

تملیل هندسی شکستگی‌ها در زون افیولیتی سبزوار

سیدمسین میرزینلی یزدی^{۱*}، ممسن پورکرمانی^۲، مهران آرین^۳ و ممدود الماسیان^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، mirzeinaly@gmail.com

(۲) استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، mohsen.pourkermani@gmail.com

(۳) استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

(۴) استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۰/۱۰/۱۹؛ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۱۲/۱۸؛ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱/۳۱

چکیده

زون افیولیتی سبزوار (SOZ) واقع در شمال ایران مرکزی (شمال گسل کویر بزرگ و جنوب گسل میامی) است که حوضه رسوبی کپه داغ در شمال را از فلات ایران مرکزی در جنوب جدا می‌نماید. زمان تکامل این مجموعه افیولیتی در کرتاسه فوقانی (سانتوین - کامپانین) و زمان جایگزینی آن کامپانین میانی تا ماستریشتین فوقانی بوده است. این نوار افیولیتی شامل حجم زیادی از سنگ‌های اولترامافیک، توده‌های کوچک گابرویی و ترادفی ضخیم از گدازه‌های بازالتی زیر دریایی همراه با آهک‌های پلاژیک کرتاسه فوقانی و رادیولاریت است که بطور دگرشیب و با یک قاعده کنگلومرای توسط سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی پوشیده شده است. این مطالعه ساختارهای شکننده منطقه SOZ را جهت تحلیل هندسی آن بررسی می‌کند. هدف این پژوهش تعیین الگوی ساختاری مناسب و منطبق با ساختارهای محدوده می باشد. در این پژوهش، وضعیت هندسی کلیه ساختارها و ارتباط های منطقی موجود بین شکستگی‌ها و ساختارهای کلان منطقه‌ای بررسی شد. برای نیل به این اهداف طی بازدیدهای صحرایی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای ساختارهای محدوده شناسایی شده و مبنای تهیه نقشه ساختاری قرار گرفتند. با بررسی‌های آماری داده‌ها و تهیه نمودارهای گل سرخی و کنتوری، روند اصلی شکستگی‌ها و الگوی جهت گیری آن‌ها بدست آمد. راستای بدست آمده N59W هماهنگ با امتداد قطعه‌ای از گسل میامی بوده و ساختارهای منطقه متأثر از این گسل می باشند. اگر این راستا روند اصلی برش راستگرد منطقه در نظر گرفته شود، سایر روندهای بدست آمده از محدوده، با الگوی جهت گیری انواع شکستگی‌های مرتبط با یک برش گسلی منطبق می‌شود. به طوری که شکستگی‌های با روند N77W، N86E، N68E، N14E و N59W در محدوده به ترتیب بر شکستگی‌های مرتبط با برش نوع X، R'، T، R، D و P منطبق می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ساختارهای شکننده، گسل میامی، الگوی ساختاری، سنگ‌های اولترامافیک.

۱- مقدمه

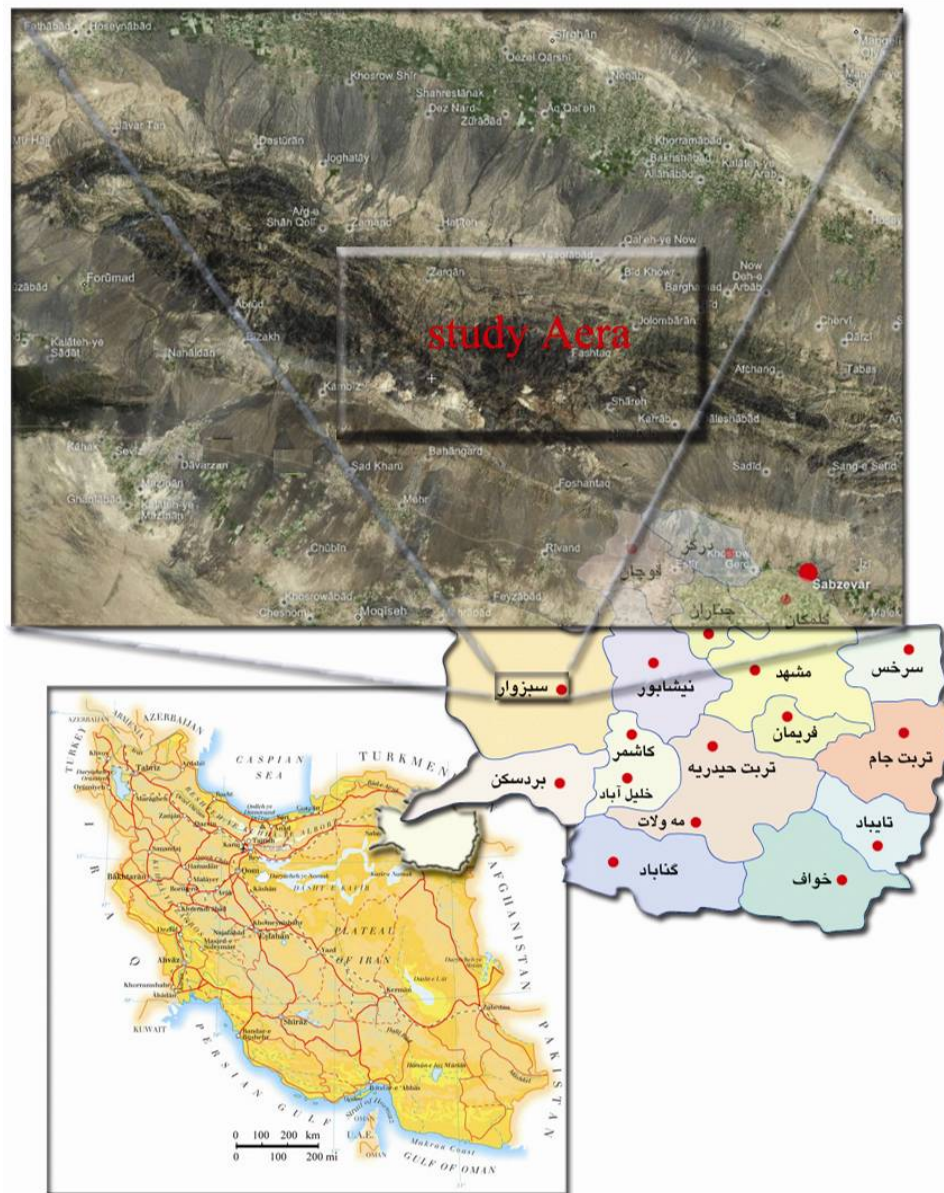
موقعیت جغرافیایی و چهارگوش محدوده نشان داده شده است. در منطقه مورد مطالعه، نواحی کوهستانی توسط مجموعه‌های پریدوتیتی و جریان‌های گدازه زیر دریایی مربوط به کرتاسه، گدازه‌ها و هیالوکلاستی‌های ائوسن، سنگ آهک‌های کرتاسه بالا - پالئوسن و

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی شهرستان سبزوار بین ۵۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. در تصویر ۱

میرزینلی یزدی و همکاران: تحلیل هندسی شکستگی‌ها در زون افیولیتی سبزواری

حاشیه‌ای نشانگر فعالیت گسل‌های معکوس و امتدادلغز است. علاوه بر تکتونیک فعال عهد حاضر یکسری تغییر شکل‌های گوشته‌ای نیز در زمان قبل از جایگیری افیولیت روی بافت کانیاپی پریدوتیت‌ها اثر گذار بوده است (Stöcklin 1968).

کنگلومرای پلیوسن شکل پیدا کرده است. نواحی کم ارتفاع‌تر و نیز دشت‌ها در محدوده سنگ‌های رسوبی میوسن پدیدار شده است. حوضه فروافتاده جنوب سبزواری نیز در حال حاضر به وسیله رسوبات کواترن پوشیده شده است. تیپ و نوع عملکرد ساخت‌های تکتونیکی و ساختارهای شکستگی در این کمپلکس، به خصوص در زون



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و چهارگوش محدود مورد مطالعه

این مطالعه ساختارهای شکننده‌ای را که در فرآیند شکل‌گیری کوه‌ها پیشرفت کرده‌اند را به منظور تحلیل هندسی و تعیین الگویی که منطبق بر ساختارهای محدوده باشد، بررسی می‌کند. روش تحلیل هندسی، هندسه ساختارها را با هم مقایسه کرده و ارتباط منطقی بین شکستگی‌ها برقرار می‌کند. همچنین می‌توان به رابطه بین ساختارهای کلان منطقه و شکستگی‌های محدوده مورد مطالعه پی برد (Marshak & Mitra 1988, Ramsay & Huber 1988). مطالعات ساختاری در پهنه‌های برشی کمک شایانی در شناخت سازوکارهای ایجاد آن‌ها، تنش‌های وارده، تاریخچه دگرشکلی، جهت تنش وارده در این مناطق می‌باشد (حاجی حسینیلو ۱۳۸۷). تحلیل هندسی شکستگی‌ها یک روش پایه در مطالعات ساختاری بوده و برای مناطق مختلف ایران و جهان انجام شده است. از آن جمله می‌توان به تحلیل هندسی منطقه

این مطالعه ساختارهای شکننده‌ای را که در فرآیند شکل‌گیری کوه‌ها پیشرفت کرده‌اند را به منظور تحلیل هندسی و تعیین الگویی که منطبق بر ساختارهای محدوده باشد، بررسی می‌کند. روش تحلیل هندسی، هندسه ساختارها را با هم مقایسه کرده و ارتباط منطقی بین شکستگی‌ها برقرار می‌کند. همچنین می‌توان به رابطه بین ساختارهای کلان منطقه و شکستگی‌های محدوده مورد مطالعه پی برد (Marshak & Mitra 1988, Ramsay & Huber 1988). مطالعات ساختاری در پهنه‌های برشی کمک شایانی در شناخت سازوکارهای ایجاد آن‌ها، تنش‌های وارده، تاریخچه دگرشکلی، جهت تنش وارده در این مناطق می‌باشد (حاجی حسینیلو ۱۳۸۷). تحلیل هندسی شکستگی‌ها یک روش پایه در مطالعات ساختاری بوده و برای مناطق مختلف ایران و جهان انجام شده است. از آن جمله می‌توان به تحلیل هندسی منطقه

روندهای اصلی و در نهایت ارائه تحلیل با توجه به مکانیسم و روند ساختارها است. بر این اساس با انجام چندین مرحله بازدید میدانی داده‌های مورد نیاز برای انجام مطالعات از جمله مشخصات صفحات گسلی و شواهد حرکتی سطح گسل‌ها برداشت گردید. مرحله بعد به‌کارگیری اطلاعات برداشتی جهت تهیه نقشه ساختاری محدوده می‌باشد که در این راستا از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه باشتین، عکس‌های هوایی و تصویر ماهواره‌ای منطقه نیز استفاده شده است. نقشه ساختاری تهیه شده که در تصویر ۲ نشان داده شده است مبنای تحلیل‌های بعدی می‌باشد. به منظور انجام تحلیل‌های هندسی کلیه اطلاعات گسل‌ها که شامل شیب، جهت شیب، طول و مکانیسم آنها است، وارد نرم افزار Dips شده، کنتور دیاگرام و رزدیاگرام آنها ترسیم گردیده و پس از تحلیل آنها روندهای اصلی ساختارهای محدوده بدست آمده است.

۴- سافت‌آرهای ممدوده مورد مطالعه

با توجه به اینکه بزرگ‌ترین گسل‌های اطراف هر منطقه از اساسی‌ترین عوامل موثر در شکل‌گیری آن منطقه و یا بروز تغییر شکل در آن بوده‌اند، به بررسی خصوصیات مهم‌ترین گسل‌های اطراف منطقه یعنی گسل میامی پرداخته می‌شود. این گسل یکی از گسل‌های طولی و عمده ایران مرکزی است که از خاور شاهرود تا مرز افغانستان ادامه دارد. گسل میامی تا آخرین مراحل چین خوردگی آلپی در پلیوسن حرکت راست گرد داشته است. بارزترین ساختار تکتونیکی که در منطقه مشاهده می‌شود، شکستگی‌هایی می‌باشد که دارای طبیعت، سن و نقش متفاوت بوده و متأثر از جنبش‌های تکتونیکی عهد حاضر هستند. اکثر این شکستگی‌ها، گسل‌های معکوس راستگرد می‌باشد که با مکانیسم حرکتی گسل میامی همخوانی دارد (باقری ۱۳۸۷). گسل‌های ارائه شده از این منطقه شامل برداشت‌های صحرائی و برداشتی از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. جهت برداشت گسل‌ها طی عملیات صحرائی، تعدادی مسیر جهت پیمایش کل منطقه تعیین گردید. به طوری که کل زون افیولیتی مربوطه را قطع کرده و در طی عبور از این مسیرها بتوان بیشترین ساختارها را در محدوده مشاهده و برداشت نمود. این مسیرها راستای تقریباً شمالی - جنوبی دارند. بعد از اتمام برداشت‌های صحرائی، نتایج بدست آمده با برداشت‌های ماهواره‌ای نیز تلفیق گردید و در نهایت نقشه ساختارهای منطقه با حدود ۱۸۰ گسل ترسیم شد. جدول ۱ مشخصات گسل‌های برداشتی و تصویر ۲ نقشه ساختاری منطقه را نشان می‌دهد. در ادامه شرح مختصری در مورد تعدادی از سیستم‌های گسلی محدوده ارائه شده است.

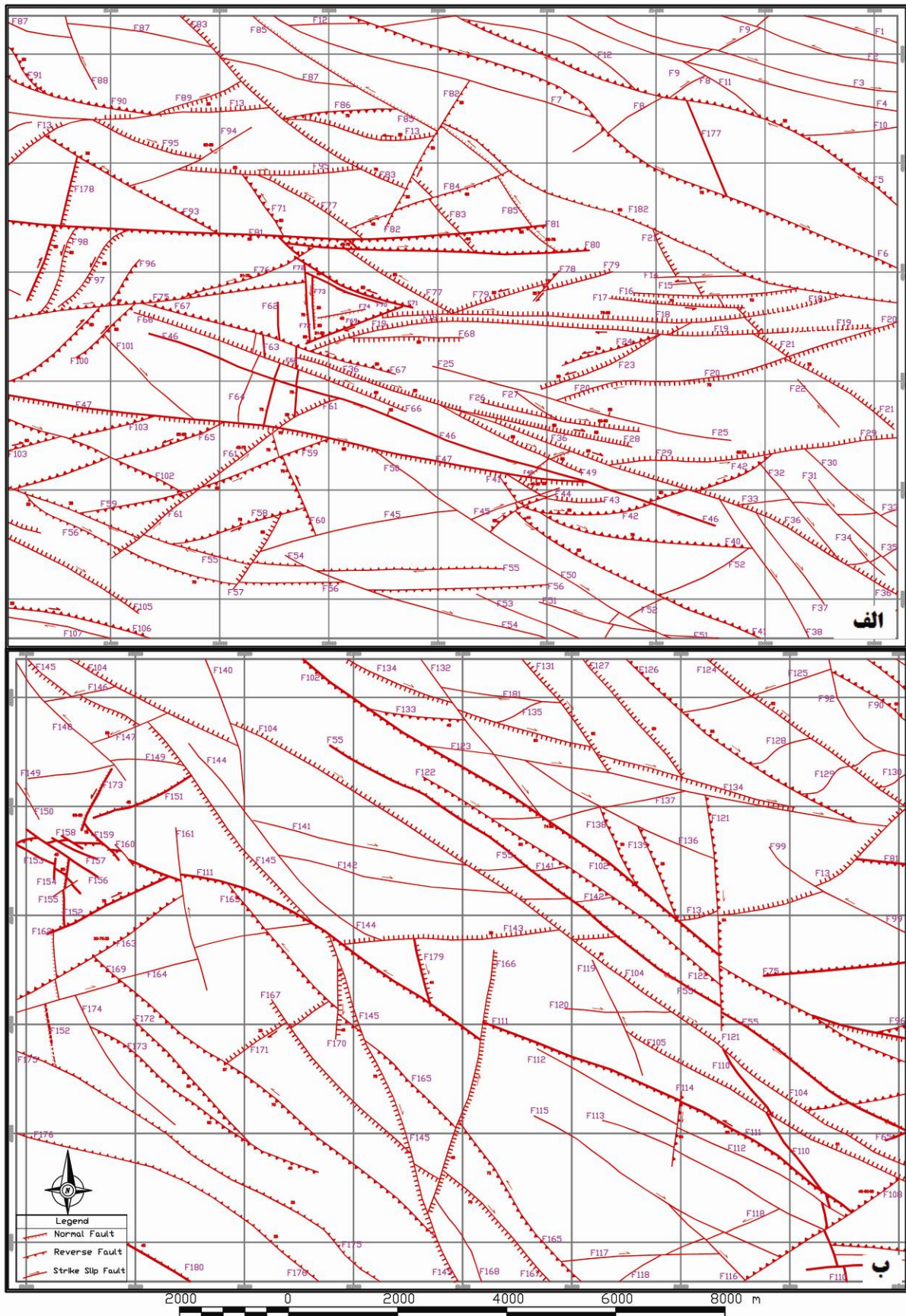
لانیز، جنوب البرز مرکزی (یساقی و همکاران ۱۳۸۱)، منطقه کندوان (نیک نژاد و همکاران ۱۳۸۲)، سه چاهون (میرزینلی و همکاران ۱۳۸۵)، چغارت (پورکرمانی و همکاران ۱۳۸۵)، نیمه باختری گسل میامی (باقری ۱۳۸۷)، (William 2003)، (Ford 2007) و بسیاری مقالات علمی متعدد اشاره نمود. از دستاوردهای این پژوهش و پس از شناخت مبانی ساختارها و تعیین الگوی جهت‌گیری ساختارهای منطقه، می‌توان در بررسی‌های تعیین میدان تنش منطقه و بازسازی نحوه تکامل ساختاری منطقه استفاده کرد.

۷- زمین‌شناسی و تکتونیک

منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند افیولیتی سبزوآر واقع در شمال خرده قاره ایران مرکزی (شمال گسل کویر بزرگ) است که حوضه رسوبی کپه داغ در شمال را از فلات ایران مرکزی در جنوب جدا می‌نماید. نوار افیولیتی شمال سبزوآر یک فزاین بلند با روند تقریباً شرقی - غربی را به نمایش می‌گذارد که مناطق پست جنوبی (دشت سبزوآر) را از مناطق پست شمالی (دشت جوین) جدا می‌نماید. در منطقه مورد مطالعه این نوار افیولیتی که مرتفع‌ترین بخش‌های رشته کوه جغتای را تشکیل می‌دهد شامل حجم عظیمی از سنگ‌های اولترامافیک (عمدتاً هارزبورژیت و خیلی کم دونیت و لروولیت)، توده‌های کوچک گابرویی و ترادفی ضخیم از گدازه‌های بازالتی زیردریایی (دارای ساخت بالشی) همراه با آهک‌های پلاژیک کرتاسه فوقانی و رادیولاریت است که به‌طور دگرشیب و با یک قاعده کنگلومرایی توسط سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی - آتشفشانی ائوسن میانی - بالایی پوشیده شده است. بنابراین زمان تکامل این مجموعه افیولیتی در کرتاسه فوقانی (سانتونین - کامپانین) و زمان به هم آمیختگی و جایگزینی آن قبل از ائوسن میانی است (میرزینلی ۱۳۹۰). طبق مطالعات فسیل‌شناسی که روی آهک‌های پلاژیک منطقه صورت گرفته در مجموع ۸ جنس و ۱۷ گونه شناسایی شده و بر این اساس ۵ بیوزون شناسایی شده و در مجموع سن جایگزینی این مجموعه کامپانین میانی تا ماستریشتین فوقانی تعیین شده است. با مقایسه این نتایج با نتایج حاصل از داده‌های رادیومتری یک انطباق نسبی بین این دو روش به دست خواهد آمد. لذا در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که سن جایگزینی افیولیت ملانژ ناحیه سبزوآر کامپانین میانی تا ماستریشتین فوقانی بوده است (وحیدی نیا و آریایی ۱۳۷۸).

۳- روش مطالعه

مراحل رایج در انجام تحلیل‌های هندسی شامل جمع‌آوری داده‌های میدانی، ترسیم نقشه ساختاری، پردازش و تفکیک داده‌ها، محاسبه



تصویر ۲- نقشه ساختاری زون افیولیتی سبزوار، الف) بخش شرقی، ب) بخش غربی

جدول ۱- مشخصات و مکانیسم گسل‌های برداشت شده

نام گسل	اندازه شیب (درجه)	جهت شیب	طول کل (m)	مکانیسم	نام گسل	اندازه شیب (درجه)	جهت شیب	طول کل (m)	مکانیسم
F1	۹۰	۱۶	۱۷۸۳	امتدادلغز چپگرد	F38	۹۰	۵۷	۳۰۴۵	امتدادلغز راستگرد
F2	۹۰	۱۵	۳۳۶۵	امتدادلغز چپگرد	F39	۹۰	۲۵	۱۲۲۰	امتدادلغز راستگرد
F3	۹۰	۱۵	۵۵۴۳	امتدادلغز راستگرد	F40	۷۹	۱۰	۴۰۰۳	معکوس راستگرد
F4	۹۰	۱۶	۶۳۳۰	امتدادلغز چپگرد	F41	۶۵	۵۳	۵۸۲۲	معکوس چپگرد
F5	۳۲	۲۳	۸۹۲۰	معکوس راستگرد	F42	۵۵	۹	۲۵۵۷	معکوس راستگرد
F6	۷۰	۲۲۰	۱۱۲۰۶	معکوس راستگرد	F42	۶۰	۳۲۰	۲۳۶۲	معکوس راستگرد
F7	۹۰	۱۸	۶۲۱۵	-	F43	۴۵	۰	۱۰۹۸	نرمال
F8	۹۰	۱۴۸	۲۷۱۳	امتدادلغز راستگرد	F43	۴۵	۶۳	۹۲۵	نرمال
F9	۹۰	۱۴۷	۲۶۲۱	-	F44	۸۸	۳۳۰	۱۴۲۱	معکوس راستگرد
F10	۹۰	۱۷۵	۱۷۶۹	امتدادلغز راستگرد	F45	۹۰	۱۸۶	۵۴۲۴	امتدادلغز راستگرد
F11	۹۰	۳۶	۱۷۸۷	-	F46	۵۲	۱۹	۱۰۹۸۳	امتدادلغز چپگرد
F12	۹۰	۱	۴۲۰۸	-	F47	۷۵	۲۱۴	۱۲۵۲۷	نرمال راستگرد
F12	۹۰	۳۰	۲۲۵۹	-	F48	۷۰	۱۵۰	۹۵۲	نرمال چپگرد
F13	۳۰	۳۵۹	۹۱۰۰	نرمال چپگرد	F49	۵۹	۲۶	۲۹۰۶	نرمال راستگرد
F13	۳۰	۳۲۰	۳۷۷۰	نرمال چپگرد	F50	۹۰	۳۲	۶۵۱۶	امتدادلغز راستگرد
F14	۹۰	۱۷۹	۱۷۰۳	امتدادلغز چپگرد	F51	۹۰	۱۱	۳۲۶۰	امتدادلغز چپگرد
F15	۹۰	۱۷۵	۶۲۸	امتدادلغز چپگرد	F52	۹۰	۱۴۸	۳۲۰۶	-
F16	۷۰	۱۸۰	۳۰۲۶	نرمال چپگرد	F53	۹۰	۲۳	۲۰۵۳	-
F17	۷۰	۲۰	۲۵۰۹	نرمال چپگرد	F54	۹۰	۱۸	۵۰۴۲	امتدادلغز راستگرد
F18	۸۵	۳۵۷	۸۵۰۵	نرمال راستگرد	F55	۲۵	۰	۶۴۴۹	معکوس راستگرد
F19	۵۸	۳۵۸	۹۶۴۸	امتدادلغز راستگرد	F55	۲۵	۳۰	۱۵۲۸۰	معکوس راستگرد
F20	۷۰	۱۶۵	۶۴۶۵	نرمال راستگرد	F56	۴۵	۲۰۵	۴۲۴۹	معکوس راستگرد
F21	۷۵	۴۳	۵۴۹۳	نرمال	F56	۴۵	۱۸۰	۵۲۹۶	معکوس راستگرد
F22	۹۰	۴۹	۱۱۷۴	امتدادلغز راستگرد	F57	۶۸	۳۰۰	۱۶۳۸	نرمال
F23	۳۰	۳۳۵	۲۹۲۲	چپگرد نرمال	F58	۷۸	۳۴۰	۲۵۵۸	چپگرد معکوس
F24	۷۹	۳۵۰	۱۹۱۲	چپگرد معکوس	F59	۵۰	۱۶۳	۴۸۱۲	معکوس چپگرد
F25	۸۵	۱۴	۵۶۵۷	امتدادلغز چپگرد	F60	۷۲	۲۵۴	۲۰۴۶	معکوس چپگرد
F26	۷۹	۱۰	۲۹۸۵	نرمال راستگرد	F61	۴۲	۳۲۴	۵۱۴۲	نرمال چپگرد
F27	۹۰	۳۳	۹۶۲	امتدادلغز راستگرد	F62	۷۵	۲۷۲	۱۹۸۱	-
F28	۷۵	۱۲	۳۳۶۷	نرمال راستگرد	F63	۷۳	۲۸۰	۱۶۰۷	-
F29	۶۵	۳۵۵	۵۳۳۸	نرمال چپگرد	F64	۹۰	۲۸۶	۱۶۸۸	-
F30	۹۰	۴۰	۲۲۳۴	امتدادلغز راستگرد	F65	۶۵	۳۴۰	۳۹۹۲	چپگرد معکوس
F31	۹۰	۴۶	۲۳۴۵	امتدادلغز راستگرد	F66	۶۹	۲۰	۵۳۱۰	نرمال چپگرد
F32	۹۰	۵۱	۲۲۹۶	امتدادلغز راستگرد	F67	۵۵	۱۶	۴۸۵۵	معکوس چپگرد
F33	۹۰	۵	۲۷۰۹	-	F68	۸۵	۱۸۰	۲۱۴۷	معکوس راستگرد
F34	۹۰	۴۶	۹۵۵	امتدادلغز راستگرد	F69	۵۵	۳۲۵	۱۹۰۲	معکوس راستگرد
F35	۹۰	۲۲	۹۶۳	-	F70	۴۸	۲۲	۱۵۳۸	امتدادلغز چپگرد
F36	۵۹	۲۲	۱۱۹۰۹	نرمال راستگرد	F71	۸۰-۶۰	۵۰	۴۲۵۸	معکوس چپگرد
F37	۹۰	۵۳	۲۰۹۱	امتدادلغز راستگرد	F72	۶۵	۲۷۰	۱۴۴۹	امتدادلغز چپگرد

میرزینلی یزدی و همکاران: تحلیل هندسی شکستگی‌ها در زون افیولیتی سبزواری

ادامه جدول ۱- مشخصات و مکانیسم گسل‌های برداشت شده

نام گسل	اندازه شیب (درجه)	جهت شیب	طول کل (m)	مکانیسم	نام گسل	اندازه شیب (درجه)	جهت شیب	طول کل (m)	مکانیسم
F73	۳۵	۹۰	۹۷۹	نرمال	F111	۸۰	۲۱۰	۱۶۶۱۹	معکوس
F74	۴۰	۱۷۰	۹۰۱	نرمال	F112	۹۰	۲۸	۶۴۳۷	امتدادلغز
F75	۶۷	۳۵۵	۸۱۱۹	معکوس	F113	۹۰	۲۶	۴۵۵۸	-
F76	۳۵	۳۴۰	۲۶۶۵	معکوس	F114	۶۴	۹۷	۱۳۹۵	معکوس
F77	۵۰	۳۰	۴۸۶۹	نرمال	F115	۹۰	۳۰	۵۲۴۳	امتدادلغز
F78	۳۵	۳۱۰	۷۴۳	معکوس	F116	۹۰	۴۵	۱۹۹۹	امتدادلغز
F79	۸۰	۳۴۰	۳۲۴۹	نرمال	F117	۹۰	۱۷۷	۲۹۱۲	امتدادلغز
F80	۶۰	۵	۵۵۹۴	معکوس	F118	۹۰	۱۵۴	۳۱۳۸	امتدادلغز
F81	۸۰	۱۸۰	۱۰۸۰۲	معکوس	F119	۹۰	۶۶	۲۳۱۹	امتدادلغز
F82	۳۰	۱۲۰	۳۱۶۰	معکوس	F120	۹۰	۲	۱۹۷۴	امتدادلغز
F83	۸۰	۴۰	۷۱۷۸	نرمال	F121	۶۴	۸۶	۴۳۴۹	معکوس
F84	۵۶	۱۶۰	۳۰۸۵	معکوس	F122	۶۰	۲۱۵	۶۶۷۸	معکوس
F85	۶۶	۴۰	۷۲۸۶	نرمال	F123	۹۰	۱۰	۸۶۰۰	امتدادلغز
F86	۷۰	۱۷۵	۲۱۱۱	-	F124	۶۲	۴۰	۴۵۷۰	نرمال
F87	۹۰	۱۹۲	۶۶۶۳	-	F125	۹۰	۱۶۴	۲۸۴۳	امتدادلغز
F88	۹۰	۶۷	۱۴۷۵	امتدادلغز	F126	۸۵	۳۵	۵۲۱۶	معکوس
F89	۳۵	۱۵۹	۱۷۲۴	نرمال	F127	۵۰	۳۰	۲۸۴۵	نرمال
F90	۵۰	۲۲	۴۴۱۴	-	F128	۹۰	۱۵۷	۱۲۴۰	نرمال
F91	۵۰	۲۲۵	۲۰۷۸	-	F129	۹۰	۱۵۲	۱۸۳۸	نرمال
F92	۹۰	۸	۲۱۸۶	-	F130	۹۰	۱۵۸	۱۰۸۱	نرمال
F92	۹۰	۶۲	۱۸۷۱	-	F131	۶۲	۵۳	۲۶۲۸	نرمال
F93	۳۸	۳۰	۳۶۴۵	معکوس	F132	۹۰	۵۳	۳۶۱۲	امتدادلغز
F94	۵۵	۳۳۵	۲۵۱۳	امتدادلغز	F133	۴۰	۱۹۰	۱۷۹۵	معکوس
F95	۵۰	۱۰	۵۵۲۲	نرمال	F134	۸۰	۲۰۰	۸۴۱۶	نرمال
F96	۸۰	۱۴۱	۳۸۶۲	معکوس	F135	۹۰	۱۵۵	۹۲۶	نرمال
F97	۸۵	۱۳۳	۲۰۰۹	نرمال	F136	۹۰	۲۷	۳۹۲۴	امتدادلغز
F98	۸۰	۱۱۴	۱۷۸۰	نرمال	F137	۹۰	۱۷۶	۳۴۷۰	-
F99	۹۰	۳۲	۳۲۴۸	امتدادلغز	F138	۳۰	۶۵	۱۶۴۶	شیب‌لغز
F100	۸۰	۱۴۰	۱۴۸۴	معکوس	F139	۳۵	۶۷	۱۸۶۱	شیب‌لغز
F101	۹۰	۴۳	۲۲۹۰	امتدادلغز	F140	۹۰	۷۶	۲۹۱۴	امتدادلغز
F102	۷۵	۲۰۴	۱۶۷۴۶	معکوس	F141	۹۰	۷	۵۶۲۸	امتدادلغز
F103	۶۰	۳۴۰	۴۴۹۲	معکوس	F142	۹۰	۶	۵۹۵۲	امتدادلغز
F104	۸۱	۳۲	۱۸۹۸۵	نرمال	F143	۳۸	۳۵۶	۴۸۲۴	نرمال
F105	۸۱	۳۰	۸۶۱۶	نرمال	F144	۹۰	۴۵	۵۱۴۹	-
F106	۲۰	۱۰	۴۰۴۹	امتدادلغز	F145	۷۶	۲۱۳	۱۳۹۷۹	نرمال
F107	۹۰	۹	۳۲۳۷	امتدادلغز	F146	۹۰	۳۴۸	۱۳۳۳	امتدادلغز
F108	۵۶	۳۳۰	۳۴۳۲	معکوس	F147	۸۵	۳۳۸	۱۵۱۳	امتدادلغز
F109	۹۰	۱۷۶	۱۲۸۰	امتدادلغز	F148	۹۰	۴۷	۲۹۷۸	امتدادلغز
F110	۹۰	۶۱	۵۰۷۳	-	F149	۹۰	۳	۲۹۸۱	-

ادامه جدول ۱- مشخصات و مکانیسم گسل‌های برداشت شده

نام گسل	اندازه شیب (درجه)	جهت شیب	طول کل (m)	مکانیسم
F150	۹۰	۵۹	۸۱۱	امتدادلغز چپگرد
F151	۴۵	۳۳۷	۱۹۷۸	شیب‌لغز معکوس
F152	۸۰	۲۹۶	۱۲۶۷	شیب‌لغز نرمال
F153	۹۰	۳۳	۱۴۵۷	-
F154	۹۰	۹۴	۳۹۰	امتدادلغز راستگرد
F155	۹۰	۳۴	۵۴۷	امتدادلغز راستگرد
F156	۴۰	۲۱۴	۱۵۷۶	امتدادلغز راستگرد
F157	۹۰	۲۵	۹۱۶	امتدادلغز راستگرد
F158	۹۰	۳۱	۴۵۷	امتدادلغز راستگرد
F159	۷۵	۲۲۷	۹۴۵	معکوس راستگرد
F160	۹۰	۴۹	۵۲۸	امتدادلغز راستگرد
F161	۹۰	۷۹	۳۰۵۶	امتدادلغز چپگرد
F162	۷۵	۳۳۵	۲۴۷۸	معکوس راستگرد
F163	۵۰	۳۳۰	۳۶۱۷	معکوس
F164	۹۰	۳۴۷	۵۷۵۱	امتدادلغز راستگرد
F165	۷۲	۲۲۸	۹۶۹۷	معکوس چپگرد
F166	۴۶	۱۲۵	۵۰۰۴	نرمال چپگرد

شمال غربی - جنوب شرقی (S65E) دارای ۵۲۹۶ متر طول و ۲۰ درجه شیب رویه به طرف جنوب غربی است. موقعیت هندسی خطواره لغزشی این گسل بصورت ۱۳۸/۴۳ می‌باشد. گسل F56 احتمالاً گسل ریدل (R) گسل F55 است. گسل‌های F54، F57 و F61 این گسل را در مسیر حرکت خود جابجا کرده‌اند. تصویر ۴ خط اثر گسل مورد بحث را نشان می‌دهد و جهت حرکت فرادپواره روی آن مشخص شده است.

۳-۴- گسل F61

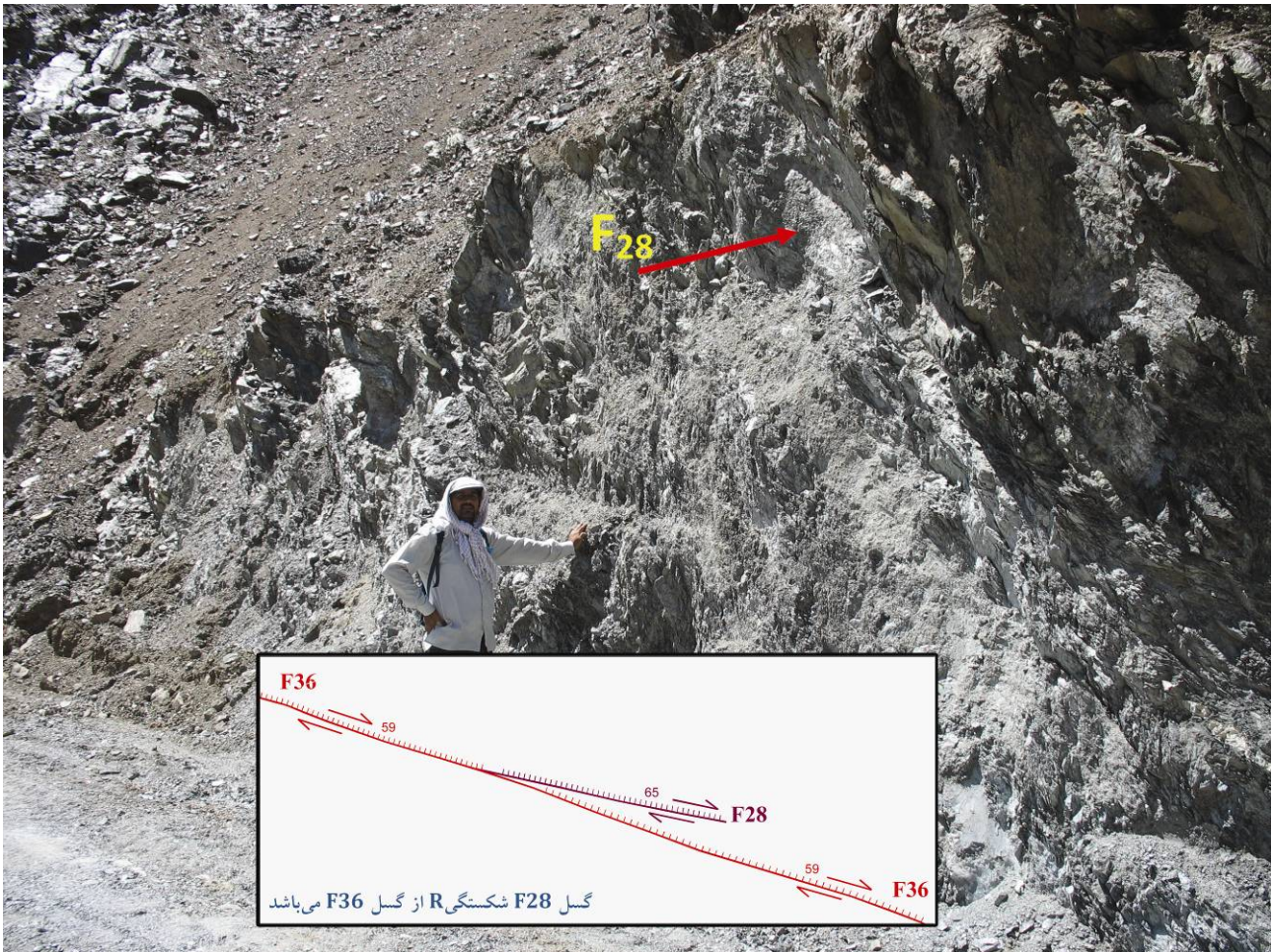
گسلی طویل با طول حدود ۵۱۴۲ متر و امتداد شمال شرقی - جنوب غربی (N54E) است. شیب گسل روی صفحات مختلف گسلی از ۴۲ تا ۷۰ درجه متغیر و به سمت شمال غرب دارای مکانیسم حرکتی نرمال چپگرد می‌باشد. موقعیت هندسی خطواره لغزشی این گسل ۲۴۰/۲۹ می‌باشد. گسل مذکور گسل‌های F55 و F56 را جابجا کرده است. گسل F61 را می‌توان به عنوان شکستگی کششی (T) گسل F46 در نظر گرفت. همان‌گونه که در نقشه نیز مشخص می‌باشد، این شکستگی‌ها با دیواره زون برشی (F46) زاویه ۴۵ درجه می‌سازد.

۱-۴- گسل F28

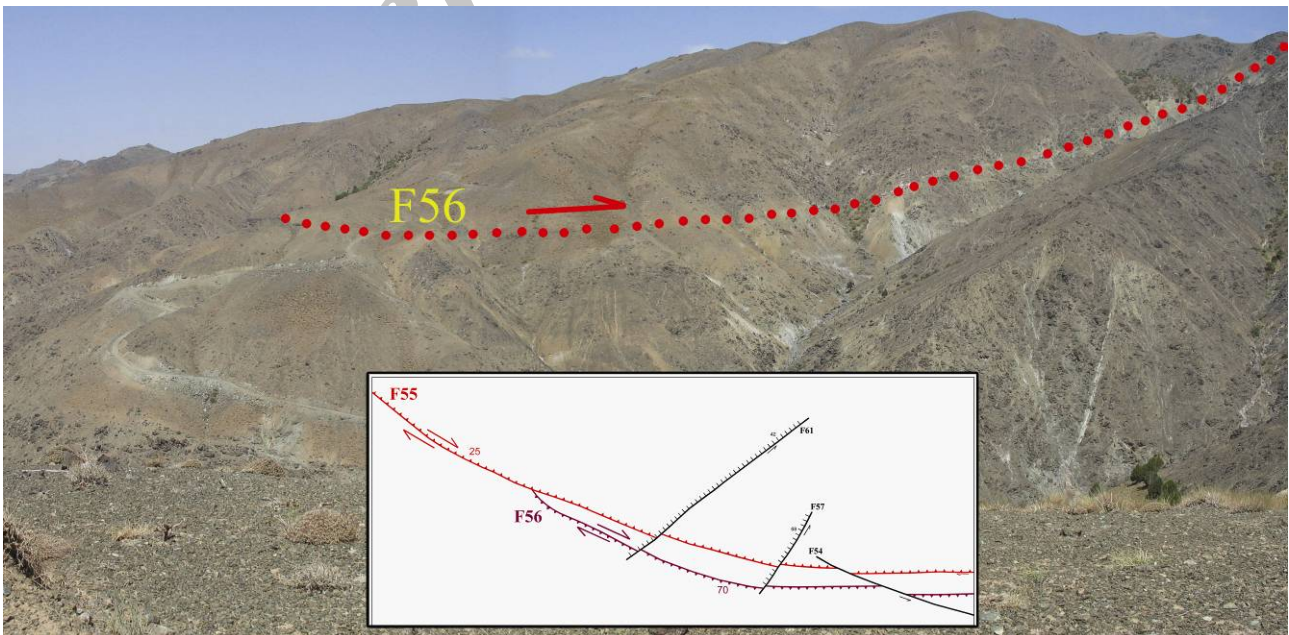
گسل F28 دارای امتداد کلی شمال غرب - جنوب شرق (S78E) و شیب رویه ۷۵ درجه به سمت شمال می‌باشد. ادامه شمال غربی آن به گسل F36 ختم شده است. در واقع این گسل شکستگی ریدل (R) از گسل F36 می‌باشد. طول گسل حدود ۳۳۶۷ متر بوده و سازوکار حرکتی آن همانند گسل F36، نرمال راست گرد است. موقعیت هندسی خطواره لغزشی این گسل بصورت ۰۱۵/۷۴ می‌باشد. تصویر ۳ نمای از صفحه گسل مذکور و همچنین قسمتی از زون خرد شده آن را نشان می‌دهد.

۲-۴- گسل F56

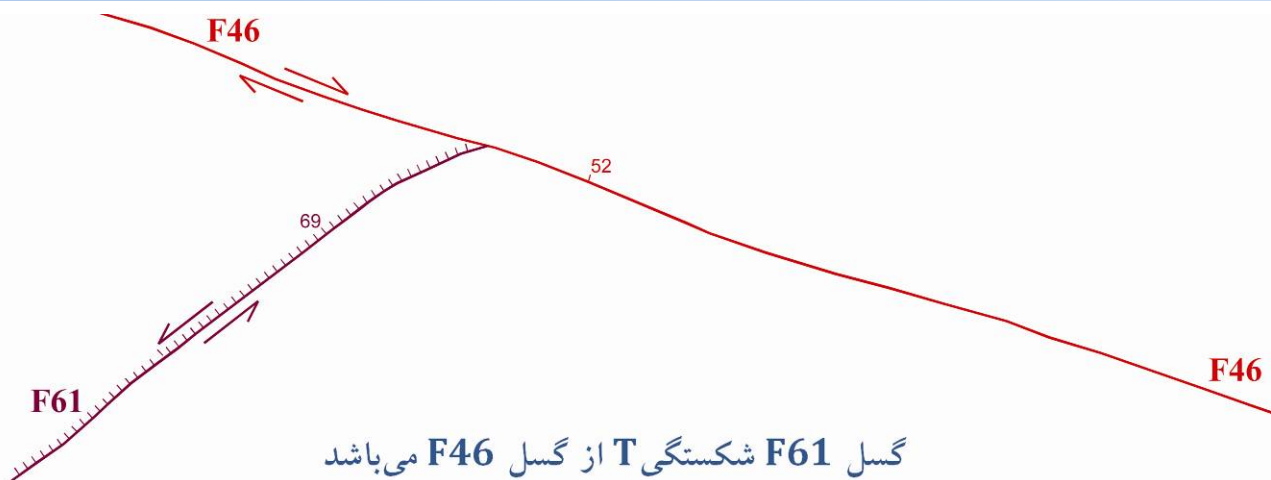
سازوکار حرکتی این گسل شیب‌لغز معکوس با مولفه امتدادلغز راست گرد است. گسل دارای دو امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و شرقی - غربی است که می‌توان گفت مسبب این تغییر در روند، گسل F57 است که با حرکت چپ گرد خود باعث جابجایی و تغییر امتداد F56 گردیده است. ۴۲۴۹ متر از F56 دارای امتداد N89E و شیب صفحه گسلی ۷۰ درجه به سمت جنوب می‌باشد. ادامه گسل با امتداد



تصویر ۳- رخنمون گسل **F28** و زون خرد شده وابسته به آن (دید به سمت شمال غرب)



تصویر ۴- خط اثر گسل **F56** و نمایش حرکت فرادیواره (دید به سمت شمال)

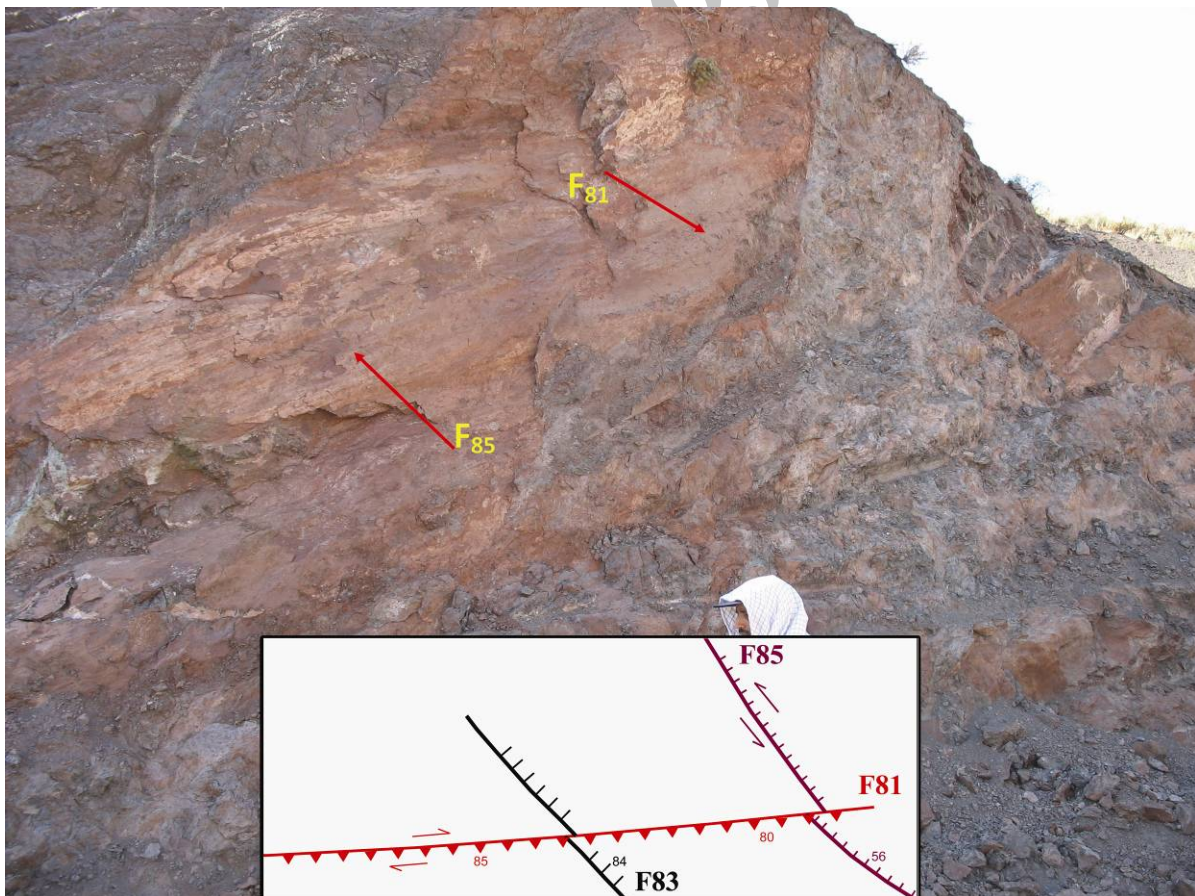


تصویر ۵- موقعیت گسل F61 به عنوان شکستگی کششی T از گسل F46

لغزشی آن ۱۳۳/۷۶ می‌باشد. گسل F₈₁ در مسیر حرکت خود باعث جابجایی گسل‌های F₈₅، F₈₃، F₁₇₈، F₇₇ و F₇₁ به صورت راست گرد شده است. تصویر ۶ از محل تقاطع این گسل با گسل F₈₅ را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز مشخص می‌باشد، گسل F₈₁ باعث جابجایی F₈₅ شده است.

۴-۴- گسل F₈₁

گسل F₈₁ دارای امتداد کلی شرقی - غربی است و ادامه غربی آن توسط F₁₃ محدود شده است. گسلی است طویل با طول ۱۰۸۰۲ متر که دارای روند N90E می‌باشد. شیب گسل ۸۰ درجه به سمت جنوب و مکانیسم حرکتی آن معکوس راست گرد و موقعیت هندسی خطواره



تصویر ۶- محل تقاطع دو گسل F₈₁ و F₈₅ (دید به سمت جنوب شرق)

۴-۵- گسل F₈₂

۱۶۵/۲۶ می باشد. این گسل باعث جابجایی گسل‌های متعددی چون F₈₅، F₈₄ و F₈₃ به صورت چپ‌گرد شده است. تصویر ۷ خط اثر گسل مورد بحث را نشان می‌دهد و جهت حرکت فرادیواره روی آن مشخص شده است.

درازای گسل حدود ۳۱۶۰ متر و امتداد آن شمال شرقی - جنوب غربی (N30E) است. سازوکار حرکتی گسل دارای دو مولفه شیب‌لغز معکوس و امتدادلغز چپ‌گرد است. شیب صفحه گسلی نیز ۳۰ درجه به سمت جنوب شرق می‌باشد. موقعیت هندسی خش لغز گسل



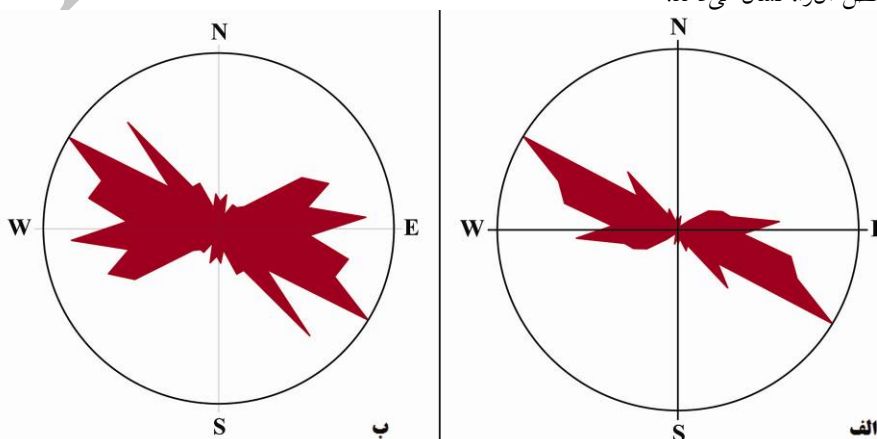
تصویر ۷- خط اثر گسل F₈₂ و نمایش حرکت فرادیواره (دید به سمت شمال)

۴-۶- گسل F₈₅

۵- بررسی آماری گسستگی‌های توده سنگ

جهت انجام مطالعات آماری سیستم شکستگی‌های محدوده مورد بررسی، مشخصات لازم گسل‌ها برای ترسیم دیاگرام‌های گل‌سرخ و کنتوری از نقشه ساختاری محدوده استخراج گردید. این مشخصات شامل طول، امتداد، شیب و جهت شیب هر یک از گسل‌ها می‌باشد. گسل‌های محدوده طرح، بر اساس دو پارامتر امتداد و امتداد طول در گروه‌های امتدادی ۹ درجه‌ای دسته بندی شده و سپس هم بر اساس امتداد و هم بر اساس طول آن‌ها نمودار مورد نظر ترسیم گردید (تصویر ۸-الف و ب).

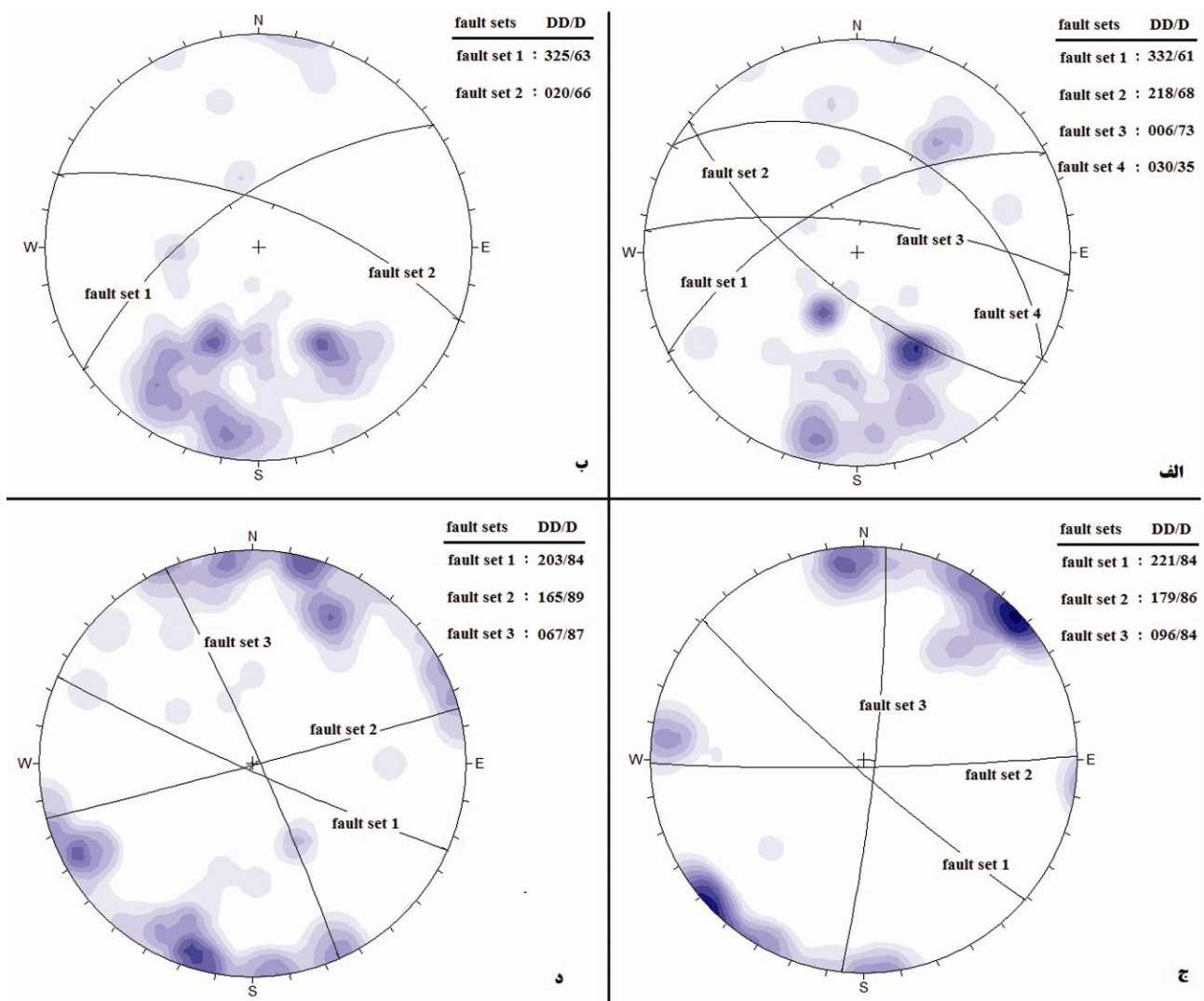
گسل F₈₅ با امتداد کلی شمال غربی - جنوب شرقی و طول ۷۲۸۶ متر، توسط گسل‌های F₈₂ (به صورت چپ‌گرد)، F₈₄ و F₈₁ (به صورت راست‌گرد) جابجا شده است. سازوکار حرکتی این گسل با توجه به خطواره‌های بسیار شاخص آن، شیب‌لغز نرمال با مولفه امتدادلغز چپ‌گرد است. امتداد گسل S52E و شیب صفحه گسلی آن ۷۶ درجه به سمت شمال شرقی می‌باشد. ادامه شمال غربی گسل از محدوده نقشه منطقه مورد مطالعه خارج شده و انتهای جنوب شرقی آن به گسل F₈₀ ختم می‌گردد. تصویر ۶ صفحه قرمز رنگ این گسل و خش لغزهای بسیار مشخص آنرا، نشان می‌دهد.



تصویر ۸- نمودار گل‌سرخ گسل‌های محدوده. (الف) با استفاده از پارامتر امتداد و طول، (ب) با استفاده از پارامتر امتداد

وجود دارد. این شش دسته عبارتند از گسل‌های با آزمون 014، 068، 086، 103، 121 و 139 درجه. در هر دو نمودار بیشترین امتداد مربوط به امتداد 121 درجه می‌باشد. کنتور دیاگرام‌های تفکیکی گسل‌ها نیز ترسیم شد (Leyshon & Lisle 1996). این دیاگرام‌ها به ترتیب شامل کلیه گسل‌های معکوس، نرمال، امتدادلغز راستگرد و امتدادلغز چپ گرد می‌باشد که در تصویر ۹-الف تا ۹-د دیده می‌شود. در هر یک از دیاگرام‌های بدست آمده روند اصلی سیستم‌های گسلی تفکیک شده است (میرزینلی ۱۳۹۰).

به دلیل اینکه در نمودارهای گلسرخ‌ی که بر اساس پارامتر امتداد تهیه می‌شود، ارزش تکتونیکی یک گسل کوتاه برابر با گسلی طویل تلقی می‌گردد، نمودارهای مذکور بر اساس پارامتر طول گسل‌های موجود در ناحیه واقع در یک گروه امتدادی خاص نیز تهیه شده است (پهلوانی و پورکرمانی ۱۳۸۷). نمودار گلسرخ‌ی گسل‌های منطقه نشان دهنده جهت نیروهای فشارشی و جهت نیروهای کششی وارد شده به این پهنه در زمان تشکیل این گسل‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از نمودارها نشان می‌دهد که در هر دو مورد شش دسته اصلی گسل



تصویر ۹- کنتوردیاگرام گسل‌های محدوده. الف) گسل‌های معکوس، ب) گسل‌های نرمال،

ج) گسل‌های امتدادلغز راستگرد، د) گسل‌های امتدادلغز چپگرد

می‌باشد.

با بررسی‌های آماری روی ساختارهای این محدوده، ارتباط منطقی بین روندهای بدست آمده از ساختارها و روند کلی منطقه بدست آمده است. هرگاه در یک منطقه یک گسل اصلی (در اینجا گسل میامی)

۴- تعیین ارتباط بین گسل میامی و سافت‌های ممدوده

گسل میامی با مکانیسم امتدادلغز راستگرد در شمال زون افیولیتی سبزواری قرار دارد (باقری ۱۳۸۷). طبق نقشه‌های تکتونیکی ایران، امتداد کلی گسل میامی در نزدیکی محدوده مورد مطالعه حدود ۱۲۰ درجه

۴- شکستگی‌های کششی یا گسل‌های نرمال یا برش‌های T که با راستای پهنه جابجایی اصلی (PDZ) زاویه ۴۵ درجه می‌سازند (Tchalenko & Ambraseys 1970). شکستگی‌های کششی به موازات محور کوتاه شدگی و نیمساز زاویه میان R' ، R را تشکیل می‌دهند.

۵- شکستگی‌های نوع D : شکستگی‌های برشی که همسو و هم جهت با حرکت گسل می‌باشند.

۶- شکستگی‌های نوع X : شکستگی‌های برشی کمیاب و غیرهمسو با گسل که در صورت توسعه، قرینه شکستگی‌های نوع R' می‌باشند (Bartlet et al. 1981).

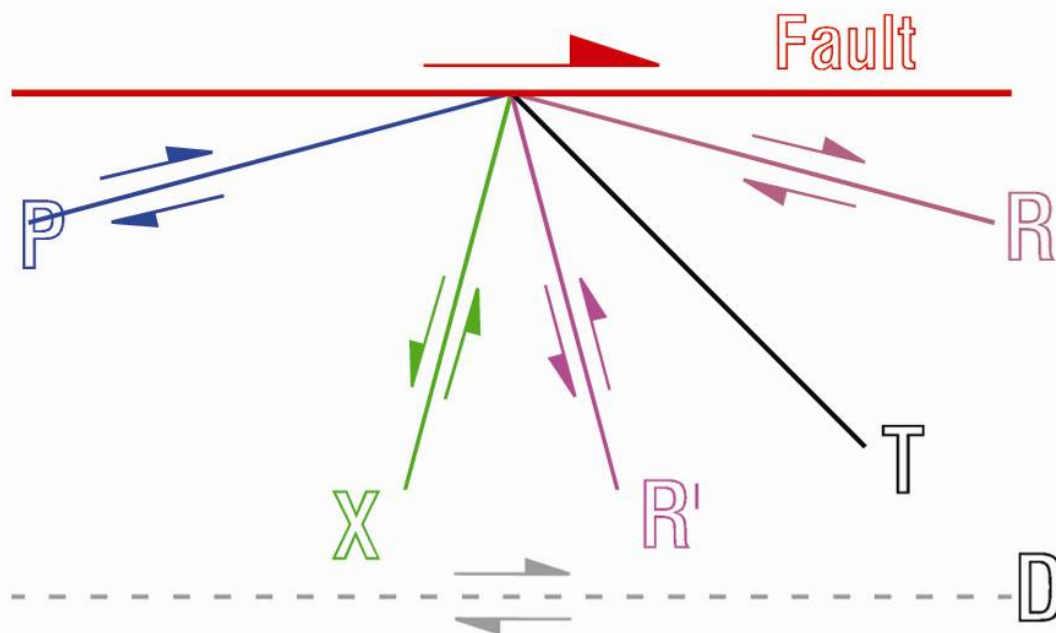
انواع شکستگی‌ها و ارتباطشان با برش حاصل از گسل اصلی را می‌توان در تصویر ۱۰ مشاهده نمود. البته گسل میامی که ساختار اصلی ناحیه می‌باشد، در محدوده نقشه ساختاری منطقه رخنمون ندارد.

وجود می‌آید، تعدادی شکستگی به ترتیب زیر در اثر آن و در اطراف گسلش اصلی ایجاد می‌شود (Sylvester 1988):

۱- شکستگی‌های نوع R که شکستگی‌های برشی همسو با حرکت گسل بوده و به طور متوسط با زاویه ۱۵ درجه نسبت به دیواره گسل اصلی توسعه می‌یابند و به شکستگی‌های سیستیک و شکستگی‌های پرمانند نیز معروفند.

۲- شکستگی‌های نوع R' : شکستگی‌های برشی غیرهمسو با حرکت گسل که به طور متوسط با زاویه ۷۵ درجه نسبت به دیواره گسل گسترش پیدا می‌کند.

۳- گسل‌های راستالغز سیستیک دومین یا برش‌های P که تحت زاویه ۱۵ درجه با جهت برش قرار دارند و جهت حرکتشان با جهت برش اصلی، همسو است (Tchalenko 1970).



تصویر ۱۰- جهت‌گیری انواع شکستگی‌ها در ارتباط با برش گسلی (Woodcock 1994)

مورد مطالعه و الگوی جهت‌گیری انواع شکستگی‌ها در ارتباط با یک گسل تشخیص داد به‌طوری‌که:

شکستگی‌های با روند 014 در محدوده، منطبق بر شکستگی‌های نوع X ,

شکستگی‌های با روند 068 در محدوده، منطبق بر شکستگی‌های نوع R' ,

شکستگی‌های با روند 086 در محدوده، منطبق بر شکستگی‌های نوع T ,

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به رز دیاگرام‌های ترسیم شده، شش روند اصلی برای انواع گسل‌های منطقه تشخیص داده می‌شود. طبق این بررسی‌ها روند اصلی و غالب گسل‌های منطقه شمال غرب - جنوب شرق با آزیموت ۱۲۱ درجه می‌باشد. این راستا کاملاً منطبق بر امتداد قطعه‌ای از گسل میامی می‌باشد که در نزدیکی شمال محدوده مورد مطالعه قرار دارد. با توجه به فرآیند تشکیل شکستگی‌های برشی مرتبط با گسل‌های امتدادلغز اصلی، می‌توان ارتباط منطقی بین روندهای شناسایی شده در محدوده

Bartlet, W. L., Friedman, M. & Logan, J. M., 1981, "Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure", *Part IX, Wrench faults in limestone layers, Tectonophysics, Vol. 79: 255-277.*

Ford, M., de Veslud, Le C. & Bourgeois, O., 2007, "Kinematic and geometric analysis of fault-related folds in a rift setting: The Dannemarie basin, Upper Rhine Graben, France", *Journal of Structural Geology, Vol. 29 (11): 1811-1830.*

Leyshon, P. R. & Lisle, R. J., 1996, "Stereographic projection techniques in structural geology", *Cambridge University Press, 104 pp.*

Marshak, M. & Mitra, G., 1988, "Basic methods of structural geology", *Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 446 pp.*

Price, N. J. & Cosgrove, J. W., 1994, "Analysis of geological structures", *Cambridge University Press, 502 pp.*

Ramsay, J. G. & Huber, M., 1987, "The techniques of modern structural geology", *Folds and Fractures, Academic Press, London, Vol. 2: 307 pp.*

Stampfli, G. & Borel, G. D., 2002, "A plate tectonic model for the Palaeozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones", *Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 196: 17-33.*

Stöcklin, J., 1968, "Structural history and tectonics of Iran", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 52 (7): 1229-1258.*

Sylvester, A. G., 1988, "Strik slip fault", *GSA Bull., 100 pp.*

Tchalenko, J. S. & Ambraseys, N., 1970, "Structural analysis of the Dasht-e-Bayaz (Iran) earthquake fractures", *Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 81: 41-60.*

Tchalenko, J. S., 1970, "Similarities between shear zones of different magnitudes", *Geological Society of American Bulletin, Vol. 31: 1625-1640.*

William, R., 2003, "Geometric analysis of fold development in over thrust Terranes", *Journal of Structural Geology, Vol. 9 (2) 207-219.*

Woodcock, N. H. & Schubert, C., 1994, "Continental strike-slip tectonics, in Honcock, P. L. (Ed), Conitental tectonic", *Pergamon Press, Oxford: 251-263.*

شکستگی‌های با روند 103 در محدوده، منطبق بر شکستگی‌های نوع R.

شکستگی‌های با روند 121 در محدوده منطبق بر شکستگی‌های نوع D.

و شکستگی‌های با روند 139 در محدوده منطبق بر شکستگی‌های نوع P می‌باشد.

به‌طور کلی از مباحث فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که تنش‌های وارده بر منطقه مورد مطالعه کاملاً تحت تأثیر تکتونیک منطقه می‌باشد.

طبق مطالعات انجام شده این‌گونه به‌نظر می‌رسد که بر اثر حرکت راستگرد گسل میامی ساختارهای ایجاد شده در محدوده مورد مطالعه ایجاد گردیده است.

مراجع

باقری، ف.، سعیدی، ع. و بوذری، س.، ۱۳۸۷، "تحلیل هندسی و جنبشی نیمه باختری گسل میامی"، فصلنامه علوم زمین، سال ۱۸ (۶۹): ۳۴-۳۳.

پهلوانی، آ.، پورکرمانی، م.، ۱۳۸۷، "تفسیر هندسی مدل ساختاری گل مانند مثبت و منفی"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۴ (۲): ۹۶-۹۰.

پورکرمانی، م.، میرزینلی یزدی، س. ح. و کارخیران، ا.، ۱۳۸۵، "تحلیل ساختاری معدن سنگ آهک چغارت"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۲ (۲): ۵۲-۴۷.

حاجی حسینلو، ح.، ۱۳۸۷، "تحلیل ساختاری و ریز ساختاری پهنه برشی اقلید"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۱۸ (۶۹): ۲۶-۱۳.

میرزینلی یزدی، س. ح.، ۱۳۹۰، "تعیین جهت‌گیری تنش در زون افیولیتی سبزواری"، رساله دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۹۵ ص.

میرزینلی یزدی، س. ح.، پورکرمانی، م. و کارخیران، ا.، ۱۳۸۵، "تحلیل شکستگی‌های معدن سنگ آهن سه چاهون"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۱۶ (۶۱): ۷۴-۶۳.

نیک نژاد، س.، یساقی، ع. و محجل، م.، ۱۳۸۲، "تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌های راندگی منطقه کندوان، البرز مرکزی"، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اصفهان، ۲۵۴-۲۵۹.

وحیدی نیا، م. و آریایی، ع. ا.، ۱۳۷۸، "تعیین سن افیولیت ملانژ ناحیه سبزواری بر اساس داده‌های فسیل‌شناسی و مقایسه آن با داده‌های رادیومتری"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، ۶۱۶-۶۱۴.

یساقی، ع.، محجل، م. و عباسی، ع.، ۱۳۸۱، "تحلیل هندسی-جنبشی و استرین گسل‌ها و چین‌های مرتبط در منطقه لانیز، جنوب البرز مرکزی"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، کرمان، ۲۷۹-۲۸۴.