### بررسی مراحل دگرریختی در بخش شمال باختری پهنه ساختاری سنندج- سیرجان

عرفان حاجی' و حجتاله صفری\*\*

دانشجوی دکترا، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران ۲دانشیار، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران تاریخ پذیرش: ۱۰/ /۰۷ /۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۱۰/ ۰۷/ ۱۳۹۵

#### چکیدہ

اللي الم

منطقه سقز- بانه به عنوان بخشی از بخش شمال باختری پهنه سنندج- 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 خطواره های قابل تعیین استخراج شدند. سپس، با پیمایش های صحرایی، 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 بزرگ مقیاس، اصلی و فرعی و همچنین وارد و نقشه ساختاری تهیه شد. نتایج حاصل از اطلاعات صحرایی، تحلیل های هندسی و حرکتی نشان می دهد که گسل های بزرگ مقیاس منطقه به همراه رده های مرتبطه شکلی خمیده از ساختاری تهیه شد. نتایج حاصل از اطلاعات صحرایی، تحلیل های هندسی و حرکتی نشان می دهد که گسل های بزرگ مقیاس منطقه به همراه رده های مرتبطه شکلی خمیده از ساختاری تهیه شد. نتایج حاصل از اطلاعات صحرایی، تحلیل های هندسی و حرکتی نشان می دهد که گسل های بزرگ مقیاس منطقه به همراه رده های مرتبطه شکلی خمیده از ساختاری الگوی رخنمون واحدهای سنگی و محل توده های نفوذی به نمایش گذاشته است. تحلیل های هندسی و حرکتی سه سال هالی (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 ۵۰ ماد ۲۰ ۸۵ ۸۰ ماد ۲۰ ۱۰ شده اند که قابل انتساب به اثر سه فاز کوهزاد در پر کامبرین و یا تریاس بالایی (احتمالاً کاتانگایی و یا سیمیرین)، کر تاسه (لارامید) و نؤرژن (فازهای پایانی آلی نظیر ساوین تا پاسادنین) هستند.

> **کلیدواژه ها:** سنندج- سیرجان، مراحل دگرریختی، نسل های حرکتی، سقز- تکاب، سنجش از دور. \***نویسنده مسئول:** حجتاله صفری

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

#### 1- پیشنوشتار

پهنه سنندج- سیرجان دارای درازای ۱۵۰۰ کیلومتر، پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر و امتداد ۱۳۰ N است که از باختر دریاچه ارومیه آغاز می شود و تا شمال بندرعباس ادامه مىيابد (Berberian, 1976; Stocklin, 1968). اين پهنه در شمال و شمال باخترى، توسط فروافتادگیهایی مانند دریاچه ارومیه، توزلوگل، 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 بهطور محلی نمایانگر سامانهای راستالغز است که نشان از چیرگی رژیم زمین ساختی برشی (راست بر) در محل برخورد دو صفحه Allen et al., 2011; Azizi and Asahara, 2013;) زمين ساختي عربي- ايراني دارد (جاري المعاري المعاري الم .(Nadimi and Konon, 2012; Nadimi, 2010; Sheikholeslami et al., 2003 از دیدگاه زمین- ساختی، پهنه سنندج- سیرجان فعال ترین پهنه شناخته شده ایران است و پیچیدگی های خاصی دارد. مهمترین رویداد دگرشکلی و دگرگونی که سنندج- 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 مزوزوییک انجام گرفته است (Mohajjel et al., 2003). مطالعات و بررسي ساختارها در اين منطقه پيچيدگي خاصی دارند که بیانگر رخداد چندین فاز دگرریختی شکل پذیر و شکنا- شکلپذیر در آن است (حاجىعلى اوغلو، ١٣٩٠؛ محجل، ١٣٨٣؛ تاج الدين و همكاران، ١٣٩٢؛ على يارى، ١٣٨٥؛ Aliyari et al., 2012؟). مهم ترين مسئله موجود در منطقه، تغيير روند دگرریختی ها نسبت به روند کلی پهنه سنندج- سیرجان است. به نظر می رسد که در بخش شمال باختری، این پهنه مستقیم ساختاری توسط پهنه گسلی با روند N ۶۰-۷۰ قطع و دچار به همریختگیهای 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 پیچیدگیهای 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 شهرستانهای سقز، بانه و دیواندره

در محدوده جغرافیایی "۲۷/۶ '۵۹ °۳۵ الی "۴۵/۷ '۱۸ °۳۶ عرض شمالی و ۳۳/۹۳ ٬۱٬ ۴۶٬ ۳۵/۹ الی ۳۵/۹۳ ٬۴۹ ۴۶٬ طول خاوری قرار گرفته و دارای گسترشی حدود ۲۵۱۸ کیلومتر مربع است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نگاه ساختاری، در حاشیه شمالی بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان قرار گرفته است. این منطقه از دید زمین ساختی و ماگمایی، از رویدادهای مرتبط با باز و بسته شدن اقیانوس نوتتیس (از اوخر پالئوزوییک تا دوران سوم) متأثر شده و تأثیرات این رویدادها را می توان در قالب فازهای فعالیت ماگمایی، انواع دگرگونی ها (بهویژه دگرگونی های ناحیهای و همبری) و همچنین دگرریختی های که بهصورت مرحلهای روی هم اعمال شدهاند؛ دید. پیامد این رویدادها، بهصورت ایجاد پهنههای برشی و پهنههای گسل خورده (شکل پذیر تا شکننده) همراه با بالاآمدگی ناحیهای نمود يافته است (Mohajjel et al., 2003). در این پژوهش، برای انجام بررسی های دقیق، منطقه مورد مطالعه به سه بخش باخترى (شهرستان سقز و پیرامون)، مرکزي (پیرامون شهرستان صاحب) و خاوری (پیرامون روستای سنته) تقسیم شده و اندازه گیری های صورت گرفته در ایستگاهها بر همین اساس دسته بندی شده اند (شکلهای 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 سنندج- سيرجان تشخيص داده شده است.

#### ۲- زمینشناسی و زمینساخت منطقه

واحدهای سنگی منطقه شامل سکانس به نسبت کاملی از سنگهای پر کامبرین تا ترشیری (همراه با رسوبات کواترنری) به همراه تودههای نفوذی با سنین مختلف (پر کامبرین تا ترشیری) هستند (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲) (شکل ۲). به این ترتیب واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل سنگهای دگرگونی با سن پر کامبرین شامل گنایس، شیست، میکاشیست و متاریولیت، نهشتههای شیلی و ماسه سنگی سازند کهر، توده گرانیتی تموغه، نهشته های ماسه سنگی سرخ و آهکهای ستبرلایه پرمین، رسوبات شیل و ماسه سنگی نازکلایه 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.

# یا کاروید

بررسی مراحل دگرریختی در بخش شمال – باختری پهنه ساختاری سنندج– سیرجان

در بخشهای باختری و جنوب باختری منطقه بهطور چیره سنگهای دگرگونی پرکامبرین (احتمالاً به عنوان پیسنگ منطقه) رخنمون یافتهاند. این توالی گاه با پوشش ناز کی از مجموعه کربناته آواری پرکامبرین – کامبرین و واحدهای کربناته پرمین با مرز ناهمساز تا گسلی پوشیده شده است. دگرگونی شدید واحدهای سنگی پرکامبرین و مرز ناهمساز آنها با توالی رسوبی پرکامبرین – کامبرین زیرین و نیز فعالیت ماگمایی شدید همزمان با تکتونیک، نشاندهنده جنبش کوهزایی در اواخر پرکامبرین ناحیه است (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲). در ادامه توالی های سنگی، قرار گیری 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 سیمرین پیشین و پسین را نشان می دهد.

مجموعه سنگهای آذرین و رسوبی منطقه مورد مطالعه بهطور چیره شامل سنگهای آتشفشانی اسیدی، مافیک و آتشفشانی- رسوبی است که در زمان کرتاسه تحت رخساره شیست سبز دگرگون شده و همزمان تحت تأثیر عملکرد پهنههای برشی با روند شمال خاوری- جنوب باختری (۶۰–۸۰ N) قرار گرفته و دگرریخت شدهاند (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲). گوناگونی فازهای کوهزایی (شامل دگرریختیها، دگرگونیها و فعالی ماگمایی) سبب شده است که توالیهای سنگی رخنمون یافته در منطقه نظم و ترتیب اولیه خود را از دست بدهند و واحدهای سنگی مختلف با ساختارها و فابریکهای متفاوت در کنار هم دویده شوند.

از نگاه ریخت شناختی بخش های گستردهای از منطقه به طور چیره از سنگهای 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 سنگهای دگرگونی کهن گسترش دارند، بخش های شیستی توپوگرافی به نسبت خشنی دارند ولی نهشته های شیلی 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 سنگهای پیرامون نشان می دهد (شکل ۲).

#### 33- روش های به کار برده شده 25- 1. استخراج عناصر ساختاری

برای نمایان ساختن ساختارهای اصلی و فرعی، از روشهای سنجش از دور و برداشت.های صحرایی و همچنین قابلیت.های محیط GIS استفاده شده که در پایان، خروجی این روش ها آماده شدن لایههای اطلاعاتی برای تهیه نقشههای ساختاری است. برای استخراج عناصر ساختاری مانند شکستگیها و گسل ها از تصویر ماهوارهای⁺Landsat 8 ETM با ترکیب باند(۷–۴–۱) استفاده شد. در ابتدا تصویر یادشده از دید هندسی تصحیح و سپس با اعمال فیلترهای تیزکننده لبه ها (Sharpen Edge) و بالاگذر (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 ماهوارهای منطقه (در محیط نرمافزار ENVI 4.3) شکستگی های موجود در منطقه شناسایی شدند (;2011) (4.3 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 نرمافزاری GIS (با استفاده از نرمافزار Arcview 3.2) شکستگی های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای رقومی شد (Aronoff, 1989) و سه لایه بُرداری مربوط به گسل های بزرگ، اصلی و فرعی در این محیط تهیه شد (شکل ۴).

#### 3-3 تحلیل ساختاری

برای در ک وضعیت دگرریختی ها و دستیابی به مدل تکامل ساختاری، تحلیل های ساختاری پهنههای 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.

- **تعلیل هندسی:** به علت گستردگی منطقه مورد مطالعه، در این بخش ابتدا کل منطقه به سه مقطع سقز (بخش باختری)، صاحب (بخش مرکزی)، سنته (بخش خاوری) تقسیم شد. مهم ترین تحلیل های هندسی صورت گرفته برای ساختارها، تعیین سطح محوری و محور چینها و ریزچینها (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 ریز چینها، ابتدا سطح محوری آنها را روی استریونت رسم و سپس عمود بر آنها به عنوان محور این چینها در نظر گرفته شد. در ادامه، بر پایه روش تعداد – امتداد نمودار گل سرخی از شکستگیهای این مناطق رسم شد ساختاری هر بخش آورده شد.

- تحلیل سینماتیکی: برای تحلیل محورهای سینماتیکی (جنبشی) در منطقه، ابتدا در محیط شکلپذیر ریزچینها، رگههای سیلیسی موازی و متقاطع و فولیاسیونها برای تحلیل سینماتیکی آنها برداشت شدند. اساس کار بر این بود که سطح محوری چینها و فولیاسیونها عمود بر محور فشارش است. به این ترتیب عمود بر صفحات سطح محوری چینها (و ریزچینها) و فولیاسیونها در محیط شکل پذیر به دست آمد. سپس بر پایه اندازه گیری رگههای سیلیسی موازی لایهبندی و متقاطع (نسبت به شیستوزیته و لایهبندی) که عمود بر محور کشش بودند؛ محورهای کشش در بخش های باختری و مرکزی به دست آمد. برای کار روی ساختارها در محیط شکنا، ویژگیهای شکستگیها شامل امتداد، شیب و سوی شیب گسلها به همراه اطلاعات مربوط به خشرلغزهای موجود در سطح آیینه گسل شامل ریک خشرلغز و سوی حرکت بلوک روبه رو در ایستگاههای مختلف اندازه گیری و در سه بخش دستهبندی شد. اساس تحلیل سینماتیکی شکستگیها در این پژوهش، روش محاسبه صفحه حرکتی (Marrett and Allmendinger 1990) است. در این روش تحلیلی، براي محاسبه محورهاي حركتي (به ويژه 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 ایستگاههای مختلف و کلی هر بخش تنها از محور فشارش استفاده شده است. در پایان نتایج به دست آمده روی نقشه ساختاری (بر پایه تصویر ماهوارهای) هر بخش آورده شد (شکل ۴).

- محاسبه صفحات کسلش: برای محاسبه صفحات اصلی گسلش، با توجه به اینکه قطب شکستگیهای مرتبط با گسل، عمود بر روند گسل اصلی هستند، ابتدا صفحه در بر گیرنده قطب شکستگیها و سپس صفحه عمود بر آن رسم شد و به این ترتیب صفحه (و یا صفحات) اصلی گسلش در ایستگاههای مختلف منطقه (سه بخش) به دست آمد.

#### ۴- بررسی دگرریختیها

بررسیهای ساختاری در منطقه مورد مطالعه نشان میدهد 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. دگرریختیهای شکلپذیر (پهنههای برشی)

دو بخش باختری (شامل ایستگاههای قلقله، قپقلوجه و کرویان) و مرکزی (منطقه ماهیدر) دچار دگرریختی های شکل پذیر شدهاند (شکل ۵) که آثار آنها به صورت گسترش برگوارگی چیره میلونیتی در سنگها، خطواره کششی نافذ، چین ها و دیگر

# 

عرفان حاجي و حجتاله صفري

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

- (D1؛ این نسل دگرشکلی به صورت دگرریختی های شکل پذیر دیده می شود که سبب دگرگونی، دگرشکلی و گسترش برگواره های S1، شیستوزیته در سنگ ها و نوارهای تیره (بیوتیت) و روشن (کوارتز و فلدسپات) در رخنمون های سنگی پرکامبرین-پالئوزوییک شده است (شکل های ۵- الف و ب) این رخنمون های سنگی شامل مجموعه های دگرگونی از رخساره های پایینی شیست سبز تا بالاترین درجات رخساره آمفیبولیت هستند و واحدهای نایس، گرانیت نایس، شیست، متاریولیت و

متاولکانیک ها هستند (حریری، ۱۳۸۲؛ رشیدنزاد عمران و همکاران، ۱۳۹۲). - (D2): این نسل از دگرریختی ها که همراه با یک فاز دگرگونی ترمودینامیکی (رخساره شیستسبز) بوده و بهصورت دگرریختی های شکل پذیر سبب شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه و گسترش برگواره های S2 شده است (شکل ۵– ج)؛ به ایجاد روند عمومی واحدها، چین ها، ساختارهای میلونیتی و برگوارگی چیره منطقه انجامیده و پهنه های برشی شکل پذیر را به وجود آورده است. فیلیتها، شیستها و کوارتزیتهای این ناحیه ساختارهایی مانند کینک بندها و ریزچین ها (شکل های ۵– الف و ب)، چین خوردگی مکرر (شکل های ۵– ج، ه و و)، بودیناژهای سیلیسی (شکل های ۶– الف و ب)، میان لایه های سیلیسی موازی برگوارگی (شکل های ۵– ب، ج و د) را به فراوانی در خود حفظ کرده اند. سنگهایی که دچار این نسل از دگرشکلی شده اند، بیشتر سن کرتاسه دارند (تاج الدین و همکاران، ۱۳۸۴).

#### (D3) ۲-۴. دگرریختیهای نیمه شکل پذیر (D3)

در ادامه تکامل ساختاری منطقه مورد مطالعه، دو بخش باختری (شامل ایستگاههای قلقله، قپقلوجه و کرویان) و مرکزی (منطقه ماهیدر) دچار دگرریختیهای نیمه شکل پذیر نیز شدهاند (شکل ۶). این نسل از دگرریختی ها که بیشتر در بخش های شمال باختر، باختر و جنوب سقز دیده می شوند؛ بر دگرریختی های شکل پذیر در مؤثر هستند (شکلهای ۶- ج و د) و می توان آنها را به صورت نیمه شکل پذیر در سبب ایجاد رگههای سیلیسی متقاطع (جدول ۳) و گسلش وارون شده است (شکلهای ۶- الف و ب؛ تاج الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی یاری و همکاران، ۱۳۸۴). به نظر می رسد که این نسل از دگر شکلی در ادامه (مکلهای ۶- الف و ب؛ تاج الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی یاری و همکاران، ۱۳۸۴). به نظر می رسد که این نسل از دگر شکلی در ادامه (Hinterland) نقش و شروع برخورد رخ داده و مناطق داخلی (D2) روی مراحل پایانی فرورانش و شروع برخورد رخ داده و مناطق داخلی (D2) روی رخنمونهای سنگی اثر کرده؛ روی مناطق باختری و جنوب باختری، بیشتر هجوم رادم و باشتری ای روی و امتدادلغز صورت گرفته است (D3). بیشتر هموم).

#### (D4) دگرشکلیهای شکنا (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; Agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2008 Ghasemi and Talbot, 2006; Agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2008 یارمحمدی و راستاد ۱۳۸۵). در صورتی که در بخش های شمالی، شمال مرکزی و خاوری چون تا آن زمان هیچ فاز دگرشکلی عمل نکرده بوده، دگرشکلی بیشتر به صورت چین خوردگی 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 گسل های پیسنگی با روند N 130-140 (شامل گسل های شیواتو، تموغه، سقز و ..) که سازو کار راست بر و کمی وارون دارند و بیشتر در مناطق باختر – جنوب باختر دیده می شوند (شکل ۴).

۲) فعال شدن گسل های پی سنگی با روند N60-70 (مانند گسل های حسن سالاران و بوین) که سبب بریده شدن و جابه جایی چپ بر روندهای N130-140 شده است. این گسل ها در مناطق مرکزی دیده شده، به صورت قطری منطقه را قطع کرده و کل منطقه را تحت تأثیر قرار داده اند (شکل ۴).

۳) ایجاد گسل هایی با روند تقریباً شمالی- جنوبی (20-N10) که سازو کار عادی با مقداری مؤلفه چپبر دارند و سبب بریده شدن و خمش چپبر گسل های متعلق به نسل های گذشته شدهاند (شکل ۴).

#### ۵- بررسی گسلهای بزرگ منطقه

بر پایه نقشه ساختاری منطقه (شکل ۴) می توان گفت که این منطقه به شدت گسل خورده و کاملاً خرد شده است. به همین دلیل شکستگی های پیمایش شده را می توان به سه دسته گسل های بزرگمقیاس، اصلی و فرعی تقسیم کرد. مهم ترین گسل های بزرگ منطقه مورد مطالعه عبارتند از گسل شیواتو، حسن سالاران، سقز، پیر یونس و سنته. ویژگی های هر کدام از این گسل ها به شرح زیر است:

- کسل شیوانو: این گسل که در بخش باختری منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است؛ با امتداد ۱۵۰–۱۴۰ N و شیب تقریباً ۴۰ درجهای به سوی شمال خاور (بر پایه اندازه گیریهای صحرایی) (شکل ۷– ب) و با طولی حدود ۴۱ کیلومتر از پیرامون روستای شیواتو (شمال-خاور بانه) عبور می کند (شکل ۴). در طول این گسل، رخنمون گرانیت های بسیار کهن (احتمالاً پرکامبرین) و همچنین رخنمون های سنگی دگرگون شده مربوط به فاز سیمیرین (تریاس بالایی) و حتی پرکامبرین را می توان دید. در بسیاری از محل های بازدید و ایستگاه های اندازه گیری، پهنه های شکل پذیر با این روند در طول این پهنه برشی دیده می شوند (شکل ۵– الف). سازو کار حرکتی این گسل، وارون با مقدار زیادی مؤلفه راستالغز راست بر است. شواهد صحرایی نشان از آن دارد که این روند توسط روند گسل هایی با امتداد جب بر جابه جا شده است (شکل ۴).

- کسل سقز: این گسل با امتداد ۱۵۰ N و شیبی حدود ۶۵ درجه به سوی جنوب خاور، از خاور شهرستان سقز 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 راست بر با مقداری مؤلفه وارون دارد. به نظر می رسد که این گسل دره مستقیم شمال سقز را ایجاد کرده است.

- پهنه کسل حسن سالاران: این پهنه گسل خورده با امتداد ۸۶ N و شیبی حدود ۴۰ تا ۸۰ درجه به سوی جنوب خاور، منطقه مورد بررسی را بهصورت مورب قطع کرده است (شکل ۴). به نظر می رسد که این گسل با طولی حدود ۶۰ کیلومتر (در محدوده مورد مطالعه) و عرض پهنه گسل خورده حدود ۴ تا ۵ کیلومتر، یکی از اصلی ترین پدیده های ساختاری منطقه مورد مطالعه باشد. سازو کار حرکتی این گسل چپ بر با مقدار زیادی مؤلفه معکوس است (شکل ۶- د). عملکرد این گسل سبب بریده شدن و جابه جایی چپ بر گسل شیواتو به مقدار ۵ کیلومتر (شکل ۴) شده است. شواهد

## اللي المحالي محالي المحالي محالي المحالي محالي المحالي محالي محا

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

- کسل پیریونس: این گسل که با روندی کاملاً خطی در تصویر ماهواره ای در مرکز منطقه مورد مطالعه شناسایی می شود؛ با روندی تقریباً شمالی - جنوبی (۱۰ N)، شیبی حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور (شکل ۷- ۵) و طولی حدود ۳۰ کیلومتر یکی از پدیده های ساختاری مهم بخش مرکزی به شمار می رود. سازوکار حرکتی این گسل عادی با مقداری مؤلفه چپ بر است (شکل ۴). عملکرد این گسل سبب خمش چپ گرد، بریده شدن و جابه جایی چپ بر گسل حسن سالاران به مقدار حدود ۲ کیلومتر (شکل ۴) شده است. همچنین این گسل محل مناسبی برای تشکیل دره رودخانه زرینه رود فراهم کده است.

- کسل سنته: این گسل که در بخش مرکزی منطقه قرار گرفته است (شکل ۴)؛ با روند تقریبی شمال خاور - جنوب باختری (۲۵ N)، شیبی حدود ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور (شکل ۶- و) و طولی حدود ۳۶ کیلومتر از خاور روستای سنته عبور می کند. سازو کار حرکتی این گسل عادی با مقداری مؤلفه چپ بر است (شکل ۴). ترکیب های سنگی دیده شده در دو سوی این گسل کاملاً با یکدیگر متفاوت هستند؛ به گونهای که در سوی باختر آن دگر گونی های کرتاسه و در خاور آن توالی آندزیتی دیده می شود (شکل ۲). عملکرد این گسل سبب خمش چپ گرد، بریده شدن و جابه جایی چپ بر پهنه گسل حسن سالاران به مقدار حدود ۵ کیلومتر (شکل ۵) شده است.

#### 6- نتایج تحلیلهای هندسی

همان گونه که در بخش های پیشین گفته شد؛ برای بررسی دقیق تر منطقه مورد مطالعه به سه بخش: خاوری، مرکزی و باختری تقسیم شد و دگر شکلی های شکل پذیر، نیمه شکل پذیر و شکنا بهصورت مجزا مورد تحلیل هندسی قرار گرفت که به شرح زیر هستند:

9- ۱. نتایج تحلیل هندسی ریزچینها در پهنههای برشی (محیطهای شکلپذیر و نیمه شکلپذیر): در این بخش سطح محوری و محورهای این ریزچین ها به دست آمد (شکل ۸). نتایج محاسبات نشان می دهد که:

الف) بخش باختری از سه ایستگاه کرویان، قلقله و قپقلوجه تشکیل شده است. محورهای به دست آمده برای چینها در ایستگاه کرویان N-S، و N-S و 125/56 هستند (شکل ۸). (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 گل سرخی تهیه شد (شکل ۹). با توجه به نمودار گل سرخی حاصل از این شکستگیها در زیربخش شمالی روند خاوری- باختری (۱۰۰ – ۸۸ ) بیشترین فراوانی تکرار را دارد و همچنین روند شمال باختری- جنوب خاوری (۱۰۰ – ۱۹ ۸) و شمال خاوری- جنوب باختری جنوبی دو روند خاوری- باختری (۱۰۰ – ۹۰ ۸) و شمال خاوری- جنوب باختری (۱۰۰ – ۴۰ ۸) بیشترین فراوانی را دارند و همچنین روند دیگری با امتداد ۲۰ – ۱۰ ۸ در رده دوم اهمیت قرار دارد. در نمودار گل سرخی تهیه شده از کل ایستگاههای این منطقه نیز روند چیره ۱۰۰ – ۹۰ ۸ در درجه اول اهمیت و روندهای ۸۰–۷۰ ۸ ۱۷۰ – ۱۶۰ ۸ در درجه اهمیت های بعدی قرار دارند.

بررسی مراحل دگرریختی در بخش شمال – باختری پهنه ساختاری سنندج– سیرجان

بغش 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 (۱۱۰-۱۰۰ N و ۱۵۰-۱۴۰ N) روندهای چیره در منطقه هستند و در بخش جنوبی نیز روندهای شمال خاوری- جنوب باختری (۲۰-۳۱ و ۸۰-۹۰ N) و روند دیگر ۱۳۰-۱۱۰ N با فراوانی کمتر، روندهای چیره در منطقه هستند. در نمودار گل سرخی تهیه شده از کل بخش مرکزی، روند شمال خاوری- جنوب باختری (۲۰-۱۳ N) بیشترین فراوانی و روند شمال باختری- جنوب خاوری (۱۰-۱۰۰ N) در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

بغش 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 (۱۵۰–۱۳۰ N) روند چیره است. در زیر بخش جنوبی نیز روندهای شمال باختری- جنوب خاوری (۱۴۰–۱۳۰ N و ۱۱۰– ۱۰ N) بیشترین فراوانی و روندهای ۷۰–۶۰ N و ۳۰–۱۰ N در درجه دوم اهمیت قرار دارند. در نمودار گل سرخی تهیه شده از کل بخش خاوری نیز سه روند ۷۰–۷۶ N، ۱۴۰– ۱۲۰ N و ۱۵۰–۱۵۰ N دیده می شود.

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

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

- بخش خاوری: اصلی ترین صفحات گسلش به دست آمده در این بخش عبار تند از: N30/55-W و N35/71-E.

- بخش مرکزی: اصلی ترین 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 N76/52-E هستند.

#### **۷- نتایج تحلیل سینماتیکی گسلها و پهنههای برشی**

برای بررسی دقیق تر، 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 محیط های شکل پذیر- نیمه شکل پذیر و شکنا تقسیم شده است. نتایج هر بخش به شرح زیر است:

۷- ۱. تحلیل سینماتیکی ساختارهای ایجاد شده در پهنههای برشی (محیطهای شکل پذیر – نیمه شکل پذیر):

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

ریزچینها: با توجه به محاسبه سطح محوری ریزچین ها، می توان با رسم عمود بر آنها
محورهای فشارش را به دست آورد (شکل ۱۱-الف). نتایج نشان می دهند:

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

– تنها محور فشارش اصلى در ايستگاه قلقله داراي مختصات 76/16 است.

– در قپقلوجه نیز تنها یک محور فشارش با مختصات 191/04 دیده می شود.

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

به این ترتیب می توان گفت که محورهای فشارش در بخش باختری (شامل ایستگاه های کرویان، قپقلوجه 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.

### المانية المانية

عرفان حاجي و حجتاله صفري

– فولیاسیون ها: با توجه به اینکه عمود بر صفحه فولیاسیون محور کشش را در منطقه به نمایش می گذارد؛ می توان برای ایستگاه هایی که در آنها فولیاسیون اندازه گیری شده است (جدول ۲)، محورهای کشش را به دست آورد (شکل ۱۱ – ب). نتایج نشان می دهند:

– 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 قپقلوجه دارای امتدادهای 145/26 و 179/45 هستند.

- در ماهیدر می توان 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 فولیاسیون ها می توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاههای کرویان، قپقلوجه و قلقله) اصلی ترین محورهای کشش امتداد جنوب خاوری دارند. گفتنی است که در بخش مرکزی نیز این روند محور کشش دیده می شود.

- ر**گههای سیلیسی متقاطع و موازی:** با توجه به اینکه عمود بر رگههای سیلیسی موازی و متقاطع، محور کشش را به نمایش می گذارند، 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 می شود.

۲) در ایستگاه قپقلوجه، 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، می توان محورهای جنوب (N00) و جنوب باختری (N210) را پیگیری کرد.

به این ترتیب می توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاههای کرویان، قپقلوجه 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.

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

گسل ها و درزهای تشکیل شده در محیط شکنا که مربوط به ۲۰ ایستگاه اندازه گیری در منطقه هستند و سراسر منطقه مطالعاتی را پوشش می دهند؛ مورد تحلیل سینماتیکی قرار گرفتند که نتایج آن به شرح زیر است (شکل ۱۳):

- بخش خاوری: اصلی ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش خاوری دارای روندهای N92، N227 و N315 هستند.

- بخش مرکزی: اصلی ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش مرکزی دارای روندهای N273، N257 و N353 هستند.

بخش باختری: اصلی ترین محورهای فشارش به دست آمده در بخش باختری
دارای روندهای N30/ و N30 هستند.

به این ترتیب مشخص می شود 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).

شواهد صحرایی نیز نشان از آن دارد که می توان در سطح برخی از گسل ها بیش از یک نسل خش لغزش (به ویژه در بخش های مرکزی و خاوری) دید (شکل های ۱۴–الف و ب).

#### ۸- بحث و بررسی

نتایج این پژوهش نشان می دهد که منطقه مورد مطالعه در بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سنندج – سیرجان قرار دارد. این منطقه از دید زمین ساختی و ماگمایی، دچار فازهای مختلف فعالیت ماگمایی، انواع دگرگونیها (از پرکامبرین تا عهد حاضر) و همچنین دگرریختی های شده است که به صورت مرحله ای روی هم اعمال شده اند. پیامد این رویدادها، به صورت ایجاد پهنه های برشی (در محیط شکل پذیر و نیمه شکل پذیر) و پهنه های گسل خورده (محیط شکننده) نمود یافته است. مطالعات ساختاری صورت گرفته در این منطقه نشان داد که این منطقه به شدت گسل خورده و کاملاً خرد شده است. مهم ترین گسل های بزرگ مقیاس منطقه مورد مطالعه عبار تند از شیواتو، حسن سالاران، سقز، پیریونس و سنته. این گسل ها به همراه رده های مرتبط،

بر پایه نقشه ساختاری تهیه شده و تحلیل های هندسی می توان گفت:

الف) دست کم دو فاز دگرریختی به صورت شکل پذیر (به عنوان کهن ترین فاز دگرریختی و شکل پذیر - شکننده (نیمه شکل پذیر، به عنوان دومین فاز حرکتی) بر منطقه مورد مطالعه اعمال شده اند (تاج الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی یاری و همکاران، ۱۳۸۴) که اثرات آنها را می توان در قالب پهنه های برشی دید که سبب ایجاد ریز چین ها، فولیاسیون ها و رگه های سیلیسی موازی با شیستوزیته (همزمان با دگر گونی) و متقاطع با شیستوزیته (پس از دگر گونی) شده است. این فاز ها همراه با دگر گونی هایی با سن های پیش از یا همزمان با سیمیرین پیشین (رشیدنژاد عمران و همکاران، ۱۳۸۴) و لارامید در انتهای کر تاسه – پائوسن بوده اند (تاج الدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی یاری و همکاران، ۱۳۸۴).

ب) پس از دو نسل دگرریختی شکل پذیر و نیمه شکل پذیر، منطقه مورد مطالعه مورد هجوم کوهزاد اصلی زاگرس (پس از میوسن) (;Mohajjel et al. 2003; (agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., Ghasemi and Talbot, 2006; Agard et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2016; Haji et al., 2006; Jet گرفته است. پی آیند این نسل از حرکات که روی حرکات پیشین اعمال شدهاند؛ تشکیل شبکه ای از نسل های مختلف گسلش بوده است. نتایج بررسی این گسل ها نشان می دهد که به طور کلی سه روند اصلی گسلش با مؤلفه وارون)، 70-80 (همروند با گسل حسن سالاران با سازو کار حرکتی چپ بر عمراه با مؤلفه وارون) و 10-20 (همروند با گسل حسن سالاران با سازو کار حرکتی چپ بر عادی همراه با مقداری مؤلفه راست بر) در منطقه دیده می شوند (شکل ۴). محاسبات صفحات گسلش نیز این سه روند را تأیید کرد (شکل ۱۰). به صورت کلی، این سه روند گسلش، شکلی خمیده از ساختارها را در منطقه به نمایش می گذارد. همچنین این خمیدگی در الگوی رخنمون واحدهای سنگی رسوبی و محل توده های نفوذی نمود پیدا کرده است (شکل های ۲ و ۹).

بررسی ترتیب تقدم و تأخر پدیده گسلش نشان داد که گسلهایی با روند ۱۹۵۰-۱۹۵ N (که بیشتر در بخش باختری دیده می شوند) توسط گسلهایی با روند N 80-70 N (که بیشتر در بخش باختری دیده می شوند) توسط گسل هایی با روند و بهصورت چپ بر جابه جا شدهاند. همچنین گسل های 70-80 N خود نیز توسط گسل هایی با روند 10-20 N در بخش های مرکزی و خاوری بریده و بهصورت چپ بر جابه جا شدهاند (شکل ۴). این نتایج نشان می دهد که که کهن ترین نسل گسلش باید دارای روند 10-15 N باشد. وجود پهنه های برشی شکل پذیر بخش باختری با روندی مشابه این روند در سنگهای آذرین منسوب به پر کامبرین (معادل گرانیت های دوران) نیز این مسئله را تأیید می کند. از سوی دیگر جدیدترین نسل

### اللي المحالية

بررسی مراحل دگرریختی در بخش شمال – باختری پهنه ساختاری سنندج– سیرجان

گسلش روند IO 20 N دارد؛ زیرا روندهای کهن تر (N 20-01 N و N 20-08 N ر را بریده و بهصورت چپ بر جابه جا کرده است. این روند حتی مسیر عهد حاضر رودخانه های اصلی (به ویژه در بخش مرکزی) را رقم زده است که اثراتی از فعالیت های عهد حاضر را می توان در طول آن دید. روند N 20-08 N که منطقه را بهصورت مورب بریده و سبب ایجاد کانه زایی در سنگ های دگر گونی منسوب به کر تاسه- 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 (شکلپذیر) و دوم (نیمهشکلپذیر) دگرریختیها منطقه نشان داد که:

– بررسی و تحلیل ریزچینها نشان داد که محورهای فشارش در بخش باختری (شامل ایستگاههای کرویان، قیقلوجه 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 فولیاسیون ها می توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاههای کرویان، قپقلوجه و قلقله) اصلی ترین محورهای کشش دارای امتداد جنوب خاوری هستند. گفتنی است که در بخش مرکزی نیز این روند محور کشش دیده می شود.

- با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی و تحلیل ر گههای سیلیسی، می توان گفت که در بخش باختری (شامل ایستگاههای کرویان، قبقلوجه 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.

همچنین مشخص کردن نسل های حرکتی شکل گرفته در فاز شکنا، که از مرحله نیمه شکل پذیر در منطقه شروع به تشکیل کرده و یا اینکه به خاطر فعالیت دوباره گسل های پی سنگی (Jackson, 1980) تشکیل شدهاند؛ نشان می دهد که:

- اولین نسل حرکت با روند تقریبی جنوب باختری- شمال خاوری بهصورت دگرریختیهای شکل پذیر تنها در توالیهای منسوب به پرکامبرین- پالئوزوییک در بخش باختری دیده میشود (شکلهای ۵، ۶۰ ۸، ۱۱ و ۱۲).

- نسل دوم حرکت با روند تقریبی شمالی (شمال خاوری) بهصورت دگرریختی های نیمه شکل پذیر (شکل پذیر- شکنا) در بخش های باختری و مرکزی در توالی های دگرگون شده مزوزوییک دیده می شود (شکل های ۶، ۱۱ و ۱۲). - نسل سوم حرکت که بسیار پیچیده بوده و خود سبب ایجاد سه نسل گسلش

(یا فعال شدن گسل های پی سنگی) شده است به صورت دگرریختی های کاملاً شکنا در همه منطقه مورد مطالعه دیده می شود.

بررسی این نسل های حرکتی نشان از یک چرخش چپگرد در طی فاز دوم حرکت دارد که با بریده شدن روندهای 140-150 N (مانند گسل های شیواتو و تموغه) توسط روندهای 70-80 N (پهنه گسل حسن سالاران) همخوانی دارد. به نظر می رسد 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 گسل های پیریونس و سنته با روند 10-20 N) را ایجاد کرده است که تقریباً همه شکستگی های پیشین را بریده و جابهجا کردهاند (شکل ۴).

#### ۹- نتیجهگیری

منطقه سقز در بخش شمال باختری پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان از دید زمین ساختی و ماگمایی، دچار فازهای مختلف کوهزاد در قالب فعالیت ماگمایی، دگرگونی و دگرریختی شده است. پیامد این رویدادها، بهصورت ایجاد پهنههای برشی (فاز شکلپذیر) تا پهنههای گسل خورده (شکننده) دیده می شوند. مهم ترین گسل های بزرگ مقیاس منطقه مورد مطالعه عبارتند از شیواتو، حسن سالاران، سقز، پیریونس و سنته. این گسل ها به همراه رده های مرتبط، شکلی خمیده از ساختارها را در منطقه به نمایش می گذارند که این پدیده اثر خود را در الگوی رخنمون واحدهای سنگی رسوبی و محل تودههای نفوذی به نمایش گذاشته است. بررسی های صحرایی به همراه تحلیل های هندسی و حرکتی سه نسل حرکت با روندهای تقریباً جنوب باختری- شمال خاوری (کهن ترین و در محیط شکل پذیر)، شمال خاوری (در محیط شکل پذیر تا شکنا) و خاوری (جوان ترین در محیط کاملاً شکنا) را نشان مىدهند. بررسى ترتيب تقدم و تأخر پديده گسلش نيز سه نسل گسلش را اثبات مى كند كه مى تواند باز تاب سه نسل حركت در محيط هاى شكل پذير، نيمه شكل پذير تا شکنا بوده باشد ؛ به گونهای که گسل هایی با روند N 150-140 (روند کهن) توسط گسل هایی با روند N 80-70 بریده و بهصورت چپبر جابهجا شدهاند. همچنین گسل های N 80-70 نیز خود توسط گسل هایی با روند N 80-70 (روند بسیار جوان) بریده و جابهجا شدهاند. با کنار هم قرار دادن این اطلاعات و وضعیت توالی های سنگی دگر گون شده و همچنین توده های نفوذی (با سنین مختلف) می توان گفت که بسیاری از این نسل های دگرریختی حاصل باز و بسته شدن نوتتیس و ایجاد کوهزاد برخوردی ناشی از برخورد صفحات ایران و عربی بوده است.



شکل ۱– موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی به آن روی تصویر اصلاح و آشکارسازی شده ماهواره ⁺Landsat 8 ETM. (NASA, 2014).

### Archive of SID

#### عرفان حاجي و حجتاله صفري



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



شکل ۳- اعمال فیلتر بر تصویر ماهوارهای ETM اصلاح شده و استخراج خطوراهها؛ الف) اعمال فیلتر ۴۵ درجه روی باند R تصویر ماهوارهای؛ ب) استخراج عناصر خطی؛ ج) کنترل عناصر خطی از روی تصویر (به همراه پیمایش های صحرایی).

الماوجد و



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



شکل ۵- گسترش برگوارگی در سنگها، چینها و دیگر فابریک های پهنه های برشی در بخش باختری شامل: الف) سه نسل دگرشکلی شامل شیستوزیته لایه های 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 چینخورده به همراه درزه کلسیتی ثانویه متقاطع با آنها در مغزههای بررسی شده است؛ ج) چینخوردگیهای مکرر در واحد آهکی (دولومیتی) تیره مربوط به فاز D2 در پیرامون روستای کرویان؛ د) هستههای مجزای چینهای دارای سطوح محوری موازی، میانلایه سیلیسی چینخورده 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 شکل پذیر و نیمه شکل پذیر، ریز چین های دو نسا که مرتبط با گسل بودهاند.





شکل ۶- نماهایی از گسلش در محیط های شکل پذیر تا شکنا: الف) ایجاد پهنه برشی چپ بر در محیط شکل پذیر که در ادامه نیز دوباره با این سازو کار بهصورت نیمه شکل پذیر بریده شده است؛ ب) نمایی از چین خوردگی در شکل پذیر (نسل اول حرکت P1) که در ادامه توسط یک پهنه برشی در محیط شکل پذیر (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.

۱۹۲ www.SID.ir





ج) گسل سقز در جنوب -خاوری شهرستان سقز؛ د) گسل حسن سالاران در شمال خاوری روستای سنته؛ ه) گسل پیریونس در پیرامون روستای درگاه سلیمان؛ و) گسل سنته در خاور روستای سنته.

#### عرفان حاجي و حجتاله صفري





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



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

Archive of SID







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



شکل ۱۱- تحلیل سینماتیکی ریزچین ها و فولیاسیون ها برای به دست آوردن: الف) محورهای فشارش؛ ب) محورهای کشش.



شکل ۱۲- محاسبه محورهای کشش با تحلیل رگههای سیلیسی موازی یا متقاطع اندازه گیری شده در بخش های باختری (ایستگاههای کرویان، قپقلوجه و قلقله) و مرکزی (ایستگاه ماهیدر).



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



شکل ۱۴- وجود نسل های مختلف حرکتی که به صورت نسل های مختلف خش لغز در سطح گسل ها دیده می شوند؛ الف و ب) وجود دو نسل خش لغز در طول پهنه گسل حسن سالاران.

بخش	بخش باخترى				
(ماهیدر)	قبقلوجه	ن	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 ۱- شماری از ریزچین های برداشت شده در بخش های باختری (قلقله، کرویان و قپقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

جدول ۲- شماری از فولیاسیون،های برداشت شده در بخش های باختری (قلقله، کرویان و قپقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش			
(ماهیدر)	قبقلوجه	كرويان	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



بخش	بخش باخترى			
(ماهیدر)	قبقلوجه	كرويان	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 ۳- شماری از رگههای سیلیسی متقاطع برداشت شده در بخش های باختری (قلقله، کرویان و قپقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

جدول ۴- شماری از ریزگسل های ایجاد شده در فاز شکنا در بخش های باختری (قلقله، کرویان و قپقلوجه) و مرکزی (ماهیدر).

بخش		بخش باخترى					
(ماهیدر)		قبقلوجه		كرويان		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	معكوس	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	معكوس
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	معكوس			راست بر - نرمال	
15/43 SE	معكوس	75/84 NW	معكوس			راست بر - نرمال	
50/85 SE	راست بر	90/58 N	معكوس				
15/60SE	چپ بر	78/62 NW	نرمال				

Archive of SID



عرفان حاجي و حجتاله صفري

#### کتابنگاری

آقانباتی، 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 زمین شناسی ورقه سقز با مقیاس ۱٬۱۰۰٬۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

تاج الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب پور، ع. و محجل، م.، ۱۳۸۹- مراحل تشکیل و تکوین کانسار سولفید تودهای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، سنندج- سیرجان شمالی: بر پایه مطالعات ساخت، بافت و میکروترمومتری سیالات در گیر، مجله زمین شناسی 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 طلای 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 نئوتتیس در الگوسن- میوسن در شمالباختر زون سنندج- سیرجان، ایران، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال پنجم، شماره ۱۸، صص. ۴۱ تا ۵۱. حریری، ع.، ۱۳۸۲- نقشه زمین شناسی چهار گوش سقز، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حیدری، س. م.، راستاد، ا.، محجل، م. و نبیان، 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 زمین شناسی چهارگوش چایان، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی 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- کانی شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانهزایی طلادر پهنه های برشی شکل پذیر و شکنای قلقله (جنوب غرب سقز)، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰ ص. علی یاری، ف.، راستا، ا.، محجل، م. و شمسا، ج.، ۱۳۸۴- دگرشکلی و دگرسانی و نقش آنها در کانهزایی طلا در پهنه های برشی شکل پذیر و شکنای قلقله (جنوب نفز)، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰ علی یاری، ف.، راستا، ا.، محجل، م. و شمسا، ج.، ۱۳۸۴- دگرشکلی و دگرسانی و نقش آنها در کانهزایی طلا در پهنه های برشی شکل پذیر و شکتای قلقله (جنوب غرب سقز)، بیست و چهارمین گر دهمایی علوم زمین.

محجل، م.، ۱۳۸۳- ساختار در پهنههای برشی طلادار منطقه آلوت (کردستان)، کتابچه بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی 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 طلای باریکا، خاور سردشت، کتابچه بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی 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 Arabiae 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 theSanandaj-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. Haji<sup>1</sup> and H. Safari<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran <sup>2</sup>Associated 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

۳۲۲