

صلى الله عليه وسلم





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک

ردیابی گسل کواترنری آستانه در جنوب باختری فولادمحله (البرزخاوری)

نگارنده: حسن فرحدل

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور

دکتر عزیزالله طاهری

بهمن ۹۵

## تعهد نامه

اینجانب حسن فرحدل دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی - تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " ردیابی گسل کوارترنری آستانه در جنوب باختری فولادمحل (البرز خاوری)" تحت راهنمایی دکتر پرویز امیدی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.



تقدیم بہ

خدایی کہ آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزتر از جانم

شکر و قدردانی:

حمد و سپاس پروردگار حکیمی را که جهان را با قدرت لایزال خود آفرید و لطف بیکرانیش را به تمام موجودات عنایت کرد. و معرفت و شناخت گوشه ای از

طبیعت را که بی‌کمان جلوه عظمت و قدرت اوست، به من ارزانی بخشید. از اومی خواهم همیشه مرابۀ نورهدایت خویش را بنمون سازد.

اینک که لطف و یاری خدای متعال شامل حالم شد و توانستم این مجموعه را به پایان برسانم بر خود لازم می‌دانم از همه سروران و عزیزانی که من را در انجام

آن یاری نموده اند شکر و قدردانی نموده و از آفریدگار جهان بستی، سربلندی و بهروزی ایشان را آرزو نمایم.

از جناب آقای دکتر پرویز امید که به عنوان استاد راهنما، امرهدایت و راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و با عنایت و توجه خاص و بهیچکی خود مراد

انجام این پروژه یاری نمودند و جناب آقای دکتر طاهری که زحمت مشاوره اینجناب را در این مقوله عهده دار بودند صمیمانه شکر می‌نمایم. از جناب آقای

دکتر رضائی اومالی به خاطر داوری منصفانه و عادلانه کمال شکر را دارم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از تمام اساتید و کارکنان دانشکده علوم زمین شکر

نمایم. در پایان از بھکلاسی های خبم خانم باقھی، رستی و واحدی شکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

حسن فرصل (بهن ۹۵)

## چکیده:

منطقه مطالعاتی بخشی از نیمه جنوبی البرز خاوری است. مطالعات چینه نگاری در این منطقه، وجود واحدهای سنگی مزوزوئیک و سنوزوئیک با روند ساختاری شمال خاوری - جنوب باختری را نشان می‌دهند. چین‌های مطالعه شده، طبق رده‌بندی فلوتی بر مبنای زاویه بین دو یال (Fleuty, 1964)، در رده‌ی بسته (closed) و برخی در رده ملایم (Gentle) قرار می‌گیرند. بر اساس سطح محوری و میل لولا نیز جایگاه چین‌ها در دو رده ایستاده با میل کم (gently plunging) و (plunging inclined) قرار دارند. چین‌خوردگی‌ها در واحدهای سنگی سازندهای شمشک و دلیچای قرار دارند.

در این پژوهش ادامه داشتن گسل آستانه در منطقه جنوب باختری فولادمحله مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی وجود ۶ قطعه‌ی گسلی را آشکار ساخته که در این پژوهش گسل‌های F1 تا F6 نام‌گذاری شده‌اند. بر اساس شواهدی همچون افرازش‌های گسلی، خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی می‌توان دو فاز حرکتی شامل، فاز اول سازوکار معکوس و فاز دوم سازوکار راستا لغز چپ‌بر را برای این ۶ گسل تعیین گردید. موقعیت جغرافیایی، هندسه گسل و سازوکار گسلش در این ۶ قطعه با هندسه و سازوکار گسل آستانه در منطقه آستانه - فولادمحله مطابقت دارد. با توجه به موارد ذکر شده، بیان می‌شود که گسل آستانه در جنوب باختری فولادمحله نیز ادامه دارد.

گسل‌هایی با راستای شمال خاوری - جنوب باختری همچون گسل آستانه، صبور و بشم دارای سازوکار معکوس چپ‌بر می‌باشند. این آرایش هندسی و الگوی حرکتی آن‌ها با الگوی دگرشکلی ترافشارشی چپ‌گرد ناحیه‌ای انطباق دارد. گسل‌های عرضی منطقه، از نوع پی‌سنگی نمی‌باشند و آن‌ها را می‌توان به‌عنوان گسل‌های پارگی (Tear Fault) مرتبط با کمربندهای چین‌خورده - رانده معرفی نمود.

گسل‌های آستانه، صبور و بشم با سازوکار غالب معکوس خود تأثیر زیادی بر شکل‌گیری ارتفاعات منطقه داشته‌اند. سیمای زمین ریختی منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عناصر ساختاری (چین‌ها و گسل‌ها) قرار دارد. بلندترین ارتفاعات منطقه مطالعاتی نیز بر روی فرادیواره گسل فشاری بشم، با ارتفاع ۲۹۳۸ متر قرار دارد. محاسبات تنش دیرین بر مبنای تحلیل لغزش گسل‌ها، موقعیت تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  را به ترتیب ۰۱/۰۱۴، ۵۰/۲۸۳ و ۴۰/۱۰۶ نشان داد.

**کلیدواژه‌ها:** البرز خاوری، فولادمحله، گسل آستانه

## فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی
۳	۱-۲- تعریف مسئله و هدف از انجام کار
۴	۱-۳- سوابق تحقیق
۹	۱-۴- روش انجام تحقیق
۱۱	فصل دوم: زمین‌شناسی
۱۲	۱-۲- زمین‌ساخت البرز
۱۶	۲-۲- واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه
۱۶	۲-۲-۱- سازند الیکا
۱۷	۲-۲-۲- سازند شمشک
۱۸	۲-۲-۳- سازند دلیچای
۱۹	۲-۲-۴- رسوبات میوسن
۲۵	فصل سوم: زمین‌شناسی ساختمانی
۲۶	۳-۱- گسل
۲۷	۳-۱-۱- گسل F1
۳۰	۳-۱-۲- گسل F2
۳۳	۳-۱-۳- گسل F3
۳۶	۳-۱-۴- گسل F4
۳۹	۳-۱-۵- گسل F5
۴۳	۳-۱-۶- گسل F6
۴۶	۳-۱-۷- گسل F7
۴۸	۳-۱-۸- گسل F8

۵۱	..... F9 گسل ۹-۱-۳
۵۶	..... F10 گسل ۱۰-۱-۳
۵۹	..... گسل فشاری بشم ۱۱-۱-۳
۶۶	..... گسل صبور ۱۲-۱-۳
۷۲	..... چین خوردگی‌ها ۲-۳
۷۲	..... چین خوردگی در سازند شمشک ۱-۲-۳
۷۵	..... چین خوردگی سازند دلیچای ۲-۲-۳
۷۶	..... بررسی و تحلیل جنبشی ۳-۳
۷۶	..... بررسی ویژگی‌های میدان تنش ۱-۳-۳
۷۷	..... روش‌های تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش ۲-۳-۳
۷۷	..... تعیین تنش دیرین با استفاده از روش دووجهی مستقیم ۳-۳-۳
۷۸	..... تعیین تنش دیرین در منطقه مطالعاتی ۴-۳-۳
۸۳	..... <b>فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری</b>
۸۴	..... ۱-۴- الگوی هندسی و حرکتی گسل‌ها
۸۵	..... ۱-۱-۴- گسل آستانه
۸۶	..... F1 گسل ۱-۱-۱-۴
۸۶	..... F2 گسل ۲-۱-۱-۴
۸۶	..... F3 گسل ۳-۱-۱-۴
۸۶	..... F4 گسل ۴-۱-۱-۴
۸۷	..... F5 گسل ۵-۱-۱-۴
۸۷	..... F6 گسل ۶-۱-۱-۴
۹۹	..... هندسه پایانه‌های گسلی
۹۱	..... F7 گسل ۲-۱-۴
۹۲	..... F8 گسل ۳-۱-۴
۹۲	..... F9 گسل ۴-۱-۴

۹۳.....	۵-۱-۴- گسل F10
۹۳.....	۶-۱-۴- گسل فشاری بشم
۹۴.....	۷-۱-۴- گسل کواترنری صبور
۹۴.....	۲-۴- تأثیر فعالیت گسل بر روی ریخت‌شناسی
۹۵.....	۳-۴- تعیین راستای تنش اصلی وارد بر منطقه مطالعاتی
۹۸.....	۴-۴- ارزیابی الگوی دگر ریختی‌ها
۹۹.....	۵-۴- پیشنهادها
۱۰۱.....	پیوست‌ها
۱۰۷.....	منابع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۳
- شکل ۱-۲- تصویر SRTM از رشته‌کوه البرز در شمال ایران ..... ۱۲
- شکل ۲-۲- تکامل ساختاری البرز در طی پرمین آغازین - سانتونین پیشین ..... ۱۳
- شکل ۳-۲- تصویر صحرایی از سازند الیکا در غرب روستای فولادمحله ..... ۱۷
- شکل ۴-۲- تصویر صحرایی از سازند شمشک ..... ۱۸
- شکل ۵-۲- تصویر صحرایی از سازند دلیچای غرب روستای رسم رودبار ..... ۱۹
- شکل ۶-۲- رخنمون‌هایی از واحدهای میوسن ..... ۲۰
- شکل ۷-۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای مربوط به دوران مزوزوئیک (بدون مقیاس) ..... ۲۱
- شکل ۱-۳- تصویر ماهواره قسمتی از منطقه مورد مطالعه به همراه نمایش گسل‌های F1 تا F6 ..... ۲۷
- شکل ۲-۳- نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F1 ..... ۲۸
- شکل ۳-۳- تصویر صحرایی از رخنمون گسل F1 ..... ۲۹
- شکل ۴-۳- خش‌لغزهای گسلی گسل F1 ..... ۲۹
- شکل ۵-۳- نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F2 ..... ۳۱
- شکل ۶-۳- تصویر صحرایی از گسل F2 ..... ۳۲
- شکل ۷-۳- خش‌لغزهای گسلی گسل F2 ..... ۳۳
- شکل ۸-۳- نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F3 ..... ۳۴
- شکل ۹-۳- تصویر صحرایی از گسل F3 ..... ۳۵
- شکل ۱۰-۳- خش‌لغزهای گسلی گسل F3 ..... ۳۶
- شکل ۱۱-۳- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F4 ..... ۳۷
- شکل ۱۲-۳- تصویر صحرایی از گسل F4 ..... ۳۸
- شکل ۱۳-۳- خش‌لغزهای گسلی گسل F4 ..... ۳۹
- شکل ۱۴-۳- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F5 ..... ۴۰

- شکل ۳-۱۵- تصویر صحرایی از گسل F5 ..... ۴۱
- شکل ۳-۱۶- خش‌لغزهای گسلی گسل F5 ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۷- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F6 ..... ۴۳
- شکل ۳-۱۸- تصویر صحرایی از گسل F6 ..... ۴۴
- شکل ۳-۱۹- خش‌لغزهای گسلی گسل F6 ..... ۴۵
- شکل ۳-۲۰- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F7 ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۱- تصویر صحرایی از گسل F7 ..... ۴۷
- شکل ۳-۲۲- خش‌لغزهای گسلی گسل F7 ..... ۴۸
- شکل ۳-۲۳- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F8 ..... ۵۰
- شکل ۳-۲۴- تصویر صحرایی از گسل F8 ..... ۵۱
- شکل ۳-۲۵- خش‌لغزهای گسلی گسل F8 ..... ۵۱
- شکل ۳-۲۶- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth از محل گسل F9 ..... ۵۲
- شکل ۳-۲۷- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F9 ..... ۵۲
- شکل ۳-۲۸- تصویر صحرایی از گسل F9 ..... ۵۳
- شکل ۳-۲۹- خش‌لغزهای گسلی گسل F9 ..... ۵۴
- شکل ۳-۳۰- نمایی از گسل F9 در واحدهای شیلی شمشک ..... ۵۵
- شکل ۳-۳۱- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F9 ..... ۵۶
- شکل ۳-۳۲- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth از محل گسل F10 ..... ۵۷
- شکل ۳-۳۳- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F10 ..... ۵۷
- شکل ۳-۳۴- تصویر صحرایی از گسل F10 ..... ۵۸
- شکل ۳-۳۵- خش‌لغزهای گسلی گسل F10 ..... ۵۹
- شکل ۳-۳۶- نقشه زمین‌شناسی سمنان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به همراه گسل بشم ..... ۶۰
- شکل ۳-۳۷- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل بشم ..... ۶۱
- شکل ۳-۳۸- تصویر صحرایی از گسل بشم ..... ۶۳
- شکل ۳-۳۹- خش‌لغزهای گسلی گسل بشم ..... ۶۴



- شکل ۳-۳۶- نمایی از امتداد گسل فشاری بشم ..... ۶۵
- شکل ۳-۳۷- نقشه‌ی زمین‌شناسی کیاسر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که گسل صبور روی آن مشخص شده است ..... ۶۶
- شکل ۳-۳۸- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth از محل گسل صبور ..... ۶۷
- شکل ۳-۳۹- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل صبور ..... ۶۷
- شکل ۳-۴۰- تصویر صحرایی از گسل صبور ..... ۶۹
- شکل ۳-۴۱- خش‌لغزهای گسلی گسل صبور ..... ۷۰
- شکل ۳-۴۲- جابه‌جایی چپ‌بر آبراهه توسط گسل صبور ..... ۷۰
- شکل ۳-۴۳- نمایی از تاقدیس FO1 در سازند شمشک ..... ۷۳
- شکل ۳-۴۴- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت‌شده از تاقدیس FO1 ..... ۷۳
- شکل ۳-۴۵- تصویری از شیب لایه‌بندی در سازند شمشک ..... ۷۴
- شکل ۳-۴۶- استریوگرام حاصل از برداشت لایه‌بندی سازند شمشک ..... ۷۴
- شکل ۳-۴۷- تصویری از شیب لایه‌بندی در سازند دلیچای ..... ۷۵
- شکل ۳-۴۸- استریوگرام حاصل از برداشت لایه‌بندی سازند دلیچای ..... ۷۵
- شکل ۳-۴۹- استریوگرام دو سطح کمکی و گسل و نواحی فشارش و کشش ..... ۷۸
- شکل ۳-۵۰- مثال ساده‌ای از دو گسل و نتیجه اشتراک ربع P و T این گسل‌ها ..... ۷۸
- شکل ۳-۵۱- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مطالعاتی به همراه ایستگاه‌های برداشت داده ..... ۸۰
- شکل ۳-۵۲- آثار حرکتی روی سطح گسل ..... ۸۰
- شکل ۳-۵۳- نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی از گسل‌های برداشت‌شده منطقه ..... ۸۱
- شکل ۳-۵۴- استریوگرام دووجهی‌های عمود بر هم به همراه موقعیت تنش‌های اصلی ..... ۸۱
- شکل ۴-۱- نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی برای گسل‌های منطقه ..... ۸۴
- شکل ۴-۲- موقعیت گسل آستانه در البرز خاوری ..... ۸۵
- شکل ۴-۳- تصویر شماتیکی از روند گسل آستانه در منطقه‌ی مطالعاتی ..... ۸۸
- شکل ۴-۴ : انواع هندسه پایانه گسلی ..... ۹۰
- شکل ۴-۵ - تصویر سیکلوگرافیک گسل آستانه و گسل F7 ..... ۹۱
- شکل ۴-۶- تصویر سیکلوگرافیک نشان‌دهنده‌ی صفحات میانگین گسل آستانه و گسل بشم و گسل F8 ..... ۹۲

- شکل ۴-۷- وضعیت امروزی تنش اصلی بیشینه ..... ۹۶
- شکل ۴-۸- استریوگرام شامل محل تنش‌های اصلی در چهار ایستگاه ..... ۹۷
- شکل ۴-۹- ارتباط سوی تنش بیشینه با سازوکار گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۰- روی هم اندازی قسمتی از نقشه‌های هوا مغناطیس با نقشه‌ی زمین‌شناسی ..... ۹۹

## فهرست جداول

- جدول ۳-۱- مشخصات برداشت شده برای گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۷۱
- جدول ۳-۲- ویژگی‌های وضعیت تنش در ایستگاه‌ها ..... ۸۲

# فصل اول

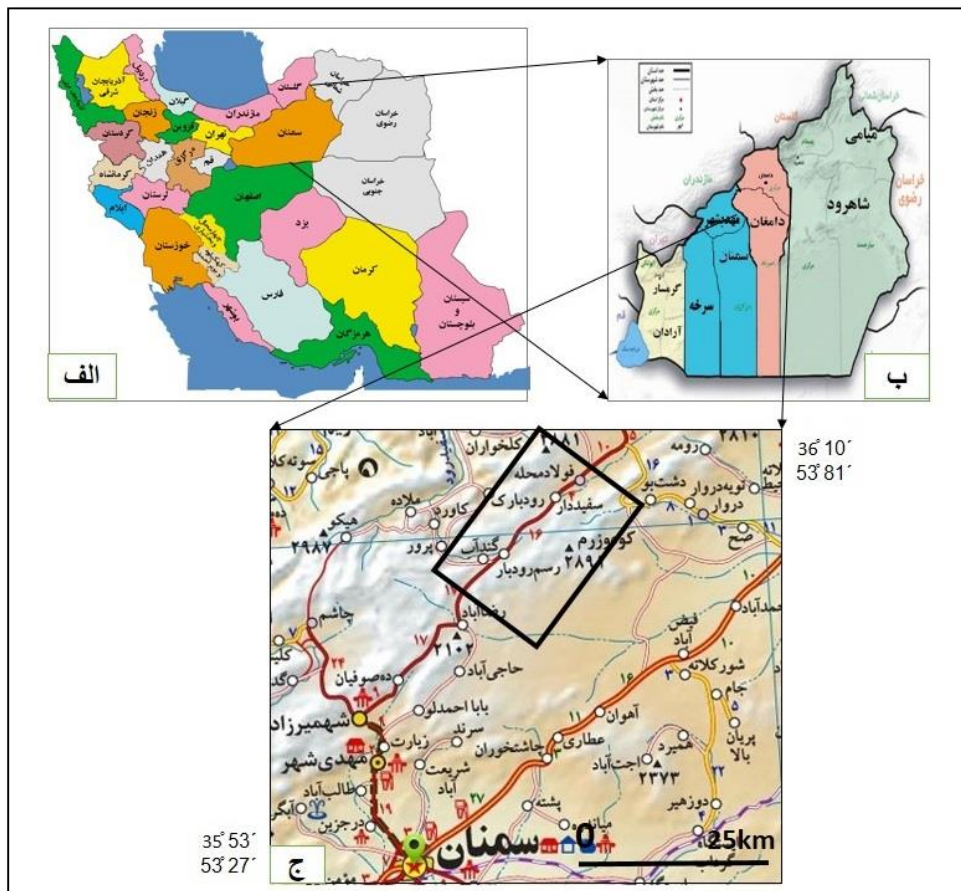
## مقدمه

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون البرز است که مجموعه ارتفاعاتی به شکل خمیده به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر در شمال ایران را تشکیل می‌دهد راستای عمومی خاوری-باختری آن از آذربایجان تا خراسان ادامه دارد (Alavi, 1996). این رشته‌کوه از شمال با واسطه‌ی زمین‌درز پالئوتتیس، در بخش شرقی مجاورت با حوضه رسوبی کپه داغ و در بخش مرکزی و غربی در کنار حوضه‌ی خزر جنوبی قرار دارد. رشته‌کوه البرز در بخش شرقی و مرکزی از سمت جنوب در مجاورت پهنه‌ی شمالی ایران مرکزی که با وجود سیستم‌های امتدادلغز و آمیزه‌های افیولیتی مشخص است و در بخش مرکزی و غربی با واسطه‌ی مجموعه‌ی ماگمایی کرج در کنار قوس ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است. روند چین‌خوردگی‌ها و راستای گسل‌ها در البرز از WNW در غرب به ENE در شرق تغییر پیدا می‌کند.

در این پایان‌نامه قسمتی از نوار البرز واقع در شمال باختر دامغان مورد مطالعه قرار گرفته و سعی بر آن است که با تحلیل عناصر ساختاری اطلاعاتی هرچند اندک درباره آن به دست آوریم.

## ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از واحد زمین‌ساخت-رسوبی البرز خاوری در فاصله‌ی بین روستای فولادمحله (۶۵ کیلومتری دامغان) تا شه‌میرزاد (۲۰ کیلومتری شمال سمنان) و محدوده بین طول‌های جغرافیایی  $53^{\circ} 28'$  تا  $53^{\circ} 41'$  خاوری و عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 53'$  تا  $36^{\circ} 06'$  شمالی را شامل می‌شود. جاده‌ی آسفالته دامغان-کیاسر، جاده آسفالته‌ی سمنان- شه‌میرزاد-کیاسر و راه‌های خاکی متعدد و دره‌های عرضی منشعب از آن راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- نقشه جغرافیای ایران (الف)، استان سمنان (ب) و راه‌های ارتباطی منطقه (ج). منطقه مورد مطالعه درون مستطیل قرار گرفته است.

## ۱-۲- تعریف مسئله و هدف از انجام کار:

در منطقه مورد مطالعه همانند سایر نقاط البرز، نیروهای تکتونیکی باعث ایجاد گسلش و چین خوردگی با ابعاد و اشکال مختلف شده است که روند کلی ساخت‌های منطقه شمال خاوری- جنوب باختری است. ادامه‌ی شمال خاوری این منطقه منتهی به فروافتادگی آستانه- فولادمحله با روند NE-SW است که گسل شناخته‌شده‌ی آستانه در آن رخنمون دارد. این گسل دارای هندسه‌ی تقریبی  $N65E, 70NW$  (امیدی، ۱۳۸۰) و سازوکار امتدادلغز چپ‌بر است (امیدی، ۱۳۸۰) و نهشته‌های کوترنری را آشکارا بریده است، منطقه‌ی مورد بحث در ادامه‌ی جنوب باختری فروافتادگی آستانه- فولادمحله و در ادامه شمال خاوری گسله بشم قرار دارد.

گسل راندگی بشم دارای روند شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سوی جنوب است که باعث رانده شدن کوه‌های جنوبی آن روی فرونشست دشت چاشم شده است، به نظر می‌رسد تفاوت‌هایی بین این محدوده‌های ساختاری وجود دارد از جمله می‌توان به تفاوت ریخت‌شناسی آن‌ها اشاره نمود که می‌تواند ناشی از تفاوت طرح هندسی (Geometrical pattern) و الگوی جنبشی (Kinematic Model) ساخت‌های منطقه به‌ویژه گسله‌ها باشد. به‌عنوان مثال می‌توان به رفتارهای ناشناخته‌ی سینماتیک و ویژگی‌های هندسی گسله کواترنری آستانه اشاره نمود. به‌عبارت‌دیگر تداوم ویژگی‌های هندسی، سینماتیک و جنبش کواترنری آن در این بخش ناشناخته است.

مطالعات ساختاری تفصیلی در این منطقه، می‌تواند ضمن آشکارسازی ویژگی‌های کلی دگر ریختی اعم از چین‌خوردگی و گسلش و اختصاصات ریخت زمین ساختی آن، ادامه‌ی جنوب باختری گسله‌ی مهم آستانه را از نظر هندسی و رفتارشناسی حرکتی شناسایی نموده و شباهت‌ها یا تفاوت‌های این منطقه‌ی گسلی را با ادامه‌ی شمال خاوری آن (گسل آستانه) و ادامه‌ی جنوب باختری آن (گسل بشم) آشکار نماید.

بدین ترتیب سؤالات اساسی این رساله را می‌توان بدین شرح بیان نمود:

۱- ویژگی‌های هندسی و جنبشی ساختارهای منطقه (گسله‌ها، چین‌ها و...) چیست؟

۲- اختصاصات ریخت زمین ساختی منطقه متأثر از چه پدیده‌های زمین‌شناسی است؟

۳- دگر ریختی‌های نو زمین ساختی در منطقه دارای چه شواهدی است؟

۴- الگوی حرکتی ادامه‌ی جنوب باختری گسل آستانه در این منطقه چگونه است؟

### ۱-۳- سوابق تحقیق:

مطالعات انجام‌شده در این ناحیه به‌صورت کلی بوده و به جزئیات ساختاری پرداخته نشده است. از جمله

مطالعات انجام شده در این منطقه می‌توان به نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سمنا (نبوی، ۱۳۶۶) و نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنا (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۳) اشاره کرد؛ که در آن اطلاعات عمومی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

مطالعات مشابه در دیگر مناطق البرز خاوری صورت گرفته است، از جمله (Alavi, 1996) بر پایه‌ی آنالیزهای سنگ‌شناسی، ساختاری و چینه‌شناسی سنگ‌های نمایان شده در کوهزایی چندگانه‌ی البرز در شمال ایران، هفت مجموعه از واحدهای چینه‌شناسی را معرفی کرده است.

(Jackson et al., 2002)، زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی خزر جنوبی را مورد بررسی قرار دادند و بر اساس سازوکار ژرف زمین‌لرزه‌ها، گسلش سطحی و ساختار سرعت تصحیح شده به وسیله‌ی گسترش موج سطحی، حرکت به سمت جنوب باختری کنونی این حوضه را با سرعت بیشینه‌ی ۱۷-۱۳ میلی‌متر در سال نسبت به ایران مطرح نموده‌اند. آن‌ها با توجه به مؤلفه‌ی راست‌بر و چپ‌بر گسل‌های کپه داغ و البرز خاوری که حاصل از مؤلفه‌ی کوتاه شدگی مایل در این ناحیه هستند، مؤلفه‌ی حرکت به سمت باختر را برای حوضه‌ی خزر جنوبی پیشنهاد نموده‌اند.

بررسی لرزه‌خیزی و سازوکار ژرفی زمین‌لرزه‌های البرز، اغلب بر اساس تحلیل‌های (Jackson et al., 2002)، ایشان حوضه‌ی خزر جنوبی را به‌عنوان یک بخش دارای تکتونیک فعال (به احتمال از ۳/۴ میلیون سال پیش) تحریک شده در اثر بسته شدن حوضه‌های فرعی داخل ایران و آغاز کوتاه شدگی کمر بند چین‌خورده‌ی ساده زاگرس می‌دانند.

(Nazari and Ritz, 2008)، با بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌ساختی و دیرینه لرزه‌شناسی بر این باورند که راندگی‌های بنیادی البرز چون طالقان، مشاء، فیروزکوه و آستانه در بخش داخلی البرز در حال حاضر دارای سازوکار راستا لغز چپ‌بر با مؤلفه‌ی معکوس هستند، در حالی که سازوکار چیره‌ی این گسل‌ها در میوسن-پلیوسن معکوس به همراه سازوکار چپ‌بر بر روی گسل‌های آستانه و فیروزکوه و راست‌بر بر روی گسل‌های مشاء و کندوان بوده است. داده‌ها نشان می‌دهد که وارونگی تنش قدیمی

رخ داده است. آن‌ها زمان این وارونگی را بسیار جوان یعنی پلیستوسن می‌دانند.

(امیدی، ۱۳۸۰)، گسل آستانه را در بیشتر درازای خود دست‌کم در دو خط گسل کم‌وبیش موازی و بافاصله‌ی نزدیک به ۱۵ تا ۵۰۰ متر به همراه شاخه‌های فرعی معرفی کرده است. در امتداد آن دره‌ای با کف به نسبت مسطح با پوشش قابل توجه نهشته‌های کواترنری شکل گرفته است، همچنین او سازوکار آن را راستا لغز چپ‌بر معرفی نموده است.

(سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کیاسر بخشی از گسل آستانه را در این ورقه بررسی کرده‌اند و آن را یک گسل کواترنری راستا لغز راست‌بر معرفی کردند.

(Axen et al. 2001)، سیستم ترا فشارش چپ‌بر از پلیوسن را حاکم بر هندسه ساختارهای البرز مرکزی – خاوری دانسته و معتقدند بیشتر گسل‌ها با یک هندسه‌ی گل مانند به درون رشته‌کوه شیب پیدا کرده‌اند و جدایش معکوس از خود نشان می‌دهند.

(Allen et al. 2003)، بر این باورند که تغییر شکل در البرز به صورت کوتاه شدگی مایل بوده و سبب تجزیه‌ی دگر ریختی به دو مؤلفه‌ی چپ‌بر موازی رشته‌کوه و راندگی عمود بر آن شده است. ایشان عامل این تغییر شکل را حرکت روبه شمال ایران مرکزی و نزدیک شدگی صفحات عربی و اوراسیا و حرکت روبه جنوب باختر حوضه‌ی خزر جنوبی نسبت به البرز و ایران مرکزی می‌دانند.

(Allen et al. 2003)، بر اساس مشاهدات صحرایی و لرزه‌خیزی البرز، واتنش در این بخش را به دو مؤلفه‌ی شیب‌لغز (راندگی‌ها) و راستا لغز تقسیم‌بندی نموده‌اند.

بر پایه‌ی داده‌های GPS، کوتاه شدگی شمالی – جنوبی  $5 \pm 2$  میلی‌متر در سال و برش چپ بر  $4 \pm 2$  میلی‌متر در سال (Vernant et al. 2004) برآورد شده است.

پژوهش‌های نوین نشان می‌دهند که نحوه‌ی دگرشکلی در گستره‌ی البرز مرکزی به گونه‌ی ترافشارشی چپ‌بر و به موازات ساختارهای البرز است (Jackson et al. 2002).



گسل پویای آستانه با روند شمال خاوری- جنوب باختری در بخش خاوری البرز مرکزی قرار دارد. این گسل، نخستین بار توسط (Berberian and King, 1981) در باختر روستای آستانه (شمال باختری دامغان) در مجاورت جاده آستانه- فولادمحله به صورت دو گسل موازی در کنار هم و با ذکر نشانه‌هایی از برش چپ‌بر در رسوبات آبرفتی کواترنری، با درازایی بیش از ۷۵ کیلومتر در جنوب باختری آستانه و چشمه‌علی شناسایی و معرفی شد. وی سازوکار گسل آستانه را راندگی با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر اعلام کرد.

(بربریان و قریشی، ۱۳۶۷) ویرانی دژ فولادمحله و نیز رویداد زمین‌لرزه ۲۲ دسامبر ۸۵۶ میلادی کومس با بزرگی  $M_s=7.9$  را با احتمال جنبش گسل آستانه مرتبط دانسته‌اند.

(سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) در نقشه زمین‌شناسی 1:100000 کیاسر بخشی از این گسل را که در ورقه یادشده قرار می‌گیرد، یک گسل کواترنری راستا لغز راست‌بر معرفی کرده‌اند.

(Jackson et al. 2002)، نیز سازوکار این گسل را راستا لغز چپ‌بر معرفی کرده‌اند.

(بربریان و همکاران، ۱۳۷۵)، گسل آستانه را در کنار گسل‌های مشاء و فیروزکوه مرز بین ایالت زمین ساختی البرز شمالی و جنوبی قرار داده‌اند. گسل آستانه با راستای چپ‌بر شمال خاوری- جنوب باختری، درازای رودخانه‌ی آستانه را در 25 کیلومتری شمال باختری شهر دامغان می‌پیماید و از نظر زمین‌شناسی بین نهشته‌های دولومیتی و آهکی ژوراسیک (سازند لار) و رسوبات رودخانه‌ای جوان در سوی شمالی گسل (فرودیواره) و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک و دولومیت توده‌ای تریاس در سوی جنوبی گسل (فرادیواره) قرار می‌گیرد.

گسل آستانه، در بیشتر درازای خود دست‌کم در دو خط گسل کم‌وبیش موازی و بافاصله نزدیک به ۱۵ تا ۵۰۰ متر، به همراه شاخه‌های فرعی آن منطقه گسلی به نسبت وسیعی را می‌سازد که در امتداد آن دره‌ای با کف به نسبت مسطح با پوشش قابل توجه نهشته‌های کواترنری شکل‌گرفته است و سازوکار آن

را راستا لغز چپبر دانسته است (امیدی، ۱۳۸۰).

گسل آستانه دارای هندسه‌ی تقریبی N65E,70NW و سازوکار امتدادلغز بامولفه‌ی افقی چپبر است (امیدی، ۱۳۸۰).

از نشانه‌های آشکار زمین‌ریخت‌شناسی جنبا بودن گسل آستانه، وجود 45 متر جابه‌جایی چپ‌گرد نهشته‌های رودخانه‌ای در نزدیکی طول جغرافیایی 54 درجه است (شکل ۴-۲)، شروع جابه‌جایی رویداد رخ داده در  $2 \pm 12$  هزار سال پیش بوده که محل آن در شرق گسله برآورد شده است (Hollinworth et al, 2008).

بر پایه کارهای نو، گسل آستانه با سامانه پلکانی یا نردبانی (En-Echelon)، یک گسل راستا لغز با راستای خاور شمال خاوری- باختر جنوب باختری و سازوکار چپ‌گرد است (Hollinworth et al, 2010).

برآورد آهنگ لغزش افقی و قائم در هر رویداد وابسته به نتایج تعیین سن است، ولی با توجه به جابه‌جایی افقی و برش چپ‌بر بادبزنی‌های آبرفتی در حدود ۵۵ متر، در راستای گسل آستانه، اگر بتوان تشکیل بادبزنی‌های آبرفتی را به رسوب‌گذاری پس از آخرین عصر یخ (که ۱۰۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ سال طول انجامید) نسبت داد، در این صورت آهنگ لغزش افقی در راستای این بخش از گسل آستانه، حدود ۲٫۵ میلی‌متر در سال خواهد بود (شکری و همکاران، ۱۳۸۶).

(رحیمی، ۱۳۸۱)، با مطالعه اثر سطحی گسل آستانه - طزره در نقاط مختلف مطرح کرد که این گسل به صورت یک گسل منفرد نبوده و به صورت اجتماعی از قطعات گسلی با آرایش پوششی است که یک زون گسلی به عرض تقریبی ۵۰۰ متر را به وجود آورده است.

پردازش سازوکار خردلرزه‌ها، سازوکار راستا لغز چپ‌گرد با کمی سامانه شیب‌لغز وارون برای جنبش گسل آستانه در بازه زمانی لرزه‌خیزی دستگاهی پیشنهاد می‌کند (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۱).

ویژگی‌های چینه‌ای و نشانه‌های برداشت‌شده موجود از دیواره ترانسه شماره ۴، بر رخداد دست‌کم ۴ تا ۵ زمین‌لرزه کهن، بر روی گسل آستانه به‌عنوان گسلی با سازوکار چپ‌بر با مؤلفه عادی (نرمال) دلالت دارند (شکری و همکاران، ۱۳۸۸).

## ۱-۵- روش انجام تحقیق

برای انجام پژوهش موردنظر، رسیدن به اهداف از پیش تعیین‌شده آن از روش‌های پژوهشی مختلف زیر به شرح زیر استفاده شده است:

۱- مطالعات کتابخانه‌ای: اعم از بررسی مقالات و گزارش‌های پژوهش‌های انجام‌شده، بررسی و مطالعه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های دورسنجی.

۲- بررسی داده‌های دورسنجی منطقه: شامل تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی

۳- انجام مطالعات صحرایی: زمین‌شناسی صحرایی با تأکید بر اندازه‌گیری ساختاری در منطقه، اعم از چین‌خوردگی و گسل‌ها

لازم به توضیح است که مطالعات صحرایی جهت برداشت‌های صحرایی زیر صورت گرفته است:

\_ برداشت ویژگی‌های لایه‌بندی در پیمایش‌های ساختاری عمود بر روند ساختارهای اصلی

\_ شناسایی آثار گسلش سطحی و تعیین سازوکار آن‌ها با استفاده از چینه‌شناسی و ریخت‌شناسی سطوح گسل و ساختارهای فرعی.

شایان‌ذکر است که نحوه بیان موقعیت عناصر ساختاری صفحه‌ای به‌صورت شیب و جهت شیب (Dip, Dip Direction) و عناصر خطی به‌صورت میل و جهت میل (Azimuth, Plunge) است.

۴- تحلیل داده‌های ساختاری

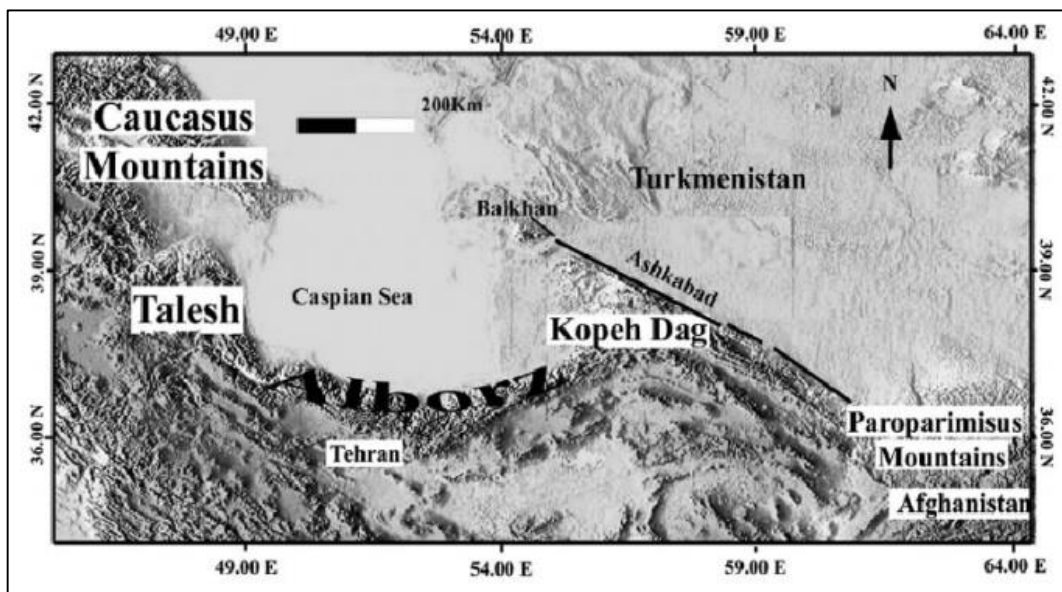
-تحلیل داده‌های ساختاری که برگرفته از مطالعات قبلی، داده‌ها و اطلاعات به‌دست‌آمده از برداشت‌های صحرائی است. که پارامترهای ساختاری برداشت‌شده چین‌ها برای تقسیم‌بندی بر اساس زاویه بین یالی و سطح محوری (Fleuty,1964) و شیب و پلانژ (Reykard,1971) صورت گرفته است. داده‌های برداشت‌شده گسل برای تعیین وضعیت هندسی، سازوکار و مدل جنبشی صورت گرفته است. به این منظور از نرم‌افزارهای استریوگرافیک مانند: Tectonic FP، Dips، Georient و Faultkin استفاده‌شده است.

۵-تدوین پایان‌نامه و اضافه نمودن دستاوردهای جدید بر نقشه‌های موجود از طریق اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای عکس‌های هوایی و برداشت‌های صحرائی با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط مانند: Global Mapper، Arc Gis و ... به انجام رسیده است.

# فصل دوم

## زمین شناسی

با توجه به روندهای ساختاری و رخساره‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه و بر اساس تقسیم‌بندی زون‌های رسوبی-ساختاری ایران، ناحیه مورد مطالعه در قسمت خاوری زون رسوبی-ساختاری البرز قرار دارد (شکل ۱-۲). به همین لحاظ در این فصل تاریخچه‌ی زمین‌ساختی پهنه البرز، به‌ویژه البرز خاوری و همچنین چینه‌شناسی منطقه مطالعاتی، مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۲- تصویر SRTM از رشته‌کوه البرز در شمال ایران (برگرفته از Ehteshami and Yassaghi 2006)

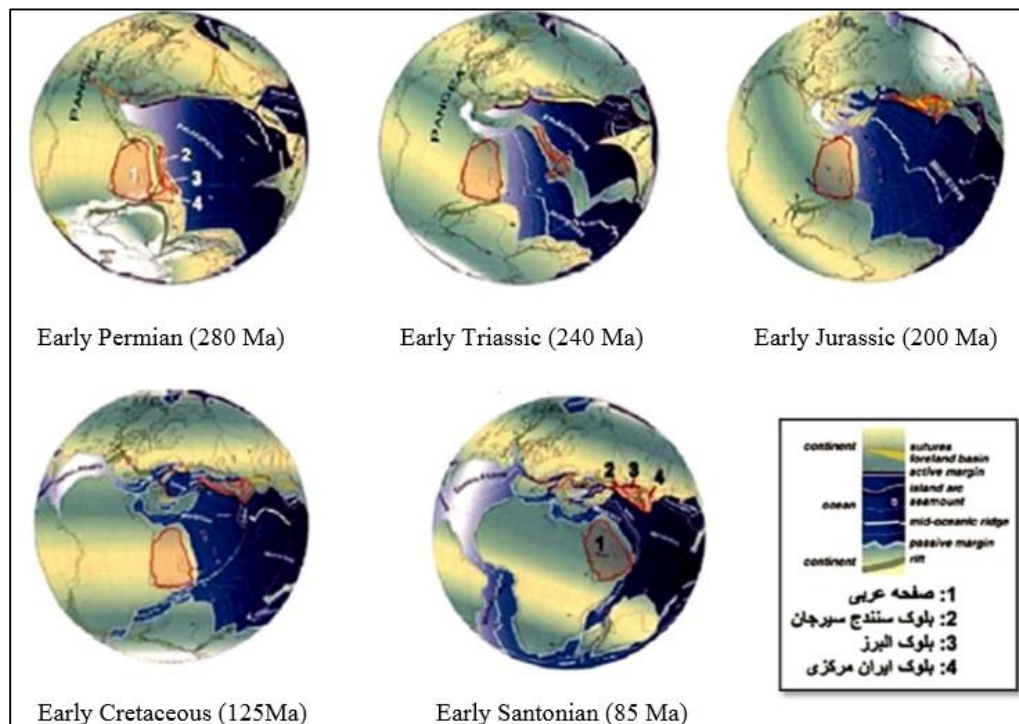
## ۱-۲- زمین‌ساخت البرز

رشته‌کوه البرز در شمال ایران، کمان مرتفعی است که از انتهای تالش در غرب (حدود  $49^{\circ}E$  و  $37^{\circ}N$ ) تا تقاطع آن با کپه داغ در شرق (حدود  $56^{\circ}E$ ) گسترده شده است (Jackson et al., 2002). بنابر نظر (Alavi, 1996) این رشته‌کوه بخشی از سلسله جبال آلپ-همیالیا محسوب می‌گردد که در حالتی سینوسی با طول ۲۰۰۰ کیلومتر از کوه‌های قفقاز کوچک در ارمنستان و آذربایجان شروع و تا کوه‌های پامیر در شمال افغانستان در شرق امتداد دارد.

پوسته البرز حدود ۳۵ کیلومتر ضخامت دارد (Tatar, 2001) و شامل ردیف‌های ضخیمی از سنگ‌های پرکامبرین پسین تا عهد حاضر است. به نظر می‌رسد در زمان نئوژن، دو حوضه رسوبی دریایی غیر

مرتبط وجود داشته است، یکی حوضه خزر جنوبی (در شمال) و دیگری حوضه میوسن (سازند قم) در ایران مرکزی (در جنوب) (Berberian and King, 1981; Stocklin, 1974).

در اواخر دوران پالئوزوئیک تا ابتدای مزوزوئیک، البرز و ایران مرکزی از گندوانا جدا شده و با حرکت تدریجی به سمت شمال، طی تریاس پسین (Sengor et al. 1988) به ورقه شمالی برخورد کرده (شکل ۲-۲) و زمین درز کهن را به وجود آورده‌اند (Berberian and King, 1981).



شکل ۲-۲- تکامل ساختاری البرز در طی پرمین آغازین - سانتونین پیشین (Stampfli and Borel, )

(2002)

(Stampfli et al. 1991) پیشنهاد کردند که بلوک البرز در زمان اردووسین-سیلورین از سرزمین گندوانا جدا شده است و به نظر (Sengor et al. 1988) این بلوک در تریاس انتهایی با اوراسیا برخورد کرده است.

البرز یک کمربند چند کوهزادی است که توسط کوهزادهای سیمراید (Cimmeride) و آلپاید (Alpide) به ترتیب از تریاس تا الیگومیوسن متأثر شده است (Alavi, 1996). از طرف دیگر این رشته کوه یک مثال عالی از تغییر شکل همزمان فشاری و امتدادلغز است (Allen et al., 2003).

به نظر (Jackson et al. 2002)، رشته کوه البرز در حال حاضر تحت کوتاه شدگی چپبر مایل قرار دارد ضمن آنکه ساختارهای مبین حرکت امتدادلغز چپبر در البرز خاوری بیش از البرز باختری است.

بنابر نظر (Alavi, 1996)، رشته کوه البرز یک کمربند چین-راندگی است که در نتیجه عملکرد گسل‌های راندگی به شکل تجمع‌های تاقدیس گون درآمدہ است.

به باور (Berberian et al, 1981)، در زمان پرکامبرین (پیش از ۶۵۰ میلیون سال قبل)، نواحی البرز، ایران مرکزی، سنندج-سیرجان و زاگرس در حاشیه شمالی قاره گندوانا قرار داشته‌اند و به وسیله اقیانوس تتیس (اقیانوس پرکامبرین) از پهنه کپه داغ و به تبع آن از قاره اوراسیا جدا بوده‌اند.

آمیزه‌های کافتی با سرشت قلیایی به همراه نهشته‌های تبخیری نظیر واحدهای سنگ چینه‌ای سری ریزو، سری دسو و سری راور در ایران مرکزی (کرمان) و یا مجموعه هرمز در جنوب خاوری زاگرس شواهدی هستند مبنی بر واگرایی دو قاره اوراسیا و گندوانا در زمان پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین (۶۵۰ تا ۴۰۰ میلیون سال) که حاصل آن فروافتادگی‌هایی در ایران مرکزی، سنندج-سیرجان و زاگرس مرتفع بوده است.

در چرخه رخداد هرسی نین (۴۰۰ تا ۲۷۰ میلیون سال)، حرکت دو قاره اوراسیا و گندوانا همگرا بوده و در نتیجه فرابوم‌هایی در ایران مرکزی، سنندج-سیرجان و زاگرس پدیدار شده‌اند که یکی از پیامدهای آن کاهش پهنای تتیس کهن (اقیانوس هرسی نین) و آغازی بربسته شدن این محیط آبی بوده است.

از اوایل پرمین تا میانه تریاس (۲۷۰ تا ۲۲۰ میلیون سال)، ضمن ادامه فرورانش و کاهش گستره تتیس کهن، در محل تقریبی راندگی اصلی زاگرس، اشتقاق دیگری شکل گرفته که نام تتیس جوان دارد و بربریان برای آن اقیانوس آلپی زاگرس را برگزیده است. در نتیجه این اشتقاق، صفحه ایران از صفحه زاگرس-عربستان جدا شده و هم‌زمان با گسترش بستر تتیس جوان، صفحه ایران به سمت شمال حرکت کرده است.



به دنبال رسوب‌گذاری نهشته‌های آواری پالئوسن و کاهش فعالیت گسل‌های رو رانده در نوار چین-خورده- گسلیده، لیتوسفر جهت برقراری تعادل ایزوستاتیک در زیر بار حاصل از وزن نوار چین‌خورده- گسلیده‌ای که با پیوستن ورقه‌های جدید، سنگین‌تر و حجیم‌تر از قبل شده، فرونشینی نموده است. حوضه فورلند تحت چنین شرایطی مجدداً توسط آب پوشیده شده و رسوب‌گذاری نهشته‌های کربنات و دریایی کم‌عمق سازند زیارت در آن به وقوع پیوسته است. با فرونشینی بیشتر، حوضه فورلند عمیق‌تر شده و محیط در ائوسن برای رسوب‌گذاری نهشته‌های توربیدایتی سازند کرج فراهم شده است (رحیمی، ۱۳۸۱).

(رحیمی، ۱۳۸۱)، این‌طور بیان می‌کند که حوضه فورلند دریایی البرز در آغاز نئوژن به دلیل بالآمدگی فلات ایران و نیز افت سطح جهانی آب‌ها (Vail et al, 1977) به یک فورلند غیر دریایی تبدیل شده است. توالی رسوبات از نئوژن تا عهد حاضر در این پهنه، به‌طور عمده از نوع آواری و پلایایی است. رسوبات متعلق به این بازه از چندین سیکل از رسوبات آواری ضخیم شونده و درشت شونده به سمت بالا تشکیل شده است. این سیکل‌های آواری توسط مجموعه‌هایی از رسوبات پلایایی از یکدیگر جدا می‌شوند. سیکل‌های آواری، مجموعه‌های هم‌زمان با کوهزایی هستند که در نتیجه فعالیت نوار چین‌خورده- گسلیده البرز، پیوستن ورقه‌های جدید از پوشش رسوبی فورلند، بالآمدگی و متعاقب آن تجدید حیات فرسایش، تشکیل شده‌اند.

تکامل پوسته البرز در اواخر دوران سنوزوئیک را به این صورت می‌توان بیان کرد که در میوسن تغییر شکل احتمالاً بیشتر فشارشی و همراه با حرکت عموماً راست‌بر بوده است. حرکت فشارشی بعد از میوسن که تاکنون نیز ادامه دارد، سبب جابجایی چپ‌بر شده است. حرکت به سمت باختر پی‌سنگ خزر جنوبی، نسبت به ایران مسبب این جابجایی چپ‌بر است (Allen et al, 2003).

## ۲-۲- واحد های سنگی منطقه مورد مطالعه

بر اساس مطالعات صحرایی صورت گرفته و نقشه های زمین شناسی موجود توالی های تشکیل دهنده ناحیه مورد مطالعه از سنگ های مزوزوئیک تشکیل شده است.

سازند الیکا به سن تریاس زیرین-میانی قدیمی ترین و نهشته های کواترنری جدیدترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه را تشکیل می دهند.

### ۲-۲-۱- سازند الیکا

این سازند به سن تریاس زیرین-میانی با رخساره تقریباً ثابت، گسترش وسیعی در شمال ایران دارد که در محدوده مورد مطالعه در غرب روستای فولادمحلله قابل مشاهده است. برش نمونه آن را در ۵ کیلومتری غرب دهکده الیکا (واقع در شرق گردنه کندوان) با ضخامت ۲۹۵ متر قرار دارد (Glaus, 1964). سازند الیکا دارای دو بخش اصلی است:

بخش زیرین را اصطلاحاً آهک ورقه ای و یا آهک ورمیکوله می نامند. ضخامت این واحد ۹۵ متر و شامل آهک های به شدت ورقه ورقه، زردرنگ تا آهک شیلی و گاهی آهک مارنی و دولومیتی است (درویش زاده، ۱۳۷۰).

بخش بالایی سازند الیکا متشکل از کربنات های دولومیتی-آهکی، ضخیم لایه، روشن رنگ و متراکم به ضخامت متفاوت (تا ۱۰۰۰ متر) است که عموماً سیمایی برجسته و کوه ساز دارند.

مرز زیرین سازند الیکا با سازند روته و مرز بالایی آن با سازند شمشک هر دو با یک افق فرسایشی مشخص می شود (شهرابی، ۱۳۷۸).

در منطقه مورد مطالعه بخش بالایی سازند الیکا رخمون دارد و متشکل سنگ‌های ضخیم لایه کم فسیل که دارای سن تریاس پسین است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- تصویر صحرایی از سازند الیکا در غرب روستای فولادمحله (دید به سمت باختر)

### ۲-۲-۲- سازند شمشک

در اکثر نقاط البرز گذر تریاس میانی به بالایی، ناپیوسته و بیانگر شواهدی از رویداد زمین‌ساختی سیمیرین پیشین است که با پایان گرفتن شرایط پلاتفرمی تریاس میانی همراه بوده است. در تریاس پسین پهنه البرز به یک دشت آبرفتی دلتایی تبدیل شده که گاه در آن مرداب‌هایی نیز شکل می‌گرفته است. نهشته‌های این زمان در البرز ردیف‌های به نسبت همگنی از شیل و ماسه‌سنگ بوده که با داشتن لایه‌های ذغالسنگی شاخص است. این شرایط در زمان ژوراسیک زیرین و میانی نیز ادامه داشته تا جایی که تفکیک نهشته‌های تریاس بالایی از ژوراسیک زیرین و میانی ممکن نیست (آقناباتی، ۱۳۷۷).

برش نمونه سازند شمشک را (Assereto, 1966) در دره علیای روته (شمال گردنه لاسم) با ضخامت ۱۰۲۷ متر معرفی کرد.

در منطقه مورد مطالعه، سازند شمشک در اکثر نواحی رخنمون داشته و غالباً متشکل از ماسه‌سنگ، شیل‌های خاکستری تیره تا سیاه، سیلتستون و رگه‌های ذغال تشکیل شده است که مرز زیرین آن با سازند الیکا و مرز بالایی آن با سازند دلیچای هر دو با ناپیوستگی فرسایشی مشخص می‌شوند (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- تصویر صحرایی از سازند شمشک (دید به سمت شمال خاوری)

### ۲-۲-۳- سازند دلیچای

مقطع نمونه این سازند در ساحل راست رودخانه دلیچای (در مسیر تهران به فیروزکوه) در محلی به نام پل فردوس واقع شده است (Stocklin, 1972). ضخامت این سازند در حدود ۱۰۷ متر است و از لحاظ لیتولوژی شامل آهک مارنی تا ماسه‌ای لایه‌نازک به رنگ خاکستر است که در آن گاهی شیل مارنی به صورت بین لایه‌ای دیده می‌شود. در بخش قاعده‌ای آن آلپت‌های آهکی با قلوه‌های لیمونیتی و گاهی ترک‌های گلی را می‌توان مشاهده کرد. در زیر سازند دلیچای، سازند شمشک با کنتاکت هم‌شیب قرار دارد و سطح فوقانی سازند دلیچای نیز به تدریج به آهک‌های لار به رنگ روشن ختم می‌گردد (درویش زاده، ۱۳۷۰).

(Saidi, 1995)، با مطالعه آمونیت‌های موجود در طبقات رسوبی این سازند سن ژوراسیک میانی را برای

آن پیشنهاد کرده است.

این سازند در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه و در غرب روستای رسم‌رودبار دیده می‌شود (شکل ۲-۵-الف) و متشکل از آهک و مارن حاوی آمونیت است (شکل ۲-۵-ب).



شکل ۲-۵-الف: تصویری از سازند دلیچای غرب روستای رسم‌رودبار (دید به سمت جنوب). د: آمونیت های سازند دلیچای

## ۲-۲-۴- رسوبات میوسن

این واحدها در مجموع از مارن‌های زرد، سبز و گاهی قرمز آجری، ماسه‌سنگ نازک لایه، کنگلومرای ریزدانه، ژئپس و گچ تشکیل شده است (شکل ۲-۶). این رسوبات مولاس گونه هستند و به نظر می‌رسد در یک حوضه فروافتاده نهشته شده‌اند. این رسوبات را می‌توان از نظر جایگاه زمانی با سازند قم بالایی در حوضه قم مقایسه کرد. این واحدهای رسوبی به همراه کنگلومرای نئوژن، رخنمون قابل توجهی در



بخش‌های مرکزی منطقه مطالعاتی رخنمون دارند.



شکل ۲-۶- رخنمون‌هایی از واحدهای میوسن. الف: تصاویری از رخنمون مارن و توف. ب: کنگلومرای در

منطقه مطالعاتی

### ۲-۳-۵- نهشته‌های کواترنری

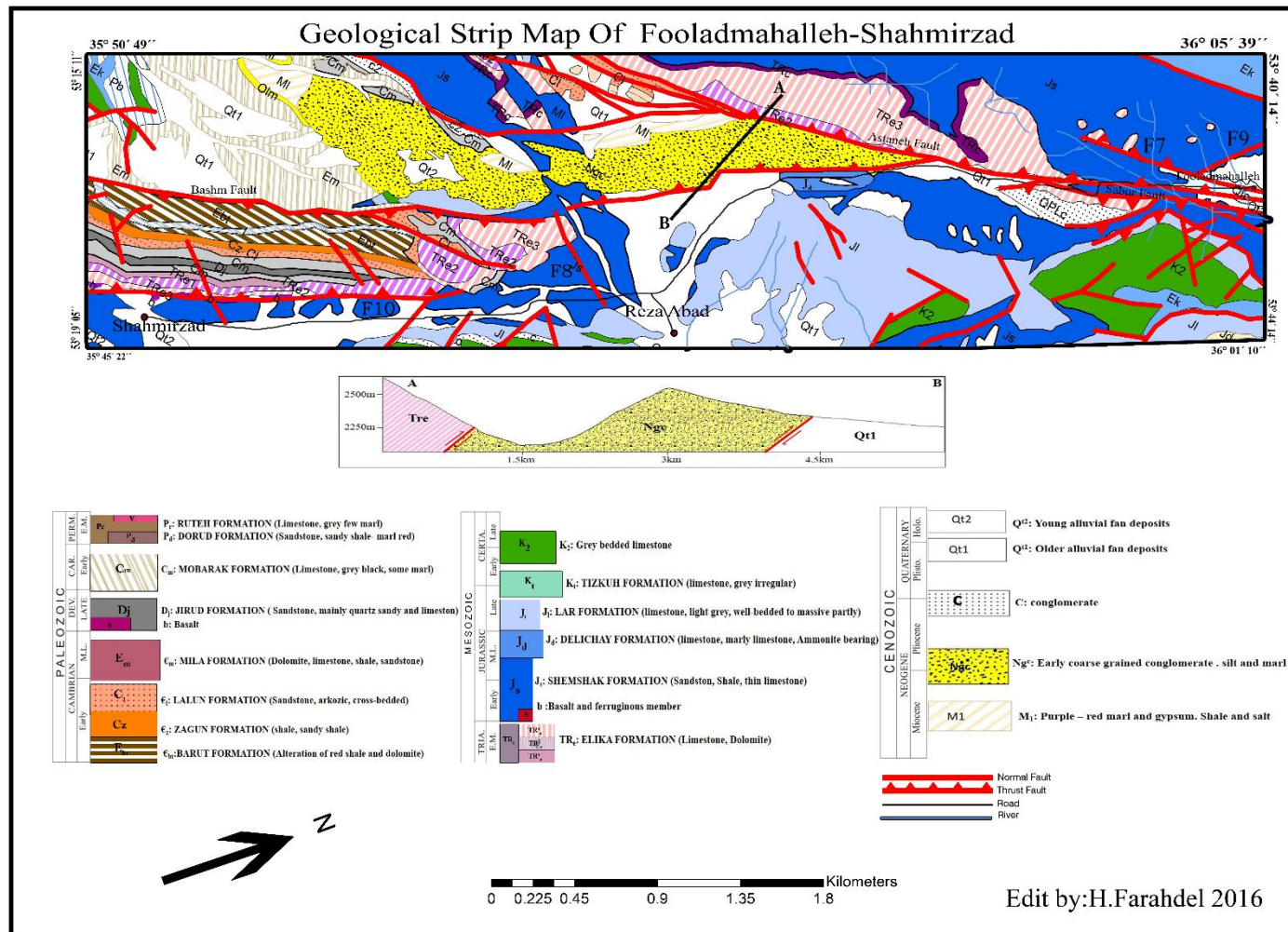
جوان‌ترین رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های کواترنری است که به صورت رسوبات سخت نشده و با فشردگی اندک، در قسمت‌های غربی منطقه دیده می‌شود. ستون چینه‌نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه، در شکل (۲-۷) آورده شده است.

Erathem	System	Seri Formation	Lithology	Description	
<b>Mesozoic</b>	<b>Jurassic</b>	Middle Delichay		Alternation of limestone and marl, with Amunite	
	<b>Triassic</b>	Lower Shemshak	Upper		coaly shale and coal, siltstone, conglomerate, Sandstone, shale
Middle Elika	Lower		Medium to thick bedded dolomite and dolomite limestone		
			Thin to medium bedded limestone		

شکل ۲-۷- ستون چینه‌شناسی سازندهای مربوط به دوران مزوزوئیک (بدون مقیاس)







شکل ۲-۱۰- نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه؛ اقتباس از نقشه‌های زمین شناسی سمنان و ساری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (فرحدل، ۱۳۹۵)



# فصل سوم

## زمین‌شناسی ساختمانی

جایگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (البرز خاوری)، ساختارهای این منطقه، اعم از گسل‌ها، از روند کلی شمال خاوری - جنوب باختری این بخش از زون ساختاری - رسوبی البرز، پیروی می‌کنند. نقش گسل‌ها در تحولات زمین‌ساختی و همچنین تکوین حوضه‌های ساختاری - رسوبی ایران از دیدگاه زمین‌شناسان پوشیده نیست. گسل‌های یادشده به‌طور عموم مرز واحدهای ساختاری - رسوبی مختلف ایران را تشکیل می‌دهند و با فعالیت خود موجب تغییرات عمده در رخساره‌های سنگی می‌شوند.

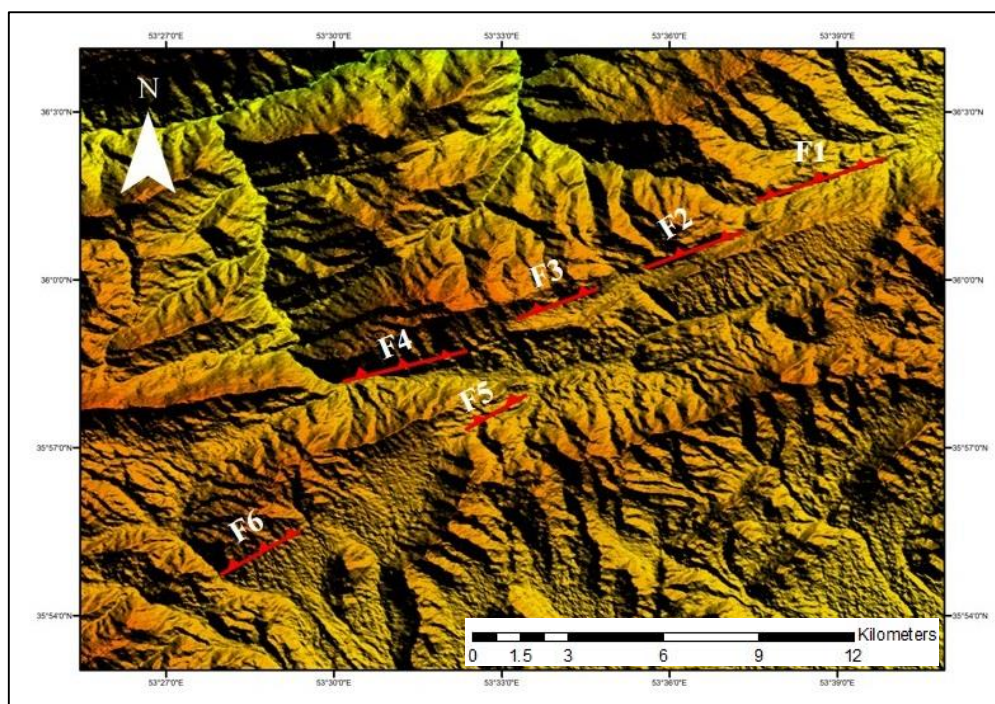
عمومی‌ترین مظاهر دگرشکلی در سنگ‌ها، چین‌ها هستند که تحت شرایط متنوعی در انواع سنگ‌ها شکل می‌گیرند. چین‌های زمین‌ساختی در پاسخ به عملکرد تنش فشاری ناشی از حرکت صفحات و تشکیل کمربندهای کوهزایی به وجود می‌آیند. در منطقه مورد مطالعه نیز سازندهای شمشک و دلیچای، تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی دچار چین‌خوردگی شده‌اند.

### ۳-۱- گسل:

گسل، به شکستگی‌هایی اطلاق می‌شود که سنگ‌های دو طرف شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت کرده باشند. این جابجایی می‌تواند از چند میلی‌متر تا صدها متر باشد و به کمک همین مشخصه، می‌توان آن‌ها را از درزه‌ها تشخیص داد. در واقع حضور گسل در یک منطقه نشان می‌دهد که در زمان گذشته در طول آن جابه‌جایی رخ داده است. گسل‌های اصلی منطقه هم‌راستا با ساختارهای البرز خاوری (شمال خاوری-جنوب باختری) می‌باشند که به این نوع گسل‌ها، گسل طولی و به گسل‌هایی که با روند تقریباً شمالی-جنوبی و شمال باختری-جنوب خاوری که ساختارهای زمین‌شناسی را به صورت عرضی قطع کرده‌اند و نسبت به گسل‌های طولی از نظر اندازه کوچک بوده، به عنوان گسل‌های عرضی نام نهاده شده است.

## F1-1-3- گسل

گسل F1 در ۷ کیلومتری جنوب باختری روستای فولادمحله با عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}01'16''$  تا  $36^{\circ}02'07''$  شمالی و طول جغرافیایی  $53^{\circ}37'41''$  تا  $53^{\circ}39'57''$  خاوری واقع شده است. واحدهای دو طرف گسل با توجه به مشاهدات صحرایی، واحدهای شیل و ماسه‌سنگی همراه با لایه‌های شاخص ذغالسنگی که منتسب به سازند شمشک هستند (سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) در یک‌سوی گسل واحدهای آهکی ضخیم لایه با رنگ روشن که با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی کیاسر (سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) سازند الیکا نامیده شده‌اند قرار دارند. همان‌طور که در تصویر ماهواره‌ای نیز دیده می‌شود (شکل ۱-۳) راستای کلی این گسل شمال خاوری - جنوب باختری است.

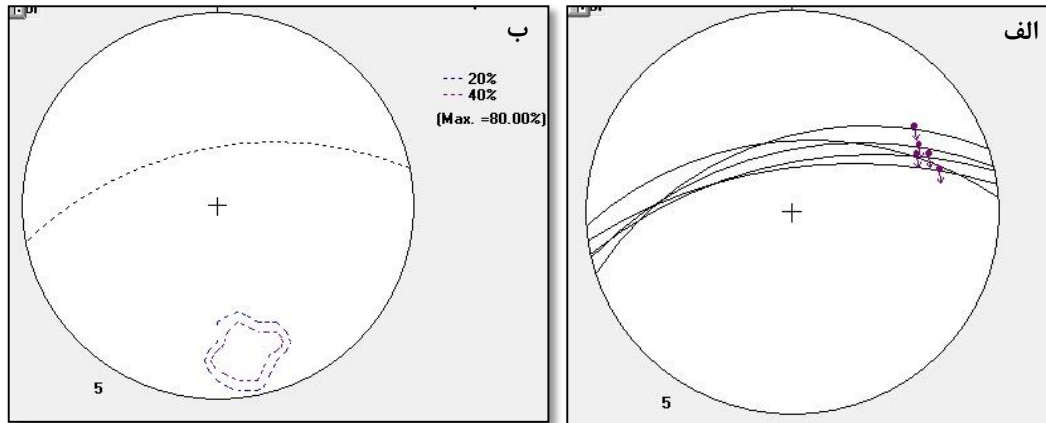


شکل ۱-۳- تصویر ماهواره قسمتی از منطقه مورد مطالعه به همراه نمایش گسل‌های F1 تا

F6

میانگین وضعیت هندسی گسل F1 بر اساس داده‌های برداشت شده،  $69/346$  به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۱) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای

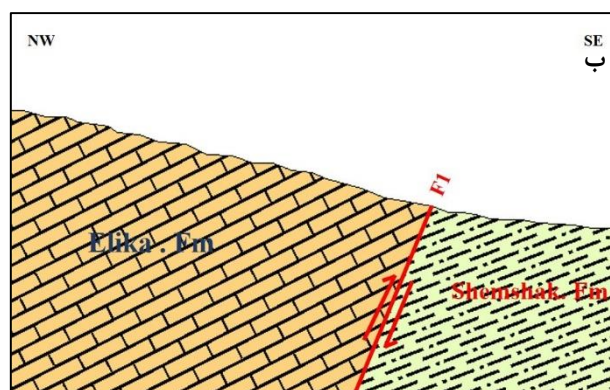
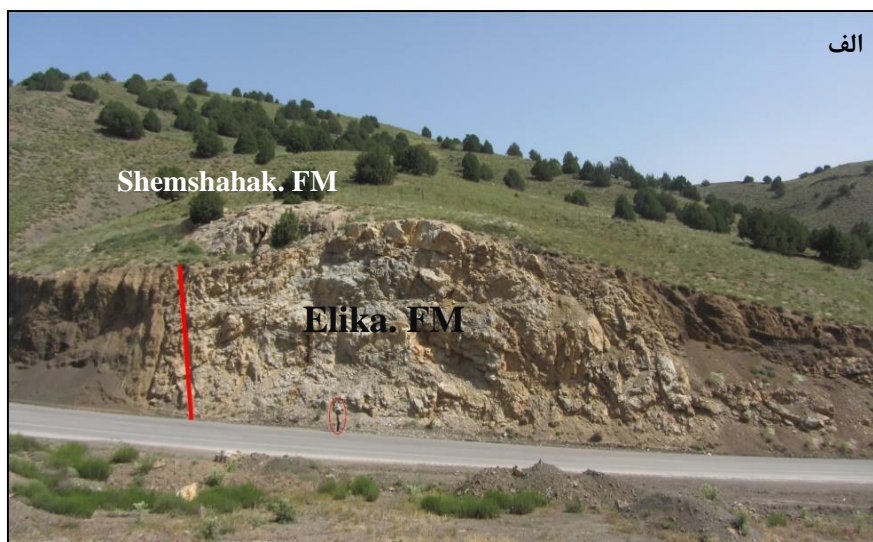
یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



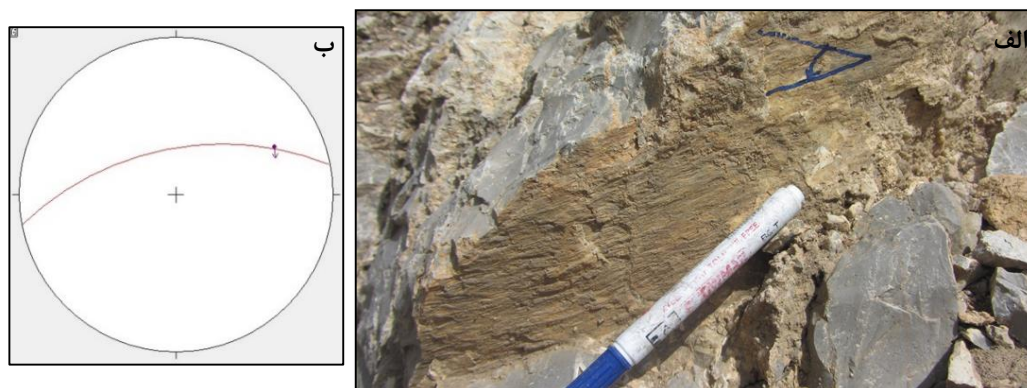
شکل ۲-۳-الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل F1. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. موقعیت خراش گسلی در این سطح ۳۲/۰۶۴ و موقعیت میانگین سطح گسلی برابر با ۶۶/۳۴۶ است.

گسل F1 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرادیواره شده است (شکل ۳-۳-الف). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۳-ب) رسم شده است؛ بنابراین طبق شواهد چینه نگاری این گسل دارای سازوکار معکوس است. علاوه بر شواهد چینه‌شناسی، بررسی‌های صحرائی بروی ریخت‌شناسی سطح گسل خش‌لغزهای با ریک ۳۴ درجه پادساعت‌گرد نشان می‌دهد که این خش‌لغزها مؤید سازوکار معکوس به‌دست‌آمده از روش چینه‌شناسی است. نمونه‌ی این سطوح در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. در نتیجه با توجه به شواهد ریخت‌شناسی سطح گسل و شواهد چینه‌شناسی، سازوکار این گسل به صورت معکوس است.





شکل ۳-۳- الف. تصویر صحرایی از رخنمون گسل F1. ب: برش نمادین از گسل F1



شکل ۳-۴- الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۳۴ درجه پادساعت گرد بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب:

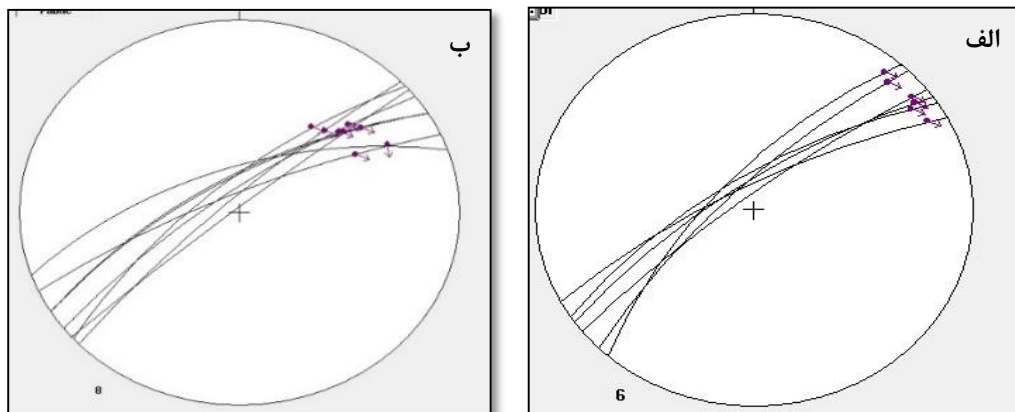
استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۶/۳۴۹ و خش لغزها با ریک ۳۴ درجه با موقعیت ۳۴/۰۶۵.

در نتیجه، با استناد بر مشاهدات صحرائی، سینماتیک و چینهناسی، سازوکار این گسل به صورت معکوس تعیین می‌شود.

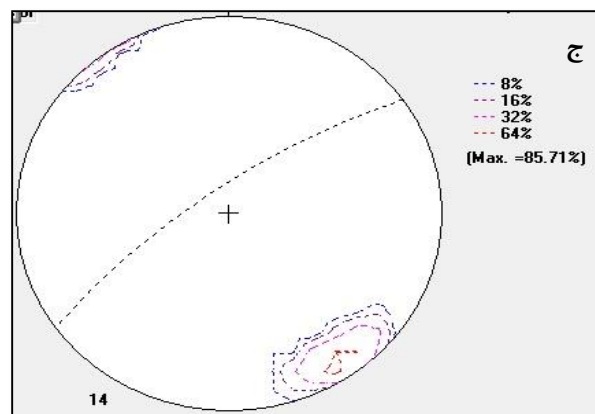
### ۳-۱-۲- گسل F2

گسل F2 در ۴ کیلومتری شمال خاوری روستای رسم‌رودبار در انتهای شمال خاوری خود دارای طول جغرافیایی  $36^{\circ}1'6.24''$  شمالی و عرض جغرافیایی  $53^{\circ}37'35.88''$  خاوری و در انتهای جنوب باختری خود دارای طول جغرافیایی  $36^{\circ}0'16.30''$  شمالی و عرض جغرافیایی  $53^{\circ}37'35.88''$  خاوری است. واحدهای دو طرف گسل با توجه به مشاهدات صحرائی، واحدهای شیل و ماسه‌سنگی همراه با لایه‌های شاخص ذغالسنگی که منتسب به سازند شمشک هستند (سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) در یک‌سوی گسل و واحدهای آهکی ضخیم لایه با رنگ روشن که با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی کیاسر (سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) سازند الیکا نامیده شده‌اند قرار دارند.

میانگین وضعیت هندسی گسل F2 بر اساس داده‌های برداشت‌شده،  $79/325$  به‌دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۲) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۵) نشان داده شده است.

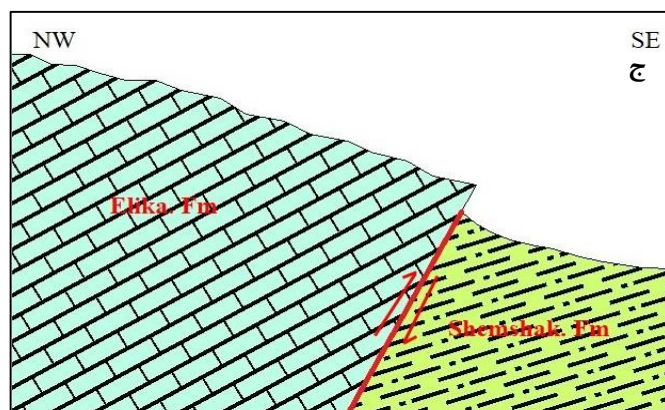






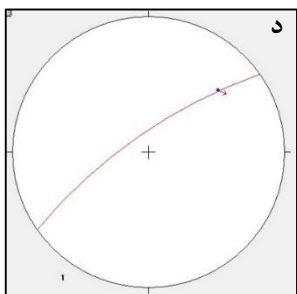
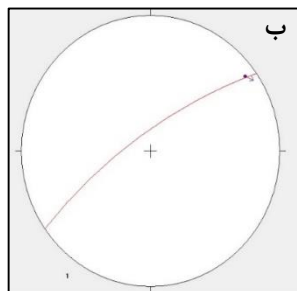
شکل ۳-۵- تصاویر سیکلوگرافیک: الف: سطوح گسلی دارای خراش‌های گسلی افقی با میانگین موقعیت ۱۰/۰۵۲. ب: سطوح گسلی دارای خراش‌های گسلی مورب با میانگین موقعیت ۳۳/۰۴۸. ج: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. موقعیت میانگین سطح گسلی ۷۹/۳۲۵ به دست آمد.

گسل F2 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرادیواره شده است (شکل ۳-۶-الف و ب). قابل ذکر است که در محل رخنمون گسل واحدهای شیلی به علت پوشش گیاهی و واریزه‌های واحد آهکی زیاد قابل تشخیص نبوده ولی در فاصله کمی از رخنمون به وضوح می‌توان واحد شیلی را تشخیص داد. مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۶-ج) رسم شده است؛ بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن می‌باشد. مشاهدات صحرائی بر روی این گسل دو نسل از خراش‌های گسلی را بر روی سطح گسل به اثبات رسانید. یک دسته از این خراش‌ها مورب با ریک حدود ۳۳ درجه (مورب‌لغز) هستند و دسته دوم، ریک نزدیک به ۱۰ درجه (راستالغز) دارند. نمونه این سطوح در شکل (۳-۷) نشان داده شده است. همچنین با استناد بر شواهدی همچون لمس دست، حرکت راستالغز به صورت چپ‌بر تعیین می‌شود.



شکل ۳-۶. الف: تصویر صحرایی از گسل F2 (دید به جنوب باختری). ب: تصویر صحرایی از گسل F2 (دید

به شمال خاوری). ج: مقطع نمادین از گسل F2.



شکل ۳-۷-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۹ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۹/۳۲۵ و خش لغزها با ریک ۹ درجه با موقعیت ۹/۰۵۳. ج: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۳۳ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۹/۳۲۵ و خش لغزها با ریک ۳۳ درجه با موقعیت ۳۳/۰۴۹.

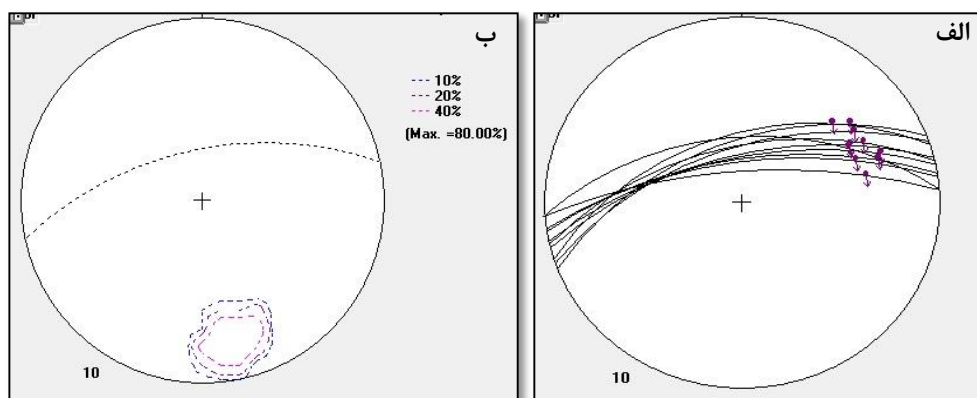
در نتیجه، با استناد بر مشاهدات صحرایی، سینماتیک و چینه‌شناسی، سازوکار این گسل به صورت معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ بر تعیین می‌شود.

### ۳-۱-۳- گسل F3

گسل F3 در شمال روستای رسم‌رودبار در عرض جغرافیایی  $35^{\circ}59'43.08''$  تا  $35^{\circ}59'1.41''$  و طول جغرافیایی  $53^{\circ}35'2.94''$  تا  $53^{\circ}33'31.09''$  واقع شده است. در این ایستگاه گسلش باعث رانده شدن سازند آهکی الیکا با سن تریاس بر روی سازند شیلی شمشک با سن ژوراسیک شده

است. همچنین در برخی نقاط گسلش فقط در واحدهای آهکی با رنگ روشن دیده می‌شود.

میانگین وضعیت هندسی گسل F3 بر اساس داده‌های برداشت‌شده، ۶۷/۳۴۸ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۳) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۸) نشان داده شده است.

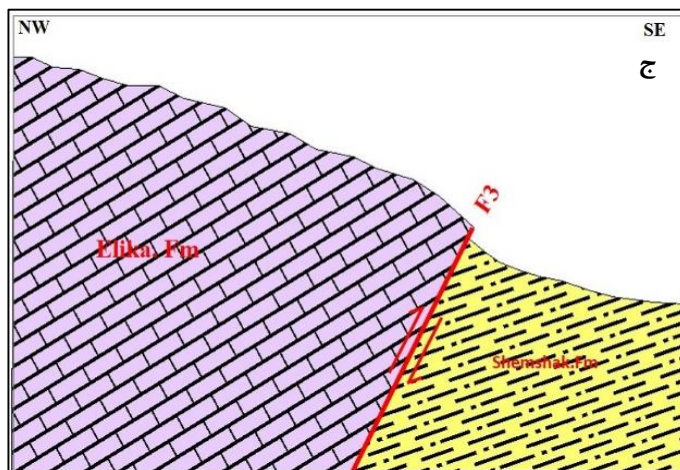
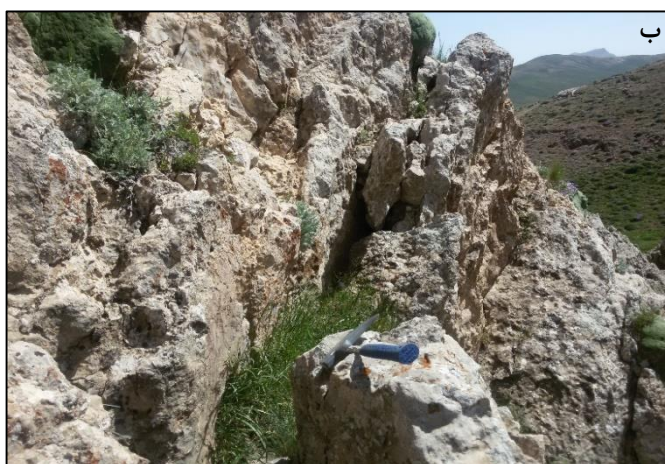


شکل ۳-۸- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطح گسل به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۳۶/۰۶۱. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطح گسلی در این ایستگاه ۶۷/۳۴۸.

گسل F3 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرادیواره شده است (شکل ۳-۹-الف و ب). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۹-ج) رسم شده است؛ بنابراین طبق شواهد چین‌شناسی این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن است.

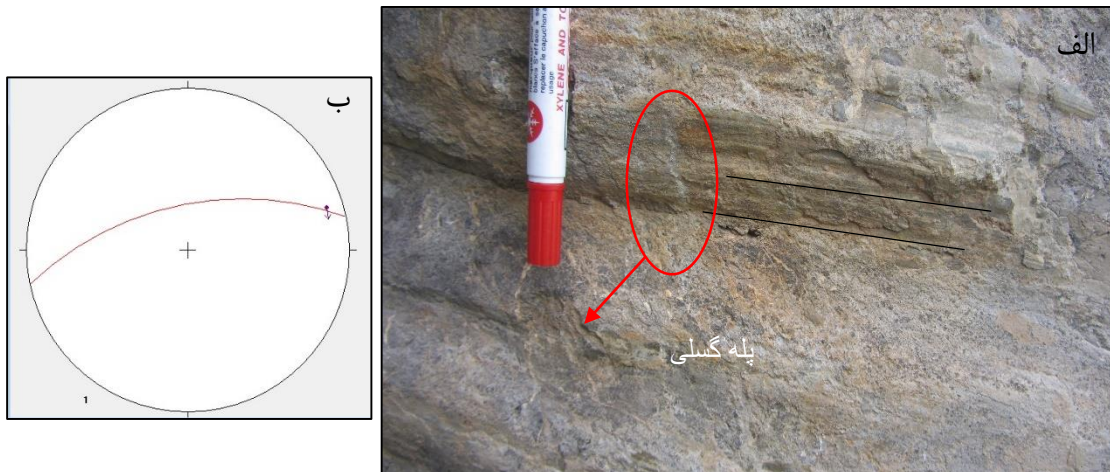
برداشت‌های روی زمین از خراش‌های گسلی، یک دسته خراش با ریک بین ۱۰ تا ۲۵ درجه پادساعت‌گرد را نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۰). با استناد به شواهد سینماتیک سطح گسل از جمله بالا رفتن لایه‌ها در فرادیواره، خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی، حرکت مورب‌لغز گسل به صورت معکوس بوده است. همچنین با استناد به همین شواهد، حرکت راست‌الغز گسل به صورت چپ‌بر است.





شکل ۳-۹. الف: تصویر صحرایی از گسل F3 (دید به شمال باختری). ب: تصویر صحرایی از گسل F3 (دید

به شمال خاوری). ج: مقطع نمادینی از گسل F3.



شکل ۳-۱۰-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۱۲ درجه و پله‌های گسلی بر روی سازند الیکا (فرادیواره).

ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۷/۳۴۸ و خش لغزها با ریک ۱۲ درجه با موقعیت ۱۲/۰۷۴.

در نتیجه، با استناد بر مشاهدات صحرایی، سینماتیک و چینه‌شناسی، سازوکار این گسل به صورت معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر تعیین می‌شود.

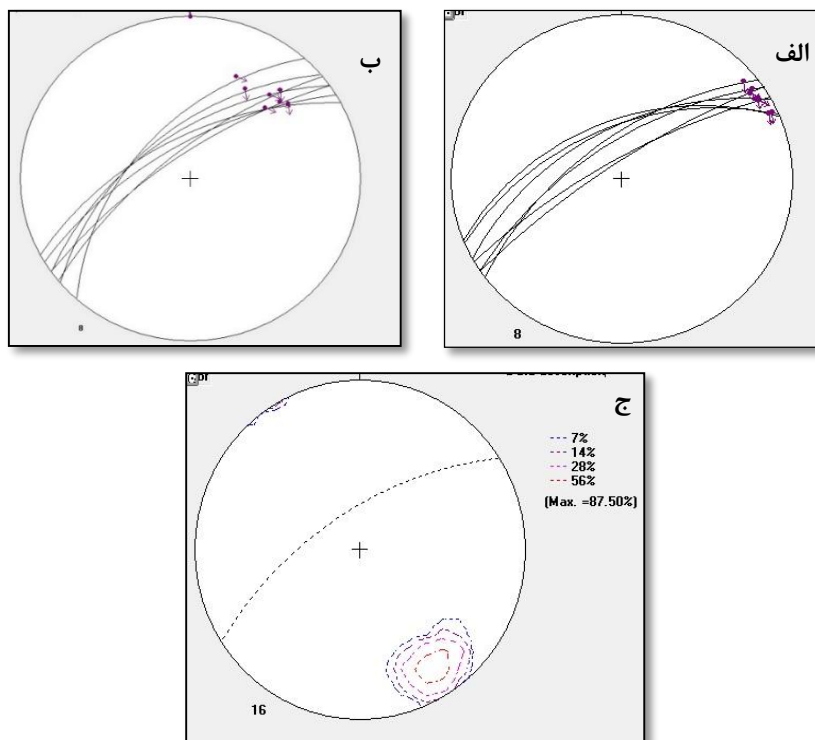
### ۳-۱-۴- گسل F4

گسل F4 در ۵ کیلومتری غرب روستای رسم‌رودبار دارای حدود ۴,۵ کیلومتر طول است. انتهای شمال خاوری این گسل در موقعیت جغرافیایی با عرض  $35^{\circ} 59' 4.23''$  شمالی و طول  $53^{\circ} 34'$   $13.86''$  خاوری و انتهای جنوب باختری در موقعیت جغرافیایی با عرض  $35^{\circ} 58' 9.61''$  شمالی و طول  $53^{\circ} 30' 6.56''$  خاوری قرار دارد. موقعیت این گسل در تصویر ماهواره‌ای نیز قابل‌ردیابی است.

واحدهای سنگی دو طرف گسل با توجه به مشاهدات صحرایی، واحدهای آهکی با رنگ روشن و لایه‌بندی ضخیم که سازند الیکا شناسایی شده‌اند و در طرف دیگر گسل واحدهای کنگلومرایی و مارنی نئوژن تشکیل داده‌اند.

با توجه به طول حدود ۴/۵ کیلومتری گسل F4، برداشت‌های صحرایی از ۱۶ نقطه مختلف از سطح گسل انجام شد. میانگین وضعیت هندسی گسل F4 بر اساس داده‌های برداشت‌شده، ۷۱/۳۲۷

به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۴) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است.

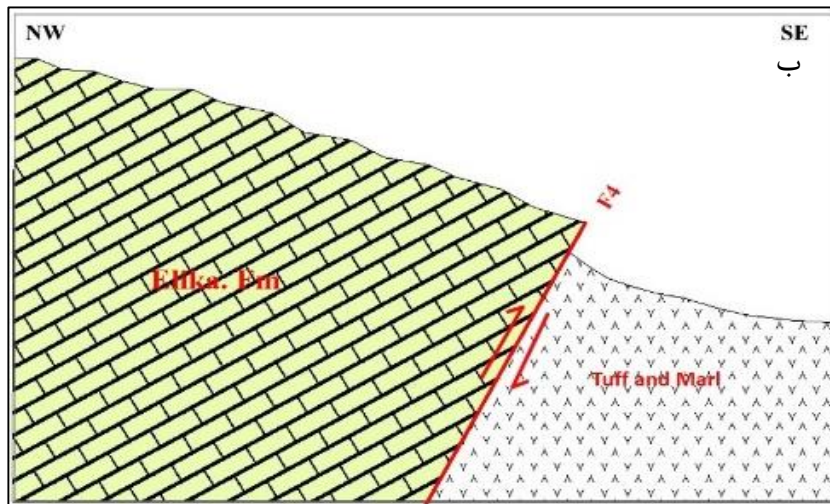


شکل ۳-۱۱- تصاویر سیکلوگرافیک: الف: سطوح گسلی دارای خراش‌های گسلی افقی با موقعیت ۹/۰۵۹ ب: سطوح گسلی دارای خراش‌های گسلی مورب با موقعیت ۳۲/۰۴۲ ج: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. موقعیت میانگین سطح گسلی در این ایستگاه، ۷۱/۳۲۷ به دست آمد.

گسل F4 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری واحدهای سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرودپواره بر روی مارن و کنگلومراهای ائوسن در فرودپواره شده است (شکل ۳-۱۲-الف و ب). مقطع نمادینی از این رخنمون در (شکل ۳-۱۲-ج) رسم شده است. بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز خود است. علاوه بر شواهد چینه نگاری، بررسی‌های ریخت‌شناسی بر روی سطح گسل دودسته خراش گسلی با ریک‌های ۹ درجه (راستا لغز) و ریک‌های ۳۲ درجه پادساعتگرد (مورب لغز) را نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۳). خراش‌های گسلی با ریک ۳۲ درجه موید سازوکار به دست آمده از روش چینه‌نگاری می‌باشند، نشان دهنده چیره بودن مؤلفه شیب‌لغز برای گسل F4 است. قابل ذکر است که این گسل دارای مؤلفه راستا



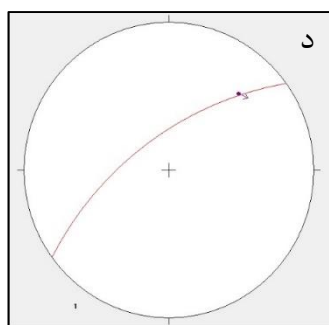
لغز هم می باشد که طبق اندازه گیری ها حرکت راستا لغز چپ بر است.



شکل ۳-۱۲-الف : تصویر صحرایی از گسل F4 (دید به شمال باختری). ب: برش نمادین از گسل F4.







شکل ۳-۱۳-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۹ درجه و پله های گسلی بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۳۲۷ و خش لغزها با ریک ۹ درجه با موقعیت ۹/۰۵۱. ج: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۳۲ درجه (پادساعت گرد) و پله های گسلی بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۳۲۴ و خش لغزها با ریک ۳۲ درجه با موقعیت ۳۲/۰۴۳.

در نتیجه با استناد به شواهد سطح گسل و شواهد چینه شناسی، سازوکار گسل F4 به صورت معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ بر تعیین می شود.

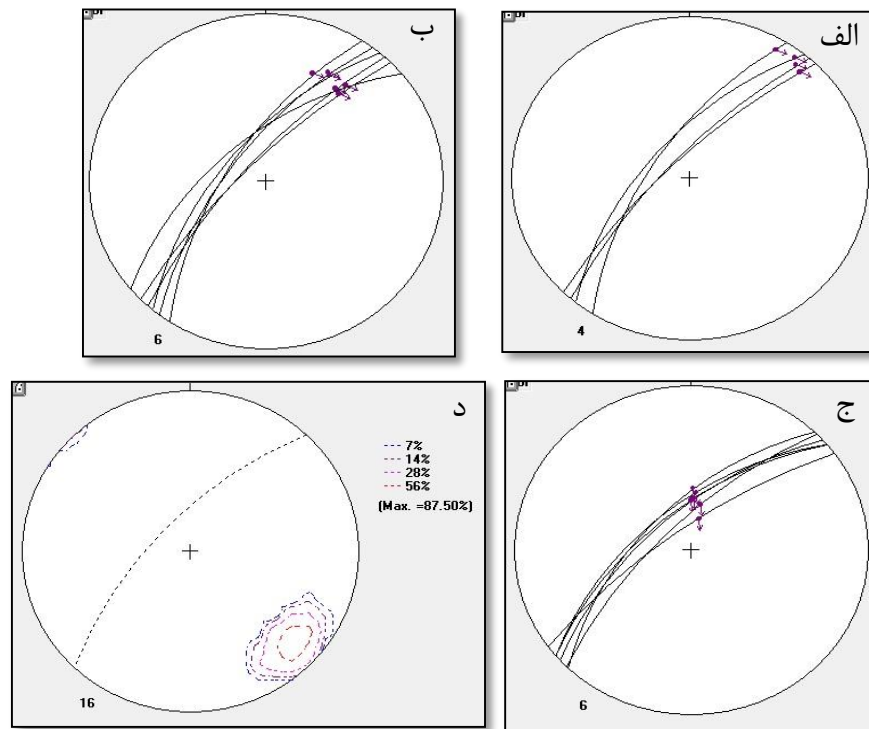
### ۳-۱-۵- گسل F5

گسل F5 در جنوب باختری روستای رسم رودبار با عرض جغرافیایی  $35^{\circ}57'51.82''$  تا  $35^{\circ}57'9.30''$  شمالی و عرض جغرافیایی  $53^{\circ}33'26.33''$  تا  $53^{\circ}32'8.23''$  خاوری واقع شده است. رخنمون این گسل در واحدهای آهکی نازک لایه به رنگ خاکستری روشن قرار دارد. این واحدهای آهکی با توجه وجود فسیل های آمونیت در به سازند دلیچای مرتبط دانستیم .

(Saidi, 1995)، با مطالعه آمونیت های موجود در این سازند سن ژوراسیک میانی را برای آن پیشنهاد کرد.

میانگین وضعیت هندسی گسل F5 بر اساس داده های برداشت شده، ۷۳/۳۱۴ به دست آمده است. این داده ها در پیوست (۵) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده ها و نمودار کنتوری قطب آن ها برای

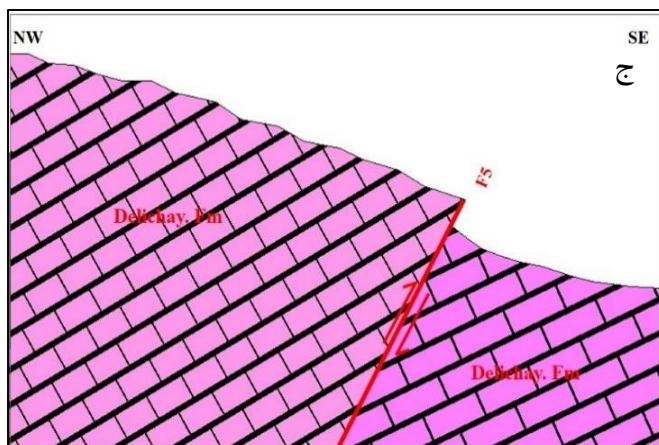
یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴ الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۷/۰۳۸. ب: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۳۰/۰۳۳. ج: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۶۹/۰۰۸. د: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت ۷۳/۳۱۴ می‌باشند.

گسل F5 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و برش واحدهای سازند آهکی دلیچای (ژوراسیک) شده است (شکل ۳-۱۵ الف و ب). مقطع نمادینی از این رخنمون در (شکل ۳-۱۵ ج) رسم شده است. مشاهدات صحرائی سه نسل از خراش‌های گسلی را بر روس سطح گسل به اثبات رسانید که عبارت‌اند از خراش‌ها با ریک ۷۱ درجه پادساعت‌گرد، خراش‌ها با ریک ۳۷ درجه پادساعت‌گرد و خراش‌ها با ریک ۷ درجه. بر اساس قاعده برش که خراش‌های قطع کننده خراش‌های گسلی دیگر از نظر سنی جوان‌تر هستند، خراش‌ها با ریک ۷۱ درجه قدیمی‌ترین و خراش‌ها با ریک ۷ درجه جوان‌ترین فاز حرکت بر روی گسل F5 هستند (شکل ۳-۱۶). به دلیل فرسایش زیاد بر روی

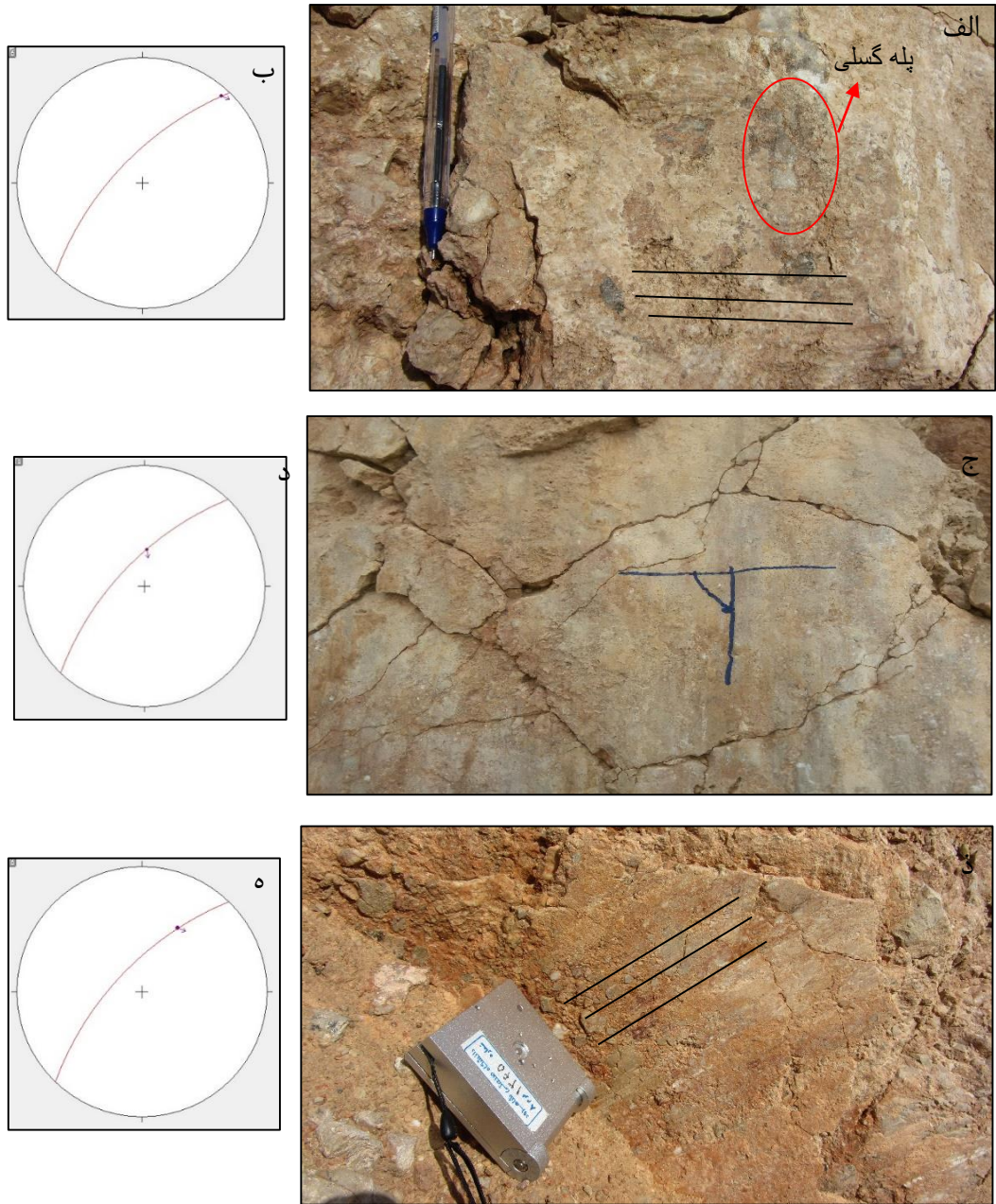
سطوح این گسل آثار خفیفی از پله‌های گسلی مشاهده شد که با توجه به این پله‌ها و همچنین بالا رفتن فرادیواره می‌توان معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌بر معرفی کرد.



شکل ۳-۱۵-الف: تصویر صحرایی از گسل F5 (دید به جنوب باختری). ب: تصویر صحرایی از گسل

F (دید به جنوب باختری). ج: برش نمادین از گسل F5.



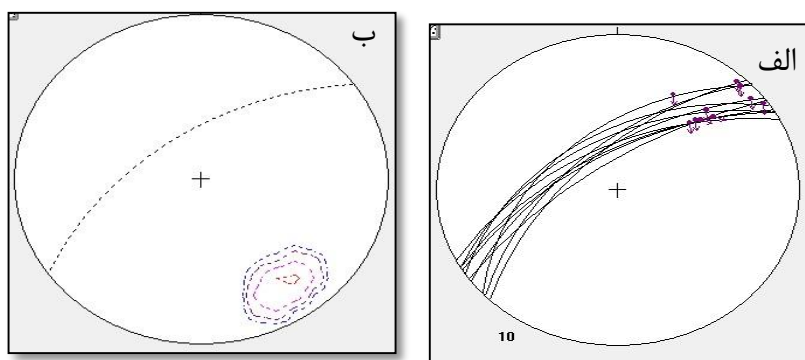


شکل ۳-۱۶-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک 7 درجه و پله‌های گسلی بر روی سازند دلیچای (فرادیواره).  
 ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۳۱۴ و خش لغزها با ریک ۷ درجه با موقعیت ۰۷/۰۴۲. ج: سطح گسلی همراه  
 با خش لغزهای با ریک ۴۳ درجه پادساعتگرد و پله‌های گسلی بر روی سازند دلیچای (فرادیواره). د: استریوگرام سطح  
 گسل با موقعیت ۷۳/۳۱۴ و خش لغزها با ریک ۴۳ درجه با موقعیت ۰۴۱/۰۲۸. ذ: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با  
 ریک ۷۱ درجه پادساعتگرد و پله‌های گسلی بر روی سازند دلیچای (فرادیواره). ه: استریوگرام سطح گسل با موقعیت  
 ۰۷۱/۳۱۴ و خش لغزها با ریک ۷۱ درجه با موقعیت ۰۶۵/۰۰۳.

### ۳-۱-۶- گسل F6

گسل F6 در 18 کیلومتری شمال خاوری شه میرزاد دارای عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 54' 36.46''$  تا  $35^{\circ}$  و طول جغرافیایی  $53^{\circ} 27' 22.97''$  تا  $53^{\circ} 26' 35.51''$  خاوری می باشد. واحدهای رخنمون یافته در دو طرف گسل، واحدهای آهکی صخره ساز و ضخیم لایه که با توجه به نقشه‌ی زمین شناسی سمنان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (نبوی، ۱۳۵۳) و سازند الیکا نامیده شده و در طرف دیگر گسل واحدهای شیلی و ماسه‌سنگی شمشک رخنمون دارد.

میانگین وضعیت هندسی گسل F6 بر اساس داده‌های برداشت شده،  $67/325$  به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۶) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۱۷) نشان داده شده است.

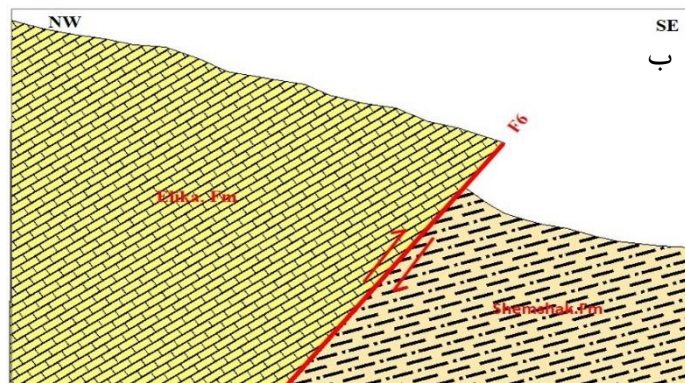


شکل ۳-۱۷- الف: سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت  $67/325$  می باشند.

گسل F6 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیلی و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرادیواره شده است (شکل ۳-۱۸- الف و ب). قابل ذکر است که در محل رخنمون گسل واحدهای شیلی به علت پوشش گیاهی و واریزه‌های واحد آهکی زیاد قابل تشخیص نبوده ولی در فاصله کمی از رخنمون به وضوح می‌توان واحد شیلی را تشخیص داد. مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۱۸- ج) رسم شده

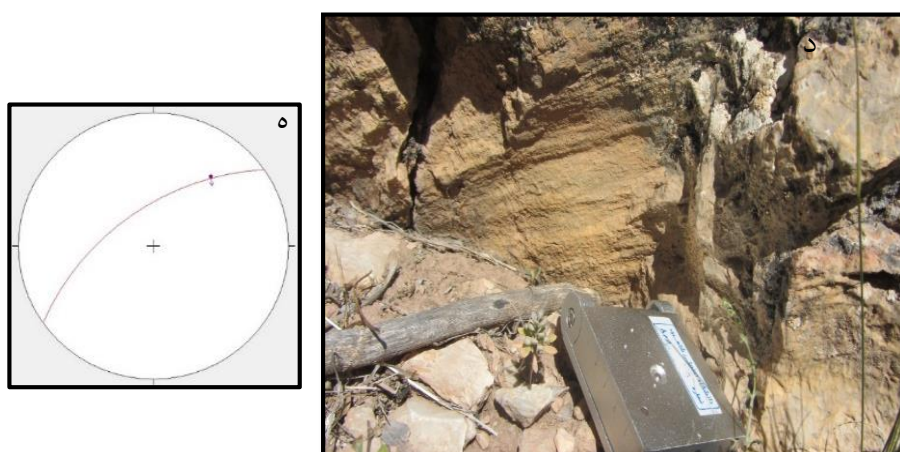
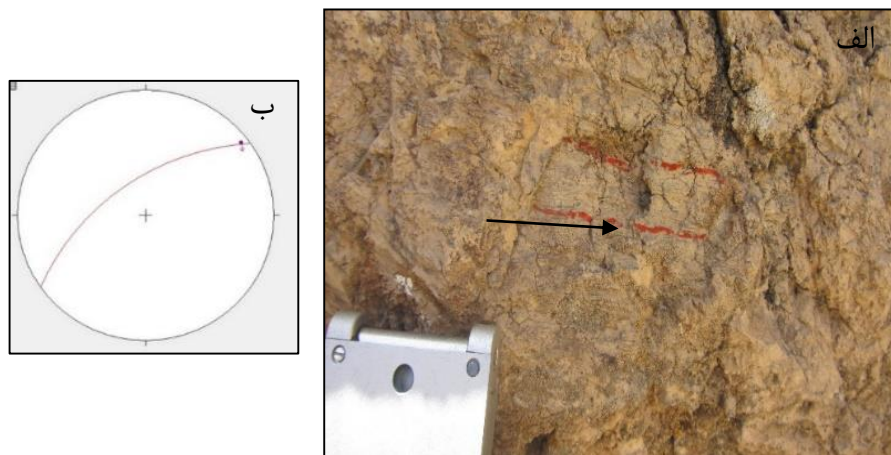
است. بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن است.

در طی مشاهدات صحرایی بر روی سطح گسل F6 دو فاز حرکتی قابل تعیین است دسته اول و جدیدتر آن خراش‌های گسلی افقی هستند دارای ریک تقریبی ۷ درجه (راستا لغز) می‌باشند و دسته دوم خش‌لغزهای دارای ریک ۳۶ درجه پادساعت‌گرد (مورب لغز) می‌باشند که موید سازوکار معکوس می‌باشند (شکل ۳-۱۹). خراش‌های گسلی، لمس دست و پله‌های سطح گسل، حرکت چپ‌بر گسل برای مؤلفه امتدادلغز آن محرز می‌نماید



شکل ۳-۱۸. الف: تصویر صحرایی از گسل F6 (دید به شمال خاوری). ب: برش نمادین از گسل F6



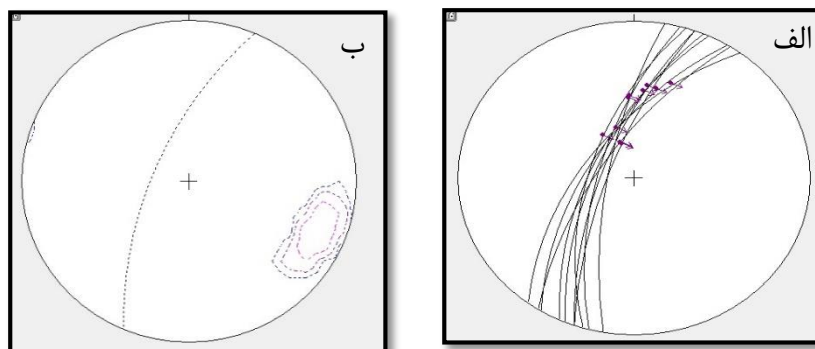


شکل ۳-۱۹-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۷ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۷/۳۲۵ و خش لغزها با ریک ۷ درجه با موقعیت ۷/۰۵۲. ج: سطح گسلی همراه با پله‌های گسلی. د: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۳۶ درجه پادساعت‌گرد بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ه: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۷/۳۲۵ و خش لغزها با ریک ۴۳ درجه با موقعیت ۳۳/۰۳۹.

در نتیجه، با استناد بر مشاهدات صحرائی، سینماتیک و چینه‌شناسی، سازوکار این گسل به صورت معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر تعیین می‌شود.

### ۳-۱-۷- گسل F7

گسل F7 با طول تقریبی ۲/۴ کیلومتر در غرب روستای فولادمحله با موقعیت  $36^{\circ} 2' 34.80''$  شمالی و  $53^{\circ} 37' 42.60''$  قرار دارد. این گسل با راستای تقریبی شمال خاوری- جنوب باختری باعث رانده شدن واحدهای آهکی الیکا با سن تریاس در فرادیواره بر روی واحدهای شیلی شمشک در فرودیواره شده است و البته قابل ذکر است که در برخی نقاط نیز باعث برش در واحدهای آهکی الیکا شده است. میانگین وضعیت هندسی گسل F7 بر اساس داده‌های برداشت‌شده،  $72/293$  به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۷) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است.

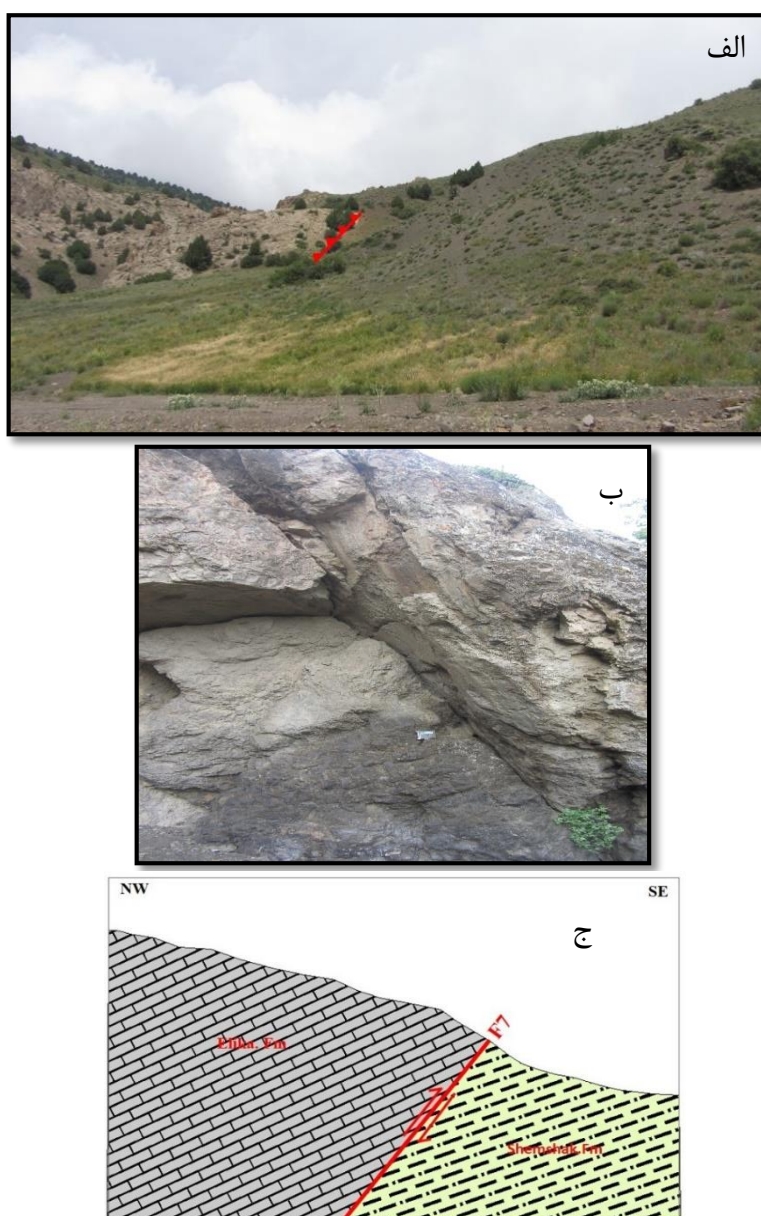


شکل ۳-۲۰- تصاویر سیکلوگرافیک: الف: سطوح گسل F7 به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. موقعیت میانگین سطح گسلی در این گسل،  $72/293$  به دست آمد.

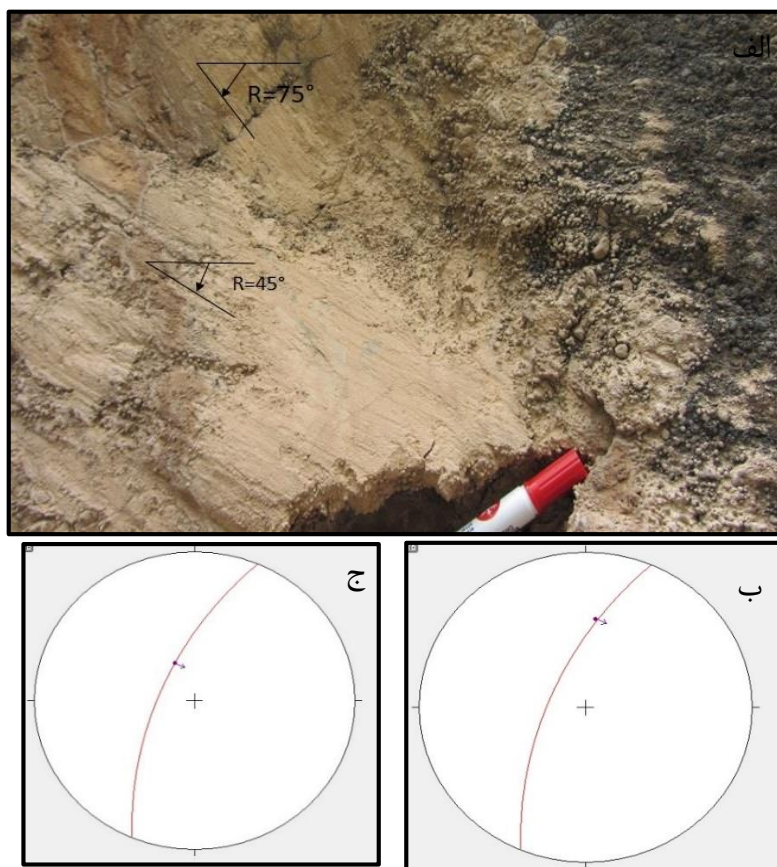
گسل F7 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرودیواره شده است (شکل ۳-۲۱-الف، ب). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۲۱-ج) رسم شده است. بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن است.



با بررسی‌های ریخت‌شناسی سطح گسل دودسته گسل با ریک ۴۵ درجه پادساعت‌گرد با موقعیت ۴۴/۰۰۶ و ریک‌های بالای ۷۵ درجه پادساعت‌گرد با موقعیت ۷۵/۳۴۱ مشاهده شد (شکل ۳-۲۲) که با توجه به قاعده برش خش‌لغزهای قدیمی توسط خش‌لغزهای جدید می‌توان برای این گسل ریک ۴۵ را به فاز جدیدتر گسل ربط داد. قابل‌بیان است که این خش‌لغزها مؤید سازوکار معکوس گسل که از روش چینه‌شناسی به‌دست‌آمده نیز است.



شکل ۳-۲۱- نمایشی از امتداد گسل F7. الف: گسلش در مرز سازند الیکا و سازند شمشک (دید به شمال). ب: نمایشی از گسل (دید به شمال خاوری). ج: برش نمادین از گسل F7



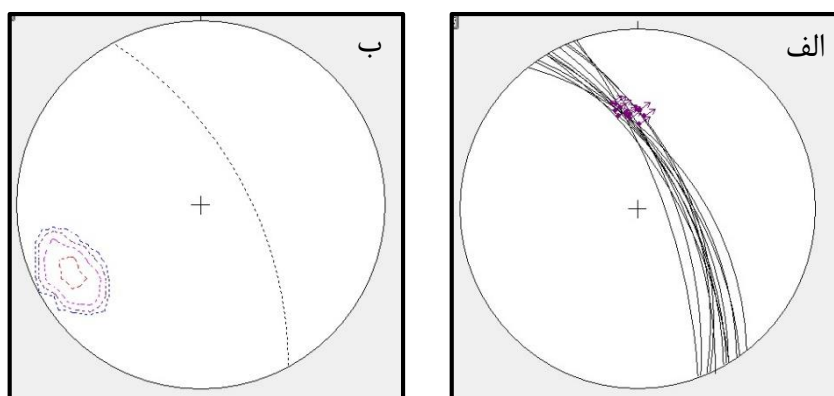
شکل ۳-۲۲-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۴۵ درجه پادساعت گرد و ریک ۷۵ درجه پادساعت گرد بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۲/۲۹۳ و خش لغزها با ریک ۴۵ درجه با موقعیت ۴۲/۰۰۶. ج: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۲/۲۹۳ و خش لغزها با ریک ۴۵ درجه با موقعیت ۶۶/۳۳۵.

در نتیجه با توجه به شواهدی همچون چینه‌شناسی، سازوکار گسل F7 به صورت معکوس تعیین می‌شود.

### ۳-۱-۸- گسل F8

گسل F8 با طول تقریبی ۳/۱ کیلومتر در ۱۵ کیلومتری شمال خاوری - خاور شه میرزاد با موقعیت  $35^{\circ} 53' 28.80''$  شمالی و  $53^{\circ} 27' 45.10''$  واقع شده است. این گسل با راستای تقریبی شمالی - جنوبی باعث ایجاد برش در واحدهای آهکی ضخیم لایه با رنگ خاکستری روشن منتسب به سازند الیکا و گاهی باعث برش در واحدهای شیل و ماسه‌سنگی شمشک شده است.

میانگین وضعیت هندسی گسل F8 بر اساس داده‌های برداشت شده، ۶۲/۰۶۹ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۸) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است.

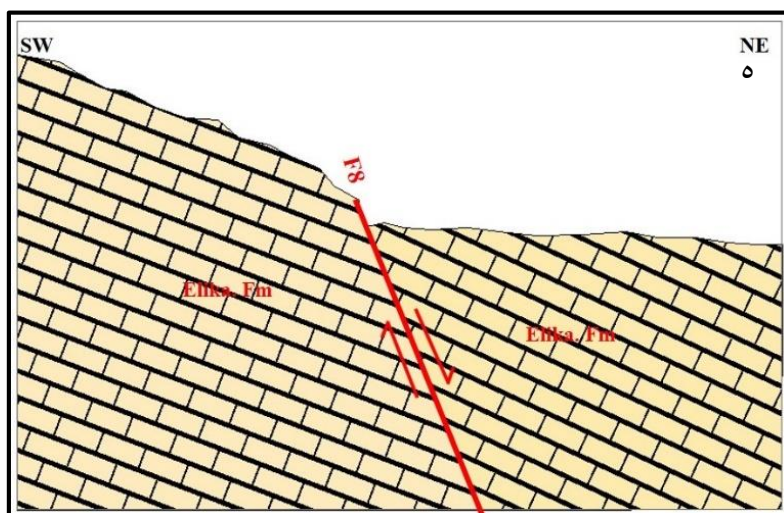


شکل ۳-۲۳- تصاویر سیکلوگرافیک: الف: سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۴۵/۳۵۴. ب: نمودار هم-تراز قطب صفحات گسلی. موقعیت میانگین سطح گسلی در این گسل ۶۲/۰۶۹ به دست آمد.

گسل F8 با راستای کلی شمال شمال باختری - جنوب جنوب خاوری، در برخی نقاط باعث برش در سازند آهکی الیکا (تریاس) و در برخی نقاط باعث برش و قطع شدگی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) است (شکل ۳-۲۴- الف و ب و ج و د). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۲۴-ه) رسم شده است. بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار نرمال برای مؤلفه شیب‌لغز آن است.

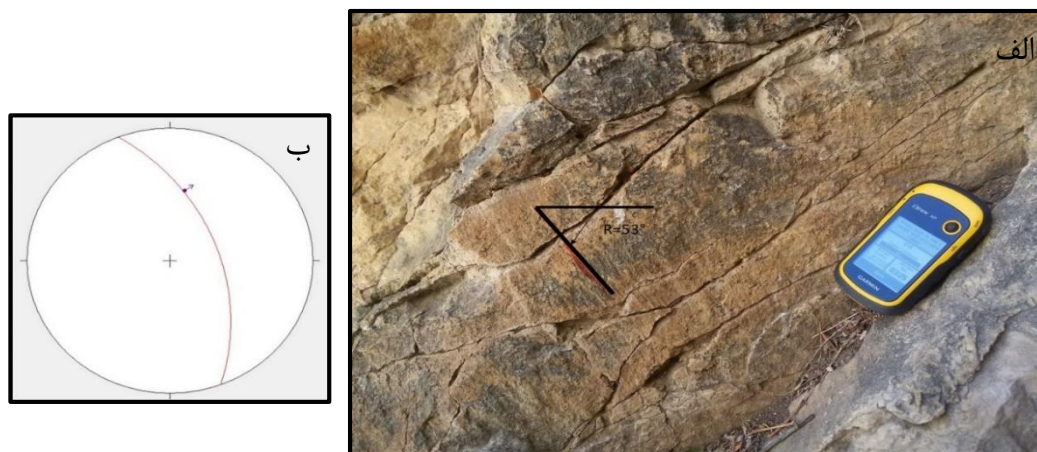
با بررسی‌های ریخت‌شناسی سطح گسل، خراش‌های گسلی با ریک ۴۵ تا ۵۵ درجه ساعتگرد (مورب‌لغز) مشاهده شد (شکل ۳-۲۵). برای تعیین سازوکار گسل به دلیل هوازگی شواهدی که بتوان به واسطه آن‌ها سازوکار را تعیین کرد از بین رفته است. اما با توجه به حرکت لایه‌های موجود در واحدهای آهکی (پایین‌افتادگی فرادیواره) سازوکار گسل F8 به صورت نرمال تعیین شد.





شکل ۳-۲۴-الف: نمایی از امتداد گسل F8 در واحدهای آهکی (دید به جنوب). ب: نمایی از امتداد گسل F8 در واحدهای آهکی (دید به شمال). ج: نمایی از امتداد گسل F8 در واحدهای شیلی (دید به شمال). د: نمایی از امتداد گسل F8 در واحدهای شیلی (دید به شمال). ه: مقطع نمادین از گسل F8.

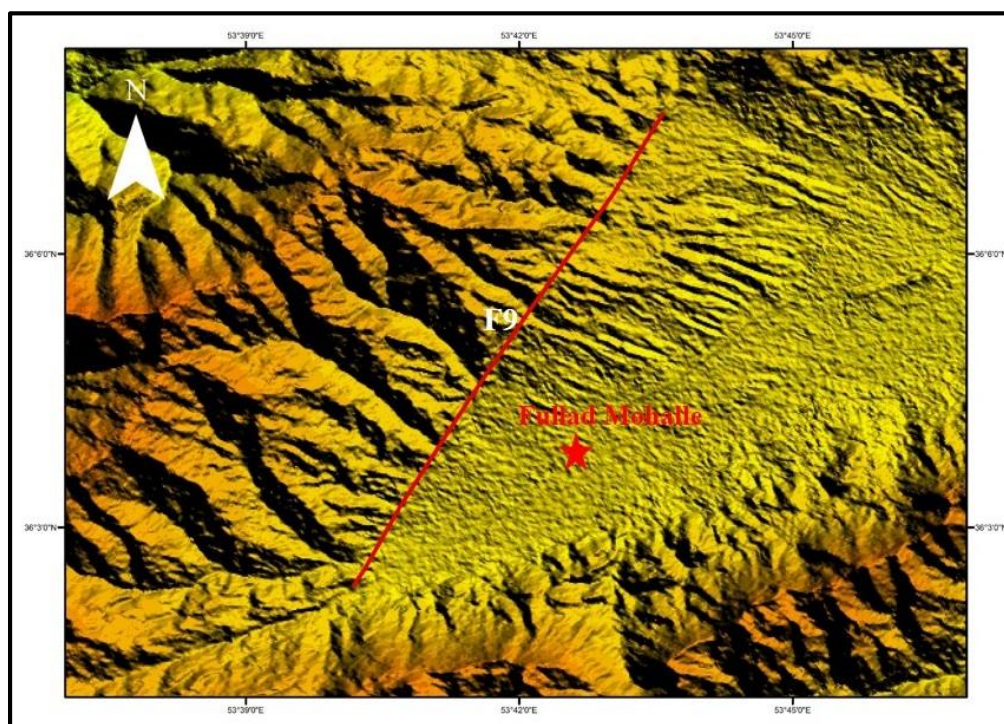




شکل ۳-۲۵-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۵۳ درجه ساعت گرد بر روی سازند الیکا (فرود یواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۲/۰۶۹ و خش لغزها با ریک ۵۳ درجه با موقعیت ۴۶/۰۱۰.

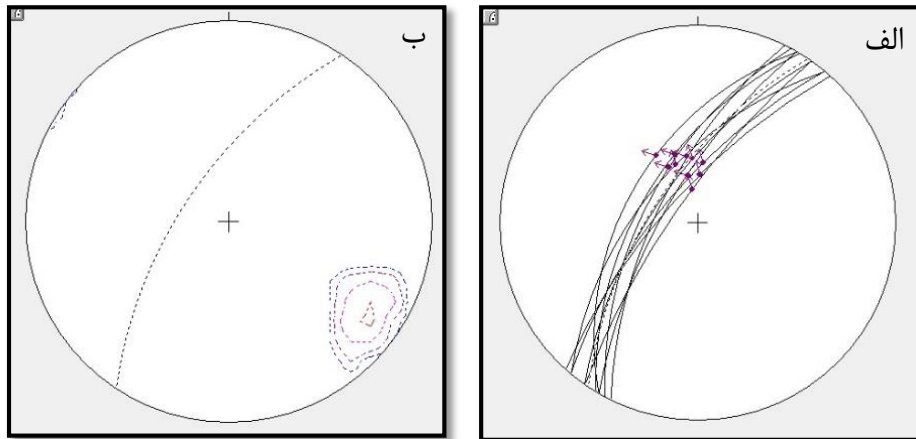
### ۳-۱-۹- گسل F9

گسل F9 در فاصله‌ی ۱/۸ کیلومتری روستای فولادمحله با موقعیت  $35^{\circ} 4' 31.01''$  شمالی و  $53^{\circ} 41'$   $38.33''$  خاوری قرار دارد. این گسل باعث خردشدگی و برش در واحدهای شیل و ماسه‌سنگی سازند شمشک (سعیدی و اکبرپور، ۱۳۷۱) شده است. همچنین قابل ذکر است که اثر گسلش را می‌توان بر روی تصاویر ماهواره‌ای نیز ردیابی کرد (شکل ۳-۲۶).



شکل ۳-۲۶- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth که محل گسل F9 با کادر مشخص شده است.

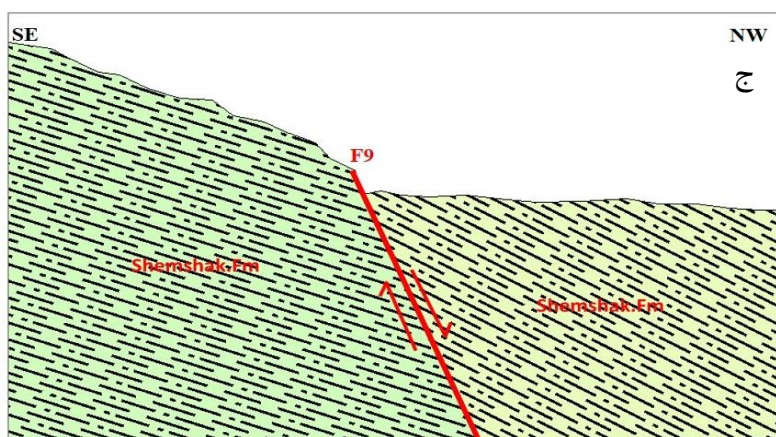
میانگین وضعیت هندسی گسل F9 بر اساس داده‌های برداشت‌شده،  $71/304$  به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۹) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۲۷) نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۷- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت  $71/304$  و خش لغزها دارای موقعیت  $35/342$  می‌باشند.

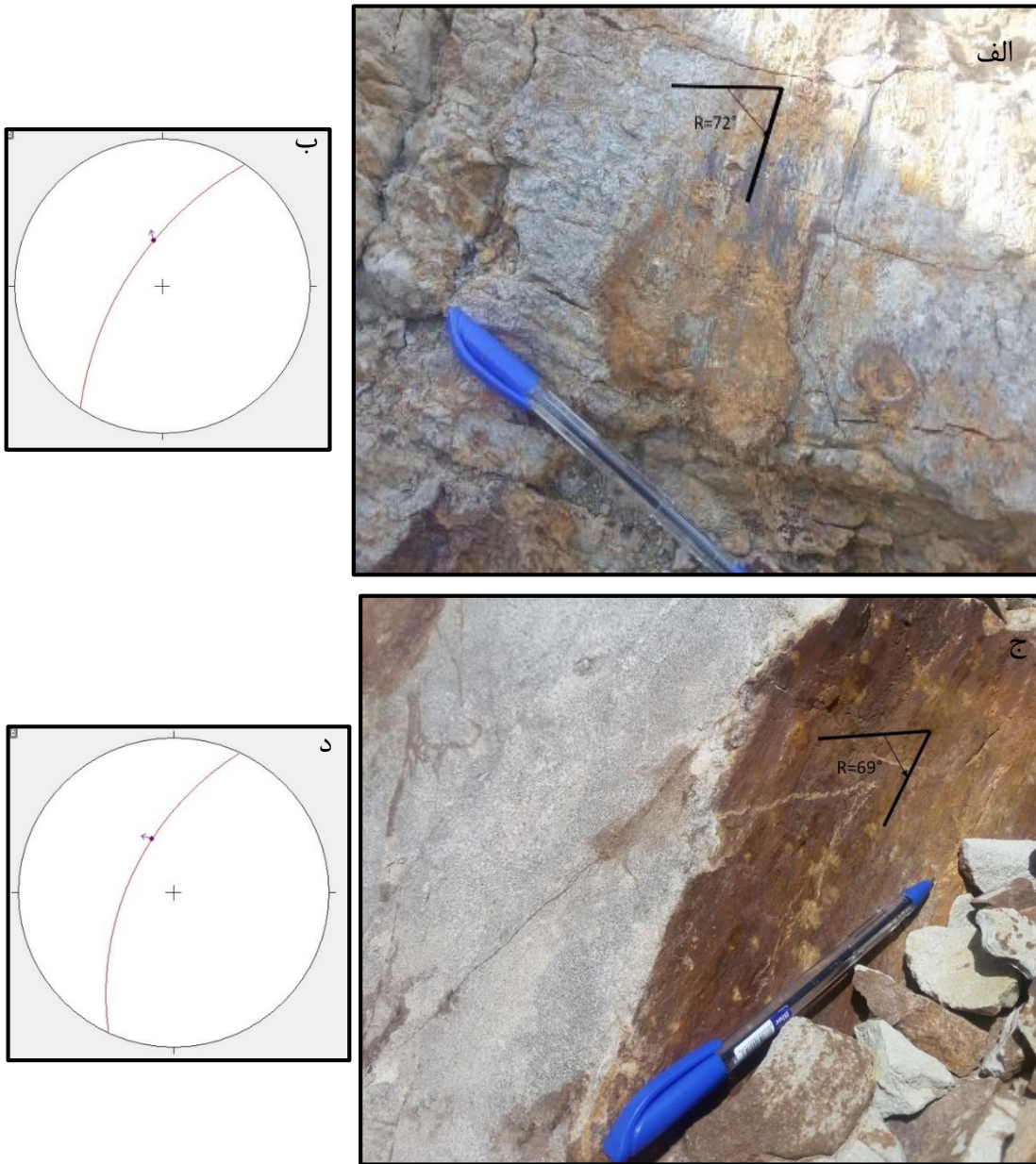
گسل F9 با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث برش و قطع‌شدگی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) است (شکل ۳-۲۸- الف و ب). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۲۸- ج) رسم شده است. بنابراین طبق شواهد چینه‌شناسی این گسل دارای سازوکار نرمال برای مؤلفه شیب‌لغز آن می‌باشد.

مشاهدات صحرائی بر روی این گسل یک نسل از خراش‌های گسلی با ریک  $70$  درجه (مورب‌لغز) را بر روی سطح گسل به اثبات رسانید.



شکل ۳-۲۸- الف: نمایی از امتداد گسل در واحدهای شیلی (دید به جنوب باختری). ب: نمایی از امتداد گسل و خردشدگی واحدهای شیلی (دید به خاور). ج: مقطع نمادین از گسل F9



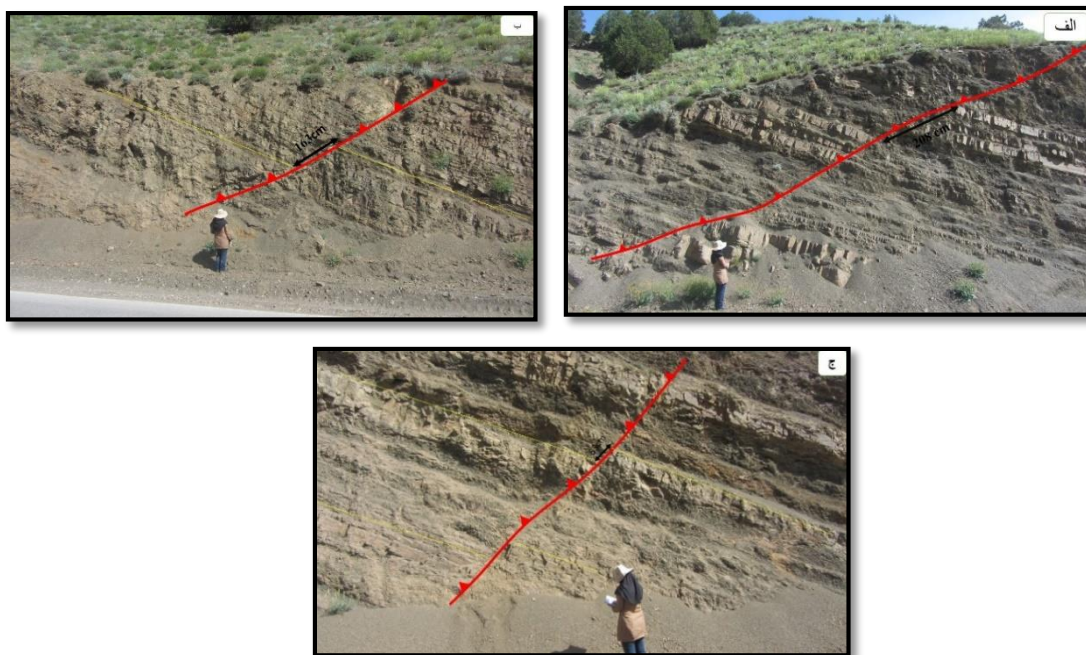


شکل ۳-۲۹-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۷۲ درجه پادساعت گرد بر روی سازند شمشک (فرادیواره).  
 ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۳۰۴ و خش لغزها با ریک ۷۲ درجه با موقعیت ۶۴/۳۴۹. ج: سطح گسلی  
 همراه با خش لغزهای با ریک ۶۹ درجه پادساعت گرد بر روی سازند شمشک. د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت  
 ۶۶/۲۹۵ و خش لغزها با ریک ۶۹ درجه با موقعیت ۵۹/۳۳۸.

قابل ذکر است که ادامه‌ی جنوب باختری این گسل با کمی تغییر شیب سطح گسل در ۷/۵ کیلومتری  
 جنوب باختر روستای فولادمحله با موقعیت  $36^{\circ} 1' 30''$  شمالی و  $53^{\circ} 38' 1.20''$  شرقی یافت شد.

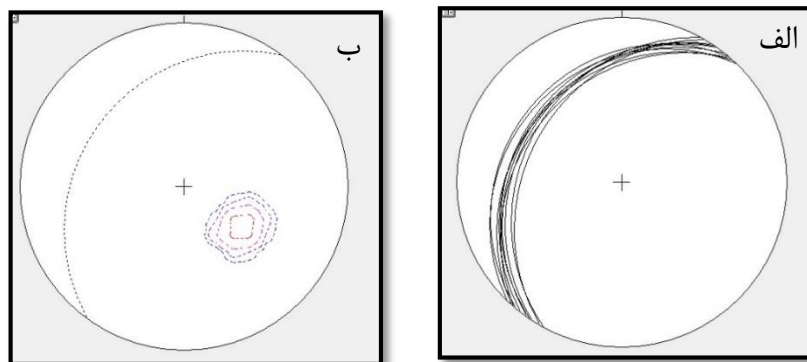


رخنمون این گسلش در واحدهای شیله و ماسه‌سنگی شمشک باعث جابه‌جایی واحدهای ماسه‌سنگی شده است. میزان جابه‌جایی بر روی سطح گسل در رخنمون‌های مختلف برابر است با 208cm، 163cm و 53cm است که در شکل (۳-۳۰) نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۳۰-الف: نمایی از گسل F9 در واحدهای شیله شمشک که باعث جابه‌جایی به طول 208cm شده است (شمال-شمال-خاوری).  
 ب: نمایی از گسل F9 در واحدهای شیله شمشک که باعث جابه‌جایی به طول 163cm شده است (شمال-شمال-خاوری).  
 ج: نمایی از گسل F9 در واحدهای شیله شمشک که باعث جابه‌جایی به طول 53cm شده است (شمال-شمال-خاوری).

میانگین وضعیت هندسی این رخنمون از گسل F9 بر اساس داده‌های برداشت شده، ۳۶/۳۰۶ به‌دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۱۰) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۳۱) نشان داده شده است.



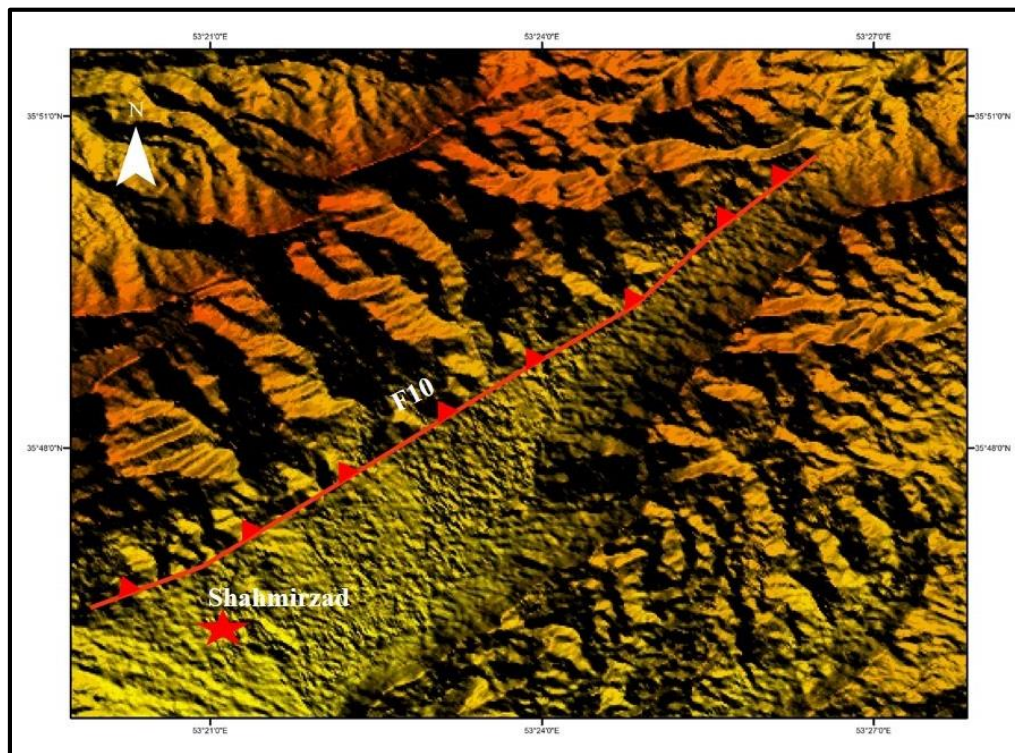
شکل ۳-۳۱- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت ۳۶/۳۰۶ می‌باشند.

در طی مشاهدات صحرایی بر روی سطح گسل در این قسمت هیچ‌گونه آثار حرکتی (پله گسلی، خراش گسلی) یافت نشد اما با توجه به جابه‌جایی لایه‌های ماسه‌سنگی (حرکت به سمت پایین لایه‌های موجود در فرادیواره)، سازوکار این گسل به صورت نرمال تعیین شد.

### ۳-۱-۱-۱۰- گسل F10

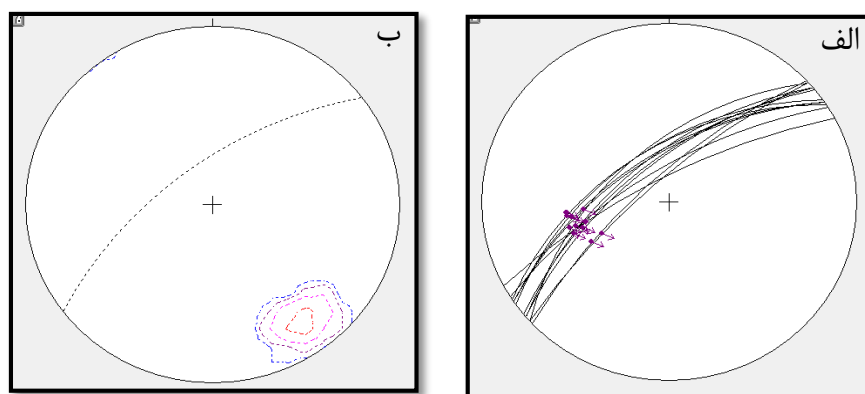
گسل F10 در ۲ کیلومتری شمال شه‌میرزاد با طول تقریبی ۱۳ کیلومتر واقع شده است. انتهای شمال خاوری این گسل دارای طول جغرافیایی  $17.81'' 26' 53^\circ$  خاوری و عرض جغرافیایی  $35^\circ 50'$   $53.48''$  شمالی و انتهای جنوب باختری آن دارای طول جغرافیایی  $52.66'' 17' 53^\circ$  خاوری و عرض جغرافیایی  $20.15'' 46' 35^\circ$  شمالی هستند.

بهترین رخنمون گسل F10 را می‌توان در روستای ده صوفیان مشاهده کرد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در اطراف گسل، واحدهای آهکی ضخیم لایه‌ی سازند الیکا با سن تریاس در فرادیواره بر روی واحدهای شیلی سازند شمشک در فرادیواره شده است. اثر این گسل را در تصاویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth نیز قابل مشاهده است (شکل ۳-۳۲).



شکل ۳-۳۲- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth که محل گسل با کادر مشخص شده است.

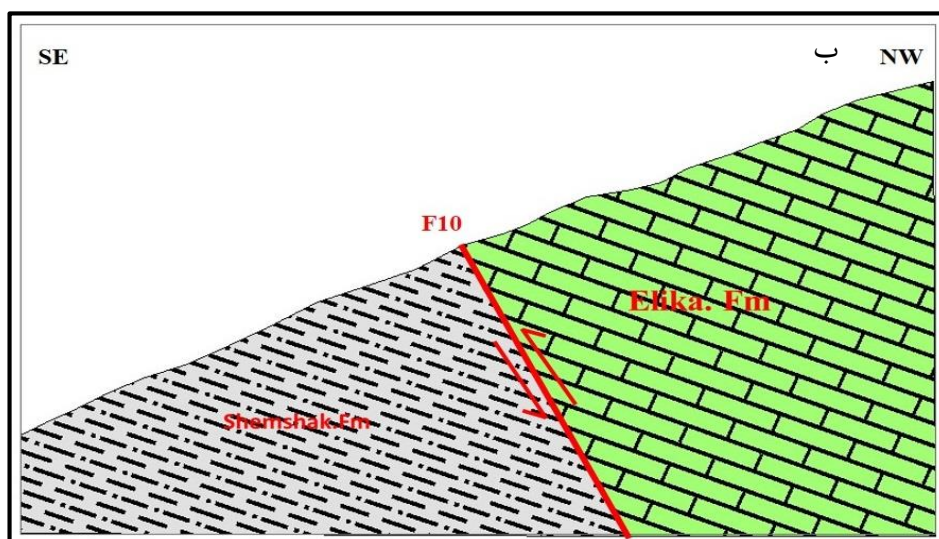
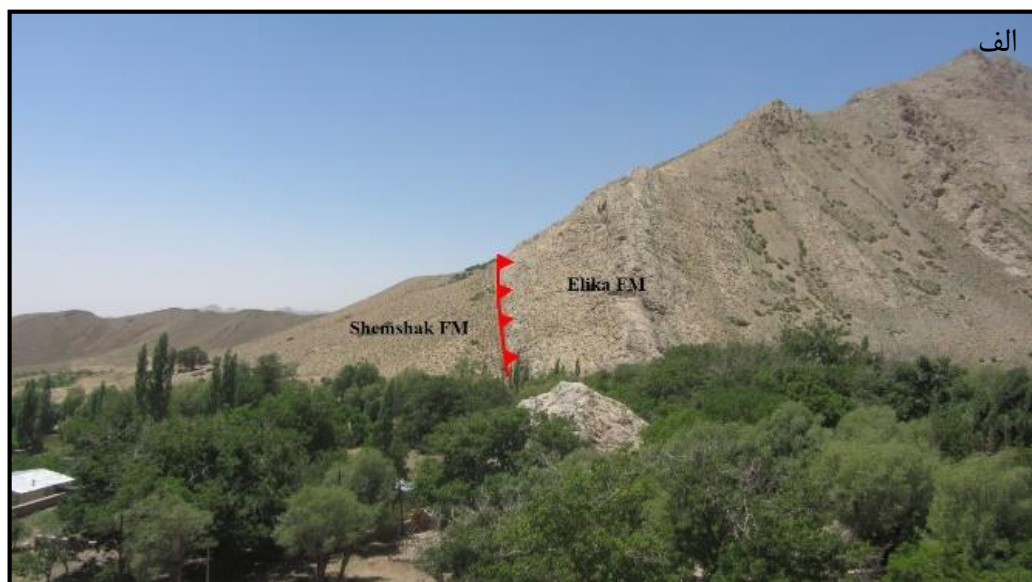
میانگین وضعیت هندسی این رخنمون از گسل F10 بر اساس داده‌های برداشت شده، ۷۱/۳۲۳ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۱۱) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۳۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۳- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی با موقعیت ۴۵/۲۵۷. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت ۷۱/۳۲۳ می‌باشند.

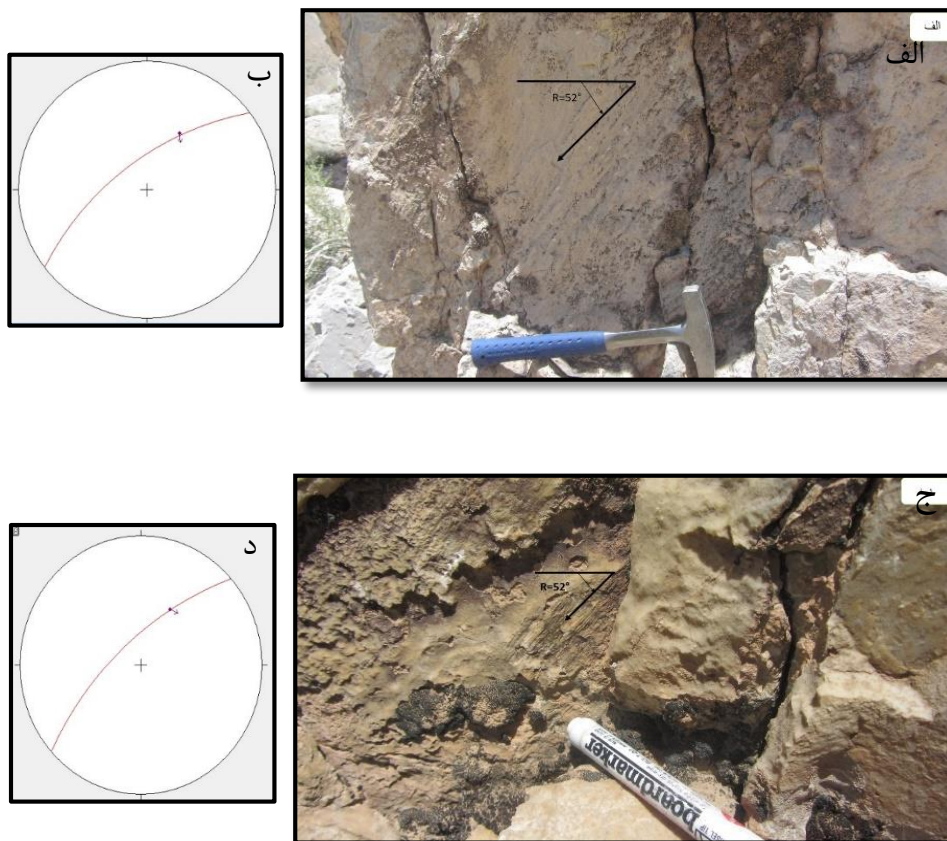
قرارگیری سازند الیکا باسن تریاس بر روی سازند شمشک با سن ژوراسیک نشان‌دهنده‌ی یک مرز غیرطبیعی است که با توجه به شواهد می‌توان بیان کرد که مرز در این قسمت گسلی می‌باشد که

نشان‌دهنده‌ی گسلش با سازوکار معکوس است (شکل ۳-۳۴-الف). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۳۴-ب) رسم شده است. همچنین با بررسی ریخت‌شناسی سطح گسل یک دسته خراش گسلی با ریک ۵۰ درجه (مورب‌لغز) مشاهده شد (شکل ۳-۳۵).



شکل ۳-۳۴-نمایی از امتداد گسل F10. الف: نمایی از گسل (دید به جنوب باختری). ج: برش نمادین از گسل F10





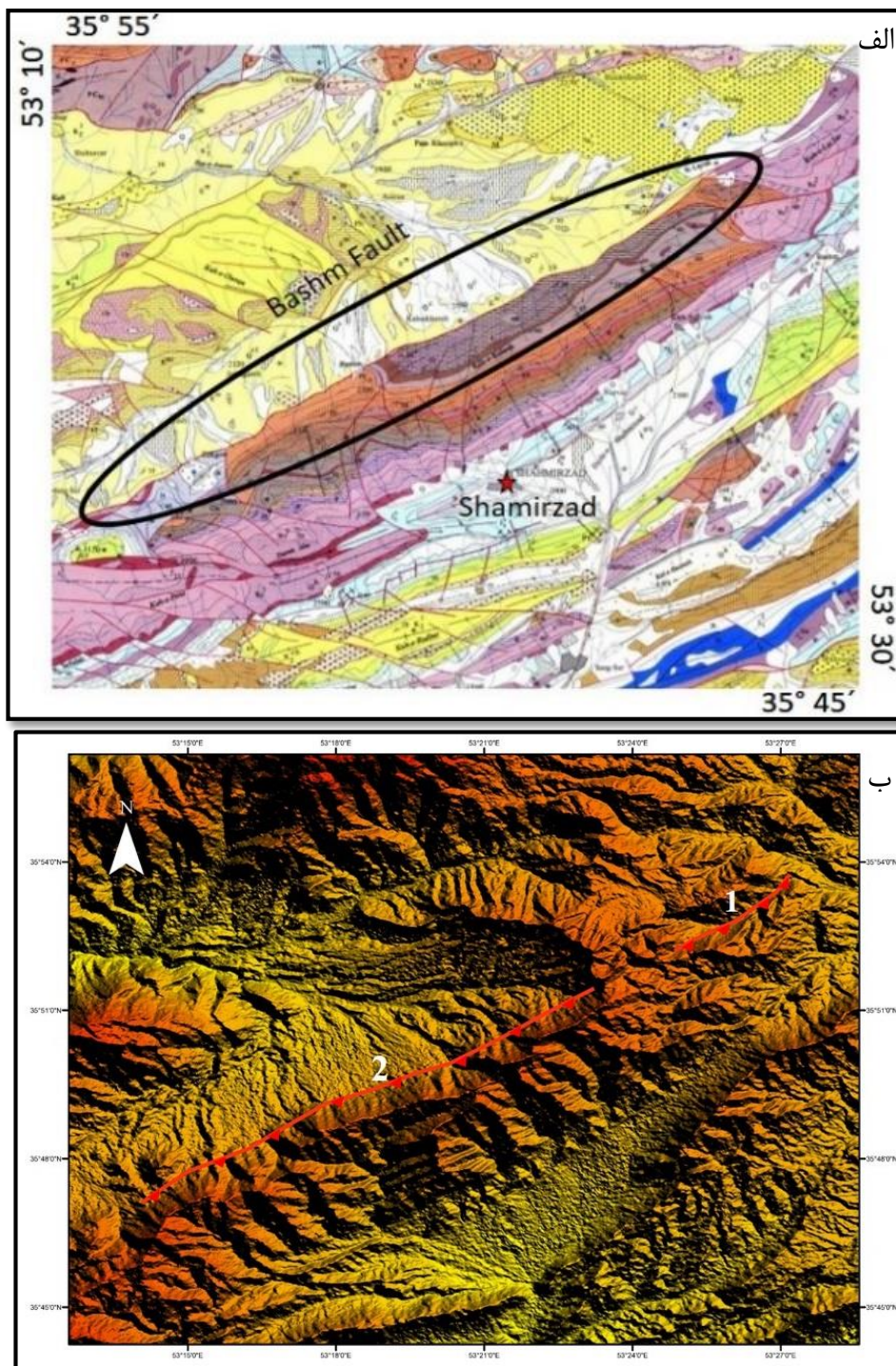
شکل ۳-۳۵-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۵۲ درجه پادساعت گرد بر روی سازند الیکا (فرادپواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۲۳۳ و خش لغزها با ریک ۵۲ درجه با موقعیت ۴۶/۰۱۰. ج: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۵۲ درجه پادساعت گرد بر روی سازند الیکا (فرادپواره). د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۴/۳۱۸ و خش لغزها با ریک ۵۲ درجه با موقعیت ۴۶/۰۱۰.

با توجه به شواهدی از جمله پله‌های گسلی و شواهد چین‌شناسی، سازوکار گسل F10 به صورت معکوس تعیین شد.

### ۳-۱۱-۱- گسل فشاری بشم

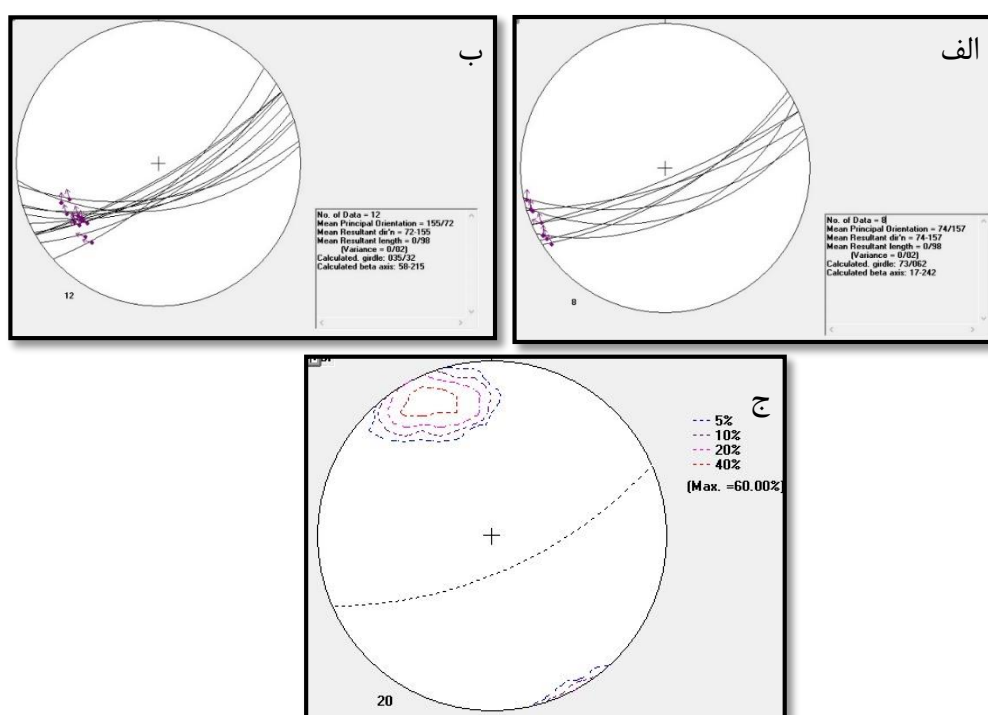
گسل بشم در شمال شه‌میرزاد با درازای حدود ۵۲/۵ کیلومتر بین طول‌های خاوری  $35^{\circ}$  تا  $35^{\circ} 43'$  و عرض‌های شمالی  $53^{\circ} 12'$  تا  $53^{\circ} 27'$  واقع شده است. همان‌طور که در تصویر ماهواره‌ای دیده می‌شود (شکل ۳-۳۶-ب)، راستای کلی این گسل شمال خاوری - جنوب باختری است. این گسل در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ (سمنان، نبوی، ۱۳۵۳) نیز آورده شده است که بخشی از آن در شکل (۳-۳۶-الف) نشان داده شده است.

بهترین راه دسترسی به این گسل، جاده آسفالتی شهرمیرزاد-چاشم می باشد. مکان های برداشت داده مربوط به این گسل در شکل (۳-۳۶-ب) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۶-الف: قسمتی از نقشه زمین شناسی سمنان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که گسل بشم روی آن مشخص شده است. ب: تصویر ماهواره ای گرفته شده از Google earth که نشان دهنده مکان های برداشت از سطح گسل است.

رخنمون‌های این گسل در ۲ ایستگاه مطالعه و برداشت‌شده که در شکل (۳-۳۶-ب) نشان داده شده است. واحدهای دو طرف گسل در ایستگاه ۱ سازندهای الیکا و شمشک و در ایستگاه ۲ سازندهای پرکامبرین بالایی - پالئوزوئیک و رسوبات آئوسن، نئوژن و کواترنر است. میانگین وضعیت هندسی گسل بشم بر اساس برداشت‌های صحرائی از ایستگاه ۱، ۷۳/۱۵۶ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۱۲) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۳۷) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۷-الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی دارای خراش‌های افقی. ب: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی دارای خراش‌های مورب ج: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت ۷۳/۱۵۶ و خش‌لغزهای افقی دارای موقعیت ۰۵/۲۴۷ و خش‌لغزهای مورب دارای موقعیت ۳۳/۲۳۵ می‌باشند.

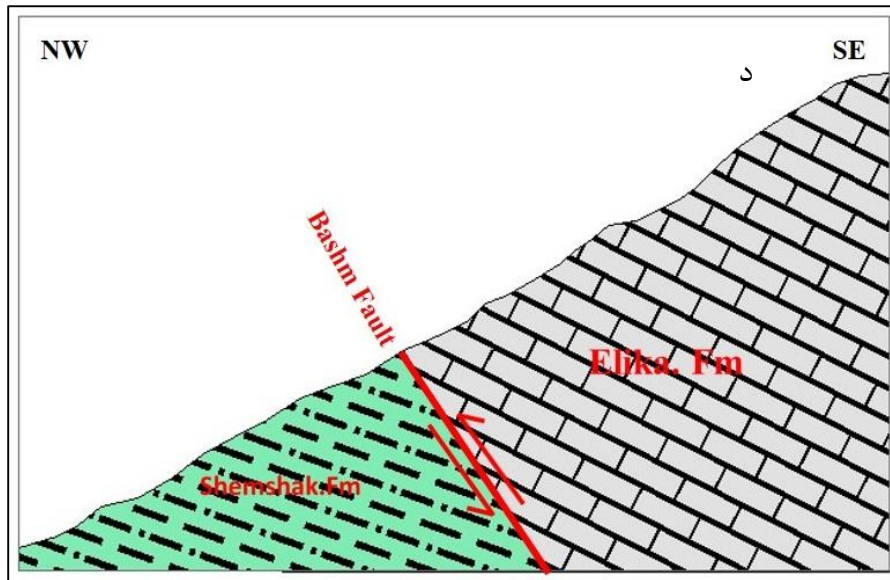
گسل فشاری بشم با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری، باعث رانده شدن و قرارگیری سازند آهکی الیکا (تریاس) در فرادیواره بر روی سازند شیلی و ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک) در فرادیواره شده است (شکل ۳-۳۸-الف و ب). گسلش در این منطقه باعث ایجاد یک دره‌ی V شکل در امتداد گسل شده است (شکل ۳-۳۸-ج). مقطع نمادین از این رخنمون در شکل (۳-۳۸-د) رسم شده است. بنابراین ، طبق شواهد چینه نگاری این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن است.



علاوه بر شواهد چینه‌شناسی، بررسی‌های صحرایی بر روی ریخت‌شناسی سطح گسل فشاری بشم، دودسته خراش گسلی را نشان می‌دهند که عبارت‌اند از: خراش گسلی با ریک ۴۶ درجه پادساعت‌گرد (مورب) و ریک‌های حدود ۷ درجه و نزدیک به افق (حرکت راستا لغز) (شکل ۳-۳۹). با استفاده از قاعده برش (Crosscutting) (خراش گسلی قطع‌کننده خراش گسلی دیگر، از نظر سنی جوان‌تر است)، می‌توان حرکت با مؤلفه راستا لغز را جوان‌ترین حرکت در راستای گسل F10 دانست.



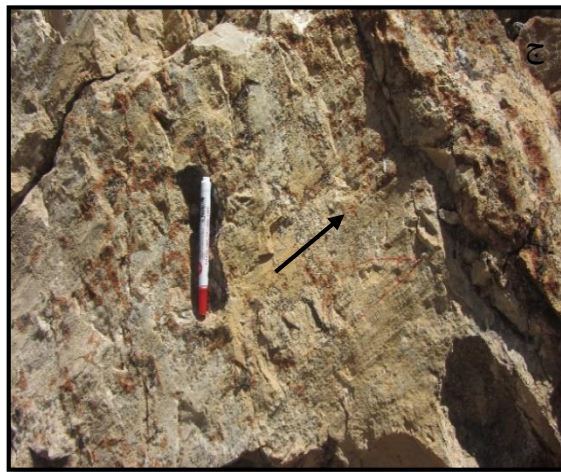
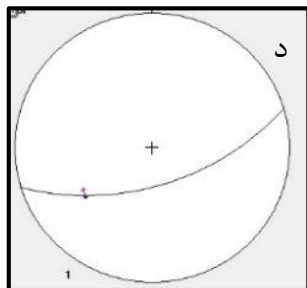
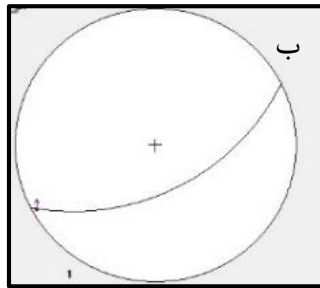




شکل ۳-۳۸- الف: نمایی کلی از سطح گسل فشاری بشم (دید به جنوب باختری). ب: نمایی از گسلش به همراه آینه

گسلی. ج: دره گسلی ایجاد شده در امتداد گسل همراه سازندهای موجود در دو طرف آن (دید به جنوب باختری). د:

برش نمادین از گسل فشاری بشم



شکل ۳-۳۵-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۷ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیبواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۳/۱۵۶ و خش لغزها با ریک ۷ درجه با موقعیت ۰۵/۲۴۷. ج: سطح گسلی همراه با خش- لغزهای با ریک ۴۶ درجه بر روی سازند الیکا. د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۳/۱۵۶ و خش لغزها با ریک ۴۶ درجه با موقعیت ۳۳/۲۳۵. ه: تصویری از صفحه‌ی گسل بشم که دو دسته خراش گسلی با ریک های ۷ درجه و ۴۶ درجه در آن قابل مشاهده است.

با استناد به شواهدی از جمله بالا رفتن لایه‌ها در فرادیواره و همچنین پله‌های سطح گسل، حرکت مورب‌لغز گسل را می‌توان به صورت معکوس معرفی کرد. همچنین با استناد به همین شواهد، حرکت راستا لغز گسل به صورت چپ‌بر تعیین می‌شود.

همچنین در ایستگاه دوم، گسل فشاری بشم در موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ} 50' 38.07''$  شمالی و  $53^{\circ} 16' 42.53''$  خاوری برای انتهای شمال خاوری و موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ} 47' 30.20''$  شمالی و  $53^{\circ} 11' 28.80''$  خاوری برای انتهای جنوب باختری آن است. سنگ‌های رخنمون یافته از گسل فشاری بشم در این رخنمون، سازندهای پرکامبرین بالایی - پالئوزوئیک (سازندهای زاگون، لالون، میلا و...) در کوه‌های کاهش و سیالت (در جنوب خاوری) بر روی پهنه‌ی فرونشسته‌ی چاشم متشکل از رسوبات ائوسن، نئوژن و کواترنر رانده‌شده است (نبوی، ۱۳۶۶) (شکل ۳-۳۶).

حال با توجه به وجود رسوبات مارنی و توفی در فرودیواره‌ی این گسل باعث پوشیده شدن سطح گسل شده که مانع از برداشت داده‌های هندسی و مشاهده‌ی سطوح گسلی شده است.

وجود دست‌کم شش کوه ریزش و سنگ‌ریزش تاریخی در راستای گسله بشم ممکن است نشان‌دهنده‌ی جنبش تاریخی این گسله باشد.



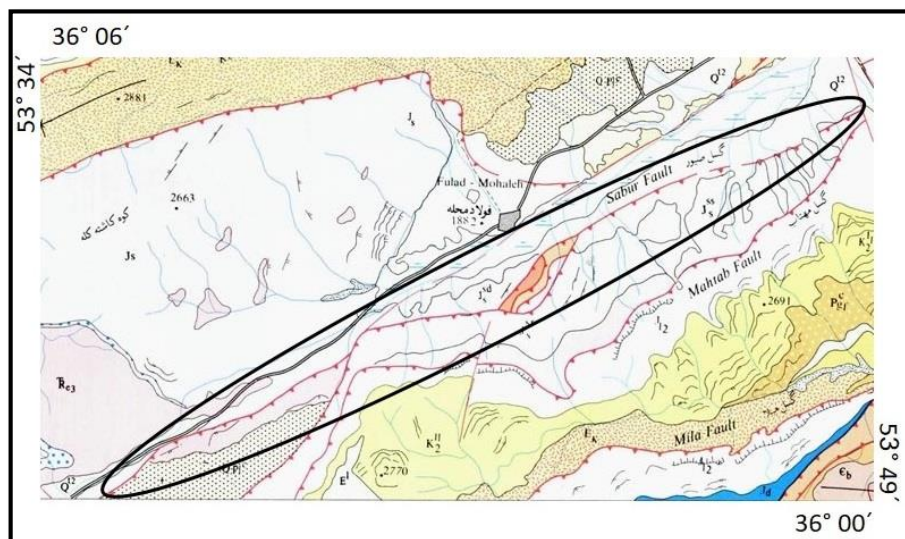
شکل ۳-۳۶- نمای از امتداد گسل فشاری بشم (دید به جنوب خاوری)



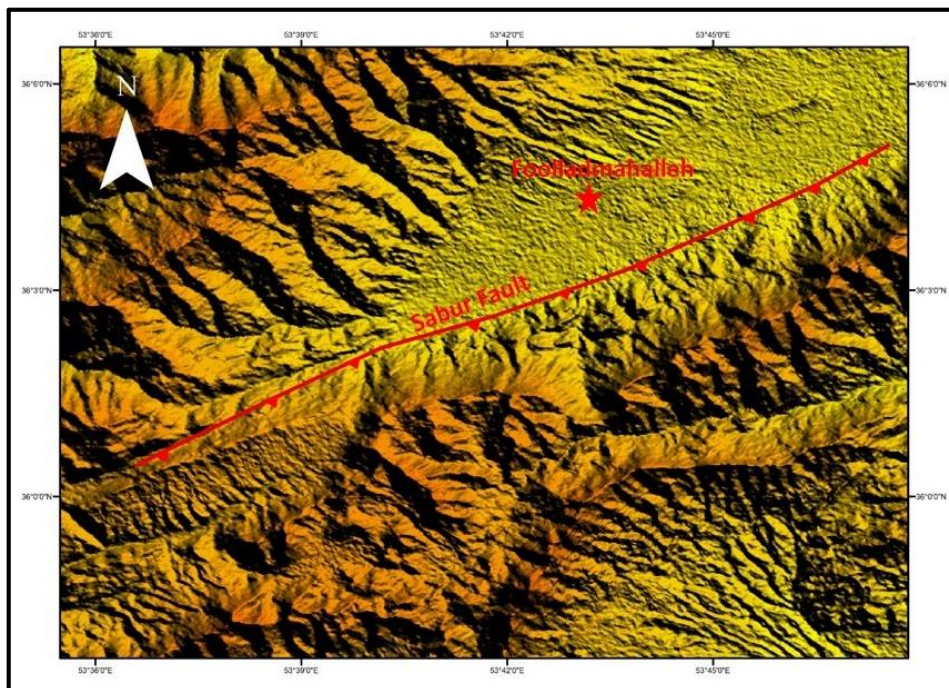
در نتیجه با استناد به شواهدی همچون چینه‌شناسی و علائم سطح گسل همچون خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی، سازوکار گسل بشم به صورت معکوس با کمی مؤلفه راستا لغز چپ‌بر تعیین شد.

### ۳-۱-۱۲- گسل صبور

گسل صبور با روند شمال خاوری - جنوب باختری در فاصله نزدیک از شمال به موازات گسل کواترنری آستانه و از جنوب به موازات گسل میلا قرار دارد که موقعیت جغرافیایی انتهای شمال خاوری دارای عرض  $36^{\circ} 3' 17.40''$  شمالی و طول  $53^{\circ} 43' 25.29''$  خاوری و انتهای جنوب باختری آن دارای عرض  $36^{\circ} 0' 44.84''$  شمالی و طول  $53^{\circ} 37' 19.84''$  خاوری است. این گسل با طول تقریبی ۱۵ کیلومتر در منطقه مطالعاتی قابل‌ردیابی است و با توجه به آثاری که در بازدیدهای صحرایی مشاهده شد و همچنین با توجه به نشانه‌های زمین ریختی و افت شاغولی بلوک شمالی آن و رژیم تکتونیکی فشاری با شیب به سمت جنوب تا جنوب شرق شناسایی شد. گسل صبور در نقشه زمین‌شناسی کیاسر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (اکبرپور، ۱۳۷۱) قسمتی از این گسل قرار می‌گیرد (شکل ۳-۳۷) و همچنین در تصاویر ماهواره‌ای نیز قابل‌ردیابی است (شکل ۳-۳۸).

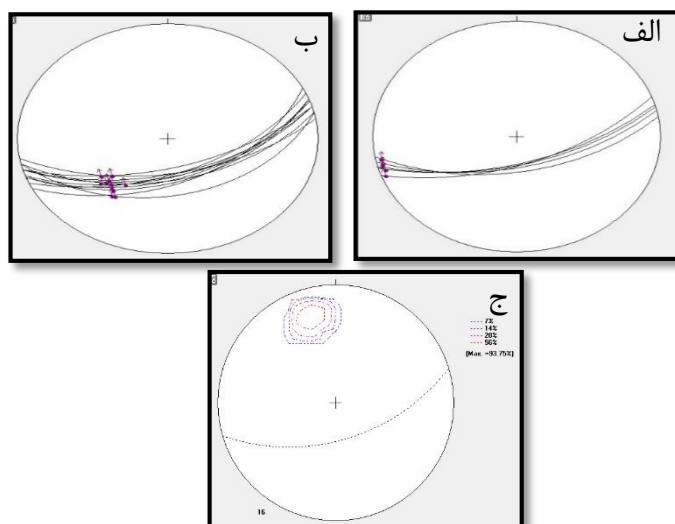


شکل ۳-۳۷- قسمتی از نقشه‌ی زمین‌شناسی کیاسر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که گسل صبور با کادر در آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۸ تصویر ماهواره‌ای گرفته شده از Google earth که گسل صبور بر روی آن مشخص شده است.

میانگین وضعیت هندسی گسل صبور بر اساس داده‌های برداشت شده، ۶۴/۱۶۳ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست (۱۳) درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آن‌ها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل (۳-۳۹) نشان داده شده است.



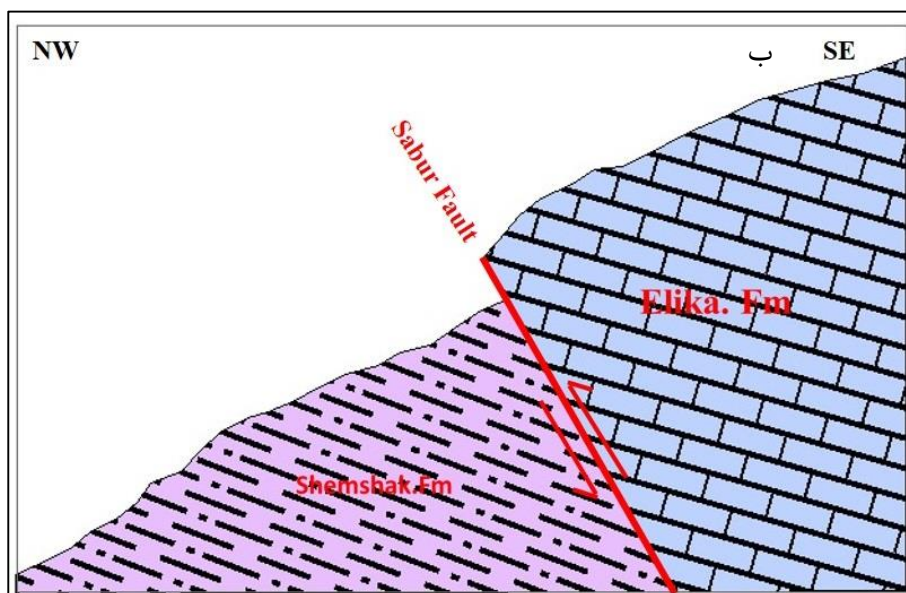
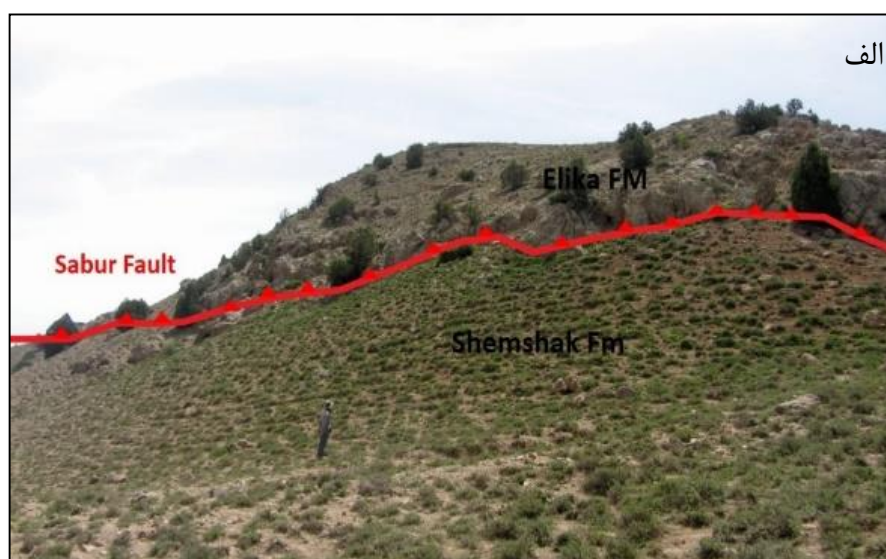
شکل ۳-۳۹-الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی دارای خراش‌های افقی. ب: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی دارای خراش‌های مورب ج: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی. میانگین سطوح گسلی دارای موقعیت ۶۴/۱۶۳ و خش‌لغزهای افقی دارای موقعیت ۴/۲۵۵ و خش-لغزهای مورب دارای موقعیت ۴۳/۲۲۷ می‌باشند.

از نظر توالی چینه‌شناسی، قرارگرفتن سازند آهکی الیکا بر روی سازند شیل و ماسه‌سنگی شمشک می‌تواند نشان‌دهنده‌ی مرز غیرطبیعی بین این دو سازند باشد و شواهد صحرایی موجود در مرز این سازند از جمله خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی بر روی واحدهای آهکی سازند الیکا و پرتگاه‌های گسلی نشان‌دهنده گسله بودن این مرز است (شکل ۳-۴۰). در این منطقه سازند الیکا در فرادیواره و سازند شمشک در فرودیواره قرار دارد که در برخی نقاط به علت اثر شدید هوازدگی، فرسایش و انحلال هیچ‌گونه آثار حرکتی در سطح گسل باقی نمانده است وجود سطوح گسلی خمیده و شیارهای بزرگ در سطح گسل‌نمایی از خش‌لغزهای بزرگ می‌باشند که از چیرگی حرکت شیب‌لغز برای گسل مذکور حکایت دارند می‌تواند معکوس یا نرمال باشد؛ اما با توجه به این‌که گسل مذکور با گسل کواترنری آستانه و گسل میلا در یک قلمرو قرار داشته و معکوس بودن گسل‌های شمالی و جنوبی آن محرز گشته، معکوس بودن گسل صبور نیز مشخص خواهد شد.

در طی انجام مطالعات صحرایی بر روی سطح گسل دو فاز حرکتی مشاهده شد، دسته اول و جدید تر آن خراش‌های گسلی افقی هستند دارای ریک تقریبی ۵-۹ درجه (راستا لغز) می‌باشند و دسته دوم خراش‌های گسلی دارای ریک ۴۲ درجه پادساعت‌گرد (مورب‌لغز) می‌باشند (شکل ۳-۴۱). وجود خراش‌های گسلی با ریک پایین و خراش‌های تقریباً افقی در سطح این گسل را می‌توان به فاز امتدادلغز گسل مربوط دانست که خراش‌های گسلی، لمس دست و پله‌های سطح گسل، حرکت چپ‌بر گسل برای مؤلفه امتدادلغز آن محرز می‌نماید.

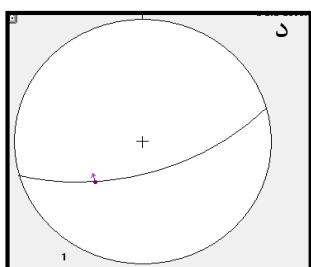
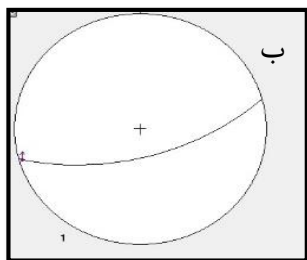
بنابر نظر طاهری و همکاران (۱۳۹۴)، گسل صبور در شرق روستای فولادمحله با روند شمال خاوری- جنوب باختری شناسایی شد ولی با توجه به اینکه اثر آن بر روی سازندهای سخت دیده نشده است، جهت شیب آن با توجه به نشانه‌های زمین‌ریختی و رانده شدن سازند شمشک بر روی رسوبات کواترنری و افت شاغولی بلوک شمالی آن و رژیم تکتونیکی رایج فشاری با راستای کلی شمالی-جنوبی، به سمت جنوب شناسایی شده است. رانده شدن واحدهای شیل و ماسه‌سنگی سازند شمشک در بلوک جنوبی

(فرادیواره)، بر روی نهشته‌های کواترنری بلوک شمالی (فرودیواره) در راستای این گسل، نشان‌دهنده سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز این گسل است. از طرفی رخداد جابه‌جایی آبراهه‌ها در نهشته‌های کواترنری در راستای گسل به صورت چپ‌بر حاکی از مؤلفه راستا لغز چپ‌بر برای گسل موردنظر می‌باشد (شکل ۳-۴۲).



شکل ۳-۴۰- الف: نمایی کلی از سطح گسل به همراه سازندهای موجود در دو طرف آن (دید به جنوب خاوری). ب: برش نمادین از گسل صبور





شکل ۳-۴۱-الف: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۷ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیواره). ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۴/۱۶۳ و خش لغزها با ریک ۷ درجه با موقعیت ۵/۲۵۵. ج: سطح گسلی همراه با خش لغزهای با ریک ۴۲ درجه بر روی سازند الیکا (فرادیواره). د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۶۴/۱۶۳ و خش لغزها با ریک ۴۲ درجه با موقعیت ۴۳/۲۲۷.



شکل ۳-۴۲- جابه‌جایی چپ‌بر آبراهه (دید به جنوب خاوری) (برگرفته از طاهری و همکاران، ۱۳۹۴)



در نتیجه با توجه به شواهدی چینه‌شناسی، خراش‌های گسلی و جابه‌جایی آبراهه، سازوکار گسل صبور به صورت معکوس با مؤلفه امتداد لغز چپ‌بر تعیین شد.

اطلاعات مربوط به گسل‌های اصلی و فرعی منطقه مطالعات در جدول (۳-۱) نشان داده است.

جدول ۳-۱- مشخصات برداشت‌شده برای گسل‌های منطقه مورد مطالعه

نام گسل	موقعیت صفحه	اثر فعالیت	سازوکار
گسل F1	۵۹/۳۴۶	رانده شدن سازند آهکی الیکا بر روی سازند شمشک.	معکوس
گسل F2	۷۹/۳۲۵	رانده شدن سازند آهکی الیکا بر روی سازند شمشک.	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر
گسل F3	۶۹/۳۴۹	رانده شدن سازند آهکی الیکا بر روی سازند شمشک.	معکوس
گسل F4	۷۱/۳۲۷	رانده شدن سازند الیکا بر روی مارنی و کنگلومرای ائوسن	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر
گسل F5	۷۳/۳۱۴	باعث برش در واحدهای آهکی دلیچای	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر
گسل F6	۶۷/۳۲۵	رانده شدن سازند آهکی الیکا بر روی سازند شمشک	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر
گسل F7	۷۲/۲۹۳	رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک	معکوس با کمی مؤلفه چپ‌بر
گسل F8	۶۹/۰۶۲	برش و جابه‌جایی در واحدهای آهکی الیکا و شیلی شمشک	نرمال
گسل F9	۷۱/۳۰۴	برش و جابه‌جایی واحدهای شیلی شمشک	نرمال
گسل F10	۷۱/۳۲۳	رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک	معکوس
گسل فشاری بشم	۷۳/۱۵۶	رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک. رانده شدن سازندهای پره کامبرین بر روی مارن و توف‌های ائوسن	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر
گسل صبور	۶۴/۱۶۳	رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک. جابه‌جایی آبراهه	معکوس با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر

### ۳-۲- چین خوردگی ها

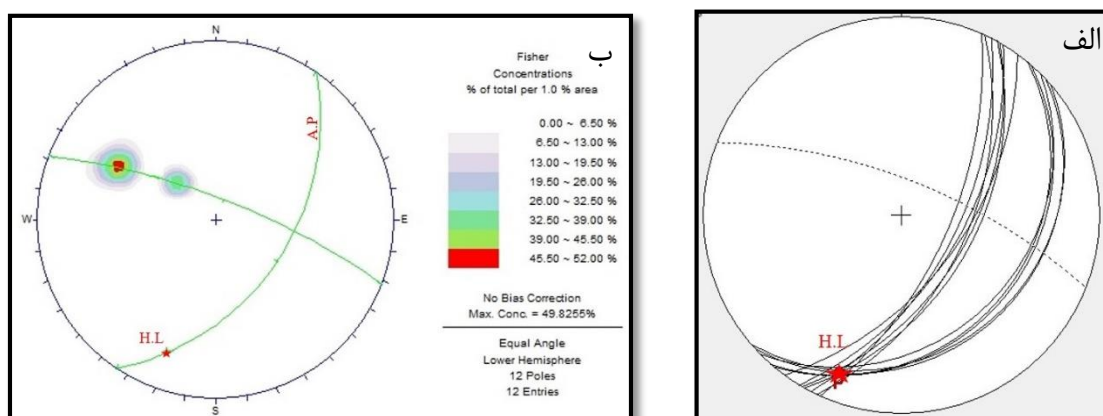
چین ها به صورت اشکال موجی شکلی می باشند که در طی دگرشکلی لایه های سنگی، مانند طبقات رسوبی توسعه می یابند. وقتی طبقات سنگی تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی قرار می گیرند، با گذشت زمان خمیده و از حالت اولیه خارج می شوند و چین می خورند (Twiss and Moores, 1992). ابعاد چین از چند میلی متر تا چند کیلومتر در تغییر بوده و یکی از پرجاذبه ترین ساختارهای زمین شناسی هستند، که در هر نوع سنگی، محیطی و عمقی قابل مشاهده است. معنا و مفهوم چین خوردگی در طی زمان تغییرات زیادی را تجربه کرده است، از دهه ۱۹۶۰ به بعد شکل امروزی تئوری چین ها مطرح شده است. در مشاهدات صحرایی آثار چین خوردگی در سازندهای شمشک و دلیچای مشاهده شده است. برای تحلیل هندسی چین ها در این پژوهش، پارامترهایی همچون موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه بین یالی با استفاده از روش های استریو گرافیک به دست آمده و به کار گرفته شده اند.

### ۳-۲-۱- چین خوردگی در سازند شمشک

چین خوردگی در سازند شمشک در سه رخنمون مشاهده و اندازه گیری شده است که تاقدیس FO1 نام نهاده شد. این چین در باختر روستای فولادمحل در موقعیت جغرافیایی  $36^{\circ} 1' 13.50''$  شمالی و  $53^{\circ} 37' 55.84''$  خاوری در سازند شمشک برداشت شده است (شکل ۳-۴۳). پیوست (۱۴)، برداشت های میدانی مرتبط با این چین را نشان می دهد و شکل (۳-۴۴) نشان دهنده استریوگرام های رسم شده از این چین است.



شکل ۳-۴۳- نمایی از تاقدیس FO<sub>1</sub> در سازند شمشک (دید به جنوب غرب)



شکل ۳-۴۴- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت‌شده از تاقدیس FO<sub>1</sub>. الف: نمودار  $\beta$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت (۱۴/۲۰۱). ب: نمودار کنتور یال‌های چین به‌منظور تعیین زاویه بین یالی (۳۲)، و تعیین موقعیت سطح محوری (A.P.) با موقعیت (۵۱/۱۲۳).

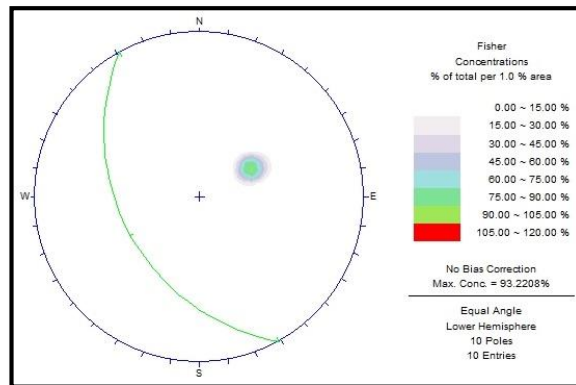
بر اساس استریوگرام‌های حاصل، موقعیت خط لولای تاقدیس به‌صورت (۱۴/۲۰۱) و موقعیت سطح محوری آن به‌صورت (۵۱/۱۲۳) به‌دست آمده است. زاویه بین یالی ۳۲ درجه است. بر اساس تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یالی در رده چین‌های بسته (close) قرار می‌گیرد. در تقسیم‌بندی دیگر بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا (Fluty, 1964); در رده چین‌های Plunging inclined قرار می‌گیرد.

همچنین در منطقه مورد مطالعه لایه‌های شیل و ماسه‌سنگی سازند شمشک در اثر تنش‌های وارده از حالت افقی خارج شده و به صورت شیب‌دار ظاهر شده‌اند (شکل ۳-۴۵).



شکل ۳-۴۵- تصویری از شیب لایه‌بندی در سازند شمشک (دید به جنوب خاوری)

با توجه به لایه‌بندی اندازه‌گیری شده از لایه‌های این سازند (پیوست ۱۵)، نشان می‌دهد که سازند شمشک در این منطقه دارای موقعیت هندسی ۳۹/۲۴۱ است (شکل ۳-۴۶).



شکل ۳-۴۶- استریوگرام حاصل از برداشت لایه‌بندی سازند شمشک

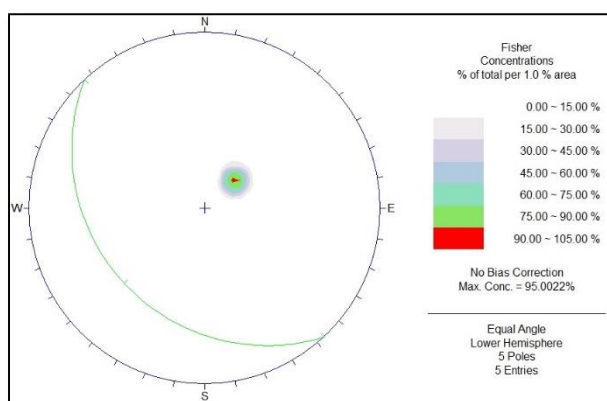
### ۲-۲-۳- رخنمونی از لایه‌های چین خورده سازند دلیچای

در منطقه مورد مطالعه لایه‌های آهکی سازند دلیچای در اثر تنش‌های وارده از حالت افقی خارج شده و به صورت شیب‌دار ظاهر شده‌اند (شکل ۳-۴۷).



شکل ۳-۴۷- تصویری از شیب لایه‌بندی در سازند دلیچای (دید به شمال خاوری)

با توجه به لایه‌بندی اندازه‌گیری شده از لایه‌های این سازند (پیوست ۱۶)، نشان می‌دهد که سازند دلیچای در این منطقه دارای موقعیت هندسی ۲۶/۲۲۷ است (شکل ۳-۴۸)



شکل ۳-۴۸- استریوگرام حاصل از برداشت لایه‌بندی سازند دلیچای

### ۳-۳- تعیین تنش دیرین

شناسایی جهت تنش، بخشی از تحلیل دینامیکی است که بن‌مایه تحلیل جنبشی را تشکیل می‌دهد. اکثر زمین‌شناسان در مطالعات خود از روش‌های زمین‌ساختی، از جمله ساختارهایی مثل شکستگی‌ها و چین‌ها برای تعیین تنش استفاده می‌کنند.

گسل‌ها از جمله ساختارهایی هستند که به فراوانی در پوسته یافت می‌شوند. از طرفی آنالیز کمی و کیفی ساختارهای شکننده معیار قابل‌اعتمادی برای شناسایی توزیع و تکامل تنش دیرین ناشی از حوادث تکتونیکی است.

در دید کلی از منطقه مورد مطالعه جهت‌گیری گسل‌ها چنین استنباط می‌شود که منطقه در ناحیه‌ای با جهت‌گیری محور فشاری شمالی - جنوبی تا شمال خاوری - جنوب باختری واقع گردیده است. در ادامه ما سعی بر آن داریم که با بررسی ساختارها، نتیجه‌گیری کلی در مورد چگونگی جهت‌گیری کلی میدان تنش دست‌یابیم.

### ۳-۳-۱- بررسی ویژگی‌های میدان تنش

یکی از مهم‌ترین اهداف در بررسی ویژگی‌های میدان تنش، یافتن جهت‌گیری  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  در ناحیه مورد مطالعه است.  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  به ترتیب معرف تنش‌های حداکثر، میانی و حداقل می‌باشند. در هر پهنه، تنش به سه محور اصلی  $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$  تعریف می‌شود که هرکدام از آن‌ها یک کمیت تانسوری است. میدان تنش در زمان‌های متفاوت جهت‌گیری متفاوتی از خود نشان می‌دهد. عوامل مؤثر در تعیین راستای تنش حاکم بر منطقه را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱- جایگاه تکتونیکی منطقه مورد مطالعه

۲- جهت‌گیری ساختارهای منطقه

۳- ویژگی‌های مکانیکی مواد و اجزای سازنده محیط

## ۳-۳-۲- روش‌های تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش

روش‌های زیادی برای تجزیه و تحلیل تنش دیرین، از روش‌های ساده‌ی گرافیکی تا تکنیک‌های پیچیده‌ی کامپیوتری، توسط محققین ارائه شده است. برخی از روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل تنش عبارت‌اند از: ۱- روش اندرسون (Andersonion Method) که در سال ۱۹۴۲ توسط اندرسون به منظور تعیین جهت تنش دیرین تدوین شد. ۲- روش برگشتی (Stress Inversion Method) که اولین بار توسط Wallace(1951) و Bott(1959) مورد بحث و بررسی قرار گرفت. ۳- روش دووجهی مستقیم (Right Dihedral Method) یا روش آنجلیه و مک‌لر که یکی از پرکاربردترین و بهترین روش‌های گرافیکی برای تحلیل تنش دیرین است که توسط Machler و Angelier در سال ۱۹۷۷ ارائه شد.

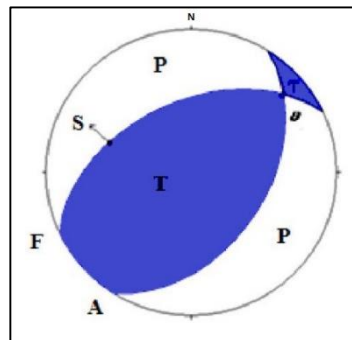
در این پژوهش نیز با توجه به گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان در محدوده مورد مطالعه، از روش دووجهی به منظور تعیین تنش دیرین استفاده می‌کنیم.

## ۳-۳-۲- تعیین تنش دیرین با استفاده از روش دووجهی مستقیم (Right dihedral method)

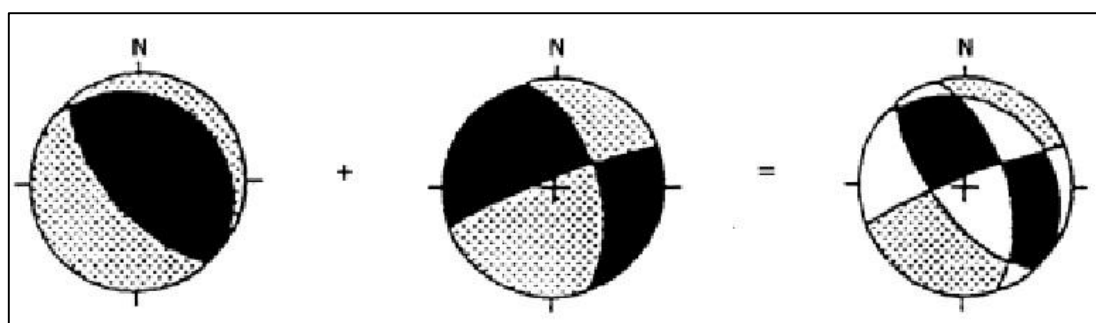
یکی از بهترین و پرکاربردترین روش‌های گرافیکی شناخته شده برای تجزیه و تحلیل تنش دیرین، روش دووجهی‌های عمود برهم است که نخستین بار توسط Angelier and Mechler(1977) ارائه شد. اساس روش دووجهی در واقع مشابه روشی است که در تحلیل سازوکار کانونی زمین لرزه بکار می‌رود با این تفاوت که در بررسی سازوکار زمین لرزه‌ها همواره دو صفحه گره به دست می‌آید که یکی گسل است که این ابهام در تحلیل صفحه گسل با بررسی‌های زمین‌شناسی برطرف می‌گردد. اما در بررسی و تحلیل صفحه گسل بر اساس روش دووجهی‌های عمود برهم نیاز به تشخیص و تفکیک صفحه گسل از صفحه کمکی نیست، زیرا هدف تعیین محورهای اصلی تنش دیرین است.



در روش دوجبهی‌های عمود برهم برای هر دسته از داده‌ها (گسل و بردار لغزش) می‌توان یک صفحه گسل و یک صفحه کمکی رسم نمود. صفحه کمکی عمود بر صفحه گسل، به گونه‌ای ترسیم می‌شود که از قطب گسل و عمود بر بردار لغزش روی سطح گسل بگذرد. در این صورت محدوده تحت گسلش به دو بخش فشارشی (در بردارنده محور کششی T) و دو بخش کششی (در بردارنده محور فشارش P) تقسیم می‌شود که دو ربع فشارشی و کششی در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند (شکل ۳-۴۹). با انطباق استریوگرام‌های مربوط به دوجبهی هر گسل بر روی هم می‌توان نواحی مشترک فشار و نواحی مشترک کشش استریوگرام‌ها را استخراج و نواحی ناسازگار را کنار گذاشت و نواحی فشارش و کشش را هرچه بیشتر محدود نمود (شکل ۳-۵۰).



شکل ۳-۴۹- استریوگرام دو سطح کمکی و گسل و نواحی فشارش و کشش در نیمکره زیرین شبکه هم مساحت. S بردار لغزش. B فصل مشترک F و P. ربع فشارش. T ربع کشش را نشان می‌دهد برگرفته از (Angelier 1994).



شکل ۳-۵۰- مثال ساده‌ای از دو گسل و نتیجه اشتراک ربع P و T این گسل‌ها که در آن نشان داده شده است (Angelier 1994).

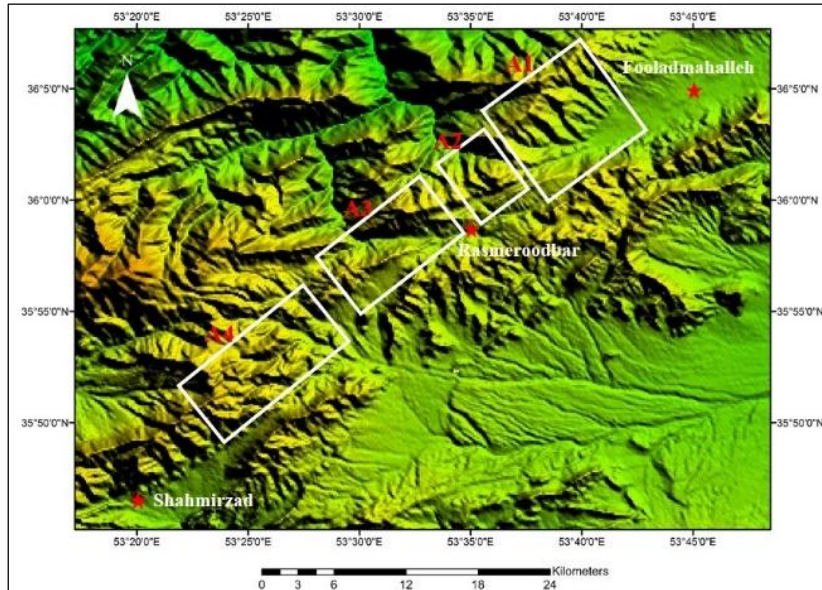
### ۳-۳-۴- تعیین تنش دیرینه در منطقه مطالعاتی

برای شناخت و بررسی آرایش محورهای تنش دیرینه در این پژوهش، برداشت‌های ساختاری به شیوه مستقیم صحرایی صورت پذیرفته است. برداشت‌ها دربرگیرنده صفحات گسلی، سطوح لغزش گسلی،

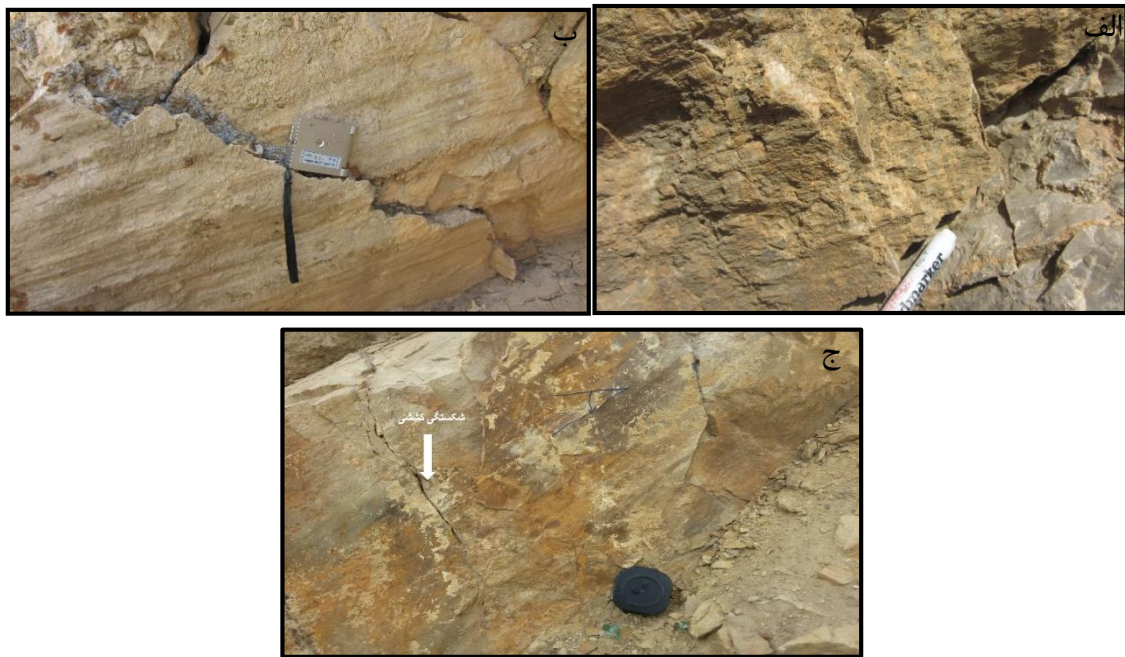
درزه‌های گسلی و خراش‌های گسلی هستند. الگوی ثبت سطوح و خطوط در این تحقیق برای داده‌ها از طریق روش دووجهی عمود برهم بر پایه امتداد و شیب و برای عوارض خطی از میل و جهت میل صورت پذیرفته است. اطلاعات به دست آمده از سطوح لغزش گسلی و اثر بریدگی این گسل‌ها در واحدهای گوناگون زمین‌شناختی با سن مختلف است. داده‌های برداشت شده در ۴ ایستگاه دسته‌بندی شده‌اند (شکل ۳-۵۱). این ایستگاه‌ها دربرگیرنده واحدهای سنگی مختلف با سن تریاس پایینی تا ژوراسیک بالایی هستند. در مجموع ۸۳ صفحه گسلی و خش‌لغزهای مربوط به آن‌ها برداشت شد. در هر یک از این موارد ابتدا مشخصات صفحات گسلی برداشت شده و پس از آن تشخیص خراش‌های گسلی و برداشت مشخصات آن‌ها، سوی لغزش مشخص شد. سوی لغزش اهمیت بسیاری دارد و تشخیص آن می‌تواند کمک شایانی در بررسی و یافتن محورهای تنش کند. بنابراین سوی لغزش در هر یک از موارد ثبت شده با توجه به نشانه‌ها و شاخص‌های مربوط مشخص شده است.

(Petit, 1987)، بعضی از عناصر حرکتی سطح گسل را برداشت‌های صحرایی در کوه‌های مرتفع آلپ اطلس موروکو مورد مطالعه قرار داده و معتبرترین معیارهای نحوه تشخیص حرکت را دسته شکستگی‌های مرتبط با گسل معرفی می‌نماید.

(Doblas, 1998)، طبقه‌بندی جدیدی از این شاخص‌ها را بر اساس ۶۱ معیار ارائه نموده است. با توجه به بررسی‌های ریخت‌شناسی سطوح گسلی در این ناحیه از شواهدی همچون خراش‌های گسلی، پله‌های گسلی و شکستگی‌ها برای تشخیص جهت حرکت استفاده شده است (شکل ۳-۵۲).



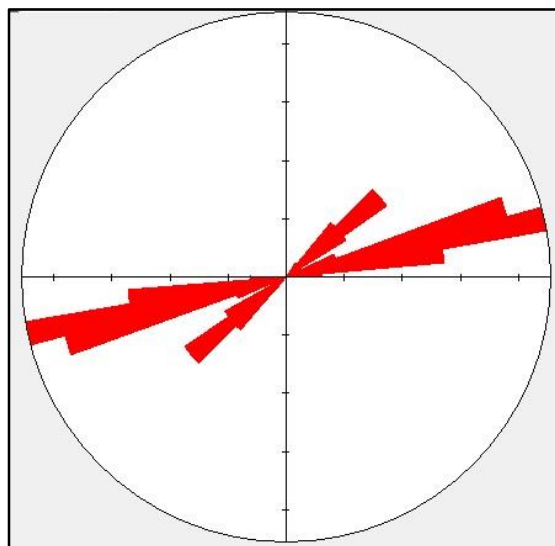
شکل ۳-۵۱- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مطالعاتی که ایستگاه‌های برداشت داده در آن مشخص شده است.



شکل ۳-۵۲- آثار حرکتی روی سطح گسل. الف: پله گسلی در ایستگاه A1. ب: خراش گسلی در ایستگاه A3. ج: شکستگی‌های کششی در ایستگاه A2.

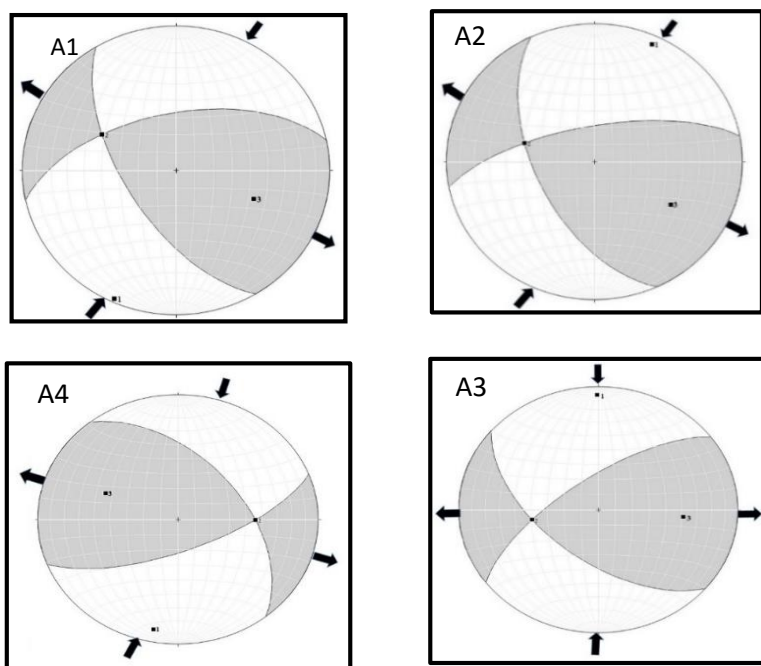
برای بررسی‌های سیکلوگرافیک صفحات گسلی داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل (امتداد و شیب) از نرم‌افزار Georient استفاده شد. بررسی نمودارهای گل‌سرخ‌ی امتدادی برای داده‌های برداشت‌شده از

سطوح گسلی منطقه نشان می‌دهد که ۴۰/۹ درصد از داده‌ها دارای امتداد ۷۰-۸۰، ۳۶/۳۸ درصد داده‌ها دارای امتداد ۴۰-۵۰ و ۲۲/۷۲ درصد از داده‌ها دارای امتداد ۶۰-۷۰ می‌باشند (شکل ۳-۵۳).



شکل ۳-۵۳ - نمودار گل‌سرخ امتدادی از گسل‌های برداشت‌شده منطقه. اکثر گسل‌های در منطقه روند NE-SW دارند.

در شکل (۳-۵۴) وضعیت تنش‌های اصلی منطقه نشان داده شده که اطلاعات مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها در جدول (۳-۲) آورده شده است.



شکل ۳-۵۴ - استریوگرام دووجهی‌های عمود بر هم به همراه موقعیت تنش‌های اصلی در ایستگاه‌های A1 تا A4.

جدول ۳-۲- ویژگی‌های وضعیت تنش در ایستگاه‌ها

Site	Stratigraphic age	Lithology	σ1		σ2		σ3	
			Dir.	Plunge	Dir.	Plunge	Dir.	Plunge
A1	Trias, Jurassic	Shale, limestone	۲۰۴	۰۳	۲۹۷	۴۴	۱۱۱	۴۴
A2	Trias, Jurassic	Shale, limestone	۰۲۴	۰۷	۲۸۶	۴۹	۱۲۱	۴۰
A3	Trias, Jurassic	Shale, limestone	۳۵۹	۰۷	۲۶۰	۵۰	۰۹۵	۳۹
A4	Trias, Jurassic	Shale, limestone	۱۹۱	۱۲	۰۹۰	۴۴	۲۹۲	۴۴

# فصل چهارم

## بحث و نتیجه گیری



طی مطالعات انجام شده و اطلاعات به دست آمده از ساختارهای منطقه، در این فصل به تشریح نتایج به دست آمده از مطالب ارائه شده در فصل های پیشین پرداخته شده است.

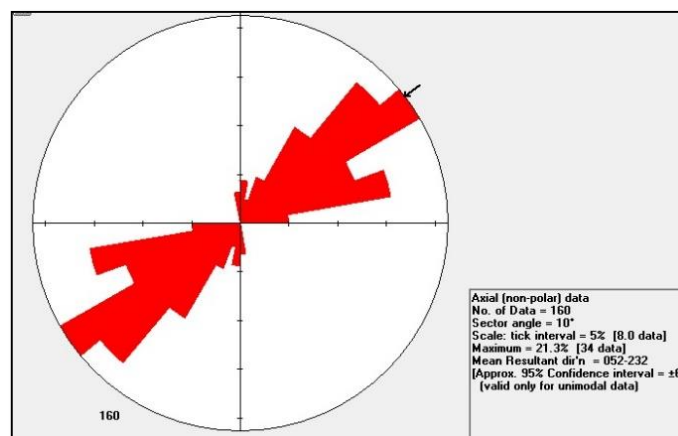
گسل های طولی گسل آستانه، گسل صبور و گسل فشاری بشم با راستای شمال خاوری- جنوب باختری مانند دیگر گسل های طولی کمر بند چین خورده- رانده البرز گسل میلا، گسل کواترنری شمال دامغان و گسل فیروزکوه از طول قابل قبولی برخوردار هستند.

گسل های عرضی با روند غالب شمالی - جنوبی و یا شمال باختری- جنوب خاوری که محدود به گسل های اصلی و به صورت مورب نسبت به آن ها قرار گرفته و طول آن ها نیز نسبت به گسل های اصلی کمتر است.

در این فصل سعی شده تا به بررسی ساختاری و شناسایی گسل های اصلی به ویژه گسل آستانه که مهم ترین هدف انجام این پژوهش است پرداخته شود.

#### ۱-۴- الگوی هندسی و حرکتی گسل ها

با توجه به مطالعات صحرائی و اندازه گیری ۱۶۰ داده از منطقه مورد مطالعه این عناصر ساختاری، در دو روند شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری (گسل های طولی) و شمالی جنوبی (گسل های عرضی) جای گرفته اند (شکل ۱-۴).

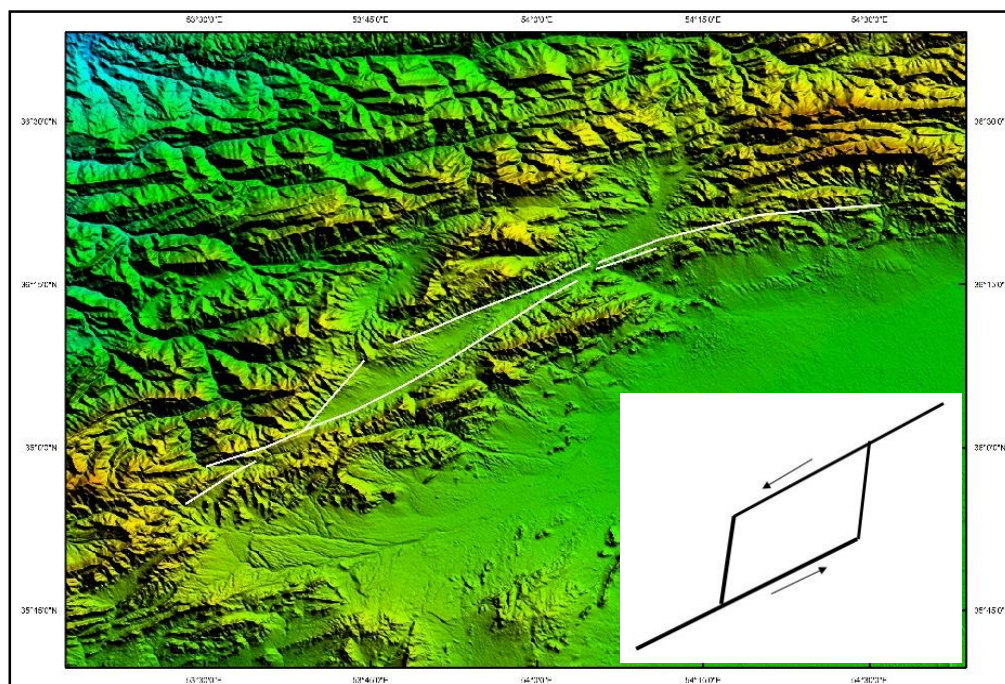


شکل ۱-۴- نمودار گل سرخی امتدادی که روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری را برای گسل های منطقه نشان می دهد.

همان طور که در شکل ۴-۱ قابل مشاهده است، می توان بیان داشت که روند شمال خاور - جنوب باختر (۰۵۲) بارزترین روند شناخته شده برای گسل های این محدوده است. این راستا، با راستای کلی منطقه مطالعاتی که بخشی از زون رسوبی - ساختاری البرز خاوری است همخوانی دارد.

#### ۴-۱-۱- گسل آستانه

گسل آستانه در البرز خاوری قرار دارد که بخشی از دامنه جنوبی کوه های البرز با ریخت شناسی خشن و بلند است. با توجه به حضور و عملکرد به نسبت شدید رانندگی ها، توالی های سنگی نظم اولیه خود را از دست داده اند، اما با این وجود واحدهای زمین ساختی-چینه ای البرز، به طور پراکنده برون زد دارد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- موقعیت گسل آستانه در البرز خاوری

#### ۴-۱-۱-۱-۱-۴ گسل F1

گسل F1 با راستای شمال خاوری – جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری (۵۹/۳۴۶) قرار دارد. که بررسی های صحرائی بروی ریخت شناسی سطح گسل خش لغزهایی با ریک ۳۴ درجه نشان می دهد که این خش لغزها سازوکار معکوس برای گسل تعیین می کنند.

#### ۴-۱-۱-۱-۲-۴ گسل F2

گسل F2 در شمال خاوری روستای رسم رودبار با راستای کلی شمال خاوری – جنوب باختر و شیب به سمت شمال باختری (۷۹/۳۲۹) قرار دارد. این گسل دودسته خراش گسلی با ریک های متفاوت را بروی سطوح گسلی خود به همراه دارد. ریخت شناسی منطقه حاکی از برخاستگی بلوک شمالی نسبت به بلوک جنوبی و در نتیجه سازوکار چپیره معکوس برای فاز S<sub>1</sub> است و برای فاز S<sub>2</sub> با خراش های گسلی با ریک افقی، می توان سازوکار کنونی گسل را بر اساس شواهد ریخت شناسی سطح گسل راستا لغز چپ بر معرفی نمود.

#### ۴-۱-۱-۱-۳-۴ گسل F3

این گسل با روند شمال خاوری – جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختر (۶۹/۳۴۹) باعث رانده شدن واحدهای آهکی الیکا بر روی واحدهای شیلی شمشک شده است که حاکی از عملکرد معکوس گسلش است. بررسی های ریخت شناسی از سطح گسل خراش هایی با ریک میانگین ۳۶ درجه را نشان می دهد که سازوکار معکوس را برای گسل تعیین می کند.

#### ۴-۱-۱-۱-۴-۴ گسل F4

گسل F4 دارای روند شمال خاوری – جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری (۷۱/۳۲۷) است. در این ایستگاه گسلش باعث رانده شدن واحدهای قدیمی سازند الیکا با سن تریاس بر روی واحدهای کنگلومرا و مارنی ائوسن شده است که شواهد چینه نگاری حاکی از رخداد گسلش با سازوکار معکوس

است. این گسل دارای دو سازوکار است. اولین فاز حرکت بر روی آن معکوس (دسته خراش‌هایی با ریک ۳۲ درجه) تشخیص داده شد. دومین فاز حرکت یا جدیدترین سازوکار گسل برای خراش‌ها با زاویه ریک کم از نوع امتدادلغز چپ‌بر است.

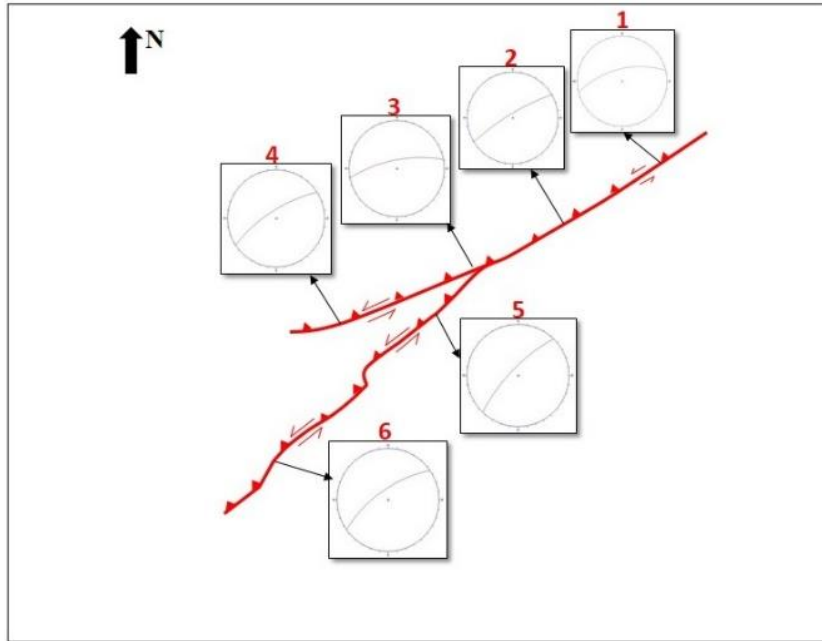
#### F5-۵-۱-۱-۴ گسل

راستای کلی گسل F5 شمال‌خاوری-جنوب‌باختر و شیب به شمال باختر (۷۳/۳۱۴) است. باوجود حداقل سه دسته خراش گسلی بروی سطح گسل می‌توان سه سازوکار برای آن تعیین کرد. که آخرین سازوکار گسل را با توجه به خراش‌های افقی از نوع راستا لغز چپ‌بر است.

#### F6-۶-۱-۱-۴ گسل

گسل F6 دارای روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و شیب به سمت شمال باختری (۶۷/۳۲۵) است. باعث رانده شدن واحدهای الیکا بر روی شمشک شده است که این موضوع رخداد گسلش با سازوکار معکوس را تعیین می‌کند. با توجه به برداشت‌های صحرایی دودسته خراش گسلی بر روی سطوح این گسل مشاهده می‌شود که در طی خراش‌های گسلی با ریک ۳۶ درجه سازوکار معکوس و در طی خراش‌های گسلی ۷ درجه سازوکار راستا لغز چپ‌بر تعیین شد.

حال با مقایسه سازوکار و هندسه‌ی گسلش در این ۶ گسل (F1 تا F6) در منطقه مطالعاتی با هندسه و سازوکار گسل آستانه در منطقه آستانه - فولادمحله، مطابقت دارد. حال با توجه به موارد ذکر شده بیان می‌شود که گسل آستانه در ادامه‌ی خود در جنوب باختری روستای فولادمحله نیز ادامه دارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های برداشت‌شده از این گسل، می‌توان این‌طور بیان کرد که گسل آستانه در این منطقه به‌صورت دو قطعه (شاخه) ادامه پیدا می‌کند (شکل ۴-۳)



شکل ۴-۳- تصویر شماتیکی از روند گسل آستانه در منطقه‌ی مطالعاتی به همراه تصویر استریوگرام میانگین

به‌دست‌آمده از هر گسل

#### -قطعه‌ی شمالی گسل آستانه

قطعه‌ی شمالی گسل آستانه با درازای حدود ۲۳ کیلومتر در محدوده مطالعاتی قرار دارد، در بخش باختری روستای فولادمحله رخنمون دارد. این گسل دارای راستای شمال خاوری - جنوب باختری با شیب به سمت شمال باختر (۶۹/۳۳۹) است.

این گسل دودسته خراش گسلی با ریک‌های متفاوت را بروی سطوح گسلی خود به همراه دارد. ریخت‌شناسی منطقه حاکی از برخاستگی بلوک شمالی نسبت به بلوک جنوبی و در نتیجه سازوکار چیره معکوس برای فاز S1 است و برای فاز S2 با خراش‌های گسلی با ریک افقی، می‌توان سازوکار کنونی گسل را بر اساس شواهد حرکتی سطح گسل راستا لغز چپ‌بر معرفی نمود.

#### -قطعه‌ی جنوبی گسل آستانه

قطعه جنوبی با درازای حدود ۱۴ کیلومتر در باختر روستای رسم‌رودبار با راستای کلی شمال خاور- جنوب باختر و شیب به سمت شمال باختر (۷۰/۳۱۹) باعث رانده شدن واحدهای آهکی الیکا بر روی

واحدهای شیلی شمشک شده است. این گسل سه دسته خراش گسلی با ریک های متفاوت را بر روی سطح خود به همراه دارد که نشان دهنده حداقل سه فاز حرکتی بر روی آن است. با توجه به قطع شدن خراش های با ریک بیشتر توسط خراش ها با ریک افقی ، می توان سازوکار کنونی این گسل را راستا لغز چپبر معرفی نمود.

بخش کلی گسل آستانه در فاصله بین آستانه تا فولادمحله، روند کلی شمال خاوری - جنوب باختری (N55E) دارد این بخش در دره ی آستانه که توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده قرار دارد. گسل آستانه در شرق روستای آستانه تغییر روند داده، امتداد آن از شمال خاوری - جنوب باختری به امتداد خاوری - باختری متمایل می گردد. با این تغییر روند سازوکار نیز از حالت راستا لغز چپبر همراه با مؤلفه معکوس به معکوس همراه با مؤلفه راستا لغز چپبر تبدیل می گردد که گسل آستانه - طزره نامیده می شود. گسل آستانه - طزره به دلیل رخنمون در واحدهای سخت (آهکی) ویژگی های حرکتی و سازوکار را به خوبی نشان می دهد.

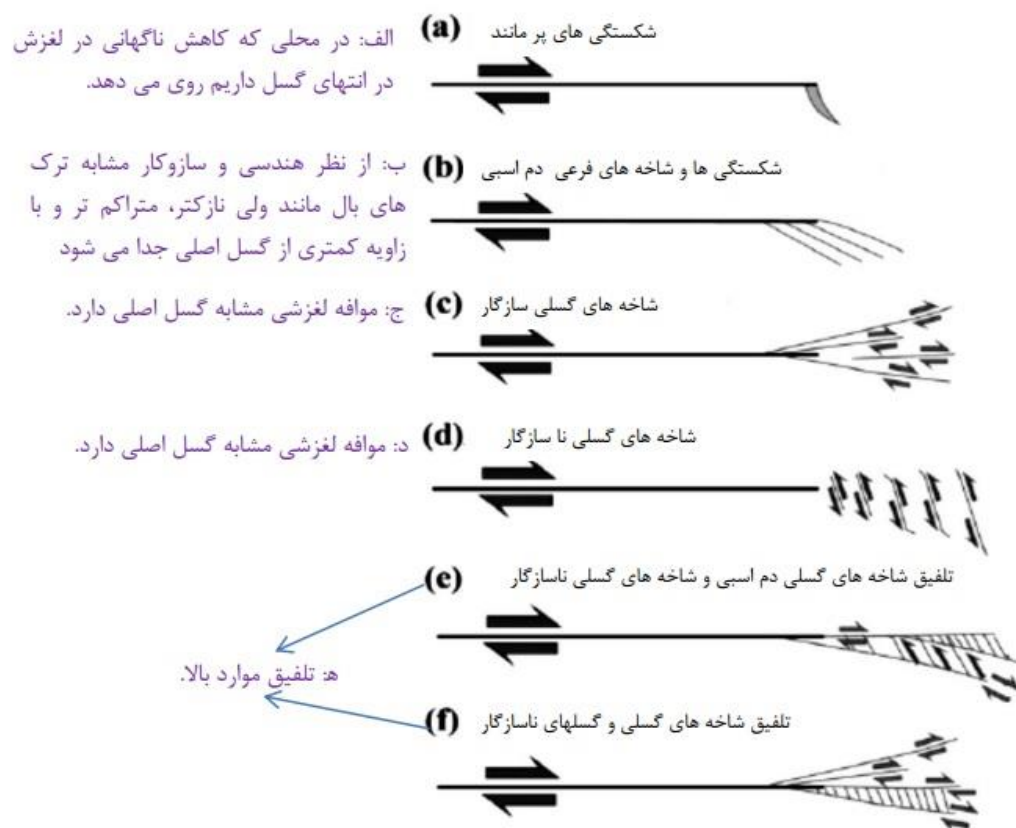
با توجه به نتایج این تحقیق، گسل آستانه در جنوب باختری روستای فولادمحله در رسوبات مزوزوئیک (سازند الیکا و سازند شمشک) رخنمون دارد که جنس واحدهای منطقه باعث شده که آثار حرکتی در آن ثبت شود. امتداد گسل آستانه در بخش جنوب باختری روستای فولادمحله از امتداد آن در بخش آستانه - فولادمحله تبعیت می کند و سازوکار آن از راستا لغز چپبر با مؤلفه معکوس به معکوس با مؤلفه راستا لغز چپبر در منطقه مطالعاتی تغییر کرده است.

#### -هندسه پایانه های گسلی

هندسه پایانه های گسلی به چهار نوع کلی شمال: ۱- شکستگی های پر مانند (Wing Cracks) (شکل ۴-۴-۱)، ۲- شاخه های فرعی دم اسبی (Horse tail splay or pinnate fracture) (شکل ۴-۴-۲)، ۳- گسل های سازگار (Synthetic branch Fault) (شکل ۴-۴-۳)، ۴- گسل های ناسازگار (Anthetic Fault) (شکل ۴-۴-۴) است. شکستگی های پر مانند و شاخه های فرعی دم اسبی، زمانی که کاهش



شدیدی در نرخ لغزش روی دهد اتفاق می‌افتند، با این تفاوت که شاخ‌های فرعی، کاهش نرخ لغزش کمتری مشاهده می‌شود. هندسه شاخه‌های فرعی دم‌اسبی، قابل‌مقایسه با دسته‌ای از گسل‌های فاشقی است. گسل‌های سازگار، دارای مؤلفه حرکتی مشابه گسل اصلی هستند. میزان جابه‌جایی در هر انشعاب به‌تنهایی کم ولی مجموع جابه‌جایی‌ها در تمام گسل‌های کوچک منشعب معادل میزان جابه‌جایی در گسل امتدادلغز اصلی است. بنابراین انشعابات گسلی موجب توزیع دگرشکلی در یک حجم وسیع از پوسته می‌شود. البته در موارد صحرایی ترکیبی از این موارد روی می‌دهد (شکل ۴-۵-۵) (Twiss and Moores, 1992; Kim et al, 2002).



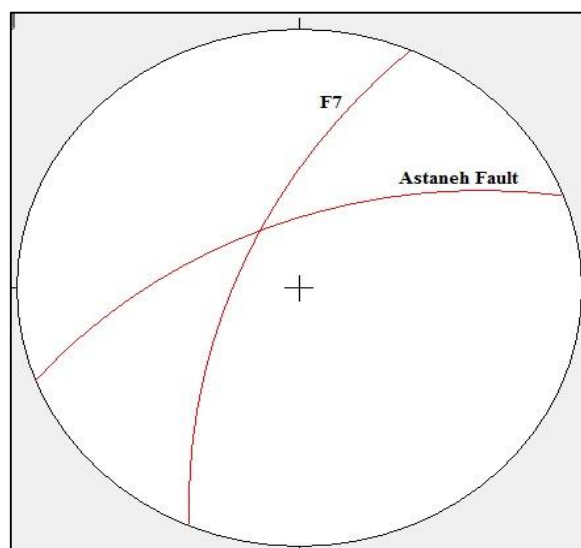
شکل ۴-۴ : انواع هندسه پایانه گسلی: الف-شکستگی‌های پرمانند، ب- شاخه‌های فرعی دم‌اسبی، ج- گسل‌های سازگار، د- گسل‌های ناسازگار، ه- ترکیبی از چهار حالت (Kim and et al, 2004).

با توجه به مطالعات این تحقیق می‌توان برای انتهای جنوب باختری گسل آستانه پایانه‌ی گسلی از نوع پایانه‌های سازگار تعیین کرد.

#### ۴-۱-۲- گسل F7

گسل F7 با طول تقریبی ۲/۴ کیلومتر، با روند ۷۲/۲۹۳ در غرب روستای فولادمحله قرار داشته و باعث رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک شده است. با توجه به برداشت‌های صحرایی دودسته خراش گسلی بر روی سطوح این گسل مشاهده می‌شود که در طی خراش‌های گسلی با ریک ۷۵ درجه سازوکار معکوس و در طی خراش‌های گسلی ۴۵ درجه حرکت معکوس با کمی مؤلفه راستا لغز چپ‌بر تعیین شد.

گسل F7 با راستای شمال خاوری - جنوب باختری با گسل آستانه با راستای شمال خاوری جنوب باختری زاویه حدود ۴۶ درجه می‌سازد. استریوگرام شکل (۴-۵) زاویه بین این دو گسل را برابر ۴۶ درجه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه گسل F7 در انتهای شمال خاوری خود به گسل آستانه می‌رسد و بعدازآن ادامه ندارد می‌توان بیان کرد که گسل F7 یک شاخه‌ی منشعب شده از گسل آستانه است.

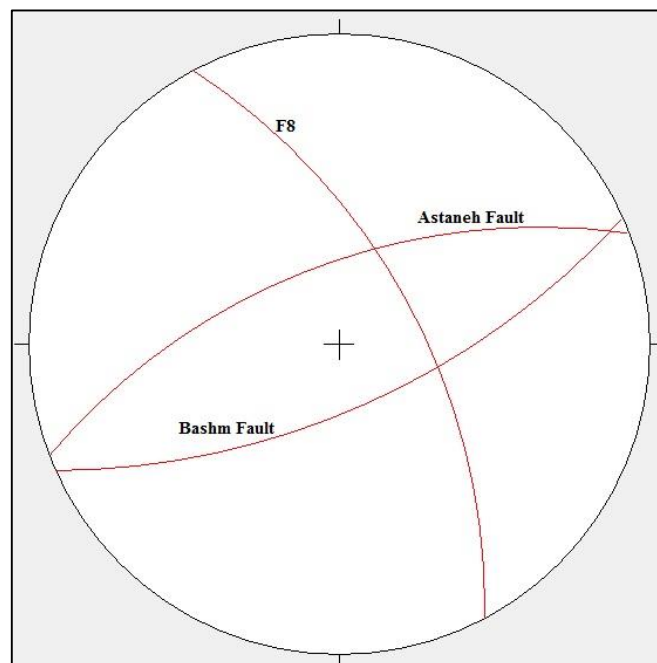


شکل ۴-۵ - تصویر سیکلوگرافیک نشان‌دهنده‌ی زاویه ۴۶ درجه‌ای بین صفحات میانگین گسل آستانه و گسل F7

با توجه به موقعیت جغرافیایی گسل F7 و شیب و امتداد به‌دست‌آمده از این گسل و همچنین به اتمام رسیدن انتهای شمال خاوری گسل F7 در برخورد با گسل آستانه می‌توان گفت که این گسل یکی از شاخه‌های فرعی گسل آستانه است.

#### ۴-۱-۳- گسل F8

گسل F8 در ۱۸ کیلومتری شمال خاوری شه میرزاد با راستای کلی شمالی جنوبی و شیب به خاور (۶۹/۰۶۲) قرار دارد. که باعث برش و جابه‌جایی در واحدهای آهکی الیکا شده است. سازوکار این گسل به صورت نرمال است. این گسل با گسل آستانه زاویه حدود ۹۷ درجه و با گسل بشم زاویه‌ای حدود ۹۴ درجه دارد. استریوگرام شکل (۴-۶) زاویه بین سه گسل آستانه ، بشم و F8 را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶- تصویر سیکلوگرافیک نشان‌دهنده‌ی صفحات میانگین گسل آستانه و گسل بشم و گسل F8

#### ۴-۱-۴- گسل F9

گسل F9 در فاصله ۱/۸ کیلومتری شمال روستای فولادمحله عبور می‌کند. این گسل با راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختر (۷۰/۳۰۴) است که باعث برش و جابه‌جایی در واحدهای شیل و ماسه‌سنگی شمشک شده است.

همچنین قابل ذکر است که گسل F9 برای اولین بار در این پایان‌نامه بررسی و شناسایی شده است که گسل شمال باختری فولادمحله نام‌گذاری شد.

#### ۴-۱-۵- گسل F10

گسل F10 در ارتفاعات شمال شه میرزاد با طول تقریبی ۱۳ کیلومتر و با راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری (۷۱/۳۲۳) قرار دارد. این گسل باعث رانده شدن واحدهای آهکی الیکا بروی واحدهای شیلی شمشک شده است که مؤید حرکت معکوس است. هم‌چنین بررسی‌های شواهد سطح گسل وجود خراش‌هایی با ریک ۵۰ درجه نمایان شد که حرکت معکوس را برای این گسل تعیین می‌کند.

لازم به ذکر است که گسل F10 برای اولین بار در این پایان‌نامه شناسایی و مطالعه شد که گسل شمال شه میرزاد نام نهاده شد.

#### ۴-۱-۶- گسل فشاری بشم

گسل فشاری بشم با طول حدود ۵۲/۵ کیلومتر هم‌راستا با گسل آستانه با راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاوری (۷۳/۱۵۶) است. در قسمت شمال خاوری این گسل باعث رانده شدن واحدهای الیکا بر روی واحدهای شیلی شمشک شده است. در قسمت جنوب باختری باعث رانده شده واحدهای پره‌کامرین بر روی مارن و توف‌های ائوسن شده است که در هر دو ناحیه نشان از معکوس بودن مؤلفه شیب لغز است. برداشتهای صحرایی وجود دودسته خراش گسلی بر روی گسل فشاری بشم را نمایان می‌کنند. سازوکار چیره معکوس برای فاز S<sub>2</sub> و سازوکار راستا لغز چپ‌بر برای فاز S<sub>1</sub> معرفی نمود که فاز S<sub>1</sub> جدیدترین فاز نیز است.

به سبب جنبش دو گسله‌ی بشم و آستانه پهنه‌ی چاشم در راستای این دو گسله فروافتاده و یک فرونشست فشاری (Compressional depression) و یا Ramp basin را به وجود آورده است (بربریان و قریشی، ۱۳۶۴). بیشینه جابه‌جاشدگی شاغولی گسله‌ی فشاری بشم نزدیک به ۴۰۰۰ متر تخمین زده شده است (نبوی، ۱۳۶۶).

#### ۴-۱-۷- گسل کواترنری صبور

این گسل دارای راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاوری (۶۴/۱۶۳) است. شواهد چینه نگاری سازند الیکا و سازند شمشک، برش گسلی، افراز گسلی و سایر شواهد ریخت‌شناسی موجود بر روی سطوح این گسل نشان‌دهنده‌ی گسلی بودن این مرز است. این گسل دارای دو سازوکار است. اولین فاز حرکت بر روی آن معکوس (دسته خراش‌هایی با ریک ۴۲ درجه) تشخیص داده شد که باعث برخاستگی سازند آهکی الیکا بر روی سازند فرسایش‌پذیر شمشک شده است. دومین فاز حرکت یا جدیدترین سازوکار گسل برای خراش‌ها با زاویه ریک کم از نوع امتدادلغز چپ‌بر است.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته این‌طور عنوان می‌شود که گسل‌های اصلی محدوده مطالعاتی دارای روند کلی شمال خاوری - جنوب باختری می‌باشند که عمدتاً سازوکار معکوس همراه با مؤلفه راستا لغز چپ‌بر دارند.

همچنین لازم به ذکر است که در مورد گسل‌های اصلی ناحیه مورد مطالعه و با توجه به پوشیده بودن قسمت عمده این منطقه توسط واحدهای رسوبی شکل‌گرفته در دوران سنوزوئیک و رانده شدن سازندهای قدیمی‌تر بر روی این واحدها، می‌توان این‌طور بیان داشت که تکامل ساختاری ناحیه مورد بحث در ارتباط با آخرین مراحل کوهزایی آلی است.

#### ۴-۲- تأثیر فعالیت گسل‌ها بر روی ریخت‌شناسی

ریخت‌شناسی ناحیه مورد مطالعه به‌طور عمده متأثر از فعالیت گسل‌های اصلی منطقه (گسل‌های آستانه ، صبور و بشم) است.

گسل آستانه با سازوکار معکوس و مؤلفه امتدادلغز چپ‌بر، مرز توپوگرافی مشخص و متمایزی را بین سازندهای شمشک و الیکا شده است. این گسل با جابه‌جایی چپ‌بر خود در منطقه فولادمحله-آستانه



عوارضی مانند مخروط افکنه‌ها و مسیر رودخانه‌ها، سیمای زمین ریختی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است.

بر اثر عملکرد گسل صبور و بالا آمدن بلوک جنوب خاوری آن، اختلاف توپوگرافی مشخصی در برخی از طول گسل ایجاد شده که در مطالعات میدانی، این تغییرات ریخت‌شناسی به‌وضوح قابل مشاهده است و در برخی نقاط سبب ایجاد پرتگاه‌هایی با شیب ملایم و با ارتفاع مختلف گشته است. همچنین این گسل با فعالیت راستا لغز چپ‌بر خود، سیمای زمین ریختی آبراهه‌های این منطقه را تحت تأثیر قرار داده و آن را به‌صورت چپ‌بر جابه‌جا کرده است.

گسل فشاری بشم، در شمال شه‌میرزاد با عملکرد معکوس خود منطقه را تحت تأثیر قرار داده و سبب ایجاد اختلاف ارتفاع مشخصی شده است. همچنین این گسل با سازوکار معکوس خود باعث ارتفاع گرفتن کوه‌های سیاه‌لت و کاهش در شمال شه‌میرزاد و ایجاد دره‌های گسلی V شکل در امتداد خود شده است.

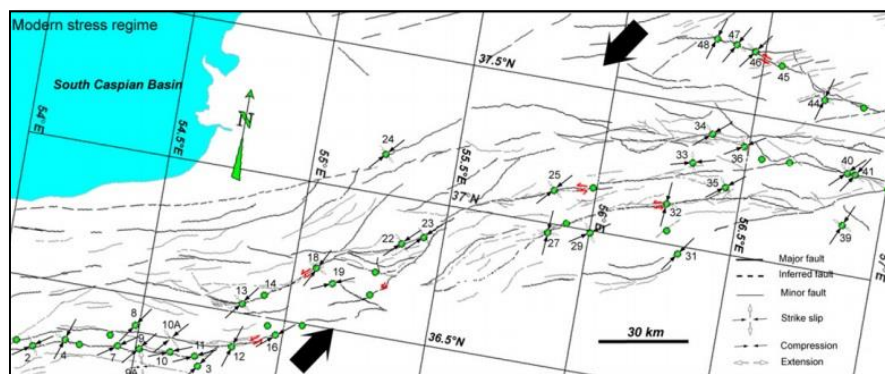
#### ۳-۴- تعیین راستای تنش اصلی وارد بر منطقه مطالعاتی

تغییر شکل فشاری سنوزوئیک البرز، از میوسن (یا کمی پیش‌تر) و با اولین مرحله برخورد صفحات عربی و اوراسیا آغاز گشت که در این زمان جهت‌گیری تنش بیشینه، شمالی - جنوبی بوده و البرز به‌طور غالب تحت تنش فشاری قرار داشته است. با غلبه تنش اعمال شده از صفحه‌ی عربی و آغاز حرکت رو به باختر پی‌سنگ خزر جنوبی نسبت به ایران از زمان پلیوسن، جهت تنش بیشینه ناحیه‌ای از حالت شمالی - جنوبی به راستای شمال خاوری جنوب باختری تغییر کرده و تغییر شرایط دگرشکلی فشاری به چپ‌بر را سبب شده است (Allen et al 2003).

این تغییرات، شرایط شکل‌گیری و فعالیت گسل‌های امتداد لغز چپ‌بر را ایجاد کرده که تاکنون به فعالیت خود ادامه داده‌اند.

(امیدی و همکاران، ۱۳۸۱) بامطالعه در نیمه جنوبی البرز خاوری در بازسازی تنش کواترنری، جهت تنش حاکم بر منطقه را به سمت شمال-شمال خاوری معرفی کرده‌اند.

مطالعات جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al., 2011) نیز دستاوردهای گذشته مبنی بر وجود گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با راستای شمال خاوری - جنوب باختری در البرز را تأیید می‌نماید. به اعتقاد ایشان، رژیم زمین ساختی ترفشارشی بر این منطقه حاکم بوده و تنش اصلی بیشینه در وضعیت امروزی، راستای شمال خاوری - جنوب باختری دارد (شکل ۴-۷).



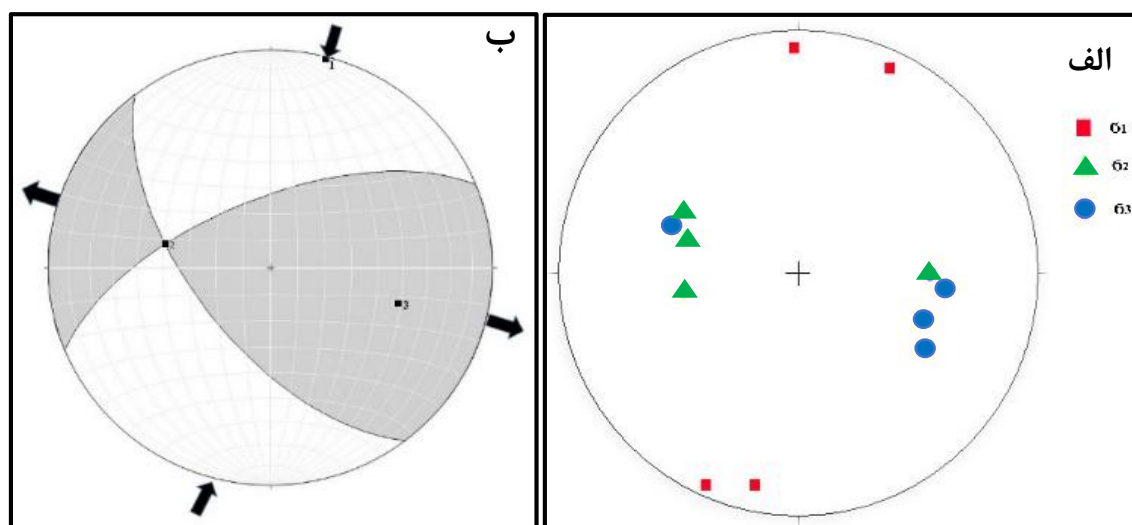
شکل ۴-۷- وضعیت امروزی تنش اصلی بیشینه (برگرفته از Javidfakhr et al 2011)

تعیین راستای تنش موجود در منطقه ابزار کارآمدی برای تحلیل ژئودینامیکی منطقه در زمان‌های مختلف است. لازمه دست یافتن به چنین هدفی تحلیل عناصر ساختاری منطقه نظیر چین‌ها و گسل‌ها است. در این بخش با توجه به گسل‌های منطقه به صورت محلی و کوچک‌مقیاس، راستای تنش موجود در منطقه موردبررسی قرار می‌گیرد.

امروزه زمین‌شناسان برای تعیین راستای تنش اصلی از روش‌های متعددی استفاده می‌کنند. به‌طور عمده عناصر مورداستفاده در این راستا، چین‌ها و گسل‌ها هستند. در این تحقیق روش دوجبهی‌های عمود برهم (آنژیله و ملکر) موردبررسی قرار گرفت.

در این پژوهش، با توجه به وجود سازندهای مزوزوئیک در منطقه همچون سازند الیکا و سازند شمشک، با استفاده از تحلیل لغزش گسل‌ها، موقعیت تنش در بازه‌ی زمانی مزوزوئیک تعیین گردید. بدین منظور

داده‌های لغزش گسلی شامل موقعیت گسل و موقعیت خش لغزهای از سازندهای مذکور جمع‌آوری شده است. در بخش (۳-۳-۴) منطقه مورد مطالعه به چهار ایستگاه (A1 تا A4) تقسیم گردید و تنش دیرین برای هر یک از ایستگاه‌ها به‌طور جداگانه تعیین شد. محورهای اصلی تنش در چهار ایستگاه مطالعه شده در شکل (۴-۸-الف) آورده شده است. برای به دست آوردن دید کلی از تنش حاکم بر منطقه یک بر این اساس نتایج به دست آمده به صورت شکل (۴-۸-ب) نشان داده شده است.



شکل ۴-۸-الف: استریوگرام شامل محل تنش‌های اصلی در چهار ایستگاه. ب: استریوگرام دووجهی‌های عمود بر هم به همراه موقعیت تنش‌های اصلی با داده‌های ترکیبی. ( دایره‌های آبی معرف  $\sigma_1$ ، مربع‌های قرمز معرف  $\sigma_2$ ، مثلث‌های سبز زنگ معرف  $\sigma_3$  ).

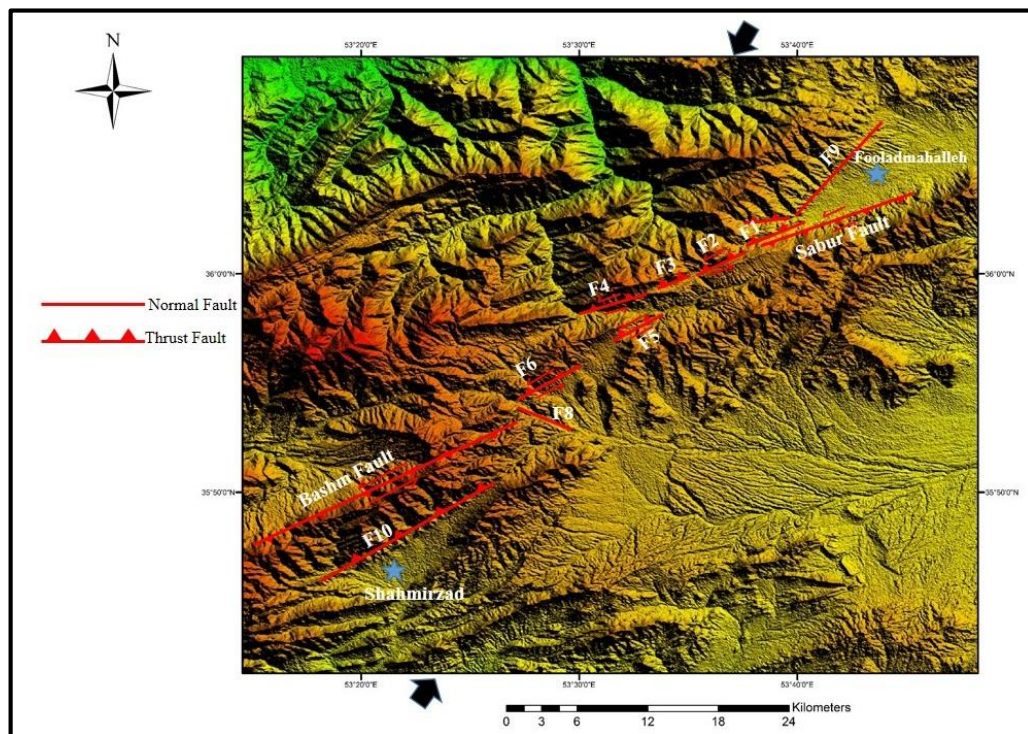
به این ترتیب می‌توان جهت‌گیری محورهای تنش را به صورت زیر بیان کرد:

$$\sigma_1: 01^\circ / 014^\circ \quad \sigma_2: 50^\circ / 283^\circ \quad \sigma_3: 40^\circ / 106^\circ$$

نتایج به دست آمده حاکی از جهت تنش بیشینه، با راستای شمال، شمال خاوری - جنوب، جنوب باختری تعیین گردید. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از واحد رسوبی - ساختاری البرز خاوری است. بدیهی است که شکل‌گیری زمین‌ساختی آن با الگوی ارائه شده برای دگرشکلی این قسمت از ایران همخوانی داشته باشد.

#### ۴-۴- ارزیابی الگوی دگر ریختی ها

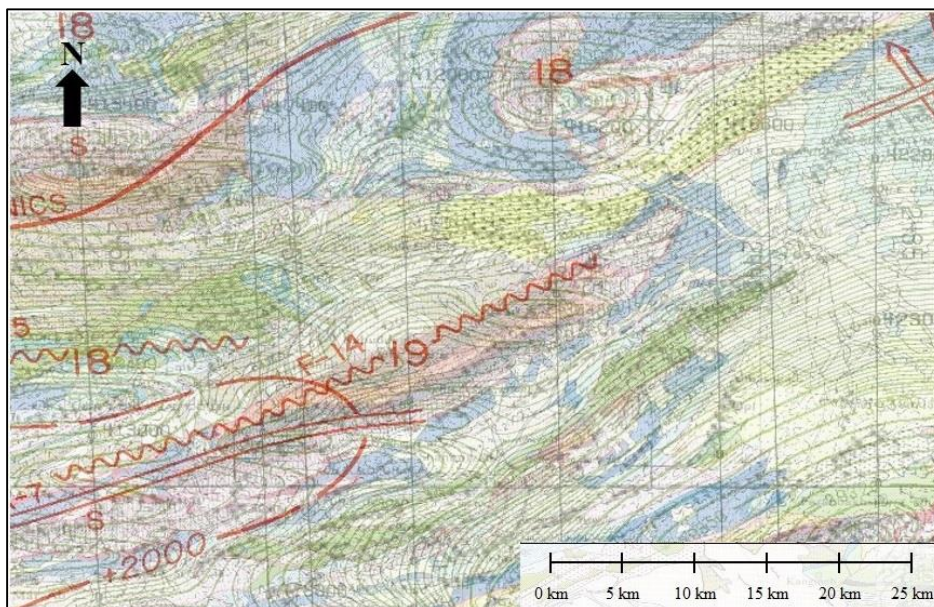
شکل ۴-۹ ارتباط بین سازوکار گسل های اصلی منطقه مورد مطالعه با جهت تنش بیشینه حاکم بر منطقه را نشان می دهد و می توان بیان داشت که وضعیت سوی تنش بیشینه و هندسه و سازوکار گسل های ناحیه مورد مطالعه با الگوی دگرشکلی ترافشارشی چپ گرد مطابقت دارد.



شکل ۴-۹- ارتباط سوی تنش بیشینه با سازوکار گسل های منطقه مورد مطالعه که نشان می دهد شرایط دگرشکلی ترافشارشی چپ گرد بر منطقه حاکم است.

از دیگر بررسی های انجام گرفته در این پژوهش، بررسی نقشه های هوا مغناطیس و انطباق آن ها با نقشه های زمین شناسی در محدوده مورد مطالعه به منظور شناسایی گسل های پی سنگی هست. بدین منظور، موزاییکی از چهار نقشه زمین شناسی ساری، گرگان، ترود و سمنان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، به همراه نقشه های هوا مغناطیس ورقه های بابل، گرگان و سمنان ۱:۲۵۰۰۰۰، در محیط نرم افزار Global Mapper تهیه گردیده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، خطواره مشاهده می شود، خطواره مغناطیسی F-14 با گسل فشاری بشم درج شده در نقشه زمین شناسی، در محدوده مطالعاتی

انطباق دارد (شکل ۴-۱۰). دیگر ساختارهای منطقه با هیچ یک از خطواره‌های مغناطیسی انطباق ندارند. از آنجایی که هیچ خطواره‌ای با روند شمالی-جنوبی وجود ندارد می‌توان این گونه بیان کرد که گسل F2 که از گسل‌های عرضی منطقه است از نوع گسل‌های پارگی و مرتبط با گسل‌های راندگی است.



شکل ۴-۱۰ - روی هم اندازی قسمتی از نقشه‌های هوا مغناطیسی ورقه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان با نقشه‌ی زمین‌شناسی

سمنان

#### ۴-۵- پیشنهادها

۱- مطالعه بر روی قطعات مختلف گسل از نظر هندسی و لرزه‌ای به منظور قطعه‌بندی دقیق گسلش در منطقه

۲- مطالعه دیرینه لرزه‌شناسی به سمت باختر

۳- مطالعه بر روی آرایش مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌ها به‌ویژه ریز لرزه‌ها به منظور پی بردن به عمق

گسل‌ها





پوستها

پیوست ۱: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F1

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۳۴۷	۱
۲	۷۲	۳۵۲	۴
۳	۶۰	۳۴۲	۴
۴	۶۱	۳۵۶	۱
۵	۷۰	۳۴۸	۱

پیوست ۲: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F2

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۸۸	۳۲۰	۱	۸	۸۰	۳۳۲	۴
۲	۸۰	۳۱۵	۴	۹	۷۶	۳۲۷	۴
۳	۸۴	۳۱۷	۱	۱۰	۷۶	۳۲۹	۱
۴	۷۹	۳۲۵	۴	۱۱	۸۲	۳۳۶	۱
۵	۸۱	۳۲۳	۱	۱۲	۷۱	۳۴۱	۱
۶	۷۵	۳۱۲	۴	۱۳	۸۴	۳۲۲	۴
۷	۷۷	۳۱۹	۱	۱۴	۷۵	۳۲۹	۱

پیوست ۳: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F3

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۳۴۷	۱	۶	۶۶	۳۴۱	۱
۲	۷۲	۳۵۲	۱	۷	۶۹	۳۴۶	۱
۳	۶۰	۳۴۲	۱	۸	۶۳	۳۳۹	۱
۴	۶۱	۳۵۶	۱	۹	۷۱	۳۵۱	۱
۵	۷۰	۳۴۸	۱	۱۰	۷۶	۳۵۶	۱

## پیوست ۴: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F4

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا(معکوس) ۲- روبه پایین(نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۳۲۰	۱	۹	۶۹	۳۳۲	۱
۲	۶۳	۳۱۲	۱	۱۰	۶۴	۳۳۷	۴
۳	۷۰	۳۲۳	۴	۱۱	۷۲	۳۲۶	۴
۴	۸۰	۳۳۰	۴	۱۲	۸۰	۳۳۰	۴
۵	۸۲	۳۲۶	۴	۱۳	۷۶	۳۲۱	۱
۶	۷۸	۳۲۵	۱	۱۴	۶۷	۳۲۵	۱
۷	۷۳	۳۲۹	۱	۱۵	۶۱	۳۳۸	۴
۸	۶۵	۳۳۱	۴	۱۶	۷۳	۳۲۹	۱

## پیوست ۵: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F5

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا(معکوس) ۲- روبه پایین(نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۰	۳۱۰	۱	۹	۶۸	۳۲۰	۱
۲	۷۲	۳۰۳	۱	۱۰	۷۱	۳۱۸	۴
۳	۸۰	۳۱۵	۱	۱۱	۷۶	۳۱۵	۴
۴	۶۸	۳۲۰	۱	۱۲	۷۹	۳۲۴	۴
۵	۷۳	۳۰۷	۴	۱۳	۶۸	۳۱۴	۱
۶	۷۹	۳۱۲	۴	۱۴	۷۰	۳۲۰	۴
۷	۷۰	۳۱۰	۴	۱۵	۸۰	۳۱۵	۱
۸	۷۲	۳۰۴	۴	۱۶	۷۹	۳۱۲	۴

پیوست ۶: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F6

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۰	۳۱۵	۱	۶	۷۱	۳۲۹	۱
۲	۶۹	۳۲۴	۱	۷	۷۶	۳۲۵	۴
۳	۵۹	۳۱۸	۱	۸	۶۷	۳۱۷	۴
۴	۶۳	۳۳۰	۱	۹	۶۷	۳۳۳	۴
۵	۶۰	۳۲۷	۴	۱۰	۷۰	۳۳۰	۱

پیوست ۷: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F7

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۵	۲۹۰	۱	۶	۷۳	۲۸۵	۱
۲	۷۸	۲۸۰	۱	۷	۷۸	۲۹۰	۱
۳	۷۲	۲۹۳	۱	۸	۶۹	۲۸۷	۱
۴	۶۷	۳۰۷	۱	۹	۷۴	۳۰۳	۱
۵	۶۹	۳۰۲	۱	۱۰	۷۰	۲۹۵	۱

پیوست ۸: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F8

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۰	۰۶۰	۲	۷	۶۸	۰۵۹	۲
۲	۶۸	۰۵۵	۲	۸	۷۳	۰۶۹	۲
۳	۷۳	۰۵۹	۲	۹	۷۸	۰۷۰	۲
۴	۶۶	۰۶۶	۲	۱۰	۶۳	۰۵۲	۲
۵	۷۱	۰۶۴	۲	۱۱	۷۰	۰۶۱	۲

پیوست ۹: داده‌های برداشت‌شده رخنمون اول گسل F9

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست‌بر ۴-چپ‌بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۰	۳۰۰	۲	۶	۷۳	۲۹۵	۲
۲	۷۵	۳۱۰	۲	۷	۷۷	۳۱۲	۲
۳	۶۸	۲۹۸	۲	۸	۷۲	۳۰۵	۲
۴	۸۰	۳۰۵	۲	۹	۶۷	۳۱۰	۲
۵	۶۶	۳۰۱	۲	۱۰	۷۶	۳۰۰	۲

## پیوست ۱۰: داده‌های برداشت‌شده رخنمون دوم گسل F9

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست بر ۴-چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense
۱	۳۷	۳۰۳	۲	۶	۳۹	۲۹۸	۲
۲	۳۵	۳۰۸	۲	۷	۳۱	۳۱۴	۲
۳	۳۹	۳۱۱	۲	۸	۳۴	۳۰۴	۲
۴	۴۲	۳۰۰	۲	۹	۲۹	۳۱۰	۲
۵	۳۶	۳۰۵	۲	۱۰	۳۶	۳۱۲	۲

## پیوست ۱۱: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F10

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست بر ۴-چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۳۲۵	۱	۷	۷۲	۳۲۰	۱
۲	۶۹	۳۲۰	۱	۸	۶۵	۳۲۷	۱
۳	۸۰	۳۱۸	۱	۹	۷۹	۳۳۲	۱
۴	۷۵	۳۲۸	۱	۱۰	۷۱	۳۲۱	۱
۵	۷۸	۳۱۷	۱	۱۱	۶۸	۳۲۶	۱
۶	۶۹	۳۲۶	۱	۱۲	۶۵	۳۱۸	۱

## پیوست ۱۲: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل بشم

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست بر ۴-چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۳	۱۵۵	۱	۱۱	۸۰	۱۵۷	۴
۲	۶۷	۱۶۳	۱	۱۲	۷۶	۱۵۰	۴
۳	۸۱	۱۵۰	۱	۱۳	۷۶	۱۳۸	۱
۴	۶۲	۱۵۳	۴	۱۴	۸۲	۱۵۰	۱
۵	۷۰	۱۶۲	۱	۱۵	۷۱	۱۴۶	۱
۶	۷۵	۱۴۸	۴	۱۶	۸۴	۱۵۷	۴
۷	۷۷	۱۵۰	۱	۱۷	۷۵	۱۵۱	۱
۸	۶۷	۱۵۹	۱	۱۸	۸۰	۱۶۳	۴
۹	۷۰	۱۷۱	۱	۱۹	۶۳	۱۷۳	۱
۱۰	۶۲	۱۶۴	۴	۲۰	۷۰	۱۶۸	۴

پیوست ۱۳: داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل صبور

\*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست بر ۴-چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۱۷۰	۱	۹	۴۹	۱۶۷	۱
۲	۶۹	۱۶۴	۱	۱۰	۶۱	۱۶۰	۱
۳	۶۰	۱۶۷	۱	۱۱	۶۵	۱۶۴	۱
۴	۵۸	۱۵۴	۱	۱۲	۷۰	۱۶۵	۴
۵	۶۳	۱۶۱	۱	۱۳	۶۸	۱۶۷	۴
۶	۵۹	۱۶۰	۴	۱۴	۷۱	۱۶۴	۴
۷	۶۳	۱۶۴	۱	۱۵	۷۰	۱۶۰	۴
۸	۶۵	۱۵۷	۱	۱۶	۶۵	۱۷۰	۴

پیوست ۱۴: داده‌های برداشت‌شده از تاقدیس FO1

NO	Dip	Dip.Dir	NO	Dip	Dip.Dir
۱	۳۵	۱۳۰	۷	۶۲	۱۱۵
۲	۳۷	۱۳۵	۸	۶۴	۱۲۶
۳	۳۰	۱۳۷	۹	۶۱	۱۲۰
۴	۳۴	۱۳۱	۱۰	۶۷	۱۲۷
۵	۳۱	۱۳۶	۱۱	۶۵	۱۲۱
۶	۵۹	۱۱۹	۱۲	۷۰	۱۱۴

پیوست ۱۵: داده‌های برداشت‌شده از لایه‌بندی شمشک

NO.	Dip	Dip.Dir	NO.	Dip	Dip.Dir
۱	۴۰	۲۴۱	۶	۴۳	۲۴۰
۲	۳۸	۲۳۸	۷	۳۶	۲۳۶
۳	۴۵	۲۴۵	۸	۴۰	۲۴۲
۴	۳۷	۲۴۰	۹	۳۷	۲۴۷
۵	۳۵	۲۴۳	۱۰	۴۲	۲۴۰

پیوست ۱۶: داده‌های برداشت‌شده از لایه‌بندی دلیچای

NO.	Dip	Dip.Dir
۱	۲۵	۲۳۰
۲	۲۸	۲۳۳
۳	۲۳	۲۲۸
۴	۳۰	۲۲۰
۵	۲۵	۲۲۸



## منابع

- آقائباتی، س.ع.، (۱۳۷۷)، "چینه‌شناسی ژوراسیک در ایران"، جلد دوم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۳۵۵ صفحه.
- آقائباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۴۰ صفحه.
- امیدی پ، نوگل سادات م. و قرشی م.، (۱۳۸۱)، "بازسازی تنش کواترنری بر اساس تحلیل لغزش در نیمه جنوبی البرز خاوری"، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین، شماره ۴۶-۴۵.
- امیدی، پ.، ۱۳۸۰ - تحلیل ساختاری و دینامیکی تفصیلی زون‌های گسلی در حاشیه جنوبی البرز خاوری، رساله دکتری. گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس
- بربریان م.، قریشی م.، شجاع طاهری ج.، (۱۳۷۵)، "پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلس در گستره سمنان"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۶۳، ص ۲۶۶.
- بربریان، م.، ۱۳۶۳ - بررسی و پژوهش نو زمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلس در ناحیه باختر دامغان، مهندسین مشاور کویانکاو، سازمان آب منطقه‌ای سمنان
- درویش زاده ع. (۱۳۷۱)، زمین‌شناسی ایران. موسسه انتشارات امیرکبیر دانشگاه تهران، ۹۰۱ صفحه.
- رحیمی ب.، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه دکتری: "مطالعات ساختاری رشته‌کوه البرز در شمال دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی.
- سعیدی ا. و اکبرپور م.ر.، (۱۳۷۱)، نقشه زمین‌شناسی کیاسر به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- شگری م.، قرشی م.، نظری ح.، سلامتی ر.، طالبیان م.، ریتز ج - ف.، محمدخانی ح.، شاهپسندزاده م.، (۱۳۸۸)، "نخستین نتایج حفر ترانشه دیرنه زمین‌لرزه شناسی روی گسل آستانه"، مجله علوم زمین، جلد ۱۸، شماره ۷۰.
- شهرابی، م.، (۱۳۷۸)، تریاس در ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۹ ص.
- شهریاری، س.، موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۰، تکوین و تکامل ساختاری البرز و تحولات رسوب‌گذاری مرتبط با آن. نشریه علوم دانشگاه تربیت‌معلم، جلد اول، شماره ۳ و ۴، صفحه‌ی ۱۶۲-۱۴۱
- طاهری ا.، امیدی، پ.، طاهری، ع.، (۱۳۹۴)، "بررسی عملکرد کواترنری صبور در خاور فولادمحله و ارتباط سینماتیک آن با گسل چشمه قلقل (شمال باختر دامغان)"، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- قاسمی م.ر. (۱۳۸۷)، "پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۳۲۰ صفحه.
- نبوی (۱۳۶۶)، نقشه زمین‌شناسی سمنان به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- نبوی م.ح.، (۱۳۵۵) "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- نعمتی م.، هتسفلد د.، قیطانچی م.، سدیدخوی ا.، میرزایی ن.، مرادی ع.، (۱۳۹۰)، "بررسی لرزه‌خیزی گسل آستانه در البرز خاوری"، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۷.
- نقشه‌های هوا مغناطیس ورقه‌های سمنان و گرگان به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

- وحدتی دانشمند ف. وسعیدی ع، (۱۳۶۹)، نقشه زمین‌شناسی ساری به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

## References

- Alavi, M., (1996). "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of Alborz mountain system in northern Iran." *Journal of Geodynamics*, v21.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003, Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *Journal of Structural Geology*, Vol.25, P. 659-627.
- Angelier, J. (1994). *Fault Slip Analysis & Paleostress reconstruction* In Hancock, P. 1. 1994. *Continental Deformation*, Pergamon Press Ltd. chapter 4, pp. 53-100.
- Angelier, J., and Melcher, P., 1977, Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droites: *Bull. Soc. Geol. F. V. 7*, p. 1309-1318.
- Asserto, R., (1966), "The Jurassic Shemshak formation in central Elburz (Iran)".
- Axen, G.J., Lam, P.S., Grove, M., Stockli, D.F., Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the westcentral Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology*, Vol.29, P. 559-562.
- Berberian, M., and King, G., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*. V.18, p.210-265.
- Bott M.H.P., (1959) "The mechanisms of oblique slip faulting" *Geological Magazine*, 96, P 109 –117.
- Davoudzadeh, M., Schmidt, K. 1984. A review of the Mesozoic paleogeography and paleotectonic evolution of Iran. *Neues Jahrbuch fuer Geologie and Paläontologie*, Abhandlungen 168, 182-207.
- Doblans M., (1998), "Slickensid kinematic indicators", *Journal of Tectonophysics*, Vol 295, PP 187–197.
- Ehteshami Moinabadi, M., Yassaghi, A., (2006), "Geometry and kinematics of the Moshaf fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting", *Journal of Asian Earth Sciences*, doi: 10.1016.
- Fleuty M.J., (1964), "The description of fold, *Proceedings of the Geologist Association*", vol ,pp -492.
- Fossen, H., (2010), "Structural Geology", Cambridge University Press, New York.
- Hollingworth J., Nazari H., Ritz J., Salamati R., Talebian M., Bahroudi A., Walker R. T., Rizza M., (2010), "Active tectonics of the east Alborz mountains, NE Iran: Rupture of the left-

lateral Astaneh fault system during the great 856 A.D. Qumis earthquake”, *JofGeophys R*, vol. 115, pp 1-19

- Jackson, J., Priestly, K., Allen, M., Berberian, M., (2002) “Active tectonics of the south Caspian basin”. *Geophys. J.*
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Siame, L., Leanni, L., Bourles, D., Ahmadian, S., (2011a), “Fault kinematics and active tectonics at the southeastern boundary of the eastern Alborz (Abr and Khij fault zones)”, *Geodynamic implications for NNE Iran, Journal of Geodynamics*, doi: 10.1016.
- Kim Y-S., Peacock D. C. P., Sanderson D. J., 2002, “Fault damage zones”, *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 503–517.
- M. Rizza,\*, S. Mahan, J-F. Ritz, H. Nazari, J. Hollingsworth, R. Salamati. Using luminescence dating of coarse matrix material to estimate the slip rate of the Astaneh fault, Iran
- Nazari, H., Ritz, J.F., 2008, Neotectonics in Central Alborz, *Geosciences Quaternary Journal, Special Issue, Vol. 17 (1), P. 74- 93.*
- Petit J.P., (1987), "Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks", *Journal of structural geology*, 9, No.5/6, PP 597-608.
- Saidi, A. 1995. *Calendrier de la migration permo-triasique et morcellement me' sozo" que des le' ments continentaux de l'Iran. Phd Thesis Pierre et Marie Curi, Paris, Franch, 298pp.*
- *Science Letters, Vol. 223, P. 177-185.*
- Sengor, A.M.C., Altiner, D., Cin, A., Ustamoar, T., Hsu, K.J., 1988, Origin and Assembly of the Tethyside Orogenic collage at the expense of Gondwana Land, in: *Gondwana and Tethys*, (ed. By M.G. Audley charls and A. Hahham), Geological Society Of London, Spicial paper, Vol. 37, P. 119-181.
- Sengor, A.M.C., Altiner, D., Cin, A., Ustamoar, T., Hsu, K.J., 1988, Origin and Assembly of the Tethyside Orogenic collage at the expense of Gondwana Land, in: *Gondwana and Tethys*, (ed. By M.G. Audley charls and A. Hahham), Geological Society Of London, Spicial paper, Vol. 37, P. 119-181.
- Stampfli, G. M., & Borel, G. D. (2002). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 196, p. 17-33.
- Stampfli, G.M., (1978), “Etude geologique generale de Elburz oriental au S.Gonbad – e – qabus, (Iran, NE)”, *these fac. Sei. Univ. Geneve*, 1-315.

- 
- Stocklin, J. (1972). Iran Central, Septentrional et Oriental. Lexique stratigraphique International, 3, Fascicule 9b, Iran, pp. 1-283, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris
  - Stocklin, J. (1974). Northern Iran: Alborz mountain, Mesozoic-Cenozoic orogenic belt, data for orogenic studies. Geol. Soc. London, Sp. Pub. 4, p. 213- 234.
  - Tatar, M., (2001), "Etude seismotectonique de deux zones de collision continentale: Le Zagros Central et l' Alborz (Iran)", PhD. Thesis, University de Joseph Fourier.
  - Twiss R.J., and Moores E.M., (1992), "Structural Geology", W. H. Freeman and company New York, PP 532.
  - Vail P.R, Mitchum R.M. and Thompson S, (1977), "Seismic stratigraphy and global changes of sea level", part In: Global cycles of relative changes of sea level. AAPG No. 26, p. 83-97
  - Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamor, Y., Masson, F., Nankli, H., Ritz, J., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004, Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, Earth and Planetary.
  - Wallace, R.E., (1951) "Geometry of shearing stress and relation to faulting. Journal of Geology" 59, P 118–130.





## **Abstract**

The study area is a part of south margin of the Eastern Alborz. Mesozoic and Cenozoic rocks cropped out units in this area with NE-SW trend. Based on interlimb angle of fold (Fleuty 1964), folds classified in open field and gentle. Based on the dip of axial plane and plunge of the hinge line, the studied folds can be subdivided into two domains: 1- gently plunging, 2- plunging inclined. Folded rocks belong to Shemshak and Delichay Formation.

Considered continuing the Astaneh Fault is in the southwest of Fooladmahalleh area investigated in this research. Review of geology and tectonic characteristic are to the revealed six fault segment that in this study named F1 to F6. Based on such evidence partitioning fault, scratch's fault, fault steps, can be movement two phases consists of, reverse mechanism and left lateral strike slip mechanism in respectively. Geographical position, fault geometry and mechanism of faulting in this six segment with geometry and Astaneh Fault mechanism corresponding to the Astaneh-Fooladmahalleh.

The faults that their strikes are northeast-southwest such as Sabur and Bashm, have left lateral reverse mechanism. This geometrical arrangement and kinematics of faults is compatible with regional left lateral transpression. Both transpressional faults are not basement type and the transverse faults can be tear faults related to Alborz fold-thrust belt. Astaneh, Sabur and Bashm Fault, with dominantly reverse component, have a great impact on formation of the heights. Geomorphologic features of studied area highly affected by tectonic elements such as folds and faults. Also, highest point elevations (2938 m) of the studied area located on hanging wall of Bashm pressure Fault. Calculations of paleostress based on neotectonic fault slip data indicate the circumstances of principal stress  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ , 01/014, 50/283 and 40/106, respectively.

**Keywords:** eastern Alborz, Fooladmahalleh, Astaneh Fault



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**M.Sc. Thesis in Tectonic**

**Tracing of Astaneh Quaternary Fault in south west of  
Fooladmahalleh (Eastern Alborz)**

**By: Hasan Farahdel**

**Supervisor**

**Dr. P. Omid**

**Advisor**

**Dr. A. Taheri**

**February 2017**