یک قسمت گرده ماهی مانند سنگ‌های رسوبی و آذرین پالئوژن در منطقه در منطقه را با مرزهای گسله در کنار هم قرار داده است. گسل‌های رانندگی با مولفه راستگرد

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

روند غالب رگه‌های دارای کانه‌زایی در منطقه شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد ولی به طور کلی تمامی رگه‌های برداشت شده در سه دسته کلی از لحاظ جهت‌گیری قرار می‌گیرند. دسته اول شرقی-غربی، دسته دوم شمال غرب-جنوب شرق و دسته سوم دارای امتداد شمال شرق-جنوب غرب می‌باشند. تنش حداکثر به دست آمده از اطلاعات لغزش در امتداد گسلها، یک روند شمال جنوبی در منطقه حیدرآباد و شمال شرق-جنوب غرب در کل منطقه و سفیدابه را نشان می‌دهد. دایره مور سه بعدی حکایت از رژیم تنشی ترفشارش تا امتداد لغزی در منطقه می‌باشد.

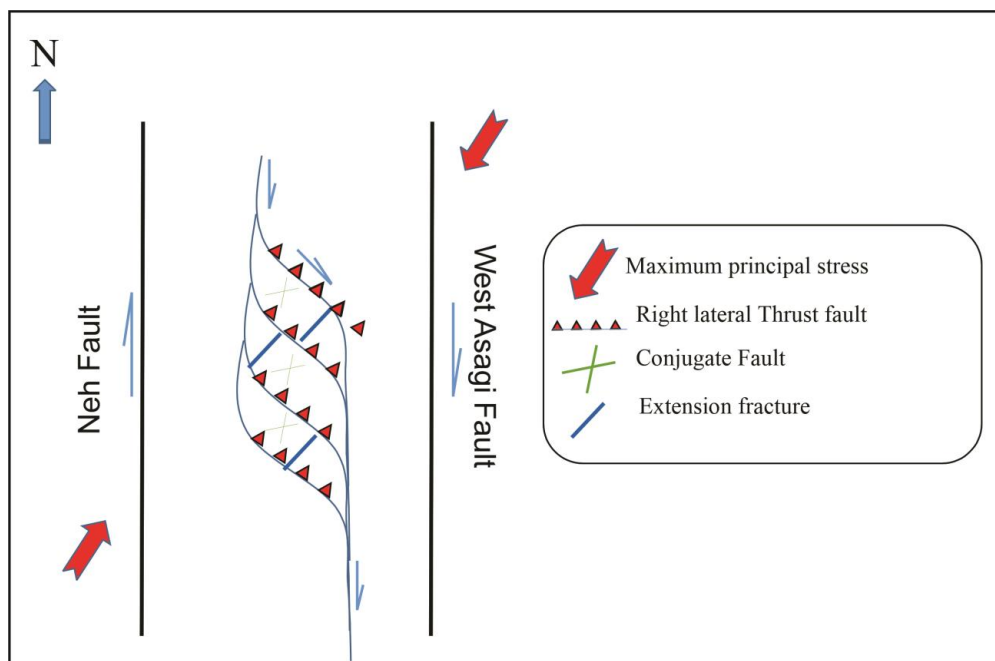
بررسی خطواره‌ها و رگه‌های کانه دار نشان دهنده این است که خطواره‌های با امتداد شمال غرب-جنوب شرق و شرقی-غربی بیشترین نقش را در جایگیری آنها داشته‌اند. با توجه به امتداد خطواره‌های استخراج شده و گسل‌های برداشت شده میدانی اینگونه پیشنهاد می‌شود که عمدتاً گسل‌های رانندگی با مولفه امتداد لغز راستگرد و با روند شمال غرب-جنوب شرق



با توجه به مدل شماتیک منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۱) وجود گسل‌های فرعی با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و رگه‌های نفوذ کرده در امتداد آنها را می‌توان به جهت تنش‌های اصلی در منطقه نسبت داد به عبارتی دیگر در یک سیستم تنشی که جهت تنش حداکثر در راستای شمال غرب-جنوب شرق می‌باشند با ایجاد یک رژیم تنشی ترافشارشی تا امتداد لغزی می‌توان علاوه بر گسل‌های راندگی (به عنوان گسل‌های اصلی و منشا کانه‌زایی) یک دسته گسل‌های مزدوج با راستای شمال غرب-جنوب شرق و شمالی-جنوبی و همچنین شکستگی‌های کششی هم راستا با جهت تنش حداکثر در منطقه پیشنهاد داد که با ایجاد مناطق ضعف محیط مناسبی را برای تزریق رگه‌های بدون کانه‌زایی دانست.

با امتداد شمال غرب-جنوب شرق به موازات هم بر اثر این ساختار فشارشی برشی م یا همان C.R.B (شکل ۱۱) در منطقه شکل گرفته‌اند.

با توجه به رژیم ترافشارشی تا امتداد لغزی و جهت‌های تنش استخراج شده حاصل از برداشت‌های میدانی با شکل‌گیری مدل C.R.B که خود ناشی از حرکت گسل‌های شمالی-جنوبی راستگرد اصلی گسل غرب آساگی در شرق و نه در غرب می‌باشد می‌توان یک ساختار گل سرخی مثبت با مکانیزم فشارشی و امتداد لغزی در منطقه را پیشنهاد داد که علاوه بر بالا آوردن سنگ‌های عمیق‌تر در منطقه با ایجاد یک زون خورد شده در امتداد گسل‌های راندگی که دارای ریشه عمیق می‌باشند محیطی مناسب را جهت تزریق سیالات کانه دار ایجاد کرده است.



شکل ۱۱. مدل شماتیک تکتونیکی منطقه مورد مطالعه: نشان دهنده یک ساختار گل سرخی مثبت.

اکتشافی آن در سفیدابه و حیدرآباد و مناطق مجاور آن، پهنه زمین درز سیستان، استان سیستان و بلوچستان، طرح پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۵۰۰ ص بومری، م.، مجددی-مقدم، ح.، بیابانگرد، ح.، ۱۳۹۷. سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ‌های آذرین و کانی زایی آنتیموان و طلا در منطقه سفیدسنگ و درگیابان. پترولوژی ۹(۳۵)، ۱۹۳-۲۱۶. خرمی، ز.، ۱۳۹۱، ژنز کانسار آنتیموان باثوت، پایان‌نامه

## منابع

آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷ص. بومری، م.، ۱۳۹۳، کانسارها و اندیس‌های معدنی در استان سیستان و بلوچستان، ششمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان ۱-۶ بومری، م.، باقری، س.، بیابانگرد، ح.، قدسی، م. ر.، ۱۴۰۰، کنترل کننده‌های کانی زایی آنتیموان و راه‌های



- Angelier J. - 1994. Fault slip analysis and paleostress reconstruction, in: Hancock P.L. (Ed.), Continental deformation. Pergamon Press Ltd, Oxford, 53-100.
- Angelier, J., 1991. Inversion directe et recherche 4-D: comparaison physique et mathematique de deux methodes de determination des tenseurs des paleocontraintes en tectonique defaillies. C.R. Acad Sci., Paris, 312(B). pp. 1213-1218.
- Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M. and Sylla, D., 2010. An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS: Remote Sensing of Environment, v. 114, p. 1863-1875.
- Glen, R. A. (1995). Thrusts and thrust-associated mineralization in the Lachlan Orogen. Economic Geology, 90(6), 1402-1429.
- Guilbert, J.M. and Park, C. F., 1986. The Geology of Ore Deposits. W. H. Freeman and Company, New York.
- Guillemette, N., & Williams-Jones, A. E. 1993. Genesis of the Sb-W-Au deposits at Ixtahuacan, Guatemala: evidence from fluid inclusions and stable isotopes. *Mineralium Deposita*, 28(3), 167-180.
- Hashim, M., Ahmad, S., Johari, M.A.M. and Pour, A.B., 2013. Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: Advances in spaces Research, v51, p 874-890.
- Liotta, D., Brogi, A., Ruggieri, G., Rimondi, V., Zucchi, M., Helgadóttir, H. M., & Friðleifsson, G. Ó. 2020. Fracture analysis, hydrothermal mineralization and fluid pathways in the Neogene Geitafell central volcano: insights for the Krafla active geothermal system, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391, 106502.
- Marghany, M., and Hashim, M. 2010. Lineament کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۷۸ ص.
- فرشیدپور، ج.، ۱۳۹۱، ژنز کانسار آنتیموان سفیدابه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۹۰ ص.
- کوهساری، م. ۱۴۰۱، کنترل کانی‌زایی آنتیموان در سفیدابه، شمال غرب زاهدان، پهنه زمین‌درز سیستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۱۸۶ ص**
- کیخا، م. ۱۴۰۰، پتروگرافی، ژئوشیمی و شیمی کانی‌های سنگ‌های آذرین در کانسار آنتیموان حیدرآباد و سفیدابه پهنه زمین‌درز سیستان، شرق ایران: دلالت بر کانی‌سازی آنتیموان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۱۹۰ ص
- مارزی، م.، ۱۳۹۵، کانی‌شناسی، دگرسانی و منشأ کانی‌زایی آنتیموان و طلا در سفید سنگ جنوب زاهدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۲۰۴ ص.
- مجددی مقدم، ح.، ۱۳۹۸، ژئوشیمی، زمین‌حرارت-فشارسنجی رگه‌های آنتیموان در مناطق درگیابان، سفیدسنگ، لخشک، شورچاه، بئوت و سفیدابه، جنوب شرق ایران، استان سیستان و بلوچستان، رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۳۴۰ ص.
- مرادی، ر.، بومری، م.، باقری، س.، ۱۳۹۴، تعیین شرایط فیزیکی و شیمیایی و عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی با استفاده از ک نه‌نگاری، روابط پارا ژنزی و میان‌بارهای سیال در کانسار استینیت-طلا شورچاه، جنوب شرق زاهدان. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران ۲۳(۱)، ۱۲۱-۱۳۴.
- Aghanabati, S.A., 1991. Geological map of Kuh-e-Seyasteragi (1:100000). Geological survey of Iran.
- Aleksandrowski, P. 1985. Graphical determination of principal stress directions for slickenside lineation populations: an attempt to modify Arthaud's method. *Journal of Structural Geology*, 7(1), 73-82.

- ation, and hydrothermal regimes. *Economic Geology*, 79(5), 1159-1186.
- Tirrul, R., Bell, L.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Siestan suture zone of eastern Iran, Geological Society of America Bulletin, pp.134-150.
- mapping using multispectral remote sensing satellite data: *International Journal of Physical Sciences*, v. 5, p. 1501-1507.
- Masoud, A. and Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt: *Journal of African Earth Sciences*, v. 45, p. 467-477
- Mohammadi, S., Nadimi, A., & Alaminia, Z., 2018. Analysis of the relationship between mineralization and alteration zones with tectonic structures using remote sensing studies in south Ardestan area (northeastern Isfahan). *Journal of Tectonics*, 2(7), 29-49.
- Nama, E.E., 2004. Lineament detection on Mount Cameroon during the 1999 volcanic eruptions using Landsat ETM: *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, p. 501-510.
- Nazari, M., Boomeri, M., Biabangard, H., and Nakashima, K., (2022). K- and Na-rich volcanic rocks of Asagi igneous complex, eastern Iran: *Arabian Journal of Geosciences* 15 (1025).
- Robb, L., 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Publishing, Hoboken.
- Rowan, L.C. and Lathram, E.H., 1980. Mineral exploration: Chapter, v. 17, p. 553-605
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R. and Scambos, T.A., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research: *Remote Sensing of Environment*, v. 145, p. 154-172
- Scratch, R. B., Watson, G. P., Kerrich, R., & Hutchinson, R. W. 1984. Fracture-controlled antimony-quartz mineralization, Lake George Deposit, New Brunswick; mineralogy, geochemistry, alter-