

بررسی مراحل دگرریختی در بخش شمال باختری پهنه ساختاری سندج - سیرجان

عرفان حاجی^۱ و حجت‌اله صفری^{۲*}

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

^۲دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

چکیده

منطقه سقز - بانه به عنوان بخشی از بخش شمال باختری پهنه سندج - سیرجان انتخاب و مراحل مختلف دگرریختی در آن بررسی شد. در طی این بررسی، ابتدا با کمک روش های سنجش از دور رخنمون واحدهای سنگی و خطوطاره های قابل تعیین استخراج شدند. سپس، با پیمایش های صحرائی، گسل های بزرگ مقیاس، اصلی و فرعی و همچنین پهنه های برشی (در محیط شکل پذیر) مشخص و متغیرهای ساختاری آنها اندازه گیری شد. در ادامه این اطلاعات به عنوان لایه های برداری به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد و نقشه ساختاری تهیه شد. نتایج حاصل از اطلاعات صحرائی، تحلیل های هندسی و حرکتی نشان می دهد که گسل های بزرگ مقیاس منطقه به همراه رده های مرتبطه شکلی خمیده از ساختارها، الگوی رخنمون واحدهای سنگی و محل توده های نفوذی به نمایش گذاشته است. تحلیل های هندسی و حرکتی سه نسل حرکت با روندهای شمالی (در محیط شکل پذیر)، شمال خاوری (در محیط شکل پذیر تا شکنا) و خاوری (در محیط کاملاً شکنا) را نشان می دهند. این سه نسل حرکت به ترتیب سبب ایجاد سه نسل گسلش با روندهای ۱۵۰-۱۴۰ N، ۸۰-۷۰ N و ۲۰-۱۰ N شده اند که قابل انتساب به اثر سه فاز کوهزاد در پرکامبرین و یا تریاس بالایی (احتمالاً کاتانگایی و یا سیمیرین)، کرتاسه (لارامید) و نوژن (فازهای پایانی آلپی نظیر ساوین تا پاسادین) هستند.

کلیدواژه ها: سندج - سیرجان، مراحل دگرریختی، نسل های حرکتی، سقز - تکاب، سنجش از دور.

***نویسنده مسئول:** حجت‌اله صفری

E-mail: h.safari@gu.ac.ir

۱- پیش نوشتار

در محدوده جغرافیایی $35^{\circ} 59' 27/6''$ الی $35^{\circ} 59' 45/7''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 01' 33/9''$ الی $46^{\circ} 49' 35/9''$ طول خاوری قرار گرفته و دارای گسترشی حدود 2518 کیلومتر مربع است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نگاه ساختاری، در حاشیه شمالی بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سندج - سیرجان قرار گرفته است. این منطقه از دید زمین ساختی و ماگمایی، از رویدادهای مرتبط با باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس (از اواخر پالئوزویک تا دوران سوم) متأثر شده و تأثیرات این رویدادها را می توان در قالب فازهای فعالیت ماگمایی، انواع دگرگونی ها (به ویژه دگرگونی های ناحیه ای و همبری) و همچنین دگرریختی های که به صورت مرحله ای روی هم اعمال شده اند؛ دید. پیامد این رویدادها، به صورت ایجاد پهنه های برشی و پهنه های گسل خورده (شکل پذیر تا شکنده) همراه با بالا آمدگی ناحیه ای نمود یافته است (Mohajjel et al., 2003). در این پژوهش، برای انجام بررسی های دقیق، منطقه مورد مطالعه به سه بخش باختری (شهرستان سقز و پیرامون)، مرکزی (پیرامون شهرستان صاحب) و خاوری (پیرامون روستای سننه) تقسیم شده و اندازه گیری های صورت گرفته در ایستگاه ها بر همین اساس دسته بندی شده اند (شکل های ۱ و ۵). سپس با استفاده از این اطلاعات به تحلیل های هندسی و سینماتیکی پرداخته و در پایان فازهای مختلف حرکتی (ناشی از فازهای دگرریختی) در این بخش از پهنه سندج - سیرجان تشخیص داده شده است.

۲- زمین شناسی و زمین ساخت منطقه

واحدهای سنگی منطقه شامل سکانس به نسبت کاملی از سنگ های پرکامبرین تا تشریری (همراه با رسوبات کواترنری) به همراه توده های نفوذی با سنین مختلف (پرکامبرین تا تشریری) هستند (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲) (شکل ۲). به این ترتیب واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل سنگ های دگرگونی با سن پرکامبرین شامل گنایس، شیست، میکاشیست و متاریولیت، نهشته های شیلی و ماسه سنگی سازند کهر، توده گرانیتی تموغه، نهشته های ماسه سنگی سرخ و آهک های ستبرلایه پرمین، رسوبات شیل و ماسه سنگی نازک لایه ژوراسیک، نهشته های آهکی کرتاسه با تناوبی از شیل، سیلت و دولومیت به همراه افق مرمری، توده دیوریتی کرتاسه، توده گابرویی ائوسن و همچنین پادگانه های آبرفتی و مخروطه افکنه های جوان است.

پهنه سندج - سیرجان دارای درازای 1500 کیلومتر، پهنای 150 تا 250 کیلومتر و امتداد 130 N است که از باختر دریاچه ارومیه آغاز می شود و تا شمال بندرعباس ادامه می یابد (Berberian, 1976; Stocklin, 1968). این پهنه در شمال و شمال باختری، توسط فروافتادگی هایی مانند دریاچه ارومیه، تزلزل، گاوخونی و گسل هایی مانند شهر بابک و آباده از ایران مرکزی و در جنوب باختری توسط راندگی اصلی زاگرس، از زاگرس جدا می شود (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ Stocklin, 1968). راستای مستقیم این پهنه در فاصله میان دریاچه ارومیه و اسفندقه به طور محلی نمایانگر سامانه ای راستالغز است که نشان از چیرگی رژیم زمین ساختی برشی (راست بر) در محل برخورد دو صفحه زمین ساختی عربی - ایرانی دارد (Allen et al., 2011; Azizi and Asahara, 2013; Nadimi and Konon, 2012; Nadimi, 2010; Sheikholeslami et al., 2003). از دیدگاه زمین - ساختی، پهنه سندج - سیرجان فعال ترین پهنه شناخته شده ایران است و پیچیدگی های خاصی دارد. مهم ترین رویداد دگرشکلی و دگرگونی که سندج - سیرجان را تحت تأثیر قرار داده، در ارتباط با فازهای زمین ساختی مرتبط با باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس بوده که در طول دوران مزوزویک انجام گرفته است (Mohajjel et al., 2003). مطالعات و بررسی ساختارها در این منطقه پیچیدگی خاصی دارند که بیانگر رخداد چندین فاز دگرریختی شکل پذیر و شکنا - شکل پذیر در آن است (حاجی علی اوغلو، ۱۳۹۰؛ محجل، ۱۳۸۳؛ تاج الدین و همکاران، ۱۳۹۲؛ علی یاری، ۱۳۸۵؛ Aliyari et al., 2012). مهم ترین مسئله موجود در منطقه، تغییر روند دگرریختی ها نسبت به روند کلی پهنه سندج - سیرجان است. به نظر می رسد که در بخش شمال باختری، این پهنه مستقیم ساختاری توسط پهنه گسلی با روند ۷۰-۶۰ N قطع و دچار به هم ریختگی های ساختاری شده است. منطقه مورد مطالعه با توجه به موقعیت خاص زمین ساختی و شرایط ویژه سنگ شناسی الگوی خاصی از دگرریختی ها (در قالب پدیده های ساختاری گوناگون) دارد. بر همین اساس، در این پژوهش سعی شده است که با توجه به پیچیدگی های ساختاری این بخش، به تحلیل هندسی و جنبشی سامانه های گسلی موجود در منطقه پرداخته و در پایان با استفاده از آنها مراحل مختلف دگرریختی تشخیص داده شود.

در این راستا منطقه سقز - بانه به عنوان مورد مطالعاتی برای بررسی مراحل دگرریختی انتخاب شد. این منطقه در جنوب شهرستان های سقز، بانه و دیواندره

۳-۲. تحلیل ساختاری

برای درک وضعیت دگرریختی ها و دست یابی به مدل تکامل ساختاری، تحلیل های ساختاری پهنه های برشی (در محیط های شکل پذیر و نیمه شکل پذیر) و گسل ها (در محیط شکنا) در قالب تحلیل های هندسی و سینماتیکی انجام شد.

تحلیل هندسی: به علت گستردگی منطقه مورد مطالعه، در این بخش ابتدا کل منطقه به سه مقطع سقز (بخش باختری)، صاحب (بخش مرکزی)، سنه (بخش خاوری) تقسیم شد. مهم ترین تحلیل های هندسی صورت گرفته برای ساختارها، تعیین سطح محوری و محور چین ها و ریزچین ها (برای محیط شکل پذیر)، تهیه نمودار گل سرخی از شکستگی های منطقه (برای گسل های تشکیل شده در محیط شکنا) و محاسبه صفحات گسلش است. گفتنی است که ساختارهای تشکیل شده در محیط شکل پذیر و نیمه شکل پذیر تنها در بخش های باختری و مرکزی دیده می شوند. برای محاسبه محور ریزچین ها، ابتدا سطح محوری آنها را روی استریونت رسم و سپس عمود بر آنها به عنوان محور این چین ها در نظر گرفته شد. در ادامه، بر پایه روش تعداد- امتداد نمودار گل سرخی از شکستگی های این مناطق رسم شد (Ramsay and Hubber, 1987) (شکل ۴). در پایان نتایج به دست آمده روی نقشه ساختاری هر بخش آورده شد.

تحلیل سینماتیکی: برای تحلیل محورهای سینماتیکی (جنبشی) در منطقه، ابتدا در محیط شکل پذیر ریزچین ها، رگه های سیلیسی موازی و متقاطع و فولیاسیون ها برای تحلیل سینماتیکی آنها برداشت شدند. اساس کار بر این بود که سطح محوری چین ها و فولیاسیون ها عمود بر محور فشارش است. به این ترتیب عمود بر صفحات سطح محوری چین ها (و ریزچین ها) و فولیاسیون ها در محیط شکل پذیر به دست آمد. سپس بر پایه اندازه گیری رگه های سیلیسی موازی لایه بندی و متقاطع (نسبت به شیب سیزتویته و لایه بندی) که عمود بر محور کشش بودند؛ محورهای کشش در بخش های باختری و مرکزی به دست آمد. برای کار روی ساختارها در محیط شکنا، ویژگی های شکستگی ها شامل امتداد، شیب و سوی شیب گسل ها به همراه اطلاعات مربوط به خش لغزهای موجود در سطح آینه گسل شامل ریک خش لغز و سوی حرکت بلوک روبه رو در ایستگاه های مختلف اندازه گیری و در سه بخش دسته بندی شد. اساس تحلیل سینماتیکی شکستگی ها در این پژوهش، روش محاسبه صفحه حرکتی (Marrett and Allmendinger 1990) است. در این روش تحلیلی، برای محاسبه محورهای حرکتی (به ویژه محور فشارش)، ابتدا گسل ها همراه با قطب و خش لغز آنها رسم شد و سپس صفحه حرکتی آنها به دست آمد. در ادامه روی صفحه حرکتی ۴۵ درجه در جهت و خلاف جهت بردار لغزش حرکت شد و به این ترتیب محورهای فشارش و کشش به دست آمد که البته در این پژوهش برای ایستگاه های مختلف و کلی هر بخش تنها از محور فشارش استفاده شده است. در پایان نتایج به دست آمده روی نقشه ساختاری (بر پایه تصویر ماهواره ای) هر بخش آورده شد (شکل ۴).

محاسبه صفحات گسلش: برای محاسبه صفحات اصلی گسلش، با توجه به اینکه قطب شکستگی های مرتبط با گسل، عمود بر روند گسل اصلی هستند، ابتدا صفحه در برگیرنده قطب شکستگی ها و سپس صفحه عمود بر آن رسم شد و به این ترتیب صفحه (و یا صفحات) اصلی گسلش در ایستگاه های مختلف منطقه (سه بخش) به دست آمد.

۴- بررسی دگرریختی ها

بررسی های ساختاری در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که در طول تکامل ساختاری، این منطقه دچار سه نوع دگرریختی: شکل پذیر، نیمه شکل پذیر و شکنا شده است که به شرح زیر هستند:

۴-۱. دگرریختی های شکل پذیر (پهنه های برشی)

دو بخش باختری (شامل ایستگاه های قلقله، قیقولوجه و کرویان) و مرکزی (منطقه ماهیدر) دچار دگرریختی های شکل پذیر شده اند (شکل ۵) که آثار آنها به صورت گسترش بر گوارگی چیره میلونیتی در سنگ ها، خطواره کششی نافذ، چین ها و دیگر

در بخش های باختری و جنوب باختری منطقه به طور چیره سنگ های دگرگونی پرکامبرین (احتمالاً به عنوان پی سنگ منطقه) رخنمون یافته اند. این توالی گاه با پوشش نازکی از مجموعه کربناته آواری پرکامبرین- کامبرین و واحدهای کربناته پرکامبرین و مرز ناهمساز آنها با توالی رسوبی پرکامبرین- کامبرین زیرین و نیز فعالیت ماگمایی شدید همزمان با تکتونیک، نشان دهنده جنبش کوهزایی در اواخر پرکامبرین ناحیه است (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲). در ادامه توالی های سنگی، قرارگیری رسوبات آواری ژوراسیک روی نهشته های دولومیتی با چین خوردگی شدید تریاس و همچنین دگرگونی ضعیف دیده شده در آنها، آثاری از جنبش های خشکی زایی و کوهزایی سیمبرین پیشین و پسین را نشان می دهد.

مجموعه سنگ های آذرین و رسوبی منطقه مورد مطالعه به طور چیره شامل سنگ های آتشفشانی اسیدی، مافیک و آتشفشانی- رسوبی است که در زمان کرتاسه تحت رخساره شیست سبز دگرگون شده و همزمان تحت تأثیر عملکرد پهنه های برشی با روند شمال خاوری- جنوب باختری (۶۰-۵۰ N) قرار گرفته و دگرریخت شده اند (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲). گوناگونی فازهای کوهزایی (شامل دگرریختی ها، دگرگونی ها و فعالی ماگمایی) سبب شده است که توالی های سنگی رخنمون یافته در منطقه نظم و ترتیب اولیه خود را از دست بدهند و واحدهای سنگی مختلف با ساختارها و فابریک های متفاوت در کنار هم دیده شوند.

از نگاه ریخت شناختی بخش های گسترده ای از منطقه به طور چیره از سنگ های آواری و آتشفشانی کرتاسه پدید آمده و دارای توپوگرافی ملایم به صورت تپه های کم ارتفاع با سطوح فرسایش هموار هستند. بخش های آهکی و دولومیتی کرتاسه زیرین و الیگو- میوسن فرسایش خشن داشته و مناطق مرتفع را در برخی محل ها تشکیل داده اند. توده گرانیتی حسن سالار نیز بخش های مرتفع و خشن را در جنوب تشکیل داده است. در باختر که سنگ های دگرگونی کهن گسترش دارند، بخش های شیستی توپوگرافی به نسبت خشن دارند ولی نهشته های شلی سازند کهر توپوگرافی ملایمی را به صورت تپه های کم ارتفاع نشان می دهند. در این منطقه، توده گرانیتی نیز توپوگرافی خشن تری را نسبت به سنگ های پیرامون نشان می دهد (شکل ۲).

۳- روش های به کار برده شده

۳-۱. استخراج عناصر ساختاری

برای نمایان ساختن ساختارهای اصلی و فرعی، از روش های سنجش از دور و برداشت های صحرایی و همچنین قابلیت های محیط GIS استفاده شده که در پایان، خروجی این روش ها آماده شدن لایه های اطلاعاتی برای تهیه نقشه های ساختاری است. برای استخراج عناصر ساختاری مانند شکستگی ها و گسل ها از تصویر ماهواره ای Landsat 8 ETM+ با ترکیب باند (۷-۴-۱) استفاده شد. در ابتدا تصویر یاد شده از دید هندسی تصحیح و سپس با اعمال فیلترهای تیزکننده لبه ها (Sharpen Edge) و بلاگذر (High pass) تصویر آشکارسازی (Enhanced) شد (Lillesand and Kiefer, 2000) (شکل ۱). در ادامه با اعمال فیلترهای جهت دار (Directional) در جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه (شکل ۳- الف) روی تصویر ماهواره ای منطقه (در محیط نرم افزار ENVI 4.3) شکستگی های موجود در منطقه شناسایی شدند (Safari et al., 2011; Lillesand and Kiefer, 2000) (شکل ۳- ب). سپس از راه اندازه گیری های صحرایی، گسل های اصلی و گسل های کوچک مقیاس تر از هم تفکیک شدند. در پایان با استفاده از محیط نرم افزاری GIS (با استفاده از نرم افزار Arcview 3.2) شکستگی های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای رقومی شد (Aronoff, 1989) و سه لایه برداری مربوط به گسل های بزرگ، اصلی و فرعی در این محیط تهیه شد (شکل ۴).

۲) فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی با روند N60-70 (مانند گسل‌های حسن سالاران و بوین) که سبب بریده شدن و جابه‌جایی چپ‌بر روندهای N130-140 شده است. این گسل‌ها در مناطق مرکزی دیده شده، به صورت قطری منطقه را قطع کرده و کل منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند (شکل ۴).

۳) ایجاد گسل‌هایی با روند تقریباً شمالی-جنوبی (N10-20) که سازوکار عادی با مقداری مؤلفه چپ‌بر دارند و سبب بریده شدن و خمش چپ‌بر گسل‌های متعلق به نسل‌های گذشته شده‌اند (شکل ۴).

۵- بررسی گسل‌های بزرگ منطقه

بر پایه نقشه ساختاری منطقه (شکل ۴) می‌توان گفت که این منطقه به شدت گسل‌خورده و کاملاً خرد شده است. به همین دلیل شکستگی‌های پیمایش شده را می‌توان به سه دسته گسل‌های بزرگ مقیاس، اصلی و فرعی تقسیم کرد. مهم‌ترین گسل‌های بزرگ منطقه مورد مطالعه عبارتند از گسل شیواتو، حسن سالاران، سقر، پیر یونس و سننه. ویژگی‌های هر کدام از این گسل‌ها به شرح زیر است:

- **گسل تموغه:** این گسل که در بخش باختری منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، با امتداد تقریبی ۱۴۰-۱۵۰ N و شیب ۳۰ تا ۴۵ درجه‌ای به سوی شمال خاور (بر طبق اندازه‌گیری‌های صحرائی) (شکل ۷-الف) و با طولی حدود ۳۶ کیلومتر از حوالی روستای تموغه (جنوب‌باختر سقر) عبور می‌کند (شکل ۴). در طول این گسل، می‌توان رخنمون‌های سنگی دگرگون شده مربوط به فازهای سیمیرین (تریاس بالایی) و لارامید (پایان کرتاسه) را دید که دارای امتدادهای مشابه با زون‌های برشی مرتبط با این گسل هستند (شکل ۶-ب). سازوکار حرکتی این گسل راستالغز راست‌بر با مقدار زیادی حرکت وارون است. شواهد صحرائی نشان از آن دارد که این روند توسط روند گسل‌هایی با امتداد ۶۰-۷۰ N (مانند گسل حسن سالاران) بریده شده است (شکل ۴).

- **گسل شیواتو:** این گسل که در بخش باختری منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است؛ با امتداد ۱۴۰-۱۵۰ N و شیب تقریباً ۴۰ درجه‌ای به سوی شمال خاور (بر پایه اندازه‌گیری‌های صحرائی) (شکل ۷-ب) و با طولی حدود ۴۱ کیلومتر از پیرامون روستای شیواتو (شمال-خاور بانه) عبور می‌کند (شکل ۴). در طول این گسل، رخنمون‌گرانیته‌های بسیار کهن (احتمالاً پرکامبرین) و همچنین رخنمون‌های سنگی دگرگون شده مربوط به فاز سیمیرین (تریاس بالایی) و حتی پرکامبرین را می‌توان دید. در بسیاری از محل‌های بازدید و ایستگاه‌های اندازه‌گیری، پهنه‌های شکل‌پذیر با این روند در طول این پهنه برشی دیده می‌شوند (شکل ۵-الف). سازوکار حرکتی این گسل، وارون با مقدار زیادی مؤلفه راستالغز راست‌بر است. شواهد صحرائی نشان از آن دارد که این روند توسط روند گسل‌هایی با امتداد ۶۰-۷۰ N (مانند گسل حسن سالاران) بریده و حدود چند کیلومتر به صورت چپ‌بر جابه‌جا شده است (شکل ۴).

- **گسل سقر:** این گسل با امتداد ۱۵۰ N و شیبی حدود ۶۵ درجه به سوی جنوب خاور، از خاور شهرستان سقر عبور کرده (شکل ۷-ج) و در جنوب خاور این شهرستان با نزدیک شدن به پهنه گسلی حسن سالاران، ضمن خمشی آشکار، روند آن به ۱۲۰ N تغییر یافته است (شکل ۴). این گسل طولی حدود ۱۸ کیلومتر (در محدوده نقشه تهیه شده) و سازوکار حرکتی راست‌بر با مقداری مؤلفه وارون دارد. به نظر می‌رسد که این گسل دره مستقیم شمال سقر را ایجاد کرده است.

- **پهنه گسل حسن سالاران:** این پهنه گسل خورده با امتداد ۶۵ N و شیبی حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور، منطقه مورد بررسی را به صورت مورب قطع کرده است (شکل ۴). به نظر می‌رسد که این گسل با طولی حدود ۶۰ کیلومتر (در محدوده مورد مطالعه) و عرض پهنه گسل خورده حدود ۴ تا ۵ کیلومتر، یکی از اصلی‌ترین پدیده‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه باشد. سازوکار حرکتی این گسل چپ‌بر با مقدار زیادی مؤلفه معکوس است (شکل ۶-د). عملکرد این گسل سبب بریده شدن و جابه‌جایی چپ‌بر گسل شیواتو به مقدار ۵ کیلومتر (شکل ۴) شده است. شواهد

فابریک‌های پهنه‌های برشی در سنگ‌ها (جدول‌های ۱، ۲ و ۳) تظاهر کرده است. بر پایه برداشت‌های صحرائی در این پژوهش در این ناحیه می‌توان ۲ نسل دگرشکلی تشخیص داد:

- **(D1):** این نسل دگرشکلی به صورت دگرریختی‌های شکل‌پذیر دیده می‌شود که سبب دگرگونی، دگرشکلی و گسترش برگواره‌های S1، شیستوزیته در سنگ‌ها و نوارهای تیره (بیوتیت) و روشن (کوارتز و فلدسپات) در رخنمون‌های سنگی پرکامبرین-پالئوزویک شده است (شکل‌های ۵-الف و ب). این رخنمون‌های سنگی شامل مجموعه‌های دگرگونی از رخساره‌های پایینی شیست سبز تا بالاترین درجات رخساره آمفیولیت هستند و واحدهای نایس، گرانیت‌نایس، شیست، متاریولیت و متاولکانیک‌ها هستند (حریری، ۱۳۸۲؛ رشیدنژاد عمران و همکاران، ۱۳۹۲).

- **(D2):** این نسل از دگرریختی‌ها که همراه با یک فاز دگرگونی ترمودینامیکی (رخساره شیست‌سبز) بوده و به صورت دگرریختی‌های شکل‌پذیر سبب شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه و گسترش برگواره‌های S2 شده است (شکل ۵-ج)؛ به ایجاد روند عمومی واحدها، چین‌ها، ساختارهای میولنیتی و برگوارگی چیره منطقه انجامیده و پهنه‌های برشی شکل‌پذیر را به وجود آورده است. فیلیت‌ها، شیست‌ها و کوارتزیت‌های این ناحیه ساختارهایی مانند کینک‌بندها و ریزچین‌ها (شکل‌های ۵-الف و ب)، چین‌خوردگی مکرر (شکل‌های ۵-ج، ه و و)، بودینازهای سیلیسی (شکل‌های ۶-الف و ب)، میان‌لایه‌های سیلیسی موازی برگوارگی (شکل‌های ۵-ب، ج و د) را به فراوانی در خود حفظ کرده‌اند. سنگ‌هایی که دچار این نسل از دگرشکلی شده‌اند، بیشتر سن کرتاسه دارند (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۴).

۴-۲. دگرریختی‌های نیمه شکل‌پذیر (D3)

در ادامه تکامل ساختاری منطقه مورد مطالعه، دو بخش باختری (شامل ایستگاه‌های قفله، قفولوجه و کرویان) و مرکزی (منطقه ماهیدر) دچار دگرریختی‌های نیمه‌شکل‌پذیر نیز شده‌اند (شکل ۶). این نسل از دگرریختی‌ها که بیشتر در بخش‌های شمال‌باختر، باختر و جنوب سقر دیده می‌شوند؛ بر دگرریختی‌های شکل‌پذیر مؤثر هستند (شکل‌های ۶-ج و د) و می‌توان آنها را به صورت نیمه‌شکل‌پذیر در رخنمون‌های سنگی کرتاسه و پس از آن ردیابی کرد. این نسل از دگرریختی‌ها سبب ایجاد رگه‌های سیلیسی متقاطع (جدول ۳) و گسلش وارون شده است (شکل‌های ۶-الف و ب؛ تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۴). به نظر می‌رسد که این نسل از دگرشکلی در ادامه دگرریختی‌های شکل‌پذیر (اواخر کرتاسه-پالئوسن) (D2) بوده باشد که در طی مراحل پایانی فرورانش و شروع برخورد رخ داده و مناطق داخلی (Hinterland) را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به اینکه نسل پیشین دگرشکلی (D2) روی رخنمون‌های سنگی اثر کرده؛ روی مناطق باختری و جنوب باختری، بیشتر هجوم گسلش با سازوکارهای وارون و امتدادلغز صورت گرفته است (Haji et al., 2016).

۴-۳. دگرشکلی‌های شکننا (D4)

تکمیل برخورد در کوهزاد زاگرس سبب هجوم دگرشکلی در قالب ایجاد چین‌ها و گسلش در همه رخنمون‌های منطقه شده است (Mohajjel et al., 2003; Ghasemi and Talbot, 2006; Agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2008; یارمحمدی و راستاد ۱۳۸۵). در صورتی که در بخش‌های شمالی، شمال مرکزی و خاوری چون تا آن زمان هیچ فاز دگرشکلی عمل نکرده بوده، دگرشکلی بیشتر به صورت چین‌خوردگی و سپس گسلش نمود یافته است (شکل‌های ۵-ج و د) (جدول ۴). گفتنی است که این نسل دگرشکلی که در کل منطقه عمومیت دارد؛ توانسته است سه نسل گسلش را ایجاد یا فعال کند (Haji et al., 2016) که به شرح زیر هستند:

۱) فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی با روند N 130-140 (شامل گسل‌های شیواتو، تموغه، سقر و ..) که سازوکار راست‌بر و کمی وارون دارند و بیشتر در مناطق باختر-جنوب باختر دیده می‌شوند (شکل ۴).

بخش مرکزی: برای همه ایستگاه‌های این بخش نمودارهای گل‌سرخ‌ی تهیه شد (شکل ۹). نتایج به دست آمده نشان از آن دارد که در بخش شمالی روندهای شمال باختری-جنوب خاوری (N ۱۱۰-۱۳۰ و N ۱۴۰-۱۵۰) روندهای چیره در منطقه هستند و در بخش جنوبی نیز روندهای شمال خاوری-جنوب باختری (N ۳۰-۴۰ و N ۸۰-۶۰) و روند دیگر ۱۳۰-۱۱۰ با فراوانی کمتر، روندهای چیره در منطقه هستند. در نمودار گل‌سرخ‌ی تهیه شده از کل بخش مرکزی، روند شمال خاوری-جنوب باختری (N ۳۰-۴۰) بیشترین فراوانی و روند شمال باختری-جنوب خاوری (N ۱۱۰-۱۳۰) در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

بخش باختری: برای همه ایستگاه‌های این بخش نمودارهای گل‌سرخ‌ی تهیه شد (شکل ۹). نتایج به دست آمده نشان از آن دارد که در ایستگاه‌های شمالی، روند شمال باختری-جنوب خاوری (N ۱۳۰-۱۵۰) روند چیره است. در زیر بخش جنوبی نیز روندهای شمال باختری-جنوب خاوری (N ۱۳۰-۱۴۰ و N ۱۱۰-۱۳۰) بیشترین فراوانی و روندهای ۷۰-۶۰ و N ۱۰-۳۰ در درجه دوم اهمیت قرار دارند. در نمودار گل‌سرخ‌ی تهیه شده از کل بخش خاوری نیز سه روند N ۶۰-۷۰، N ۱۴۰-۱۲۰ و N ۱۶۰-۱۵۰ دیده می‌شود.

نتایج حاصل از بررسی هندسی شکستگی‌ها نشان از آن دارد که همه روندهای دیده شده در نقشه ساختاری در نمودارهای گل‌سرخ‌ی دیده می‌شوند.

- **محاسبه صفحات گسلش:** محاسبه صفحات گسلش در هر سه منطقه خاوری، مرکزی و باختری انجام شده (شکل ۱۰) و به شرح زیر است:

- **بخش خاوری:** اصلی‌ترین صفحات گسلش به دست آمده در این بخش عبارتند از: N35/71-E و N30/55-W.

- **بخش مرکزی:** اصلی‌ترین صفحات گسلش به دست آمده در این بخش عبارتند از: N68/82-E و N24/76-W.

- **بخش باختری:** در این بخش صفحات گسلش به دست آمده دارای مختصات N153/12-W و N76/52-E هستند.

۷- نتایج تحلیل سینماتیکی گسل‌ها و پهنه‌های برشی

برای بررسی دقیق‌تر، منطقه مورد مطالعه به سه بخش تقسیم شد و محورهای فشارش در آنها به‌طور مجزا به دست آمد. این بخش از مطالعه، خود به دو زیربخش تحلیل سینماتیکی ساختارهای ایجاد شده در محیط‌های شکل‌پذیر- نیمه‌شکل‌پذیر و شکنا تقسیم شده است. نتایج هر بخش به شرح زیر است:

۷-۱. تحلیل سینماتیکی ساختارهای ایجاد شده در پهنه‌های برشی (محیط‌های شکل‌پذیر - نیمه‌شکل‌پذیر):

در این بخش با استفاده از ساختارهای برداشت شده‌ای مانند ریزچین‌ها، فولیاسیون‌ها و رگه‌های متقاطع و موازی سیلیسی که در پهنه‌های برشی (محیط‌های شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر) تشکیل یافته‌اند، محورهای فشارش و کشش به دست آمد که به شرح زیر هستند:

- **ریزچین‌ها:** با توجه به محاسبه سطح محوری ریزچین‌ها، می‌توان با رسم عمود بر آنها محورهای فشارش را به دست آورد (شکل ۱۱-الف). نتایج نشان می‌دهند:

- بیشتر محورهای فشارش در ایستگاه کرویان دارای امتدادهای 48/38، 144/79، 125/56 هستند.

- تنها محور فشارش اصلی در ایستگاه قلقله دارای مختصات 76/16 است.

- در قیقولوجه نیز تنها یک محور فشارش با مختصات 191/04 دیده می‌شود.

- در ماهیدر دو نسل محور فشارش قابل پیگیری است که عبارتند از: 330/05 و 60/31.

به این ترتیب می‌توان گفت که محورهای فشارش در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقولوجه و قلقله) بیشتر متعلق به دو نسل با امتدادهای جنوب باختری و شمال خاوری هستند. در صورتی که در بخش مرکزی دو نسل دیده شده مربوط به شمال خاوری و شمال باختری هستند.

صحرائی نشان از آن دارد که در طول این گسل (به ویژه در بخش جنوب باختری آن) دگرریختی‌ها در هر دو محیط شکل‌پذیر و شکنا (شکل‌های ۴ و ۵) صورت پذیرفته‌اند. این گسل در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه توسط گسل‌های پیر یونس و سنه بریده و به صورت چپ‌بر جابه‌جا شده است (شکل ۴).

- **گسل پیریونس:** این گسل که با روندی کاملاً خطی در تصویر ماهواره‌ای در مرکز منطقه مورد مطالعه شناسایی می‌شود؛ با روندی تقریباً شمالی-جنوبی (N ۱۰)، شیبی حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور (شکل ۷-ه) و طولی حدود ۳۰ کیلومتر یکی از پدیده‌های ساختاری مهم بخش مرکزی به شمار می‌رود. سازوکار حرکتی این گسل عادی با مقداری مؤلفه چپ‌بر است (شکل ۴). عملکرد این گسل سبب خمش چپ‌گرد، بریده شدن و جابه‌جایی چپ‌بر گسل حسن سالاران به مقدار حدود ۲ کیلومتر (شکل ۴) شده است. همچنین این گسل محل مناسبی برای تشکیل دره رودخانه زربینه رود فراهم کرده است.

- **گسل سنه:** این گسل که در بخش مرکزی منطقه قرار گرفته است (شکل ۴)؛ با روند تقریبی شمال خاور-جنوب باختری (N ۲۵)، شیبی حدود ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور (شکل ۶-و) و طولی حدود ۳۶ کیلومتر از خاور روستای سنه عبور می‌کند. سازوکار حرکتی این گسل عادی با مقداری مؤلفه چپ‌بر است (شکل ۴). ترکیب‌های سنگی دیده شده در دو سوی این گسل کاملاً با یکدیگر متفاوت هستند؛ به گونه‌ای که در سوی باختر آن دگرگونی‌های کراتاسه و در خاور آن توالی آندزیتی دیده می‌شود (شکل ۲). عملکرد این گسل سبب خمش چپ‌گرد، بریده شدن و جابه‌جایی چپ‌بر پهنه گسل حسن سالاران به مقدار حدود ۵ کیلومتر (شکل ۵) شده است.

۶- نتایج تحلیل‌های هندسی

همان‌گونه که در بخش‌های پیشین گفته شد؛ برای بررسی دقیق‌تر منطقه مورد مطالعه به سه بخش: خاوری، مرکزی و باختری تقسیم شد و دگرشکلی‌های شکل‌پذیر، نیمه‌شکل‌پذیر و شکنا به‌صورت مجزا مورد تحلیل هندسی قرار گرفت که به شرح زیر هستند:

۶-۱. **نتایج تحلیل هندسی ریزچین‌ها در پهنه‌های برشی (محیط‌های شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر):** در این بخش سطح محوری و محورهای این ریزچین‌ها به دست آمد (شکل ۸). نتایج محاسبات نشان می‌دهد که:

الف) بخش باختری از سه ایستگاه کرویان، قلقله و قیقولوجه تشکیل شده است. محورهای به دست آمده برای چین‌ها در ایستگاه کرویان 49/37، 125/56 و 142/79، در ایستگاه قلقله 70/16 و 23/19 و در ایستگاه قیقولوجه N-S و 21/16 هستند (شکل ۸).

ب) بخش مرکزی (ایستگاه ماهیدر) دارای محورهای به دست آمده 299/06 و 344/06 هستند (شکل ۸).

۶-۲. نتایج تحلیل‌های هندسی شکستگی‌ها در فاز شکنا

- **تهیه نمودار گل‌سرخ‌ی:** نمودار گل‌سرخ‌ی برای ایستگاه‌های مناطق خاوری، مرکزی و باختری به‌طور مجزا به دست آمد. در ادامه با تلفیق داده‌های ایستگاه‌ها برای هر سه بخش منطقه، یک نمودار گل‌سرخ‌ی واحد رسم و مورد تجزیه و تحلیل شد (شکل ۹). نتایج تحلیل هندسی شکستگی‌های هر بخش به شرح زیر است:

بخش خاوری: برای همه ایستگاه‌های این بخش نمودارهای گل‌سرخ‌ی تهیه شد (شکل ۹). با توجه به نمودار گل‌سرخ‌ی حاصل از این شکستگی‌ها در زیربخش شمالی روند خاوری-باختری (N ۸۰-۱۰۰) بیشترین فراوانی تکرار را دارد و همچنین روند شمال باختری-جنوب خاوری (N ۱۶۰-۱۷۰) نیز دیده می‌شود. در ایستگاه‌های جنوبی دو روند خاوری-باختری (N ۹۰-۱۰۰) و شمال خاوری-جنوب باختری (N ۴۰-۵۰) بیشترین فراوانی را دارند و همچنین روند دیگری با امتداد N ۱۰-۲۰ در رده دوم اهمیت قرار دارد. در نمودار گل‌سرخ‌ی تهیه شده از کل ایستگاه‌های این منطقه نیز روند چیره ۹۰-۱۰۰ در درجه اول اهمیت و روندهای ۷۰-۸۰ و N ۱۶۰-۱۷۰ در درجه اهمیت‌های بعدی قرار دارند.

شواهد صحرائی نیز نشان از آن دارد که می‌توان در سطح برخی از گسل‌ها بیش از یک نسل خش‌لغزش (به ویژه در بخش‌های مرکزی و خاوری) دید (شکل‌های ۱۴-الف و ب).

۸- بحث و بررسی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سندج- سیرجان قرار دارد. این منطقه از دید زمین‌ساختی و ماگمایی، دچار فازهای مختلف فعالیت ماگمایی، انواع دگرگونی‌ها (از پرکامبرین تا عهد حاضر) و همچنین دگرریختی‌های شده است که به‌صورت مرحله‌ای روی هم اعمال شده‌اند. پیامد این رویدادها، به‌صورت ایجاد پهنه‌های برشی (در محیط شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر) و پهنه‌های گسل خورده (محیط شکننده) نمود یافته است. مطالعات ساختاری صورت گرفته در این منطقه نشان داد که این منطقه به‌شدت گسل خورده و کاملاً خرد شده است. مهم‌ترین گسل‌های بزرگ مقیاس منطقه مورد مطالعه عبارتند از شیواتو، حسن‌سالاران، سقز، پیرونس و سننه. این گسل‌ها به همراه رده‌های مرتبط، چهارچوب ساختاری منطقه را رقم زده‌اند.

بر پایه نقشه ساختاری تهیه شده و تحلیل‌های هندسی می‌توان گفت:

الف) دست کم دو فاز دگرریختی به‌صورت شکل‌پذیر (به عنوان کهن‌ترین فاز دگرریختی و شکل‌پذیر- شکننده (نیمه‌شکل‌پذیر، به عنوان دومین فاز حرکتی) بر منطقه مورد مطالعه اعمال شده‌اند (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۴) که اثرات آنها را می‌توان در قالب پهنه‌های برشی دید که سبب ایجاد ریزچین‌ها، فولیاسیون‌ها و رگه‌های سیلیسی موازی با شیستوزیته (هم‌زمان با دگرگونی) و متقاطع با شیستوزیته (پس از دگرگونی) شده است. این فازها همراه با دگرگونی‌هایی با سن‌های پیش از یا هم‌زمان با سیمیرین پیشین (رشیدنژاد عمران و همکاران، ۱۳۹۲) و لارامید در انتهای کرتاسه- پائوسن بوده‌اند (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۴).

ب) پس از دو نسل دگرریختی شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر، منطقه مورد مطالعه مورد هجوم کوهزاد اصلی زاگرس (پس از میوسن) (Mohajjel et al., 2003; Ghasemi and Talbot, 2006; Agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2008; Haji et al., 2016) قرار گرفته است. پی‌آیند این نسل از حرکات که روی حرکات پیشین اعمال شده‌اند؛ تشکیل شبکه‌ای از نسل‌های مختلف گسلش بوده است. نتایج بررسی این گسل‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی سه روند اصلی گسلش N 150-140 (هم‌روند با گسل‌های شیواتو و تموغه با سازوکار حرکتی راست‌بر همراه با مؤلفه وارون)، N 80-70 (هم‌روند با گسل حسن‌سالاران با سازوکار حرکتی چپ‌بر همراه با مؤلفه وارون) و N 20-10 (هم‌روند با گسل‌های پیرونس و سننه با سازوکار عادی همراه با مقداری مؤلفه راست‌بر) در منطقه دیده می‌شوند (شکل ۴). محاسبات صفحات گسلش نیز این سه روند را تأیید کرد (شکل ۱۰). به‌صورت کلی، این سه روند گسلش، شکلی خمیده از ساختارها را در منطقه به نمایش می‌گذارد. همچنین این خمیدگی در الگوی رخنمون واحدهای سنگی رسوبی و محل توده‌های نفوذی نمود پیدا کرده است (شکل‌های ۲ و ۴).

بررسی ترتیب تقدم و تأخر پدیده گسلش نشان داد که گسل‌هایی با روند N 150-140 (که بیشتر در بخش باختری دیده می‌شوند) توسط گسل‌هایی با روند N 80-70 (که به‌صورت مورب منطقه را قطع کرده‌اند) در بخش مرکزی بریده و به‌صورت چپ‌بر جابه‌جا شده‌اند. همچنین گسل‌های N 80-70 خود نیز توسط گسل‌هایی با روند N 20-10 در بخش‌های مرکزی و خاوری بریده و به‌صورت چپ‌بر جابه‌جا شده‌اند (شکل ۴). این نتایج نشان می‌دهد که کهن‌ترین نسل گسلش باید دارای روند N 150-140 باشد. وجود پهنه‌های برشی شکل‌پذیر بخش باختری با روندی مشابه این روند در سنگ‌های آذرین منسوب به پرکامبرین (معادل گرانت‌های دوران) نیز این مسئله را تأیید می‌کند. از سوی دیگر جدیدترین نسل

— فولیاسیون‌ها: با توجه به اینکه عمود بر صفحه فولیاسیون محور کشش را در منطقه به نمایش می‌گذارد؛ می‌توان برای ایستگاه‌هایی که در آنها فولیاسیون اندازه‌گیری شده است (جدول ۲)، محورهای کشش را به دست آورد (شکل ۱۱-ب). نتایج نشان می‌دهند:

- تنها محور کشش در ایستگاه کرویان دارای امتداد 155/40 است.
- تنها محور کشش اصلی در ایستگاه قلقله دارای مختصات 136/54 است.
- بیشتر محورهای کشش در ایستگاه قیقلوچه دارای امتدادهای 145/26 و 179/45 هستند.
- در ماهیدر می‌توان دو نسل محور کشش را پیگیری کرد که عبارتند از: 341/23 و 147/62.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی و تحلیل فولیاسیون‌ها می‌توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقلوچه و قلقله) اصلی‌ترین محورهای کشش امتداد جنوب خاوری دارند. گفتنی است که در بخش مرکزی نیز این روند محور کشش دیده می‌شود.

— رگه‌های سیلیسی متقاطع و موازی: با توجه به اینکه عمود بر رگه‌های سیلیسی موازی و متقاطع، محور کشش را به نمایش می‌گذارند، از این راه نیز محورهای کشش به دست آمد (شکل ۱۲). این محورهای فشارش در ایستگاه‌های مختلف روند‌های به نسبت مشابهی دارند که این امر ناشی از تعلق این رگه‌ها به نسل‌های مختلف دگرریختی است. با این حال روند‌های زیر قابل ردیابی هستند:

- ۱) در ایستگاه کرویان، بیشتر محورهای خاور (N90) تا شمال خاوری (N70) دیده می‌شود.
- ۲) در ایستگاه قیقلوچه، بیشتر محورهای خاوری (N90) و باختری (N270) خودنمایی می‌کنند.
- ۳) در ایستگاه قلقله، محورهای شمال خاوری (N 60-70) و شمال باختری دیده می‌شوند.
- ۴) در ایستگاه ماهیدر، می‌توان محورهای جنوب (N00) و جنوب باختری (N210) را پیگیری کرد.

به این ترتیب می‌توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقلوچه و قلقله) محورها بیشتر خاوری- باختری هستند. در صورتی که در بخش مرکزی (ماهیدر) محورها جنوب- جنوب باختری و محورهای کشش در بخش مرکزی ۹۰ درجه با بخش باختری متفاوت هستند.

۷-۲. تحلیل سینماتیکی ساختارهای ایجاد شده در محیط شکنا

گسل‌ها و درزهای تشکیل شده در محیط شکنا که مربوط به ۲۰ ایستگاه اندازه‌گیری در منطقه هستند و سراسر منطقه مطالعاتی را پوشش می‌دهند؛ مورد تحلیل سینماتیکی قرار گرفتند که نتایج آن به شرح زیر است (شکل ۱۳):

- **بخش خاوری:** اصلی‌ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش خاوری دارای روند‌های N92، N227 و N315 هستند.
- **بخش مرکزی:** اصلی‌ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش مرکزی دارای روند‌های N43، N277 و N353 هستند.
- **بخش باختری:** اصلی‌ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش باختری دارای روند‌های N95، N31، N309 هستند.

به این ترتیب مشخص می‌شود که در منطقه مورد مطالعه سه روند اصلی محور فشارش وجود دارد که عبارتند از:

- ۱) روند تقریباً شمال (- شمال خاوری) به عنوان اولین نسل محورهای فشارش بیشتر در بخش باختری دیده می‌شود (شکل ۱۳-الف).
- ۲) روند شمال باختری به عنوان دومین نسل محورهای فشارش هستند که در بخش‌های باختری و مرکزی دیده می‌شود (شکل ۱۳-ب).
- ۳) روند رو به خاور به عنوان سومین نسل محورهای فشارش است که در همه منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۱۳-ج).

(یا فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی) شده است به صورت دگرریختی‌های کاملاً شکننا در همه منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

بررسی این نسل‌های حرکتی نشان از یک چرخش چپ‌گرد در طی فاز دوم حرکت دارد که با بریده شدن روندهای N 150-140 (مانند گسل‌های شیواتو و تموغه) توسط روندهای N 80-70 (پهنه گسل حسن سالاران) همخوانی دارد. به نظر می‌رسد که نسل سوم حرکت - که احتمالاً ناشی از کوهزاد برخوردی آلپ پایانی بوده است - در محیطی کاملاً شکننده رخ داده و نسل جدیدی از گسلش (مانند گسل‌های پیرونس و سننه با روند N 20-10) را ایجاد کرده است که تقریباً همه شکستگی‌های پیشین را بریده و جابه‌جا کرده‌اند (شکل ۴).

۹- نتیجه‌گیری

منطقه سقز در بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان از دید زمین‌ساختی و ماگمایی، دچار فازهای مختلف کوهزاد در قالب فعالیت ماگمایی، دگرگونی و دگرریختی شده است. پیامد این رویدادها، به صورت ایجاد پهنه‌های برشی (فاز شکل‌پذیری) تا پهنه‌های گسل خورده (شکننده) دیده می‌شوند. مهم‌ترین گسل‌های بزرگ مقیاس منطقه مورد مطالعه عبارتند از شیواتو، حسن سالاران، سقز، پیرونس و سننه. این گسل‌ها به همراه رده‌های مرتبط، شکلی خمیده از ساختارها را در منطقه به نمایش می‌گذارند که این پدیده اثر خود را در الگوی رخنمون واحدهای سنگی رسوبی و محل توده‌های نفوذی به نمایش گذاشته است. بررسی‌های صحرائی به همراه تحلیل‌های هندسی و حرکتی سه نسل حرکت با روندهای تقریباً جنوب باختری - شمال خاوری (کهن‌ترین و در محیط شکل‌پذیری)، شمال خاوری (در محیط شکل‌پذیری تا شکننا) و خاوری (جوان‌ترین در محیط کاملاً شکننا) را نشان می‌دهند. بررسی ترتیب تقدم و تأخر پدیده گسلش نیز سه نسل گسلش را اثبات می‌کند که می‌تواند بازتاب سه نسل حرکت در محیط‌های شکل‌پذیری، نیمه‌شکل‌پذیری تا شکننا بوده باشد؛ به گونه‌ای که گسل‌هایی با روند N 150-140 (روند کهن) توسط گسل‌هایی با روند N 80-70 بریده و به صورت چپ‌بر جابه‌جا شده‌اند. همچنین گسل‌های N 80-70 نیز خود توسط گسل‌هایی با روند N 20-10 (روند بسیار جوان) بریده و جابه‌جا شده‌اند. با کنار هم قرار دادن این اطلاعات و وضعیت توالی‌های سنگی دگرگون شده و همچنین توده‌های نفوذی (با سنین مختلف) می‌توان گفت که بسیاری از این نسل‌های دگرریختی حاصل باز و بسته شدن نوتتیس و ایجاد کوهزاد برخوردی ناشی از برخورد صفحات ایران و عربی بوده است.

گسلش روند N 20-10 دارد؛ زیرا روندهای کهن‌تر (N 150-140 و N 80-70) را بریده و به صورت چپ‌بر جابه‌جا کرده است. این روند حتی مسیر عهد حاضر رودخانه‌های اصلی (به ویژه در بخش مرکزی) را رقم زده است که اثراتی از فعالیت‌های عهد حاضر را می‌توان در طول آن دید. روند N 80-70 که منطقه را به صورت مورب بریده و سبب ایجاد کانه‌زایی در سنگ‌های دگرگونی منسوب به کرتاسه - پالئوسن شده؛ نسل دوم گسلش است. زیرا نسل اول را بریده و خود توسط نسل سوم گسلش قطع شده است.

(ج) بررسی محورهای سینماتیکی در پهنه‌های برشی مربوط به نسل‌های اول (شکل‌پذیری) و دوم (نیمه‌شکل‌پذیری) دگرریختی‌ها منطقه نشان داد که:

- بررسی و تحلیل ریزچین‌ها نشان داد که محورهای فشارش در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقلوچه و قلقله) بیشتر متعلق به دو نسل با امتدادهای جنوب باختری و شمال خاوری هستند. در صورتی که در بخش مرکزی دو نسل دیده شده مربوط به شمال خاوری و شمال باختری هستند.

- با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی و تحلیل فولیاسیون‌ها می‌توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقلوچه و قلقله) اصلی‌ترین محورهای کشش دارای امتداد جنوب خاوری هستند. گفتنی است که در بخش مرکزی نیز این روند محور کشش دیده می‌شود.

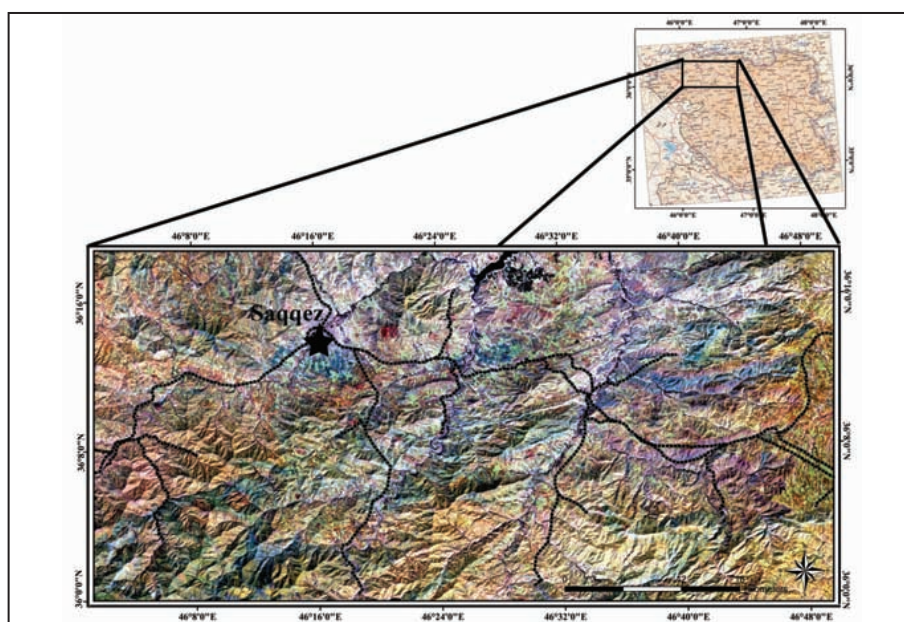
- با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی و تحلیل رگه‌های سیلیسی، می‌توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاه‌های کرویان، قیقلوچه و قلقله) محورهای بیشتر خاوری - باختری هستند. در صورتی که در بخش مرکزی (ماهیدر) محورهای جنوب - جنوب باختری و محورهای کشش در بخش مرکزی ۹۰ درجه با بخش باختری متفاوت هستند.

همچنین مشخص کردن نسل‌های حرکتی شکل گرفته در فاز شکننا، که از مرحله نیمه‌شکل‌پذیری در منطقه شروع به تشکیل کرده و یا اینکه به خاطر فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی (Jackson, 1980) تشکیل شده‌اند؛ نشان می‌دهد که:

- اولین نسل حرکت با روند تقریبی جنوب باختری - شمال خاوری به صورت دگرریختی‌های شکل‌پذیری تنها در توالی‌های منسوب به پرکامبرین - پالئوزویک در بخش باختری دیده می‌شود (شکل‌های ۵، ۶، ۸، ۱۱ و ۱۲).

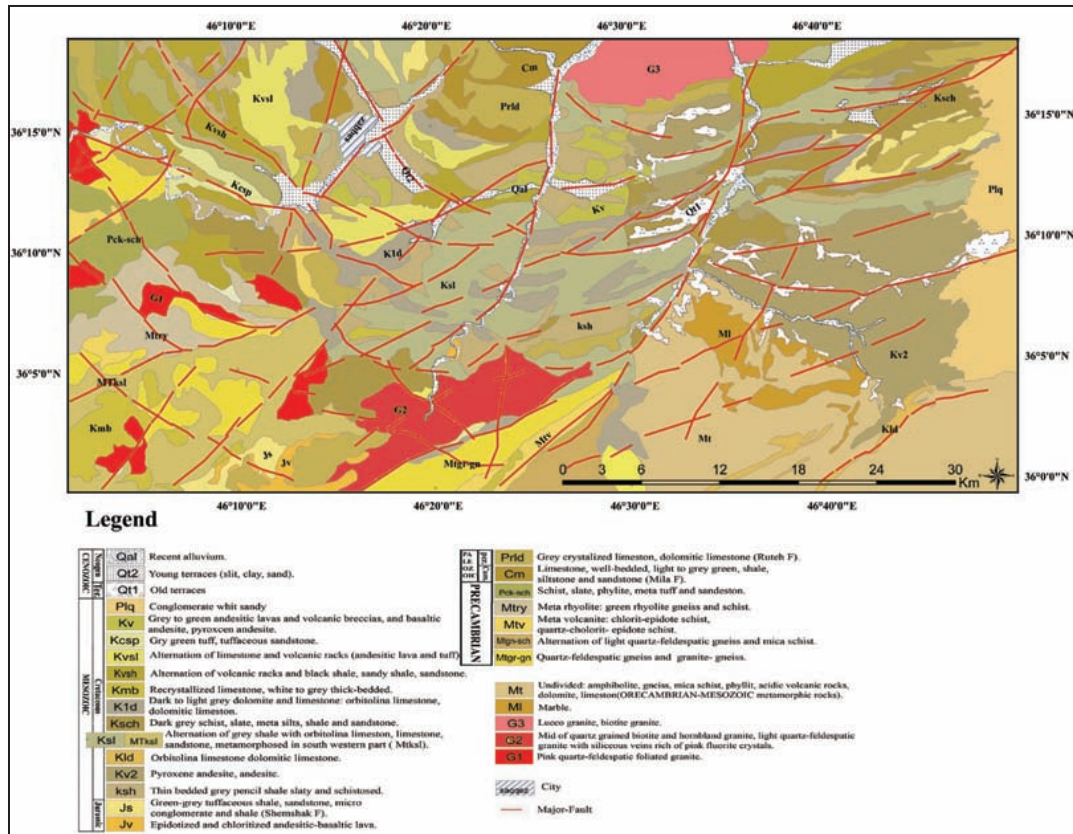
- نسل دوم حرکت با روند تقریبی شمالی (شمال خاوری) به صورت دگرریختی‌های نیمه‌شکل‌پذیری (شکل‌پذیری - شکننا) در بخش‌های باختری و مرکزی در توالی‌های دگرگون شده مزوزویک دیده می‌شود (شکل‌های ۶، ۱۱ و ۱۲).

- نسل سوم حرکت که بسیار پیچیده بوده و خود سبب ایجاد سه نسل گسلش

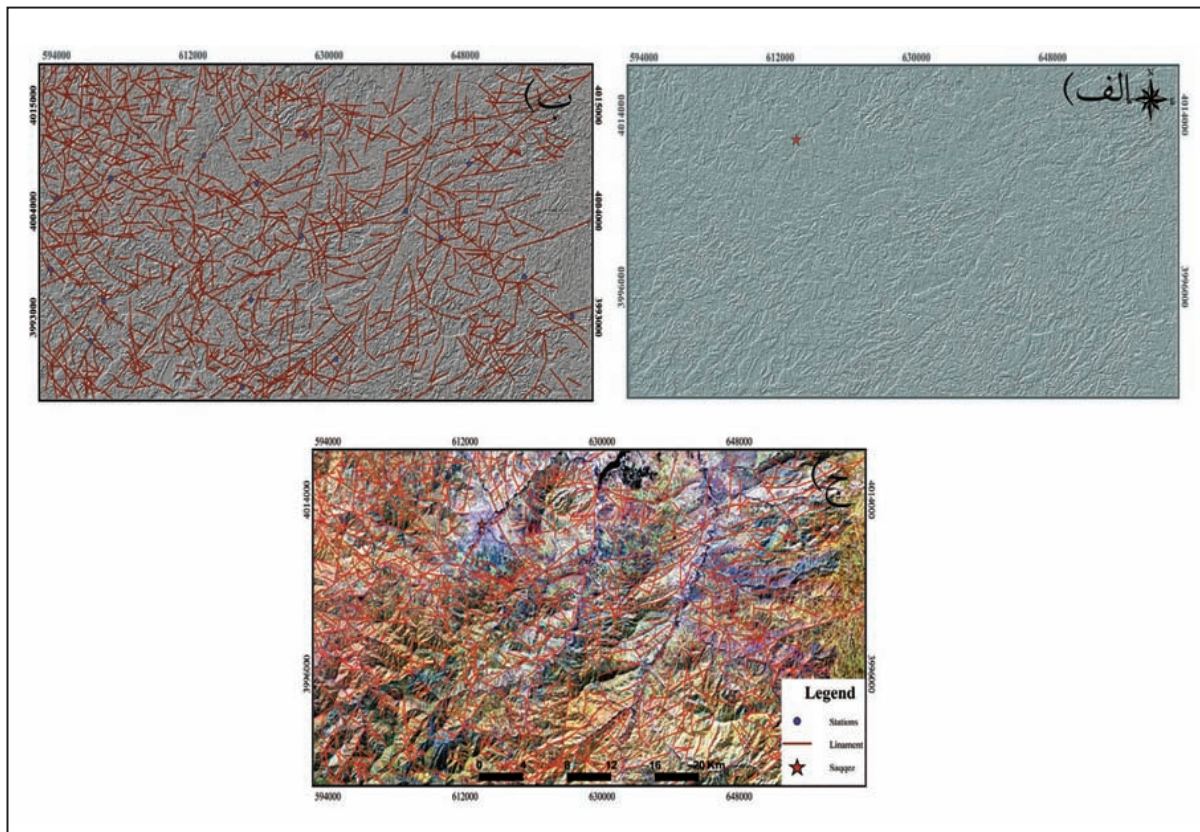


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی به آن روی تصویر اصلاح و آشکارسازی شده ماهواره Landsat 8 ETM+

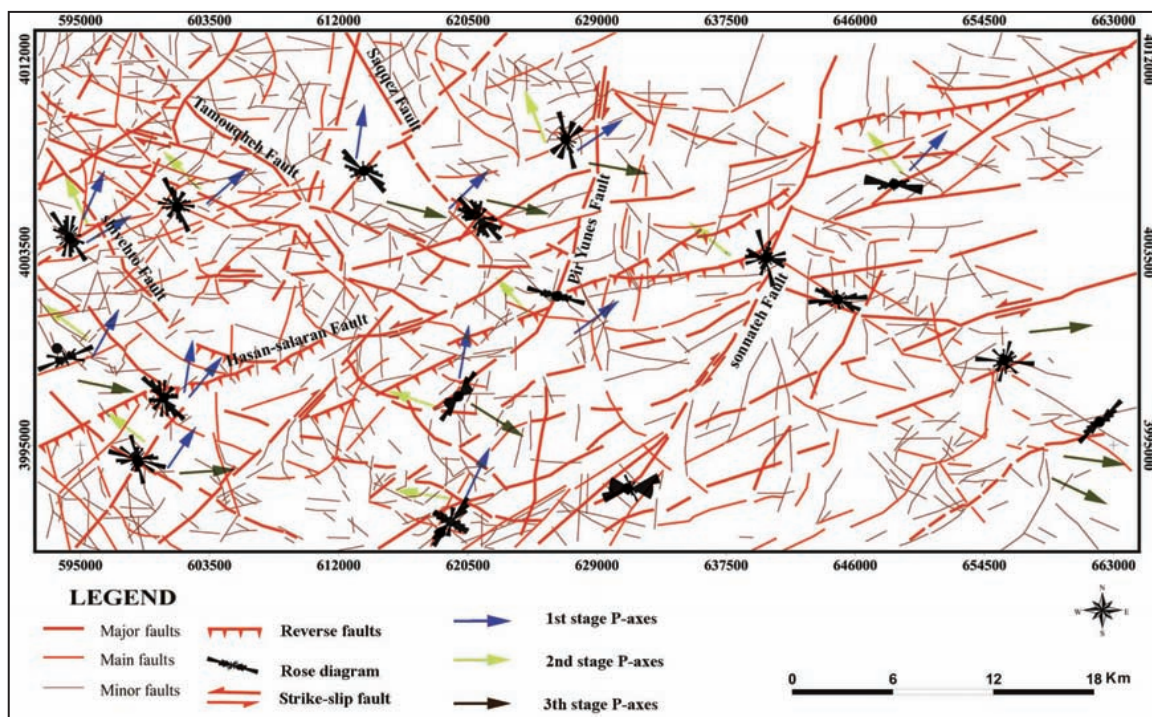
(NASA, 2014).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (خلقی خسروی، ۱۳۷۸؛ باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲ و اصلاحات انجام گرفته بر پایه اندازه گیری های صحرائی).

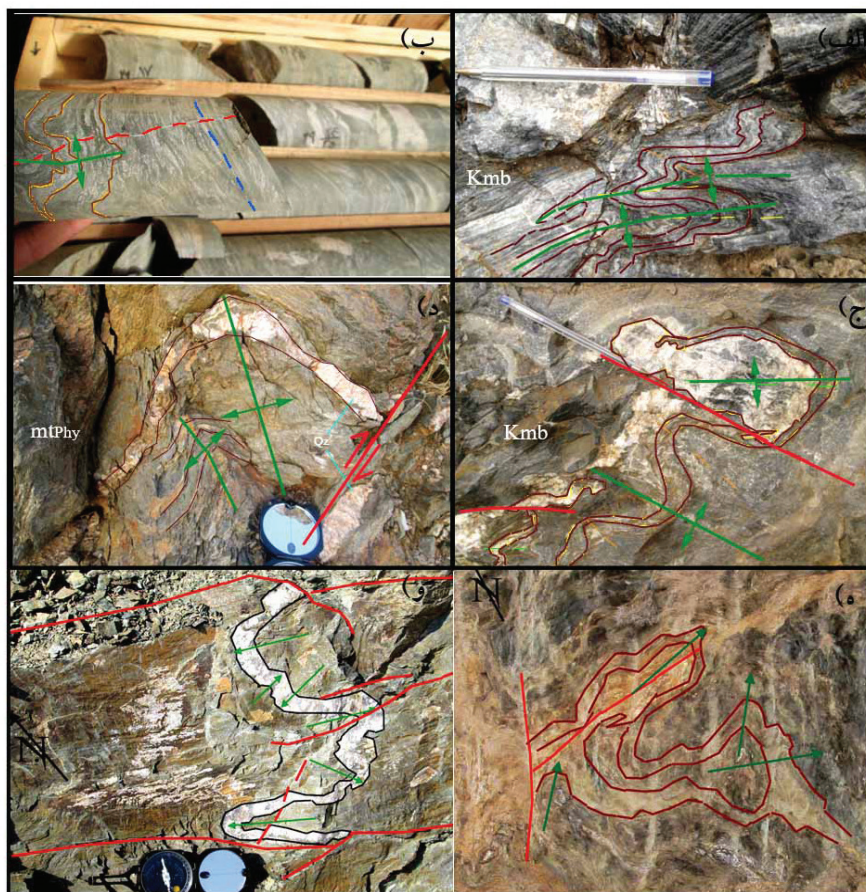


شکل ۳- اعمال فیلتر بر تصویر ماهواره ای ETM+ اصلاح شده و استخراج خطوط راه ها، الف) اعمال فیلتر ۴۵ درجه روی باند R تصویر ماهواره ای؛ ب) استخراج عناصر خطی؛ ج) کنترل عناصر خطی از روی تصویر (به همراه پیمایش های صحرائی).



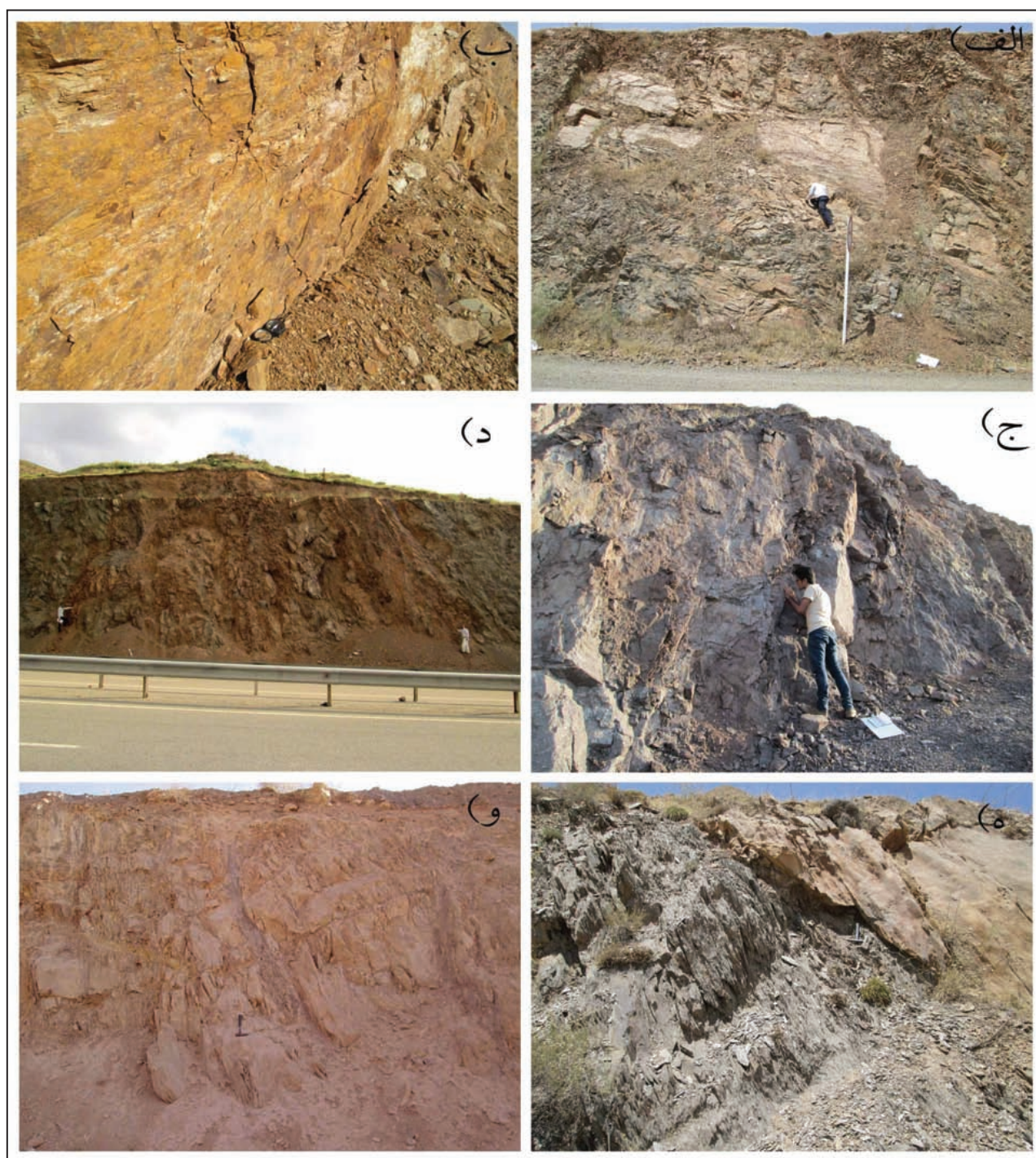
شکل ۴- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه شامل ساختارهای استخراج و پیمایش شده، به همراه نمودارهای گل سرخی و محورهای فشارش در ایستگاه‌های مختلف اندازه گیری (نسل‌های مختلف محورها با رنگ‌های متفاوت نمایش داده شده‌اند).

شکل ۵- گسترش برگوارگی در سنگ‌ها، چین‌ها و دیگر فابریک‌های پهنه‌های برشی در بخش باختری شامل: الف) سه نسل دگرشکلی شامل شیستوزیته لایه‌های آهکی، چین خوردگی اولیه این شیستوزیته با دامنه کوتاه و سپس چین خوردگی نسل آخر با دامنه بزرگ‌تر در آهک‌های دولومیتی منطقه کرویان؛ ب) درزه‌های کلسیتی بیشتر موازی با برگوارگی و چین خورده به همراه درزه کلسیتی ثانویه متقاطع با آنها در مغزه‌های بررسی شده است؛ ج) چین خوردگی‌های مکرر در واحد آهکی (دولومیتی) تیره مربوط به فاز D2 در پیرامون روستای کرویان؛ د) هسته‌های مجزای چین‌های دارای سطوح محوری موازی، میان‌لایه سیلیسی چین خورده و تغییر ناگهانی وضعیت برگوارگی در فاز D2 در مرز گسل در پیرامون روستای قلقله؛ و بخش خاوری شامل: ه) چند نسل چین خوردگی در فازهای شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر، ریزچین‌های دو نسا که مرتبط با گسل بوده‌اند.

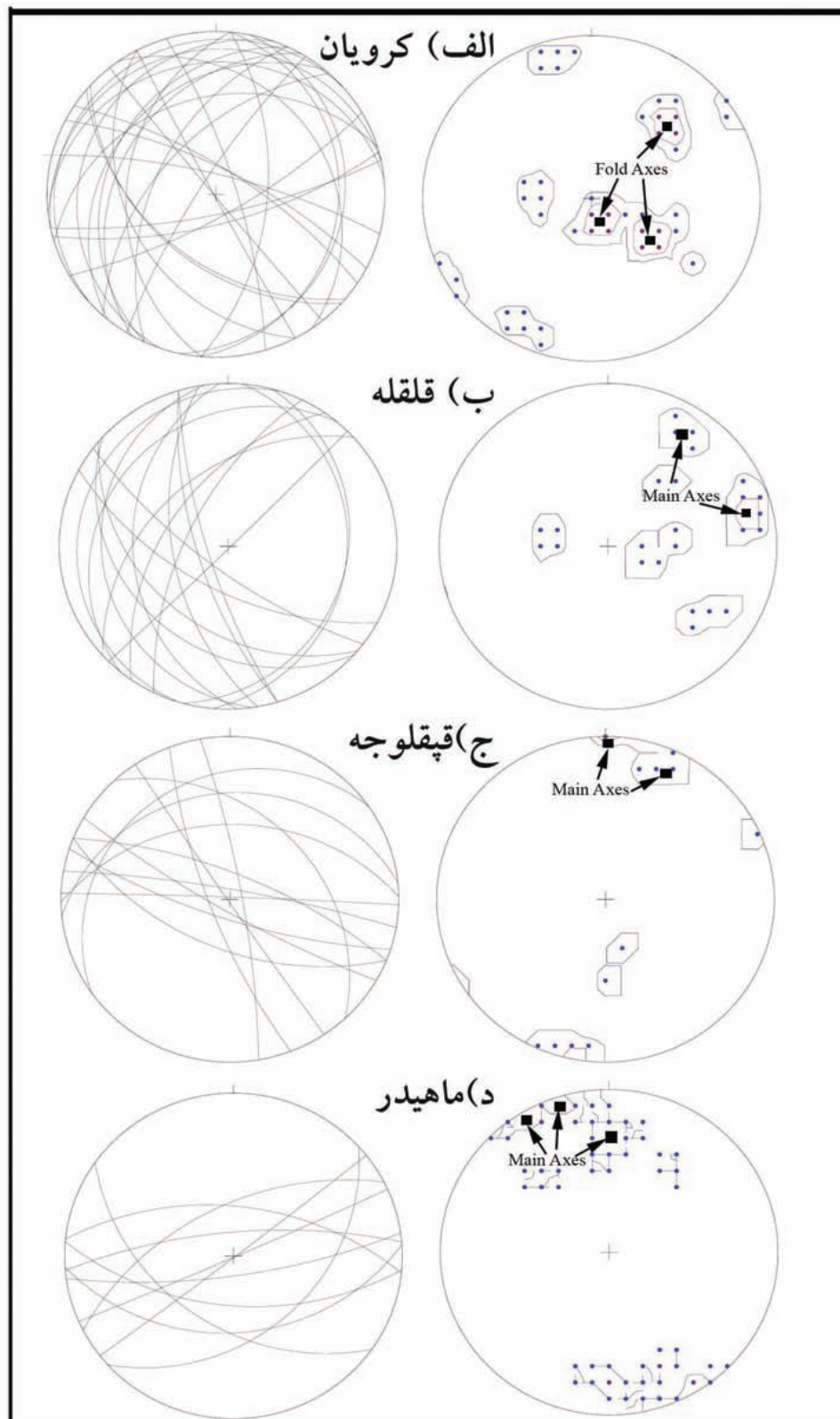




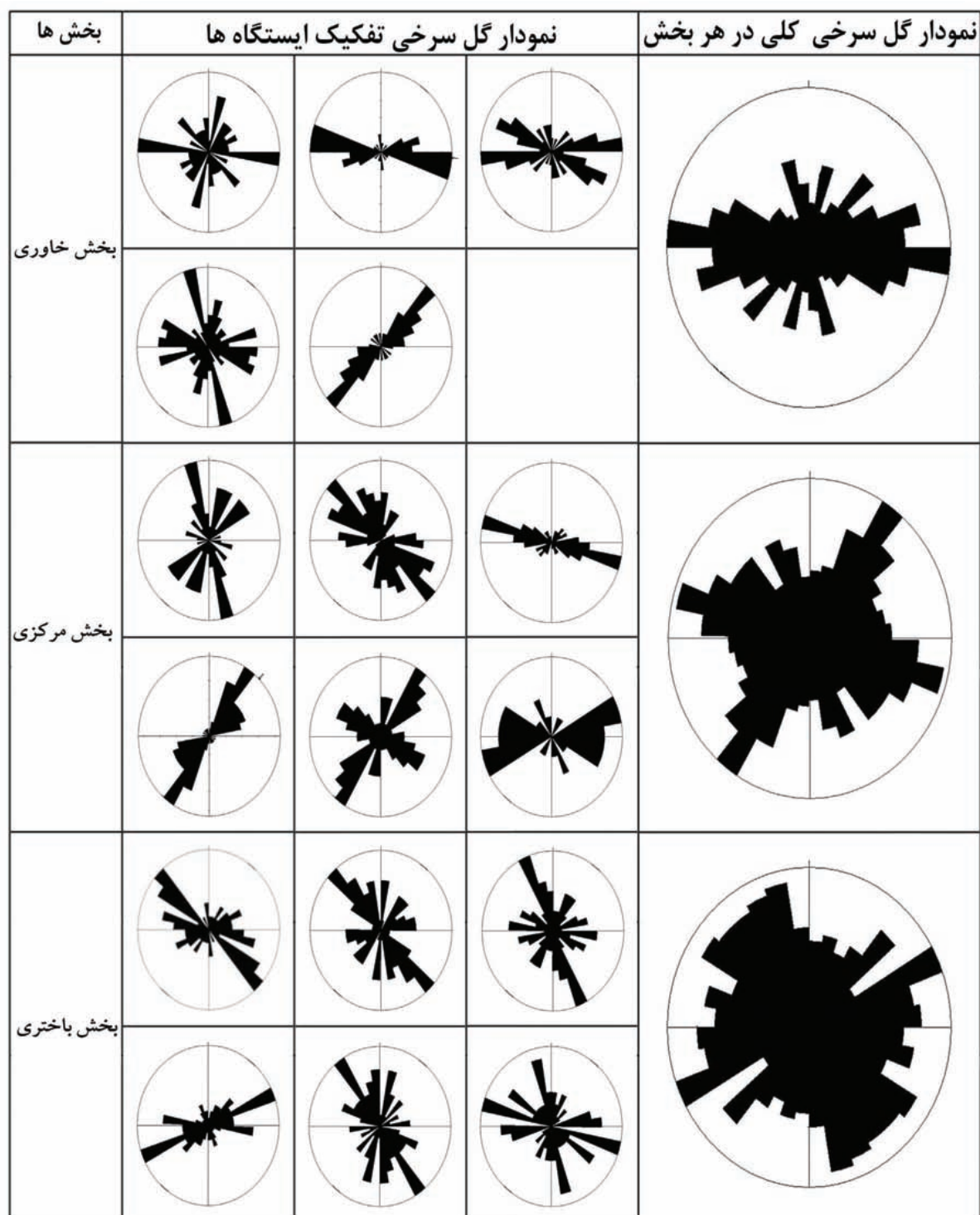
شکل ۶- نماهایی از گسلش در محیط‌های شکل‌پذیر تا شکننا: الف) ایجاد پهنه برشی چپ‌بر در محیط شکل‌پذیر که در ادامه نیز دوباره با این سازوکار به صورت نیمه‌شکل‌پذیر بریده شده است؛ ب) نمایی از چین‌خوردگی در شکل‌پذیر (نسل اول حرکت P1) که در ادامه توسط یک پهنه برشی در محیط شکل‌پذیر (نسل دوم حرکت P2) قطع شده است؛ ج) نمایی از یک بودیناژ که در یک محیط شکننده بریده و جابه‌جا شده است؛ د) نمایی از گسلش در محیطی کاملاً شکننده.



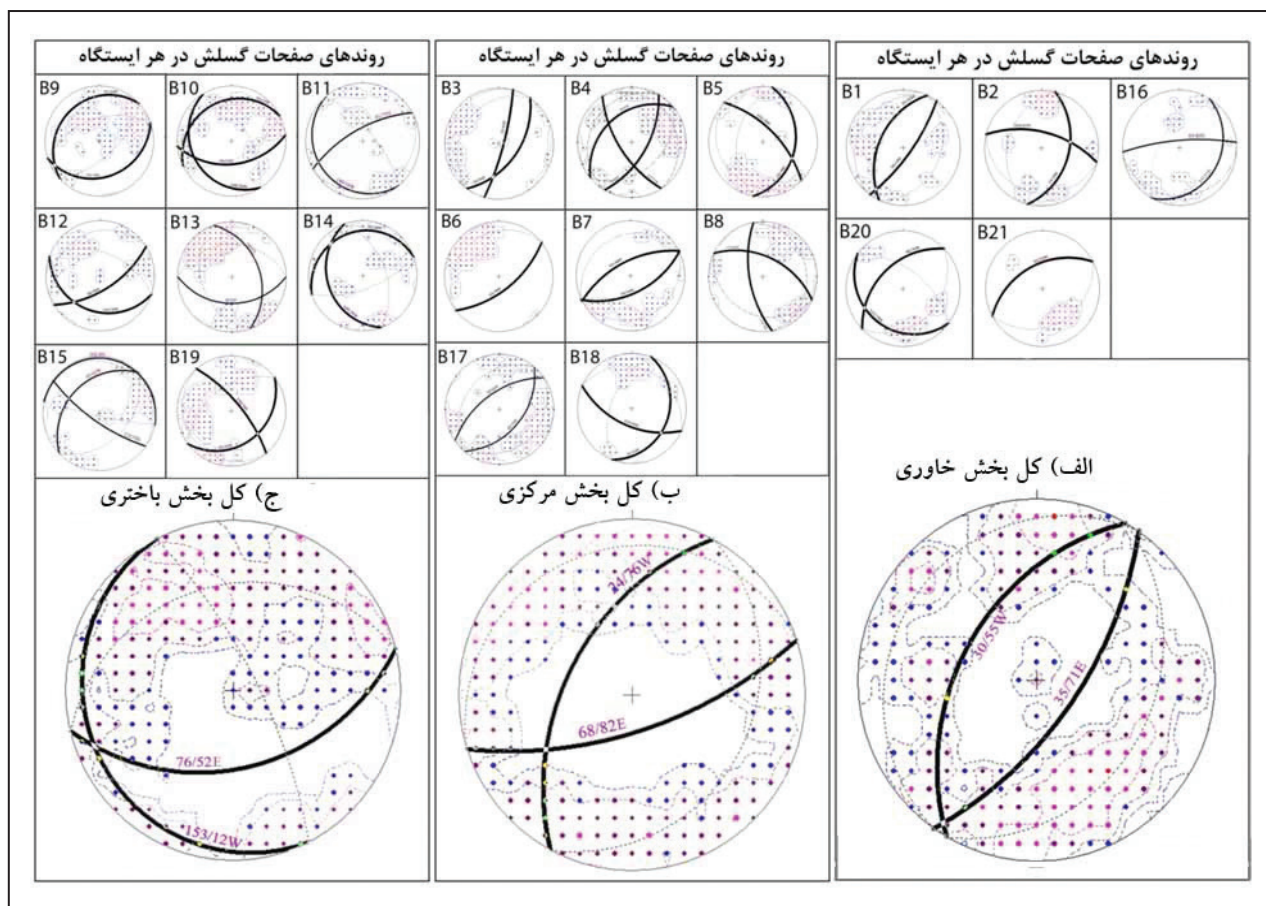
شکل ۷- نمایی از سطوح گسل های اصلی اندازه گیری شده در منطقه مورد مطالعه؛ الف) گسل تموغه در خاور روستای تموغه؛ ب) گسل شیواتو در جنوب باختری روستای شیواتو؛ ج) گسل سقز در جنوب -خاوری شهرستان سقز؛ د) گسل حسن سالاران در شمال خاوری روستای سننه؛ ه) گسل پیرونس در پیرامون روستای درگاه سلیمان؛ و) گسل سننه در خاور روستای سننه.



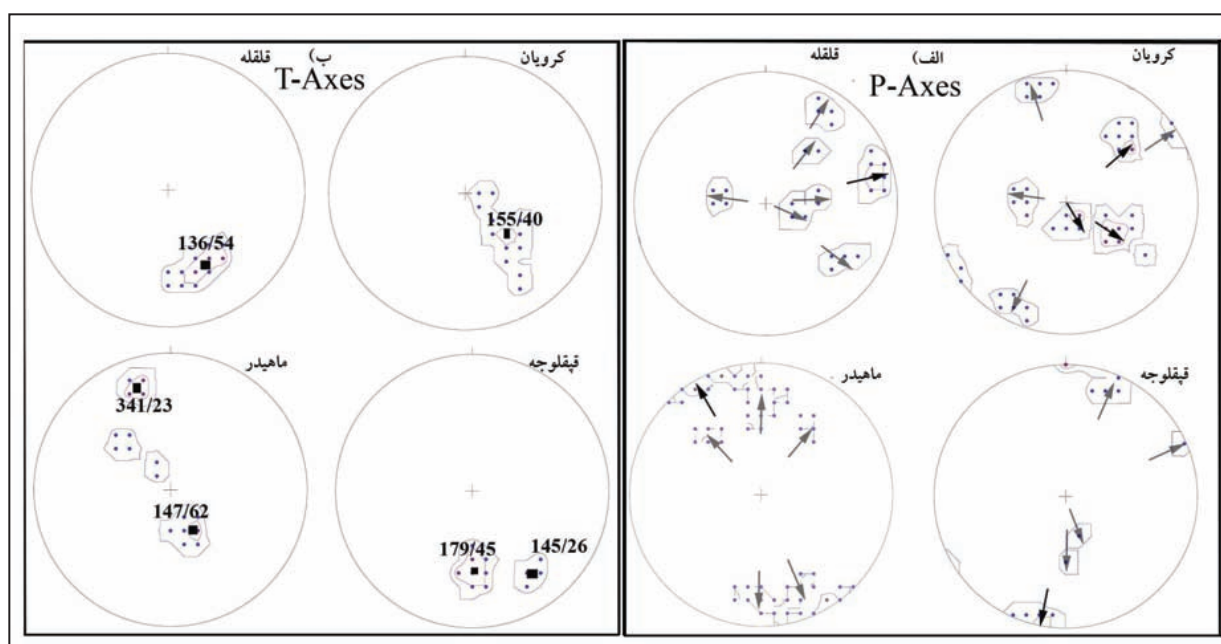
شکل ۸- محاسبه سطوح محوری و محور ریزجین‌های تشکیل شده در فاز شکل‌پذیر و نیمه‌شکل‌پذیر در بخش‌های باختری (ایستگاه‌های کرویان، قلقله و قیقلوجه) و مرکزی (ایستگاه ماهیدر).



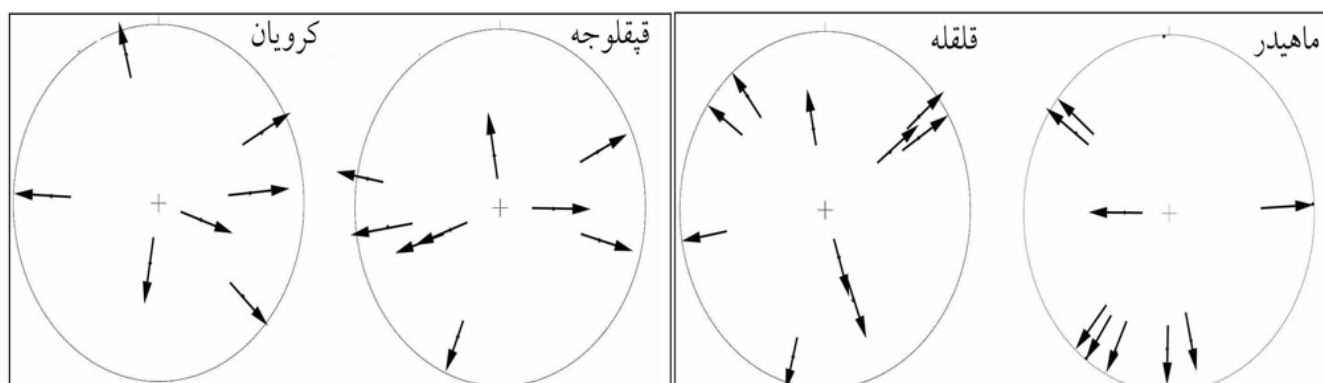
شکل ۹- نمودارهای گل سرخی شکستگی ها در ایستگاه های مختلف در سه بخش خاوری، مرکزی و باختری و کلی هر بخش.



شکل ۱۰- صفحات اصلی گسلش به دست آمده در سه بخش خاوری، مرکزی و باختری.



شکل ۱۱- تحلیل سینماتیکی ریزچین‌ها و فولیاسیون‌ها برای به دست آوردن: الف) محوره‌های فشارش؛ ب) محوره‌های کشش.



شکل ۱۲- محاسبه محورهای کشش با تحلیل رگه‌های سیلیسی موازی یا متقاطع اندازه‌گیری شده در بخش‌های باختری (ایستگاه‌های کرویان، قیقلوجه و قلقله) و مرکزی (ایستگاه ماهیدر).

بخش‌ها	محورهای حرکتی محاسبه شده به تفکیک ایستگاه‌ها					محورهای حرکتی کلی در هر بخش
بخش خاوری						
بخش مرکزی						
بخش باختری						

شکل ۱۳- محورهای فشارشی به دست آمده در سه بخش خاوری، مرکزی و باختری و کلی هر بخش.



شکل ۱۴- وجود نسل‌های مختلف حرکتی که به صورت نسل‌های مختلف خش لغز در سطح گسل‌ها دیده می‌شوند؛ الف و ب) وجود دو نسل خش لغز در طول پهنه گسل حسن سالاران.

جدول ۱- شماری از ریزچین‌های برداشت شده در بخش‌های باختری (قلقله، کرویان و قیقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش (ماهیدر)	بخش باختری			
	قیقلوجه	کرویان		قلقله
52/90	170/84 NE	40/35 NW	78/80 SE	26/70 NW
63/65 NW	120/84 SW	25/60 NW	75/75 SE	5/30 E
82/80 S	100/85 NE	60/79 SE	78/12 NW	48/53 NW
85/78 N	137/47 NE	123/77 NE	30/41 NW	35/60 NW
96/65 N	108/80 SW	130/57 SW	5/28 E	170/63 SW
66/90	55/26 NW	25/35 NW	163/80 NE	127/78 SW
48/50 SE	92/90	5/46 W	152/90	118/68 SW
95/65 S	159/80 SW	141/90	132/56 SW	163/80 SW
86/51 S	146/90	117/77 NE	104/80 NE	15/30 SE
125/55 SW	84/35 NW		152/46 SW	172/26 SW
	112/77 NE		12/25 SE	18/12 NW
	112/65 SW		49/7 NW	40/25 NW
	89/52 N		5/65 E	163/75 SW
			32/82 NW	177/43 SW
			73/40 NW	130/49 SW
			84/20 N	132/38 SW
			145/33 NE	45/90

جدول ۲- شماری از فولیاسیون‌های برداشت شده در بخش‌های باختری (قلقله، کرویان و قیقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش (ماهیدر)	بخش باختری		
	قیقلوجه	کرویان	قلقله
88/60 N	93/60 N	20/19 NW	154/20 NE
52/20 NW	85/52 N	74/25 NW	55/40 NW
53/20 SE	80/42 NE	58/47 NW	45/46 NW
77/58 SE	52/67 NW	78/54 NW	132/43 SW
36/38 SE	95/43 N	52/46 NW	63/65 NW
73/70 SE	56/59 NW	65/54 NW	80/29 NW
80/82 SE	110/50 SW	82/52 N	12/ 40 NW
68/72 SE	65/37 NW		171/10 SW
102/25 NE	132/52 SW		38/16 NW
68/28 NW	45/40 SE		51/70 NW
82/10 S			42/31 NW

جدول ۳- شماری از رگه‌های سیلیسی متقاطع برداشت شده در بخش‌های باختری (قلقله، کرویان و قیقلوچه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش (ماهیدر)	بخش باختری		
	قیقلوچه	کرویان	قلقله
130/80 NE	70/23 NW	75/75 SE	160/44 NE
90/65 N	36/76 SE	151/70 SW	15/60 NW
35/67 SE	50/72 SE	18/25 NW	112/67 NE
40/80 SE	69/45 NW	3/63 E	0/30 W
177/90	170/84 NE	100/28 NE	160/30 NE
125/90	141/72 SW	175/53 SW	172/67 NE
115/75 NE	148/65 W	42/67 NW	82/24 SE
78/62 NW	144/46 SW		10/82 SE
88/90	105/74 NE		155/63 SW
0/25 E	80/38 SE		

جدول ۴- شماری از ریزگسل‌های ایجاد شده در فاز شکنا در بخش‌های باختری (قلقله، کرویان و قیقلوچه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش (ماهیدر)	بخش باختری						
	قیقلوچه		کرویان		قلقله		
165/60 SW	چپ بر	45/37 SE	چپ بر - نرمال	34/60 SE	راست بر - نرمال	0/85 W	نرمال
88/60 N	راست بر	90/44 N	نرمال - راست بر	152/45 NE	راست بر - نرمال	12/75 NW	راست بر - نرمال
140/58 NE	چپ بر	161/70 SW	نرمال - چپ بر	45/66 SE	راست بر - نرمال	42/79 SE	راست بر - معکوس
93/58 S	راست بر	90/16 N	چپ بر - نرمال	103/75 NE	معکوس - چپ بر	69/82 SE	راست بر - معکوس
80/56 NW	معکوس	55/83 NW	نرمال - راست بر	160/62 SW	نرمال - چپ بر	175/74 NE	راست بر - معکوس
35/67 SE	راست بر - نرمال	82/74 N	نرمال - راست بر	84/41 N	راست بر	120/35 NE	معکوس - چپ بر
130/80 NE	راست بر	26/81 SE	راست بر - معکوس	10/44 NW	چپ بر - نرمال	2/65 E	معکوس
115/75 NE	نرمال	45/72 SE	راست بر	141/60 NE 103/78 SW 120/74 SW		23/85 SE	راست بر - نرمال
15/90	چپ بر	40/80 SE	نرمال			چپ بر - نرمال	
90/65 N	راست بر - نرمال	3/70 E	معکوس			راست بر - نرمال	
15/43 SE	معکوس	75/84 NW	معکوس			راست بر - نرمال	
50/85 SE	راست بر	90/58 N	معکوس				
15/60SE	چپ بر	78/62 NW	نرمال				

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- باباخانی، ع.، حریری، ع. و فرجندی، ف.، ۱۳۸۲- نقشه و شرح نقشه زمین‌شناسی ورقه سقز با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تاج‌الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب‌پور، ع. و محجل، م.، ۱۳۸۹- مراحل تشکیل و تکوین کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا باریکا، خاور سردشت، سنندج- سیرجان شمالی: بر پایه مطالعات ساخت، بافت و میکروترموتری سیالات درگیر، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۲، صص. ۹۷ تا ۱۲۱.
- تاج‌الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب‌پور، ع. و محجل، م.، ۱۳۹۲- اثرات دگرگونی و دگرشکلی بر کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا باریکا، خاور سردشت، شمال باختر پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۷، صص. ۳۳ تا ۴۰.
- حاجی‌اوغلو، ر.، ۱۳۹۰- شواهد تازه‌ای از بسته شدن نئوتیس در الگوسن- میوسن در شمال‌باختر زون سنندج- سیرجان، ایران، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال پنجم، شماره ۱۸، صص. ۴۱ تا ۵۱.
- حریری، ع.، ۱۳۸۲- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سقز، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدری، س. م.، راستاد، ا.، محجل، م. و نیان، ا.، ۱۳۸۴- رخداد کانه‌زایی طلا در پهنه برشی دگرسانی کرویان (جنوب غرب سقز- کردستان)، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین. خلقی خسرقی، م. ر.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش چابان، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رشیدنژاد عمران، ن.، هنرمند، م. و محجل، م.، ۱۳۹۲- پتروگرافی، ژئوشیمی و خاستگاه مجموعه نفوذی آلوت، شمال غرب سقز، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، جلد ۱۲، شماره ۲، صص. ۴۳۵ تا ۴۶۰.
- علی یاری، ف.، ۱۳۸۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنای قفله (جنوب غرب سقز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰ ص.
- علی یاری، ف.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمس، ج.، ۱۳۸۴- دگرشکلی و دگرسانی و نقش آنها در کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنای قفله (جنوب غرب سقز)، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.
- محجل، م.، ۱۳۸۳- ساختار در پهنه‌های برشی طلا در منطقه آلوت (کردستان)، کتابچه بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- یارمحمدی، ع. و راستاد، ا.، ۱۳۸۵- دگرشکلی و نقش آن در افزایش بازیافت طلا در ذخیره ماسیو سولفید غنی از طلا باریکا، خاور سردشت، کتابچه بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011- Zagros orogeny: a subduction-dominated process, *Geol. Mag.*, 148 (5–6), pp. 692–725.
- Aliyari, F., Rastad, E. and Mohajjel, M., 2012- Gold Deposits in the Sanandaj–Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion-Related Gold Systems?, *Resource Geology*, Vol. 62, No. 3, 296–315.
- Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H. and Jones, S. J., 2011- Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 184, 555–574.
- Aronoff, S., 1989- *Geographic Information System: A Management Perspective*; WDL publication: Ottawa, Canada, p. 200.
- Azizi, H. and Asahara, Y., 2013- Juvenile granite in the Sanandaj–Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic–Early Cretaceous arc–continent collision, *International Geology Review*, Volume 55, 12, 1523–1540.
- Berberian, M., 1976- Contribution to the seismo-tectonic of Iran, *Geo. Sur. Iran*, Rep No: 39, 518 P.
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683–693.
- Haji, E., Safari, H., Shafiei, B. and Agh Atabay, M., 2016- Studying Structural Characteristics of Saqez – Takab Region (NW of Sanandaj – Sirjan Zone) Using GiT, *Zakhoy Sulaimani Journal, Special Issue, GeoKurdistan* 11, 341–362.
- Jackson, J., 1980- Reactivation of Basement faults and Crustal shortening in orogenic belts, *Nature*, 283, 343–346.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 2000- *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th ed.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA; pp. 20–180.
- Marrett, R. and Allmendinger, R. W., 1990- Kinematic analysis of fault-slip data, *J. of structural Geology*, Vol. 12, No. 8, pp. 973–986.
- 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.
- Nadimi, A. and Konon, A., 2012- Gaw-Khuni Basin: an active stepover structure in the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Geological Society of America Bulletin* 124, 484e 498.
- Nadimi, A., 2010- Active strike slip faults in the central part of the Sanandaj- Sirjan Zone of Zagros Orogen (Iran), PhD thesis, Faculty of Geology, University of Warsaw, Poland, 121 p.
- NASA, 2014- Satellite image of Enhanced Thematic Mapper 8, scene: 168/35.
- Ramsay, J. G. and Hubber, M., 1987- the techniques of modern structural geology: Folds and fractures (vol. II). Academic Press: London, UK; p. 700.

- Safari, H., Pirasteh, S. and Shattri, B.M., 2011- Role of Kazerun Fault for Localizing Oil Seepage in the Zagros Mountains, Iran: an Application of GiT, International Journal of Remote sensing, Vol: 32, No: 1, 1-16.
- Sheikholeslami, M. R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. and Hashem Emami, M., 2008- Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran), Journal of Asian Earth Sciences, 31, 504-521.
- Sheikholeslami, R., Bellon, H., Emami, H., Sabzehei, M. and Pique, A., 2003- Nouvelles donnees structurales et datations 40K-40Ar surles roches métamorphiques de la region de Neyriz (zone de Sanandaj-Sirjan, Iran meridional. Leurinteret dansle carde du domaine neo-Tethysien du Moyen Orient, Compates Rendus Geoscience, 335, 981-991.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, a review. American Association of Petroleum geologists Bulletin, 52(7), PP. 1229- 1258.

Investigation on deformation stages in NW part of Sanandaj-Sirjan structural zone

E. Haji¹ and H. Safari^{2*}

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

²Associated Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Received: 2015 April 06

Accepted: 2016 October 01

Abstract

The Saqqez-Baneh area, as a part of the NW Sanandaj-Sirjan zone, is selected for investigation of different deformation stages. In this research, firstly, the lithology of outcropped rock units and visible lineaments were mapped using remote sensing approach. Then, field surveys were carried out for structural measurements, during which major and minor faults and shear zones (as ductile zones) were measured and mapped. These data were then entered to GIS environment as vector layers (and attributed descriptions), resulting in preparation of a structural map. The results of field surveys along with geometric and kinematic analyses show that the major faults together with their related fault orders formed a curved shape of structures, outcropped rock unit patterns and intrusive localities. Geometric and kinematic analyses demonstrated three stages of movement: with north-south (in ductile environment), northeast-southwest (in ductile to brittle environment) and east-west (in brittle environment). These three stages caused three stages of faulting with trends along N140-150, N70-80 and N10-20 directions, which can be attributed to three orogenic phases in Precambrian and/or late Triassic (Katangai and/or Cimmerian), Cretaceous (Laramide) and Neogene (late Alpine events such as Savian to Pasadenian).

Keywords: Sanandaj-Sirjan, Deformation stages, Kinematic stages, Saqqez-Takab, Remote Sensing.

For Persian Version see pages 183 to 200

*Corresponding author: H. Safari; E-mail: h.safari@gmail.com