

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده علوم زمین

گروه تکتونیک

عنوان

بررسی دگرریختی واحدهای سنگی مزوزوئیک و سنوزوئیک در شمال خاوری سمنان

(شمال گردنه آهوان)

الهام خراسانی

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور

دکتر عزیزاله طاهری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۳

الهی خلق تو شکر نعمت های تو کنند

و من شکر بودن تو،

چرا که نعمت، بودن تو ست...

"ابوالحسن خرقانی"

تقدیم بابوسه بردستان ز حمت کشیده می پدر و مادرم...

(معلمانی مهربان که در ایثار و فداکاری کوهرانی بی همتا و سخن از عشق بدون آمان هردادن واژه است و بس...)

قدردانی

حد و سپاس یکم را پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را، نمونه‌مان شد و به هم نشینی رحروان علم و دانش مستخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی مان ساخت. پس از یاری خدا به بار نشستن این تحقیق ممکن نبود مگر در سایه راهبانی های خردمندانه‌ی استاد فرزانه جناب آقای دکتر پرویز امیدی.

اما چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف ایشان را که سرشار از عشق و یقین است...

چگونه سپاس گویم تاثیر علم آموزی این پدر دلسوز را که چراغ روشن هدایت را بر ویرانه های باغ تحکیم فرزندان ساخته است... آری در مقابل این همه عظمت و شکوه ایشان مرانه توان سپاس است و نه کلام و صف...

بجین مراتب سپاس خود را به خاطر مطالعه صبورانه و عنوان نمودن نظرات اصلاحی استاد مشاور کرامت دارم جناب آقای دکتر عزیزاله طاهری که در تمام این دوره پشتیبان من بوده اند، ابراز می دارم. از اساتید داور جناب آقایان دکتر رمضان‌ی اومالی و دکتر اسلامی که قبول زحمت نموده و داور این پایان نامه را بر عهده گرفته و قطعاً نظرات این بزرگواران در هر چه بهتر شدن این پایان نامه مشتمل خواهد بود، تشکر می نمایم. بر خود لازم می دانم حضور ناینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر قشلاقی را ارج نهاده و سپاس گویم. در نهایت کمال تشکر را از جناب آقای مهندس میرباقری و سرکار خانم سعیدی و فارسی به دلیل همکاری های بی دریغ شان دارم.

قدردانی می نمایم از خانواده عزیزم که در های موفقیت از برکت دعای خلوت آنان به رویم باز می شود و خزان رویا هایم تنها به جفای غفلت از آنان فرامیرسد.

تشکر می نمایم از خواهران عزیزم الهه و الناز خراسانی و همسین آقایان نژادلو، نورافکن، قحی، هفتجانی، وکیلی، اویس قرنی، خونان، توکلی، اکبری، جوهری، زبیدی، میریکی و خانم ها حسینی، آتش سودا، طاهری، ابتهاج، فتح آبادی، رضا زاده، طائفی، شاکری، آبی، حیات النیب، حیدرپور، کریمی، سلطانی و تمامی کسانی که مراد انجام این پژوهش یاری نموده و رنج کیلو متر پیاپی روی را به دوش کشیده اند.

چکیده

منطقه آهوان، در شمال خاوری شهر سمنان، بخشی از نیمه جنوبی البرز خاوری می باشد. مطالعات چینه نگاری در این منطقه، وجود واحدهای سنگی مزوزوئیک و سنوزوئیک با راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری را تأیید می نماید. سیمای زمین ریختی منطقه به طور عمده تحت تأثیر عوامل ساختاری (چین ها و گسل ها) و جنس واحدهای سنگی می باشد؛ چین های مطالعه شده، طبق رده بندی فلوتی بر مبنای زاویه بین دو یال، به طور عمده در رده باز (Open) و ملایم (Gentle) و تعداد محدودی از آنها در رده بسته (Close) قرار می گیرند. بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز جایگاه چین ها عمدتاً در دو رده ایستاده با میل ملایم (Upright-gently) و ایستاده با میل افقی (Upright-horizontal) قرار دارد. چین خوردگی در واحدهای سنگی جوان مانند کنگلومرای هزاردره بسیار ملایم و زاویه بین یالی خیلی زیاد است. گسل های طولی منطقه با راستای شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری (رین شمالی، رین جنوبی، قرن تول، نمرود و ابراهیم آباد) دارای سازوکار معکوس چپ بر و راستالغز چپ بر می باشند. گسل های عرضی نیز در دو گروه عمده با روند شمال، شمال باختر- جنوب، جنوب خاور و شمال خاوری- جنوب باختری قابل مشاهده بوده که به ترتیب دارای سازوکار راستالغز راست بر و چپ بر می باشند. ساختارهای منطقه حاصل فازهای زمین ساختی قدیم و نوزمین ساختی است؛ به طوریکه جنبش های شیب لغز (معکوس)، قدیمی و جنبش های غالب امتداد لغز، جوان می باشد. جنبش های جوان با اعمال میدان تنش با جدیدترین جهت امتداد محور بیشینه فشارش با موقعیت بدست آمده $N15^{\circ}E$ هماهنگ است. برخی از گسل های جوان و کوچک در الگوی برشی های ریدل مرتبط با گسل های بزرگتر قرار می گیرند و تعدادی از گسل های بزرگ، گسل های پیش ساخته ای می باشند که طبق وضعیت هندسی خود نسبت به میدان تنش جدید، با سازوکارهای متفاوت واکنش نشان داده اند.

واژه های کلیدی: البرز خاوری، سمنان، آهوان، رین، نمرود، ابراهیم آباد، قرن تول، گسل های عرضی.

مقالات مستخرج از این پایان نامه

❖ "ریخت شناسی سطح گسل، معیاری برای تشخیص سازوکار آن"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، بهمن ماه ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی..... ۲
- ۲-۱- تعریف مسئله و هدف‌های تحقیق..... ۲
- ۳-۱- تاریخچه مطالعات پیشین..... ۴
- ۴-۱- روش مطالعه و انجام پژوهش..... ۵

فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی

- ۱-۲- تشکیل زمینساختی پهنه ساختاری البرز..... ۱۰
- ۲-۲- ریخت زمینساخت منطقه..... ۱۴
- ۳-۲- چینه‌شناسی..... ۱۶
- ۱-۳-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک..... ۱۷
- ۱-۳-۲-۱- سازند الیکا..... ۱۷
- ۲-۳-۲-۱- سازند شمشک..... ۱۷
- ۳-۳-۲-۱- سازند دلیچای..... ۱۸
- ۴-۳-۲-۱- سازند لار..... ۱۸
- ۲-۳-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک..... ۲۰
- ۱-۳-۲-۱- سازند کرج..... ۲۰
- ۲-۳-۲-۲- سازند قم..... ۲۱
- ۳-۳-۲-۲- سازند قرمز بالایی..... ۲۱
- ۴-۳-۲-۲- سازند هزاردره..... ۲۲
- ۵-۳-۲-۲- نهشته‌های کواترنری..... ۲۲

فصل سوم: زمین‌شناسی ساختمانی

- ۱-۳- گسل‌ها..... ۲۸
- ۱-۳-۱- گسل‌های طولی..... ۴۲
- ۱-۳-۱-۱- رین جنوبی..... ۴۲
- هندسه و سازوکار گسل رین جنوبی..... ۴۴
- ریخت‌زمین ساخت گسل رین جنوبی..... ۵۱
- ۱-۳-۱-۲- گسل رین شمالی..... ۵۳
- هندسه و سازوکار گسل رین شمالی..... ۵۴

ریخت زمین ساخت گسل رین شمالی.....	۶۱
۳-۱-۱-۳- گسل نمرد.....	۶۲
هندسه و سازوکار گسل نمرد.....	۶۲
ریخت زمینساخت گسل نمرد.....	۶۶
۳-۱-۱-۴- گسل قرنطول.....	۶۷
هندسه و سازوکار گسل قرنطول.....	۶۹
ریخت زمینساخت گسل قرنطول.....	۷۰
۳-۱-۱-۵- گسل ابراهیم آباد.....	۷۱
هندسه و سازوکار گسل ابراهیم آباد.....	۷۱
ریخت زمینساخت گسل ابراهیم آباد.....	۷۶
۳-۱-۲- گسل های عرضی.....	۷۸
هندسه و سازوکار گسل های عرضی.....	۸۰
۳-۱-۲-۱- گسل های شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری.....	۸۰
۳-۱-۲-۲- گسل های شمال خاوری- جنوب باختری.....	۹۱
ریخت زمینساخت گسل های عرضی.....	۹۹
۳-۲-۱- چین خوردگی.....	۱۰۱
۳-۲-۱-۱- چین خوردگی در سازندهای مزوزوئیک.....	۱۰۱
۳-۱-۲-۱- تاقدیس قرنطول.....	۱۰۱
۳-۱-۲-۲- ناودیس رین.....	۱۰۳
۳-۱-۲-۳- سازند شمشک.....	۱۰۴
۳-۱-۲-۲-۱- سازند دلیچای.....	۱۰۷
۳-۱-۲-۳- سازند لار.....	۱۰۹
۳-۱-۲-۳- تاقدیس رین.....	۱۱۲
۳-۲-۲- چین خوردگی در سازندهای سنوزوئیک.....	۱۱۳
۳-۲-۲-۱- ناودیس رین (در نهشته های میوسن).....	۱۱۳
۳-۲-۲-۲- چین ابراهیم آباد.....	۱۱۷
۳-۲-۲-۳- چین نمرد.....	۱۱۹
۳-۲-۲-۳- چین Fo ₁	۱۲۰

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۴-۱- بررسی هندسه و سازوکار گسل ها.....	۱۲۴
۴-۱-۳- گسل نمرد.....	۱۲۵
۴-۱-۴- گسل قرنطول.....	۱۲۶

- ۱۲۶..... ۴-۱-۵- گسل ابراهیم آباد
- ۱۲۶..... ۴-۱-۶- گسل های عرضی
- ۱۲۸..... ۴-۲- چین ها
- ۱۳۰..... ۴-۳- بررسی تغییرات محلی هندسه ساختارها
- ۱۳۰..... ۴-۴- تحلیل دینامیکی (بررسی ویژگیهای میدان تنش)
- ۱۳۷..... ۴-۵- الگوی جنبشی- دینامیکی
- ۱۴۰..... ۴-۶- پیشنهادات

پیوست ها..... ۱۴۳

منابع..... ۱۶۱

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه..... ۲
- شکل ۱-۲- تصویر SRTM از رشته کوه البرز در شمال ایران..... ۱۱
- شکل ۲-۲- تکامل ساختاری البرز در طی پرمین آغازین- سانتونین پیشین..... ۱۲
- شکل ۳-۲- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک..... ۱۴
- شکل ۴-۲- تصویر سه بعدی از ریخت زمینساخت منطقه..... ۱۵
- شکل ۵-۲- تصویر صحرایی از ریخت‌شناسی منطقه ریخت‌شناسی..... ۱۶
- شکل ۶-۲- تصاویری از سازندهای مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه..... ۱۹
- شکل ۷-۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای مربوط به دوران مزوزوئیک..... ۲۰
- شکل ۸-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای سنوزوئیک در منطقه..... ۲۳
- شکل ۹-۲- تصاویری از رخنمون رسوبات کواترنری در منطقه..... ۲۴
- شکل ۱۰-۲- ستون چینه‌شناسی مربوط به سازندهای دوران سنوزوئیک..... ۲۵
- شکل ۱۱-۲- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه..... ۲۶
- شکل ۱-۳- برخی از شاخص‌های ریخت‌شناسی گسل در محدوده مطالعاتی..... ۳۳
- شکل ۲-۳- نمودار سه بعدی مربوط به نحوه شکل‌گیری برشی‌های R..... ۳۷
- شکل ۳-۳- نمودار سه بعدی شکستگی‌های کششی..... ۳۹
- شکل ۴-۳- شکل‌گیری برشی‌های ریدل P, R' و T بر روی سطوح گسلی در منطقه..... ۴۱
- شکل ۵-۳- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از گسل رین جنوبی..... ۴۳
- شکل ۶-۳- موقعیت ایستگاه‌های برداشت از گسل رین جنوبی بر روی تصویر ماهواره‌ای..... ۴۳
- شکل ۷-۳- اوج‌گیری سازند لار در مقابل سازند شمشک به موازات گسل رین جنوبی..... ۴۴
- شکل ۸-۳- تصویر افراز گسل رین جنوبی و خراش‌های گسلی مربوط به آن..... ۴۶
- شکل ۹-۳- نمایی از سطح گسل رین جنوبی در ایستگاه ۱..... ۴۶
- شکل ۱۰-۳- تصویر برش گسلی در امتداد گسل رین جنوبی به همراه برشی P بر روی آن..... ۴۷
- شکل ۱۱-۳- نمایی از دیواره گسل رین جنوبی و حضور شکستگی‌های T بر روی آن..... ۴۷
- شکل ۱۲-۳- تصویر افراز گسل رین جنوبی، در ایستگاه ۲..... ۴۸
- شکل ۱۳-۳- نمایی از سطح گسل رین جنوبی در ایستگاه ۲..... ۴۹
- شکل ۱۴-۳- تصویر جابجایی چپ‌بر آبراهه توسط گسل رین جنوبی..... ۵۰
- شکل ۱۵-۳- افراز گسل رین جنوبی..... ۵۰
- شکل ۱۶-۳- استریوگرام‌های داده‌های سطح گسل رین جنوبی..... ۵۱

- شکل ۳-۱۷- تصویر سه بعدی SRTM و نقشه زمین‌شناسی منطقه در مرز سازند لار و شمشک..... ۵۲
- شکل ۳-۱۸- سطوح شکستگی‌های اریب مرتبط با گسل رین جنوبی در سازند لار..... ۵۲
- شکل ۳-۱۹- نقشه زمین‌شناسی از گسل رین شمالی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰..... ۵۳
- شکل ۳-۲۰- تصویر ماهواره‌ای از موقعیت ایستگاه‌های برداشت داده از گسل رین شمالی..... ۵۳
- شکل ۳-۲۱- قرارگیری سازند لار بر روی نهشته‌های میوسن به موازات گسل رین شمالی..... ۵۴
- شکل ۳-۲۲- تصویر ماهواره‌ای از خطواره‌های گسل رین شمالی در ایستگاه ۱..... ۵۵
- شکل ۳-۲۳- تصویری از سطح گسل رین شمالی با حضور شکستگی‌های کششی..... ۵۵
- شکل ۳-۲۴- تصویر دیواره گسل رین شمالی به همراه شکستگی‌های کششی..... ۵۶
- شکل ۳-۲۵- جابجایی چپ‌بر بلوک‌های طرفین گسل رین شمالی و رشد فیبرهای کلسیت..... ۵۶
- شکل ۳-۲۶- تصاویر مربوط به گسل رین شمالی در ایستگاه ۲..... ۵۷
- شکل ۳-۲۷- تصاویر مربوط به سطح گسل رین شمالی در ایستگاه ۳..... ۵۸
- شکل ۳-۲۸- تصاویر مرتبط با گسل رین شمالی در ایستگاه ۴..... ۵۹
- شکل ۳-۲۹- دیواره گسل رین شمالی به همراه برشی P بر روی سطح آن در ایستگاه ۴..... ۶۰
- شکل ۳-۳۰- تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار همتراز قطب صفحات گسل رین شمالی..... ۶۱
- شکل ۳-۳۱- تصویری از قطع شدگی واحدهای سازند لار توسط گسل رین شمالی..... ۶۲
- شکل ۳-۳۲- نقشه زمین‌شناسی، تصویر ماهواره‌ای و رخنمون صحرایی از گسل نمرود..... ۶۳
- شکل ۳-۳۳- نمایی از سطح گسل نمرود همراه باخش‌لغزهایی با ریک ۵۵ درجه بر روی آن..... ۶۴
- شکل ۳-۳۴- نمایی از چین کشیده تحت تأثیر گسل نمرود در ایستگاه ۲..... ۶۵
- شکل ۳-۳۵- نمودار π و β و همتراز قطب یال‌های چین کشیده مجاور گسل نمرود..... ۶۵
- شکل ۳-۳۶- استریوگرام‌های داده‌های گسل نمرود..... ۶۶
- شکل ۳-۳۷- تصویر سه بعدی SRTM و مقطع عرضی از برخواستگی سازند لار توسط گسل نمرود..... ۶۶
- شکل ۳-۳۸- تصاویر مربوط به ریخت زمین‌ساخت گسل نمرود..... ۶۷
- شکل ۳-۳۹- بخشی از نقشه زمین‌شناسی جام و تصویر ماهواره‌ای از گسل قرن‌تول..... ۶۸
- شکل ۳-۴۰- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل قرن‌تول و خردشدگی در سازند شمشک بر اثر آن..... ۶۸
- شکل ۳-۴۱- نمای نزدیک از خش‌لغز بر روی گسل قرن‌تول در سازند شمشک..... ۶۹
- شکل ۳-۴۲- استریوگرام‌های سطح گسل قرن‌تول..... ۷۰
- شکل ۳-۴۳- تصاویر مربوط به ریخت زمین‌ساخت گسل قرن‌تول..... ۷۰
- شکل ۳-۴۴- نقشه زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای و صحرایی از گسل ابراهیم‌آباد..... ۷۲
- شکل ۳-۴۵- رخنمونی از سطح گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۱..... ۷۳
- شکل ۳-۴۶- نمایی از سطح گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۲..... ۷۳
- شکل ۳-۴۷- نمایی از سطح گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۳ و ۵..... ۷۴
- شکل ۳-۴۸- تصویری از چین کشیده در سازند قم تحت تأثیر عملکرد گسل ابراهیم‌آباد..... ۷۵
- شکل ۳-۴۹- استریوگرام رسم شده از چین کشیده مجاور گسل ابراهیم‌آباد..... ۷۵

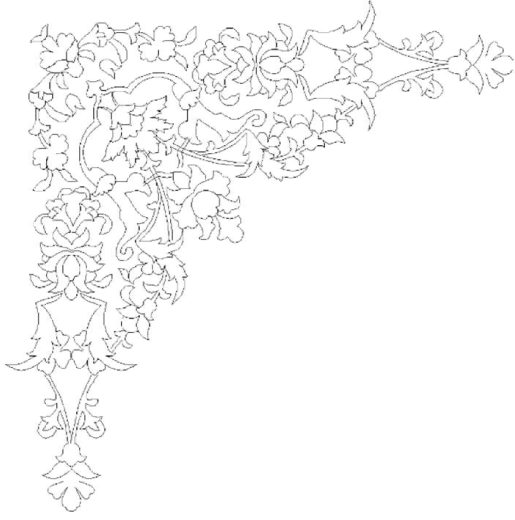
- شکل ۳-۵۰- نمایشی از سطح گسل ابراهیم آباد در ایستگاه ۴ بر روی سازند قم..... ۷۵
- شکل ۳-۵۱- استریوگرام داده‌های گسل ابراهیم آباد از ایستگاه‌های پنج‌گانه..... ۷۶
- شکل ۳-۵۲- تصویر سه بعدی SRTM و نیمرخ عرضی از افراز گسلی ابراهیم آباد..... ۷۷
- شکل ۳-۵۳- تصاویر ریخت زمینساخت از گسل ابراهیم آباد..... ۷۷
- شکل ۳-۵۴- تصویر صحرایی از روندهای مختلف گسل‌های عرضی در یال جنوبی ناودیس رین..... ۷۹
- شکل ۳-۵۵- تصویر زمین‌شناسی و ماهواره‌ای از گسل عرضی در شمال باختر محدوده مطالعاتی..... ۷۹
- شکل ۳-۵۶- نمایش گسل‌های عرضی منطقه بر روی بخشی از نقشه زمین‌شناسی جام..... ۷۹
- شکل ۳-۵۷- تصویر ماهواره‌ای و نمایش ایستگاه‌های ۱ تا ۷ برداشت از گسل‌های عرضی..... ۸۰
- شکل ۳-۵۸- تصویر ماهواره‌ای از گسل‌های روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری..... ۸۱
- شکل ۳-۵۹- نمایشی از سطح گسل عرضی بر روی سازند آهکی لار در ایستگاه ۲..... ۸۲
- شکل ۳-۶۰- برشی شدن سازند لار در اثر عملکرد گسل شمالی- جنوبی واقع در ایستگاه ۲..... ۸۲
- شکل ۳-۶۱- نمایشی از شکستگی T بر روی سطح گسل عرضی در سازند لار واقع در ایستگاه ۳..... ۸۳
- شکل ۳-۶۲- نمایشی از سطح گسل عرضی و وجود شکستگی‌های R' در سازند لار در ایستگاه ۳..... ۸۴
- شکل ۳-۶۳- قطع‌شدگی و جابجایی لامینه در راستای گسل شمالی- جنوبی در ایستگاه ۴..... ۸۵
- شکل ۳-۶۴- نمایشی از سطح گسل عرضی در ایستگاه ۵..... ۸۵
- شکل ۳-۶۵- تصاویر مربوط به برداشت گسل عرضی (F) واقع در ایستگاه ۶..... ۸۷
- شکل ۳-۶۶- نمایشی از دیواره گسل عرضی و قطع‌شدگی قطعات کنگلومرای سازند هزاردره..... ۸۸
- شکل ۳-۶۷- گسل عرضی به همراه برشی P و R' بر روی آن در سازند هزاردره در ایستگاه ۶..... ۸۹
- شکل ۳-۶۸- تصویر سطح گسل عرضی در نهشته‌های میوسن واقع در ایستگاه ۷..... ۹۰
- شکل ۳-۶۹- استریوگرام داده‌های گسل‌های عرضی شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاور..... ۹۰
- شکل ۳-۷۰- تصاویر صحرایی و ماهواره‌ای از برخی گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری..... ۹۱
- شکل ۳-۷۱- تصاویر مربوط به برداشت گسل عرضی شمال خاوری- جنوب باختری در ایستگاه ۴..... ۹۲
- شکل ۳-۷۲- دره گسلی و ایجاد چشمه رین ناشی از گسل عرضی شمال خاوری- جنوب باختری..... ۹۳
- شکل ۳-۷۳- تصویر گسل عرضی با روند شمال خاوری- جنوب باختری ایستگاه ۲..... ۹۴
- شکل ۳-۷۴- حضور نشانه‌های هویجی شکل و برشی P بر روی گسل عرضی در ایستگاه ۲..... ۹۵
- شکل ۳-۷۵- برداشت سطح گسل عرضی شمال خاوری- جنوب باختری در ایستگاه ۳..... ۹۶
- شکل ۳-۷۶- تصاویر مربوط به گسل‌هایی با روند شمال خاوری- جنوب باختری در ایستگاه ۷..... ۹۷
- شکل ۳-۷۷- استریوگرام داده‌های گسل‌های عرضی با روند شمال خاوری- جنوب باختری..... ۹۸
- شکل ۳-۷۸- نمودار گل‌سرخ و همتراز قطب گسل‌های عرضی منطقه..... ۹۹
- شکل ۳-۷۹- تصاویر مربوط به ریخت زمینساخت گسل‌های عرضی منطقه..... ۱۰۰
- شکل ۳-۸۰- تصویر صحرایی از تاقدیس قرن‌تول..... ۱۰۲
- شکل ۳-۸۱- برش ساختاری نمادین از تاقدیس قرن‌تول..... ۱۰۲
- شکل ۳-۸۲- استریوگرام‌های تاقدیس قرن‌تول..... ۱۰۲

- شکل ۳-۸۳- تصویر ماهواره‌ای از پهنه‌های پیمایش ۱ تا ۳ از ناودیس رین..... ۱۰۳
- شکل ۳-۸۴- تصویر مقطع نمادین از ناودیس رین به همراه نماهای صحرایی آن..... ۱۰۴
- شکل ۳-۸۵- تصویر صحرایی و سیکلوگرافیک از سازند شمشک در پهنه پیمایش T_1 ۱۰۵
- شکل ۳-۸۶- تصویر لایه‌بندی سازند شمشک در ناودیس رین در پهنه پیمایش T_2 ۱۰۵
- شکل ۳-۸۷- استریوگرام‌های ناودیس رین در پهنه پیمایش T_2 ۱۰۶
- شکل ۳-۸۸- تصویر ناودیس رین از سازند شمشک در پهنه پیمایش T_3 ۱۰۶
- شکل ۳-۸۹- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند شمشک در پهنه پیمایش T_3 ۱۰۷
- شکل ۳-۹۰- تصویر چین‌خوردگی سازند دلیچای در پهنه پیمایش T_1 ۱۰۸
- شکل ۳-۹۱- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند دلیچای در پهنه پیمایش T_1 ۱۰۸
- شکل ۳-۹۲- تصویر لایه‌بندی و سیکلوگرافیک سازند دلیچای در پهنه پیمایش T_2 ۱۰۸
- شکل ۳-۹۳- تصویر لایه‌بندی و سیکلوگرافیک سازند دلیچای در پهنه پیمایش T_3 ۱۰۹
- شکل ۳-۹۴- تصویر ناودیس رین در سازند لار در پهنه پیمایش T_1 ۱۱۰
- شکل ۳-۹۵- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند لار در پهنه پیمایش T_1 ۱۱۰
- شکل ۳-۹۶- تصویر ناودیس رین از سازند لار مربوط به پهنه پیمایش T_2 ۱۱۱
- شکل ۳-۹۷- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند لار در پهنه پیمایش T_3 ۱۱۱
- شکل ۳-۹۸- تصویر ناودیس رین از سازند لار در پهنه پیمایش T_3 ۱۱۲
- شکل ۳-۹۹- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند لار در پهنه پیمایش T_3 ۱۱۲
- شکل ۳-۱۰۰- تصویر تاق‌دیس رین..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۰۱- استریوگرام‌های تاق‌دیس رین..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۰۲- تصویر ناودیس رین از سازند قرمز بالایی در پهنه پیمایش T_1 ۱۱۴
- شکل ۳-۱۰۳- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند قرمز بالایی در مسیر پیمایش T_1 ۱۱۴
- شکل ۳-۱۰۴- تصویر ناودیس رین در سازند قرمز بالایی در پهنه پیمایش T_3 ۱۱۵
- شکل ۳-۱۰۵- استریوگرام‌های ناودیس رین در خط پیمایش T_2 ۱۱۵
- شکل ۳-۱۰۶- تصویر ناودیس رین در سازند قرمز بالایی در پهنه پیمایش T_3 ۱۱۶
- شکل ۳-۱۰۷- استریوگرام‌های ناودیس رین از سازند قرمز بالایی در خط پیمایش T_3 ۱۱۶
- شکل ۳-۱۰۸- تصویر ماهواره‌ای از چین ابراهیم‌آباد..... ۱۱۷
- شکل ۳-۱۰۹- تصویر لایه‌بندی و سیکلوگرافیک از چین ابراهیم‌آباد در پهنه پیمایش T_1 ۱۱۸
- شکل ۳-۱۱۰- تصویر لایه‌بندی و سیکلوگرافیک چین ابراهیم‌آباد در پیمایش T_2 ۱۱۸
- شکل ۳-۱۱۱- تصویری لایه‌بندی و سیکلوگرافیک چین ابراهیم‌آباد در پیمایش T_3 ۱۱۸
- شکل ۳-۱۱۲- تصویر ناودیس نمرود..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۱۳- استریوگرام‌های ناودیس نمرود در سازند هزاردره..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۱۴- تصویر لایه‌بندی از چین FO_1 در سازند هزاردره..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱- نمودار گل‌سرخ امتدادی از گسل‌های منطقه..... ۱۲۴

- شکل ۴-۲- تصاویر مربوط به گسل‌های عرضی در البرز خاوری..... ۱۲۷
- شکل ۴-۳- نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به سطوح محوری چین‌ها..... ۱۲۸
- شکل ۴-۴- رده‌بندی چین‌ها براساس شیب سطح محوری و میل لولای چین..... ۱۲۹
- شکل ۴-۵- تغییر روند موقعیت سطوح محوری چین‌ها در سه پهنهٔ پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 ۱۳۱
- شکل ۴-۶- تصویر دو وجهی عمود بر هم و نمایش نواحی کشش و فشارش..... ۱۳۴
- شکل ۴-۷- تعیین تنش با استفاده از روش دو وجهی عمود بر هم..... ۱۳۵
- شکل ۴-۸- تعیین محورهای تنش در منطقه در بازهٔ نوزمینساختی..... ۱۳۶
- شکل ۴-۹- نمایش نتایج بررسی‌های ورنانت و همکاران..... ۱۳۸
- شکل ۴-۱۰- نقشهٔ ساختاری منطقه..... ۱۴۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ - طبقه‌بندی شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل.....	۳۱
جدول ۲-۳ - تعیین زاویه‌ای اصطکاک داخلی برحسب نوع سنگ.....	۴۰
جدول ۳-۳ - تعیین مقادیر زوایای برشی‌ریدل برای سازندهای منطقه.....	۴۰
جدول ۴-۳ - خلاصه‌ای از وضعیت چین‌های منطقه.....	۱۲۰



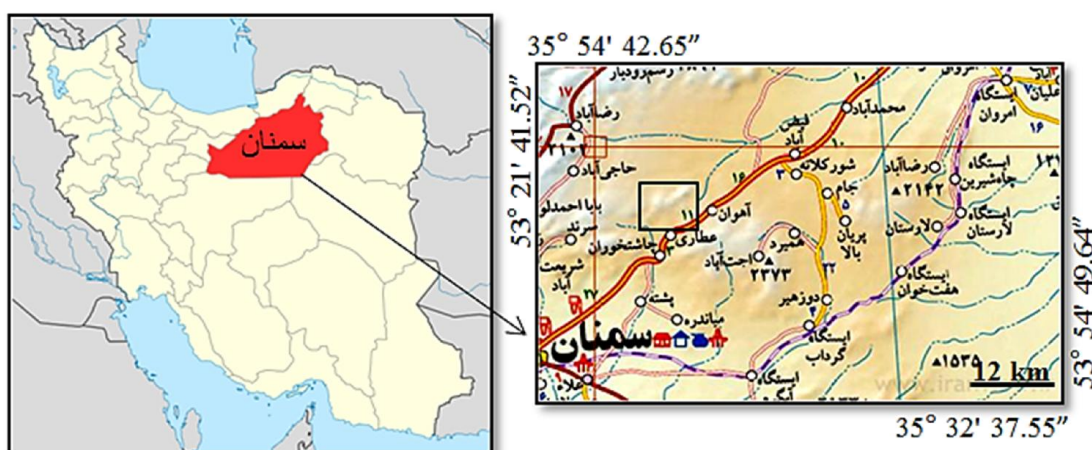
فصل اول

کلیات



۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

ناحیه مورد مطالعه بین عرض‌های $35^{\circ} 45' 74''$ تا $35^{\circ} 48' 82''$ خاوری و طول‌های $53^{\circ} 37' 74''$ تا $53^{\circ} 42' 68''$ شمالی قرار دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی ایران، این منطقه بخش کوچکی از واحد رسوبی- ساختاری البرز و در ۳۶ کیلومتری شمال خاوری شهر سمنان (شمال گردنه آهوان) واقع می‌باشد. جاده آسفالت سمنان- دامغان و راه‌های متعدد خاکی منشعب از آن و دره‌های طولی و عرضی موجود در منطقه، از جمله راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه.

۲-۱- تعریف مسئله و هدف‌های تحقیق

رشته کوه البرز به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، بلندی‌های شمال ایران را تشکیل می‌دهد که از نگاه ریخت‌شناسی و نیز سرگذشت ساختاری و چین‌های، در همه جا یکسان نیست و پیچیدگی‌های ساختاری این رشته کوه باعث شده که بخش‌های مختلف البرز به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی بخش کوچکی از دامنه جنوبی زون رسوبی- ساختاری البرز می‌باشد و از نظر جغرافیایی، در شمال خاوری شهر سمنان (شمال گردنه آهوان) واقع شده است.

ساختارهای موجود در محدوده مورد مطالعه (اعم از چین‌ها و گسل‌ها)، همانند اکثر بخش‌های البرز خاوری، از روند شمال خاوری- جنوب باختری پیروی می‌کنند. واحدهای سنگی- رسوبی این منطقه که در معرض چین‌خوردگی و گسلش قرار گرفته‌اند، متعلق به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند که روند ساختاری چیره این واحدها شمال خاوری- جنوب باختری و در برخی نقاط خاوری- باختری است. وجود گسل‌هایی با روندهای متفاوت (شمال خاوری- جنوب باختری، خاوری- باختری و شمالی- جنوبی) که واحدهای سنگی موجود را قطع و همبری‌های غیرطبیعی را ایجاد نموده‌اند، از ویژگی‌های ساختاری عمومی این منطقه است. طی بررسی‌های صورت گرفته پیشین در ناحیه مورد مطالعه، چینه‌نگاری و ساختارهای کلی منطقه معرفی شده، اما بررسی تفصیلی بر روی ساختارها، به ویژه سازوکار چین‌خوردگی، سبک هندسی و اختصاصات سینماتیک گسل‌ها انجام نشده است.

در این تحقیق بررسی الگوی چین‌خوردگی واحدهای سنگی و بازسازی ارتباط ساختاری آنها و همچنین بررسی هندسی، جنبشی و دینامیکی گسل‌های منطقه، مد نظر است؛ از طرفی با توجه به رخنمون نسبتاً وسیعی از سازند قرمز بالایی در بخش‌های جنوبی منطقه و با نظر به اینکه این واحدها با سن میوسن در بازه زمانی نوزمینساختی قرار دارند، سعی شده است جهت ارزیابی ساختارهای تشکیل شده در این رخنمون‌ها نیز برداشت‌های صحرایی لازم صورت گیرد. بنابراین تا حدودی می‌توان به نتایج جدیدی در مورد تشکیل این ساختارها در محدوده مورد مطالعه دست یافت. در نهایت با انجام این مطالعات، پاسخگویی به سوالات زیر دستاورد این پژوهش خواهد بود:

◀ هندسه و سازوکار حرکت سامانه گسلی موجود در منطقه چگونه است؟

◀ الگوی چین‌خوردگی واحدهای سنگی چیست؟

◀ مدل هندسی و وضعیت سینماتیک و دینامیک گسل‌های منطقه چیست؟

۱-۳- تاریخچه مطالعات پیشین

زمین‌شناسی رشته کوه البرز تاکنون توسط محققان زیادی و از دیدگاه‌های مختلف از قبیل زمین‌ساخت، چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته که اکثر این مطالعات کلی بوده است و کمتر به جزئیات ساختاری منطقه پرداخته شده است. از این رو با توجه به اینکه در منطقه مورد پژوهش، مطالعه ساختاری تفصیلی به گونه‌ای که پیشنهاد شده، انجام نشده است، بدیهی است دستاوردهای این پژوهش برای مطالعات بعدی از جمله هیدروژئولوژیک، لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساخت مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

در مطالعات صورت گرفته توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (بربریان^۱، ۱۳۷۵) ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی گستره چهارگوش سمنان مورد مطالعه قرار گرفته است. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام (علوی، ۱۳۵۱)، برای اولین بار گسل عطاری جداکننده دو پهنه رسوبی-ساختاری البرز و ایران مرکزی معرفی شده است. از نگاه علوی (۱۳۵۱) این ساختار خطی دارای روند شمال خاوری- جنوب باختری با شیبی به سمت جنوب- جنوب خاور است که از زمان کامبرین تا کرتاسه پسین بر حوضه‌های رسوبی دو سمت خود اثر گذار بوده است. از دیدگاه نبوی (۱۳۵۵)، گسل عطاری در فاصله ۱۰ تا ۲۵ کیلومتری جنوب گسل سمنان قرار دارد و ممکن است به سمت خاور، در دشت آهوان- قوشه، به این گسل بپیوندد. بربریان و همکاران (۱۳۷۵) گسل عطاری را نوعی راندگی کوتاه با درازای ۳۲/۵ کیلومتر می‌دانند که سبب راندگی سنگ‌های سازند کرج (از سوی جنوب) بر روی کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن‌های ژئوپس‌دار میوسن و کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پلیو-پلئستوسن (در شمال) شده است. همچنین ایشان این گسل را دارای راستای شمال باختری- جنوب خاوری (در بخش خاوری گسل) و راستای شمال خاوری- جنوب باختری (در بخش باختری گسل) معرفی می‌کنند که در بخش خاوری دارای شیب به سوی باختر- جنوب باختری بوده است. خادمی

^۱ Berberian

(۱۳۷۵)، سازوکار گسل‌های دامغان و عطاری را در شمال دامغان مورد بررسی قرار داده و سازوکار راندگی را برای این گسل معرفی نموده است. مطالعات امیدی و همکاران (۱۳۸۰) مؤید وجود یک منطقه ترافشارشی چپگرد (آستانه- عطاری) با مرزهای گسل عطاری (در جنوب) و گسل آستانه (در شمال) است.

۱-۴- روش مطالعه و انجام پژوهش

جهت مطالعه و انجام این تحقیق، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و منابع موجود به بررسی راه‌های ارتباطی، وضعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. مطالعات انجام شده با برداشت‌های صحرایی و پیمایش ایستگاهی جهت بررسی ساختارها صورت گرفت. داده‌های بدست آمده از برداشت‌های صحرایی با استفاده از روش‌های پایه‌ای و به کمک نرم‌افزارهای موجود، پردازش و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد. در نهایت پس از تلفیق مطالعات صحرایی و نتایج حاصل از تفسیر و تحلیل داده‌ها، الگوی دگرریختی منطقه بدست آمد. به طور کلی این تحقیق در چهار مرحله انجام گرفته است:

- مطالعات دفتری

الف) مطالعات کتابخانه‌ای جهت جمع‌آوری و استخراج نکات تئوری و مهم از کتاب‌ها و مقالات داخلی و خارجی موجود در سایت‌ها و کتابخانه‌ها پیرامون موضوع مرتبط با شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل و عناصر ساختاری همچون چین‌ها، شکستگی‌ها و نیز تحلیل الگوی دگرریختی آنها.

ب) بررسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جام (علوی، ۱۳۵۱)، ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان (آقانباتی و حامدی، ۱۳۷۳)، نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست (Landsat) جهت آشنایی با موقعیت و وضعیت جغرافیایی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و نحوه گسترش ساختارها.

- مطالعات صحرایی

پیمایش و برداشت صحرایی این تحقیق طی ۵۲ روز ناپیوسته جهت شناسایی واحدهای سنگی و سازندها، اندازه‌گیری موقعیت لایه‌بندی، سطوح شکستگی و ارتباط عناصر ساختاری از واحدهای سنگی- رسوبی صورت گرفت. شایان ذکر است که مطالعات میدانی جهت برداشت‌های صحرایی به صورت زیر انجام پذیرفته است:

✓ برداشت ویژگی‌های لایه‌بندی در پیمایش‌های عمود بر چین‌خوردگی به منظور آشکارسازی وضعیت ساختاری واحدهای سنگی.

✓ شناسایی سطوح گسلش و تعیین سازوکار آنها با استفاده از چینه‌شناسی، پدیده چین‌های کشیده و ریخت‌شناسی سطوح گسل.

در این راستا موقعیت هندسی عناصر ساختاری برداشت شده در صحرا به صورت شیب، جهت شیب برای عناصر صفحه‌ای (Dip, Dip direction) و موقعیت عناصر خطی به صورت میل و جهت میل (Plunge, Plunge Direction) در جداول و پیوست‌ها بیان شده است.

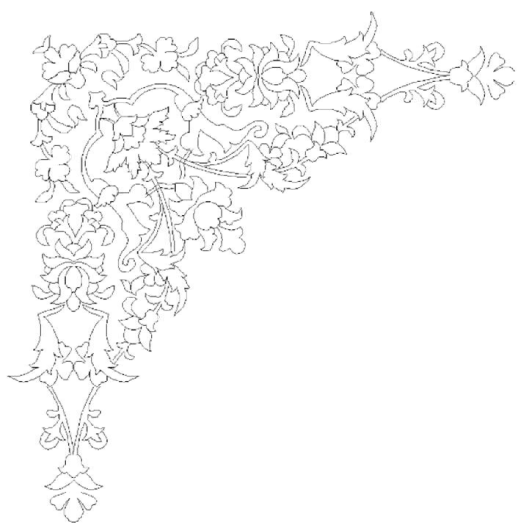
- تحلیل داده‌های ساختاری

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مشاهدات و برداشت‌های صحرایی، توسط نرم‌افزارهای زمین‌شناسی و تطبیق داده‌ها با تئوری‌های موجود صورت گرفته است. به منظور آشکارسازی وضعیت هندسی چین‌ها و تعیین رده آنها از منظر موقعیت محور، سطح محوری و زاویه بین دو یال از روش فلوئی (Fleuty 1964) استفاده شده است. در ارتباط با گسل‌ها پس از برداشت و تشخیص نحوه حرکت آنها با استفاده از روش‌های چینه‌شناسی، پدیده چین‌های کشیده و شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل به منظور تعیین وضعیت هندسه و سازوکار گسل، تحلیل سینماتیکی صورت گرفته است. سپس تحلیل دینامیکی با توجه به جمعیت زیاد گسل‌ها از دیدگاه پیدا کردن تنسور تنش مسبب لغزش روی گسل‌های موجود در ناحیه مطالعاتی در بازه نوزمینساختی (بعد از میوسن) انجام شد. به منظور تحلیل

داده‌های ساختاری، از نرم‌افزارهای موجود، بخصوص نرم‌افزارهای استریوگرافیک مانند: Tectonics ،FP، T-Tecto، Georient و Dips استفاده شده است.

- تدوین پایان نامه

تدوین پایان‌نامه و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با ترسیم عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه که حاصل دستاوردهای این پژوهش است، از طریق تلفیق اطلاعات بدست آمده به انجام رسیده است. این اطلاعات از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، برداشت‌های صحرایی و نقشه‌های توپوگرافی با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط مانند Global Mapper، Arc GIS و ... فراهم گردیده و در پایان به صورت یک گزارش نهایی ارائه شده است.



فصل دوم

زین‌شناسی عمومی



منطقه مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌شناسی ایران، در زون رسوبی- ساختاری البرز قرار داشته و بخشی از حاشیه جنوبی البرز خاوری را شامل می‌شود. به همین لحاظ در این فصل تاریخچه زمینساختی البرز و همچنین ریخت زمینساخت و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۱- تکوین زمینساختی پهنه ساختاری البرز

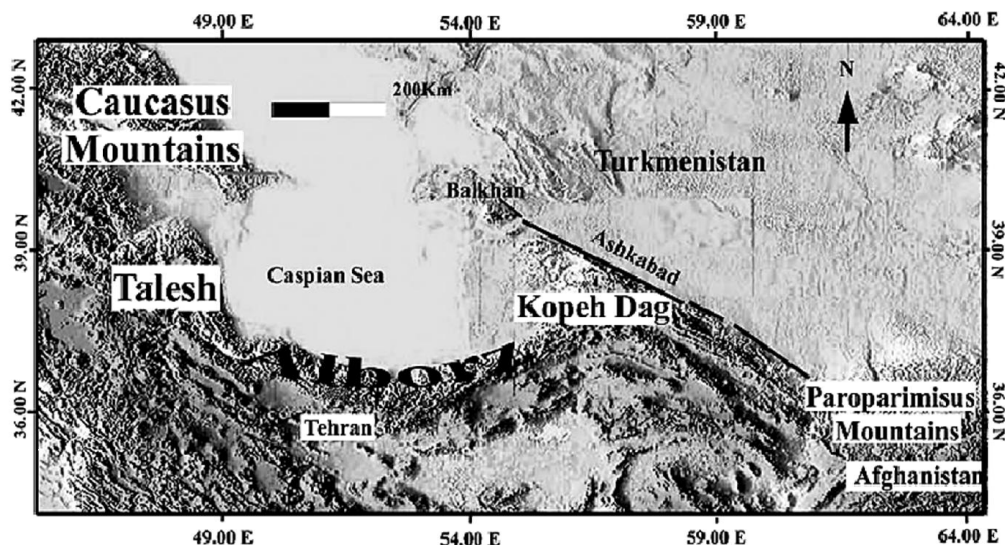
پهنه رسوبی- ساختاری البرز شامل بلندی‌های شمال صفحه ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب در یک راستای عمومی خاوری- باختری، از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد (آقاباتی، ۱۳۸۳). از دیدگاه علوی^۱ (۱۹۹۶) رشته کوه البرز بخشی از سلسله جبال آلپ- هیمالیا می‌باشد که با طولی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر، از کوه‌های قفقاز کوچک در جمهوری‌های ارمنستان و آذربایجان تا کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان امتداد یافته است. این رشته‌کوه در بخش باختری روند کلی شمال باختری- جنوب خاوری و در بخش خاوری، روند شمال خاوری- جنوب باختری دارد. البرز مرکزی نیز که محل همگرایی این دو امتداد است، دارای روند خاوری- باختری می‌باشد. بنا به نظر ایشان رشته کوه البرز یک کمربند چین‌خورده- رانده می‌باشد که در نتیجه عملکرد گسل‌های راندگی به شکل تجمع‌های تاقدیس‌گون درآمده است (شکل ۲-۱). جکسون^۲ و همکاران (۲۰۰۲) رشته‌کوه البرز را کمان مرتفعی در شمال ایران معرفی می‌کنند که از انتهای تالش در باختر تا تقاطع آن با کپه‌داغ در خاور گسترده شده است. پوسته البرز حدود ۳۵ کیلومتر ضخامت دارد و شامل ردیف‌های ضخیمی از سنگ‌های پرکامبرین پسین تا عهد حاضر می‌باشد (تاتار^۳، ۲۰۰۱).

در پرکامبرین، همه بخش‌های پوسته قاره‌ای ایران امروزی در جنوب قرار داشت و بخشی از قاره بزرگ گندوانا را می‌ساخت. در این زمان گندوانا توسط اقیانوس بزرگی به نام تتیس کهن (پالئوتتیس) از قاره شمالی جدا شده بود.

¹ Alavi

² Jackson

³ Tatar

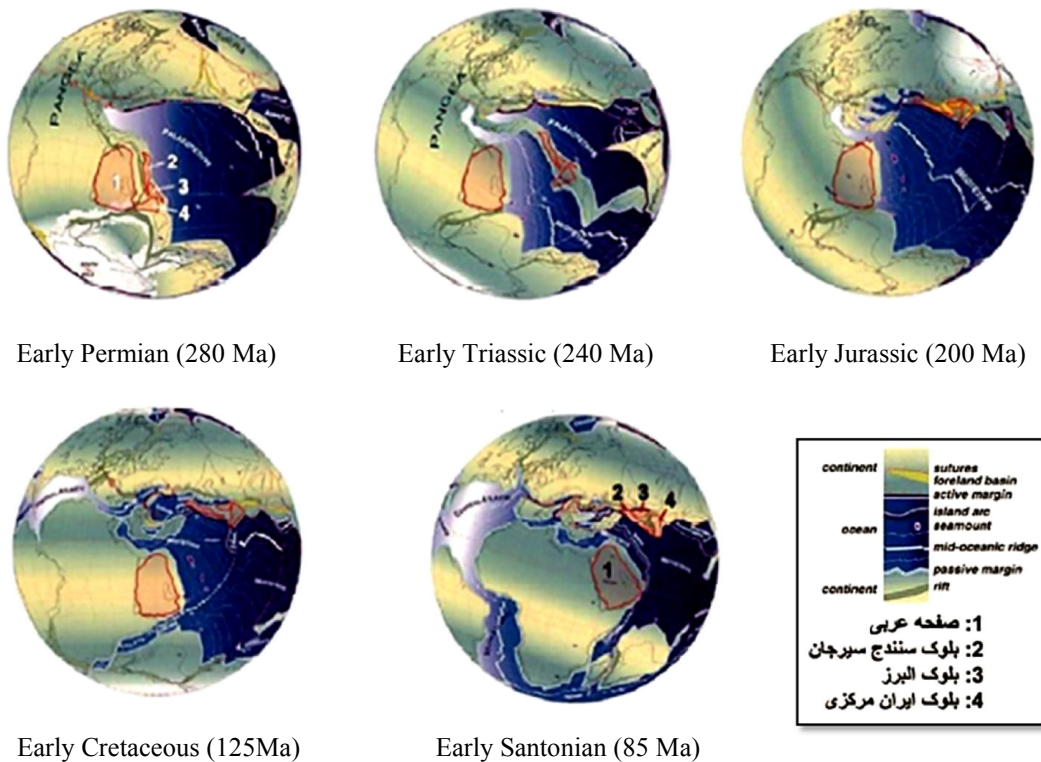


شکل ۲-۱- تصویر SRTM از رشته کوه البرز در شمال ایران (برگرفته از احتشامی و یساقی^۱، ۲۰۰۶)

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 (سنگور^۲، ۱۹۸۸) به ورقه شمالی برخورد کرده (شکل ۲-۲) و زمین‌درز تتیس کهن را به وجود آورده‌اند (بربریان، ۱۹۸۱). از نظر شهریاری و همکاران (۱۳۸۲)، البرز پیش از تریاس پسین بخشی از حاشیه واگرایی کرانه جنوبی اقیانوس پالئوتتیس بوده است. علوی (۱۹۹۶) البرز را یک کمربند چند کوهزادی می‌داند که توسط کوهزایی‌های سیمین و آلپی، از تریاس پسین تا آلیگومیوسن متأثر شده است. تصادم میان خرد ورق ایران و ورق توران با نزدیکی به تریاس پسین، آخرین مراحل تکامل خود را سپری کرده است. با تکمیل بیشتر فرآیندهای تصادم، مجموعه فزاینده‌ای که در این مرحله ورقه‌هایی از مجموعه رسوبات حاشیه غیرفعال را نیز به خود ملحق نموده، به تدریج بر روی فلات قاره جایگزین شده است. در نتیجه این جایگزینی به سمت جنوب، بخش‌هایی از فلات قاره که تا این زمان مکان رسوبگذاری نهشته‌های دریایی تریاس بوده‌اند، به صورت متوالی از آب خارج و در معرض فرسایش قرار گرفته‌اند. این بخش‌ها با گذر برآمدگی حاشیه‌ای، مجدداً توسط حوضه فورلند پوشیده شده و رسوبات رودخانه‌ای- دلتایی شمشک با یک سطح ناپیوستگی بر روی آنها نهشته شده‌اند (رحیمی، ۱۳۸۱).

¹ Ehteshami and Yassaghi

² Sengor



شکل ۲-۲- تکامل ساختاری البرز در طی پرمین آغازین- سانتونین پیشین (اقتباس از استامفیلی و برل^۱، ۲۰۰۲).

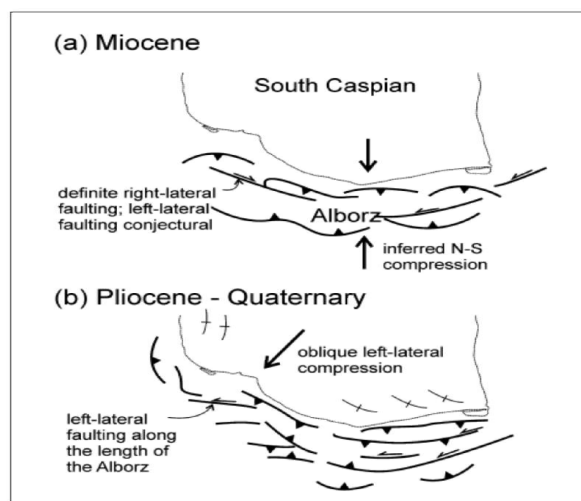
پیامد کم‌شدگی تحرک نوار چین‌خورده- گسلیده البرز و ثبات این مجموعه بر روی فلات قاره در اواخر ژوراسیک زیرین، لیتوسفر حاشیه شمالی ایران جهت رسیدن به تعادل ایزوستاتیک، تحت وزن نوار کوهزایی البرز (متشکل از ورقه‌های رورانده سیمرین) خم می‌شود. فرونشینی لیتوسفر، کاهش شدت فرآیندهای فرسایشی را به دنبال داشته است که این فرآیند به همراه افزایش سطح جهانی آب‌ها (وایل ۲ و همکاران، ۱۹۷۷) در این دوره باعث برقراری محیط رسوبی دریایی در حوضه فورلند شده است. فرونشینی لیتوسفر با تشکیل و انتقال برآمدگی حاشیه‌ای به سمت نوار چین‌خورده- گسلیده البرز همراه بوده است. این فرآیند باعث افزایش عمق حوضه دریایی فورلند در نزدیکی نوار کوهزایی البرز و کاهش عمق حوضه دریایی بر روی برآمدگی حاشیه‌ای شده است. با نزدیک شدن به پایان کرتاسه و شروع حرکات آلپ میانی، در نتیجه تصادم ورق عربستان و خرد ورق ایران، نیروهای بر

¹ Stampfli and Borel

² Vail

لیتوسفر قاره‌ای ایران اعمال شده است. این فرآیند، کوتاه‌شدگی پوشش رسوبی در حاشیه شمال ایران و پیامد آن تشکیل گسل‌های رورانده جدید و فعالیت مجدد نوار چین‌خورده- گسلیده البرز را سبب شده است. در این مرحله فعالیت، بخشی از رسوباتی که در مراحل قبل در حوضه فورلند ته‌نشین شده‌اند، به فرم ورقه‌های رورانده به مجموعه کوهزایی ملحق شده و مجموعه کوهزایی با پیوستن ورقه‌های جدید، به سمت حوضه فورلند حرکت کرده است. این تغییرات ساختاری با بالآمدگی نوار چین‌خورده- گسلیده البرز، پسروری دریا به سمت جنوب در حوضه فورلند، تجدید حیات فرآیندهای فرسایشی در آن و هجوم مواد آواری به سمت جنوب همراه بوده است. به دنبال رسوبگذاری نهشته- های آواری پالئوسن و کاهش فعالیت گسل‌های رورانده در نوار چین‌خورده- گسلیده، لیتوسفر جهت برقراری تعادل ایزوستاتیک در زیر بار حاصل از وزن نوار چین‌خورده- گسلیده‌ای که با پیوستن ورقه- های جدید، سنگین‌تر و حجیم‌تر از قبل شده، فرونشینی نموده است. حوضه فورلند تحت چنین شرایطی مجدداً توسط آب پوشیده شده و رسوبگذاری نهشته‌های کربناته و دریایی کم عمق سازند زیارت در آن به وقوع پیوسته است. با فرونشینی بیشتر، حوضه فورلند عمیق‌تر شده و محیط در ائوسن برای رسوبگذاری نهشته‌های توریدایتی سازند کرج فراهم شده است. بعد از آنکه حوضه فورلند دریایی البرز در آغاز نئوژن به دلیل بالآمدگی فلات ایران و نیز آفت سطح جهانی آب‌ها به یک فورلند غیر دریایی تبدیل شده است. توالی رسوبات از نئوژن تا عهد حاضر در این پهنه، به طور 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 (رحیمی، ۱۳۸۱). تکامل پوسته البرز در اواخر دوران سنوزوئیک را می‌توان اینگونه بیان کرد که در میوسن تغییر شکل احتمالاً بیشتر فشارشی و همراه با حرکت عموماً راستالغز بوده است. حرکت فشارشی بعد از میوسن، که تاکنون نیز

ادامه دارد، سبب جابجایی چپ‌بر شده است (شکل ۲-۳). حرکت به سمت غرب پی‌سنگ خزر جنوبی، نسبت به ایران دلیل این جابجایی چپ‌بر می‌باشد (آلن^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). از نظر هارلند^۲ و همکاران (۱۹۷۱)، رشته کوه البرز واقع در شمال ایران ناحیه‌ای با دگرشکلی فعال بوده و نمونه بسیار خوبی از همزمانی دگرشکلی‌های فشارشی و امتدادلغز است و می‌توان آن را به عنوان یک کمربند یا نوار راندگی به همراه چین‌خوردگی‌های غیر فعال دانست که از تأثیر مؤلفه کوتاه‌شدگی مایل ایجاد شده است (تغییر شکل‌های حاصل از تکتونیک ترافشارشی). بنا بر نظر جکسون و همکاران (۲۰۰۲)، رشته کوه البرز در حال حاضر تحت کوتاه‌شدگی چپ‌بر مایل قرار دارد؛ ضمن آنکه ساختارهای مبین حرکت امتدادلغز چپ‌بر در البرز خاوری بیشتر از البرز باختری است.



شکل ۲-۳- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک؛ تغییر شکل در میوسن بیشتر به صورت فشارشی همراه با حرکات راستالغز و بعد از میوسن به سبب جابجایی به سمت باختر خزر جنوبی، حرکات غالب به طور عمده از نوع چپ‌بر می‌باشد (برگرفته از آلن و همکاران، ۲۰۰۳).

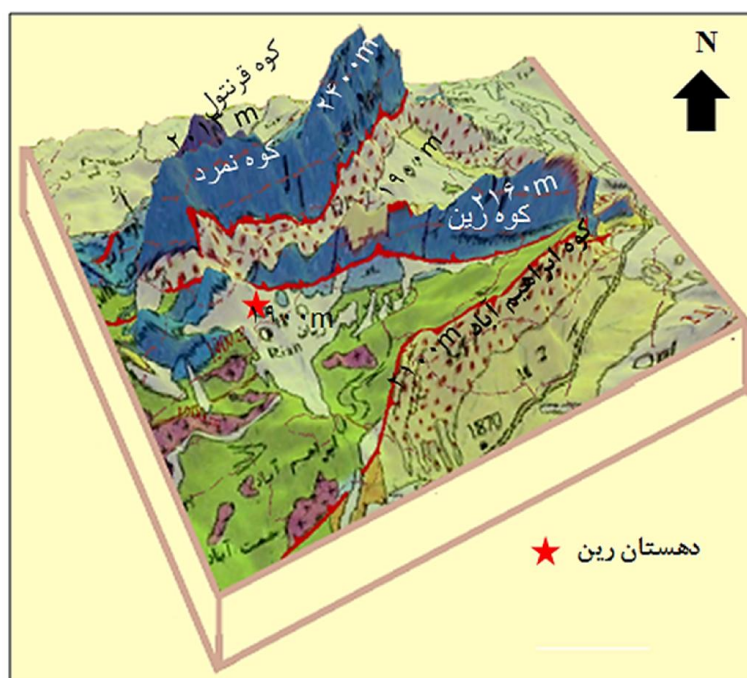
۲-۲- ریخت زمینساخت منطقه

از نگاه ریخت‌شناسی، منطقه مورد مطالعه شامل نواحی مرتفع و بخش‌های پست و فلات‌گونه می‌باشد. واحدهای رسوبی چین‌خورده مربوط به سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای، لار، واحد کنگلومرایی قرمز

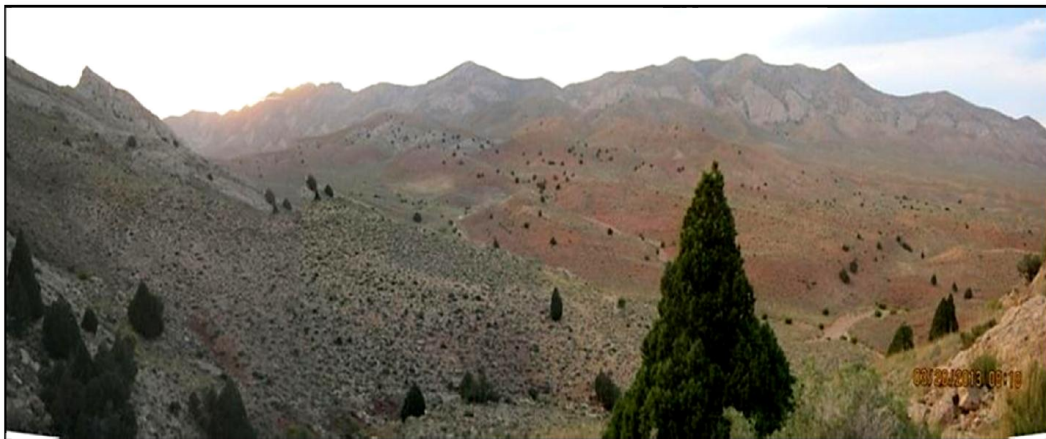
¹ Allen

² Harland

بالایی و هزاردره، ارتفاعات شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده‌اند و بخش‌های میانی که نواحی پست را تشکیل می‌دهند، عمدتاً توسط نهشته‌های مارنی میوسن و کواترنری پوشیده شده است. از مهمترین ارتفاعات این منطقه می‌توان به کوه نمرد و قرنتول در بخش شمالی و کوه رین متشکل از آهک‌های لار در بخش‌های میانی و نیز ارتفاعات متشکل از کنگلومرای سازند قرمز بالایی تحت عنوان کوه ابراهیم‌آباد در جنوب ناحیه مورد مطالعه اشاره نمود (شکل ۲-۴ و شکل ۲-۵). این ارتفاعات بلند ناشی از چین‌خوردگی واحدهای رسوبی طی فازهای کوهزایی می‌باشد. همچنین گسل‌های معکوس نقش مهمی در ایجاد ارتفاعات منطقه به عهده داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به گسل نمرد و قرنتول که در ایجاد ارتفاعات شمالی و گسل رین که مسبب ایجاد ارتفاعات میانی بوده است، اشاره نمود. از طرفی گسل ابراهیم‌آباد نیز باعث ایجاد بلندی‌های سازند قرمز بالایی در جنوب می‌باشد. بلندترین کوه منطقه، کوه رین و نمرد در سازند آهکی لار با ارتفاعات به ترتیب ۲۱۶۰ و ۲۴۰۰ متر و کوه ابراهیم‌آباد در سازند قرمز بالایی با ارتفاع ۲۱۰۴ متر از سطح آب‌های آزاد است. پست‌ترین بخش منطقه را نیز نهشته‌های کواترنری با ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا تشکیل می‌دهند.



شکل ۲-۴- تصویر سه بعدی از محدوده مورد مطالعه جهت نمایش ریخت‌زمین‌ساخت منطقه؛ ترکیبی از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و داده‌های SRTM و توپوگرافی از منطقه.



شکل ۲-۵- ریخت‌شناسی ملایم و پست‌گونه مربوط به واحد مارنی سازند قرمز بالایی و نهشته‌های کواترنری و رخنمون صخره‌ساز مربوط به سازند لار می‌باشد (دید به سمت شمال باختر).

۲-۳- چینه‌شناسی

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته پیشین، به ویژه نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (علوی، ۱۳۵۱)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان (آقانباتی و حامدی، ۱۳۷۳) و نیز مشاهدات صحرایی نگارنده، وجود توالی‌هایی از سنگ‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک با راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری، در این ناحیه به اثبات رسیده است.

سازند الیکا به سن تریاس زیرین- میانی، قدیمی‌ترین و نهشته‌های کواترنری، جدیدترین واحدهای رخنمون یافته منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. توالی‌های مربوط به مزوزوئیک منطقه، شامل سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای و واحدهای آهکی لار می‌باشند. واحدهای مربوط به سنوزوئیک شامل سازندهای کرج، قم، قرمز بالایی و هزاردره می‌باشد. بخش‌های میانی منطقه نیز توسط نهشته‌های کواترنری پوشیده شده است. قابل ذکر است که نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه در شکل ۲-۱۱ آمده است که واحدهای سنگی ذکر شده را می‌توان بر روی آن مشاهده نمود.

در ادامه به بررسی ویژگی سازندهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، از قدیم به جدید، پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- واحدهای سنگی مزوزوئیک

۲-۳-۱-۱- سازند الیکا

نام سازند الیکا برگرفته از دهکده‌ای به همین نام در شمال دره چالوس می‌باشد. ضخامت آن در مقطع نمونه حدود ۳۰۰ متر است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳). ارتباط آن با سازند بالایی در برش نمونه که شمشک می‌باشد از نوع ناپیوستگی هم‌شیب می‌باشد (خسروتهرانی، ۱۳۸۲). از نگاه علوی (۱۳۵۱) این سازند در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه در کوه قرنتول هسته تاقدیس قرنتول را تشکیل داده است. آهک‌های ورمیکوله که بخش زیرین سازند الیکا را ساخته است در این منطقه برونزد نداشته و تنها بخش بالایی آن که دولومیت‌های زردرنگ را تشکیل می‌دهد، می‌توان مشاهده نمود (شکل ۲-۶-الف).

۲-۳-۱-۲- سازند شمشک

آسرتو^۱ (۱۹۶۶) برش الگوی این سازند را در شمال تهران معرفی نمود. وی این سازند را به چهار بخش تقسیم کرده که به ترتیب از پایین به بالا شامل ماسه‌سنگ پایینی، سری ذغال‌دار پایینی، ماسه‌سنگ بالایی و سری ذغال‌دار بالایی می‌باشد.

سازند شمشک در منطقه آهوان، از ماسه‌سنگ و شیل‌های خاکستری تیره تا سیاه رنگ تشکیل شده است. سنگ‌های تشکیل‌دهنده این سازند دارای مقاومت کمی بوده و نسبت به دیگر رخنمون‌های سنگی این منطقه در مقابل پدیده‌های فرسایشی بیشتر آسیب پذیر هستند. به همین دلیل بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه که از این سازند تشکیل شده‌اند دارای ارتفاع کمتری نسبت به دیگر رخنمون‌های سنگی هستند (شکل ۲-۶-ب).

^۱ Assereto

۲-۳-۱-۳- سازند دلیچای

نام سازند دلیچای برگرفته از رودی به همین نام در مسیر دماوند- فیروزکوه است. این سازند در برش نمونه از آهک‌های مارنی و ماسه‌ای تشکیل یافته و نشانگر رسوبگذاری در محیط دریایی است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳). سازند دلیچای در شمال کوه نمرد با یک سطح فرسایش یافته و هوازده بر روی سازند شمشک جای گرفته و به صورت هم‌شیب و به تدریج به آهک‌های روشن لار تبدیل می‌شود. با توجه به فسیل‌های یافت شده، سن این سازند باژوسین بالایی تا کالوین میانی تعیین شده است (علوی، ۱۳۵۱). در محدوده مورد مطالعه، این سازند شامل آهک‌های مارنی نازک لایه تا متوسط لایه است که به وفور دارای فسیل آمونیت می‌باشد (شکل ۲-۶- پ و ت).

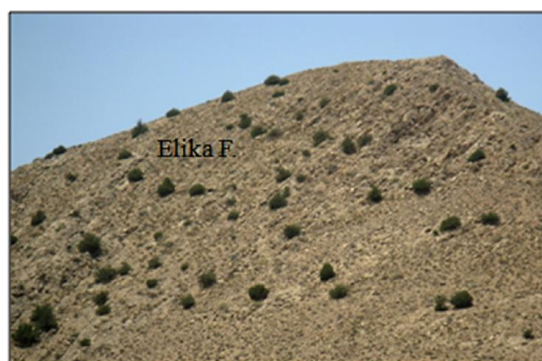
۲-۳-۱-۴- سازند لار

آهک‌های ژوراسیک فوقانی در نواحی وسیعی از البرز، بر روی نهشته‌های زود فرسای ژوراسیک میانی (سازند دلیچای) و یا رسوبات ذغال‌دار شمشک قرار دارد. آسرتو (۱۹۶۶) با استفاده از نام دره لار، نام سازند لار را بر روی این سنگ آهک‌ها نهاده است. از نظر علوی نائینی (۱۳۵۱)، ژوراسیک بالایی در منطقه آهوان از آهک‌های خوب لایه‌بندی شده تا توده‌ای ساخته شده، که از نظر رخساره و سن شبیه آهک‌های سازند لار می‌باشد و برونزد ستمبر آن را در کوه نمرد می‌توان دید. این سازند با سطح تماس تدریجی بر روی سازند دلیچای جای گرفته و با توجه به آمونیت‌های گردآوری شده در آن سن آهک-های لار آکسفوردین تا تیتونین تعیین شده است (علوی، ۱۳۵۱).

بر اساس مطالعات میدانی در منطقه آهوان، این سازند در مجموع از آهک‌های خاکستری روشن تا کرم‌رنگ ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده است که به شدت انحلال پذیر هستند. آهک‌های لار در منطقه آهوان به طور تدریجی از پایین به بالا ضخیم شونده هستند، به گونه‌ای که در اکثر نواحی در بخش‌های فوقانی حالت توده‌ای دارند (شکل ۲-۶- ث و ج). نودول‌های چرتی به صورت قلوهای در این سازند مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۶- چ).



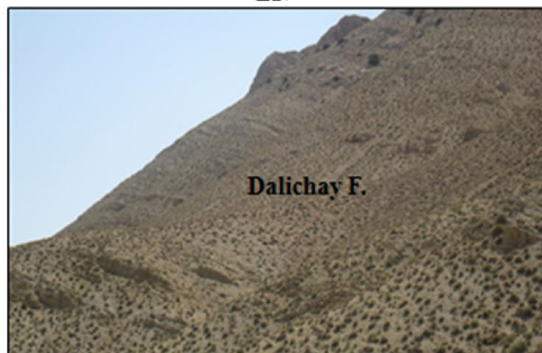
ب



الف



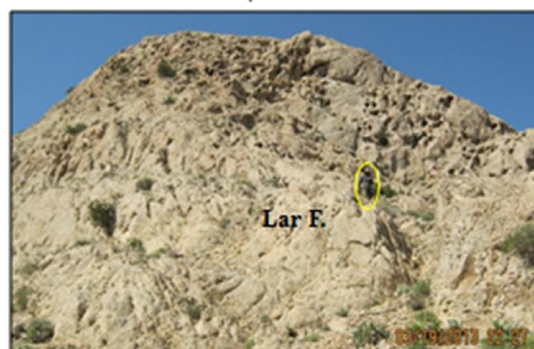
ت



پ



ج



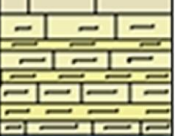
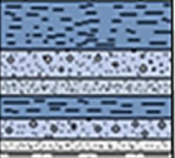
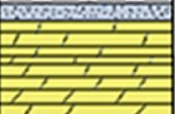
ث



چ

شکل ۶-۲- تصاویری از سازندهای مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه؛ الف: سازند الیکا، ب: سازند شمشک، پ: سازند دلیچای، ت: فسیل آمونیت موجود در سازند دلیچای، ث: رخنمون توده‌ای از سازند لار، ج: نمایی از رخنمون ضخیم لایه سازند لار، چ: نودول‌های چرتی سازند لار.

ستون چین‌نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۷-۲ آورده شده است.

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Mesozoic	Jurassic	Upper	Lar		Thick bedded to massive limestone
		Middle	Dalichay		Marly limestone
		Lower	Shemshak		Sandstone, shale, siltstone, conglomerate, coaly shale
	Triassic	Lower	Elika		Medium to thick bedded yellow dolomite

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

۲-۳-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک

۲-۳-۲-۱- سازند کرج

سازند کرج به عنوان یکی از شاخص‌ترین واحدهای سنگ چین‌های البرز جنوبی، شامل توالی تقریباً ستبری از توف‌های سبزرنگ، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتشفشانی و به ندرت تبخیری است. ددوال^۱ (۱۹۶۷) در دره کرج برشی از این سازند را معرفی و آن را سازند کرج نامید. اگرچه سازند کرج یادآور توف‌های سبز البرز جنوبی است، ولی در برش الگو و همچنین در دیگر رخنمون‌ها، این سازند ترکیب سنگ‌شناسی همگن ندارد؛ به همین رو، سازند کرج در برش الگو با ۳۳۰۰ متر ضخامت، به

¹ Dedual

پنج عضو تقسیم شده که از پائین به بالا عبارتند از: بخش‌های شیل پائینی، توف میانی، شیل آسارا، توف بالایی و شیل کندوان (آقاناتی، ۱۳۸۳).

این سازند به طور گسترده، در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه در رخنمون وسیعی قابل مشاهده است. در بخش جنوب خاوری منطقه، مرز بالایی این سازند گسلی بوده (گسل ابراهیم‌آباد) و این گسل با عملکرد خود باعث شده است تا کرج در بعضی از رخنمون‌ها در کنار لایه‌های کنگلومرایی سازند قرمز بالایی (شکل ۲-۸-الف) و در سایر نقاط مجاور سازند قم قرار گیرد (شکل ۲-۸-ب).

۲-۳-۲- سازند قم

گسترده‌گی زیاد و وجود ذخایر هیدروکربنی در ردیف‌های الیگو-میوسن ناحیه قم سبب شده تا نام این سازند از این شهر گرفته شود. ولی به دلیل تغییرات رخساره‌ای زیاد در این سازند تاکنون برش الگویی از آن معرفی نشده است (آقاناتی، ۱۳۸۳). در منطقه مورد مطالعه، الیگوسن پایانی و میوسن با سازند قم مشخص می‌شود. این سازند بیشتر از آهک‌های سفیدرنگ، آهک‌های مارنی و مارن‌های سبز روشن تا خاکستری تشکیل شده است. مرز زیرین این سازند بر روی واحدهای سازند کرج، گسلی می‌باشد (شکل ۲-۸-ب).

۲-۳-۳- سازند قرمز بالایی

این رسوبات با وسعت زیاد در ناحیه مورد مطالعه، از دو واحد متفاوت از یکدیگر به سن میوسن تشکیل شده است. بخشی با ردیف‌هایی از کنگلومرای قرمز رنگ (M_1) درست شده است، در صورتی که بخش دیگر را مارن‌های زرد، سبز و اغلب مارن‌های ماسه‌ای قرمز آجری رنگ (M_2) می‌سازند که گاهی توسط نهشته‌های آبرفتی پوشیده شده‌اند. در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، در نزدیکی روستای ابراهیم‌آباد، رخنمون وسیعی از این سازند قابل مشاهده است. در بخش‌های شمالی منطقه به سمت شمال-شمال باختر بر تعداد میان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی افزوده شده، به طوری که به تدریج به واحدهای کنگلومرایی ضخیم لایه با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و شیلی تبدیل می‌شود

(شکل ۲-۸-ت). این رسوبات مولاس‌گونه هستند (شکل ۲-۸-پ) و به نظر می‌رسد که در یک حوضه فروافتاده نهشته شده‌اند و فرونشینی تدریجی بستر، ضخامت آن را به شدت افزایش داده است. با وجود شرایط یکسان رسوبی، سنگ‌شناسی این سازند تغییرات زیادی دارد، به گونه‌ای که هم ارزی دقیق رخنمون‌ها دشوار است و هیچ برشی نمی‌تواند الگوی این سازند باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳). این واحدهای رسوبی به همراه کنگلومرای پلیوسن، رخنمون قابل توجهی را در بخش‌های پست شمالی و جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

۲-۳-۲- سازند هزاردره

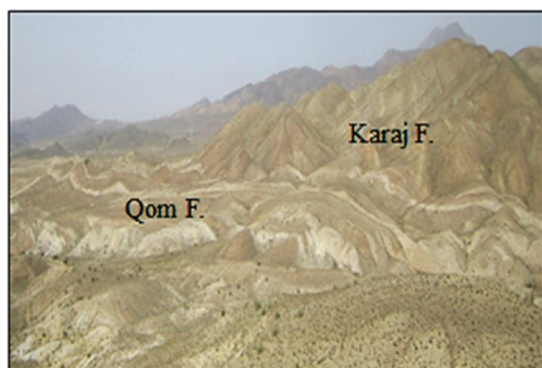
نهشته‌های این زمان تحت عنوان سازند هزاردره در بخش‌های خاوری با روند تقریبی شمالی- جنوبی و در بخش‌های شمالی با روند خاوری- باختری قابل مشاهده است. این سازند از لحاظ سنگ‌شناسی، غالباً از کنگلومرا تشکیل شده که گاهی تپه‌های نسبتاً بلندی را به وجود آورده‌اند و سطح تماس آن با سازند قرمز بالایی ناپیوسته بوده و خود با سطح تماس ناپیوسته توسط رسوبات جوان کواترنری پوشیده می‌شود (شکل ۲-۸-ث).

۲-۳-۲-۵- نهشته‌های کواترنری

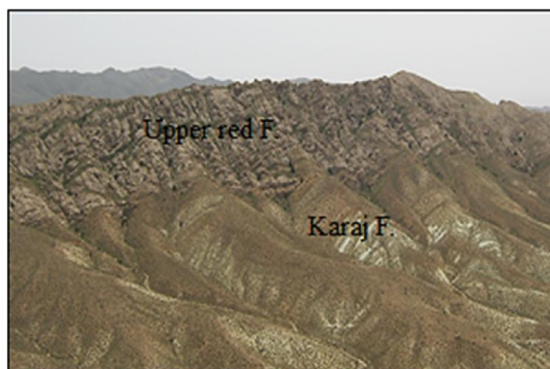
جوان‌ترین رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های کواترنری می‌باشند که به صورت رسوبات سخت نشده و یا با فشردگی اندک بوده و بخشی از ناحیه مورد بررسی را، بخصوص در بخش‌های میانی، می‌پوشانند. پادگانه‌های آبرفتی کنگلومرای نسبتاً مسطح، بلندتر و قدیمی‌تر از بقیه رسوبات آبرفتی این مقطع زمانی، در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه رخنمون دارند (شکل ۲-۹-الف). همچنین بادبزنی‌های آبرفتی قدیمی‌تر در اکثر بخش‌های میانی منطقه که با عنوان Q^{tl} مشخص می‌باشند، قسمتی از سازند هزاردره را می‌پوشانند (شکل ۲-۹-ب).

آبرفت‌های رودخانه‌ای

آبرفت‌های رودخانه‌ای (Q^{al}) جدیدترین رسوبات آبرفتی منطقه است. این واحد شامل نهشته‌های رودخانه‌ای و رسوبات آبراهه‌ها می‌باشد که مجموعه‌ای از قله‌سنگ‌های ریز و درشت به هم ناپيوسته را شامل می‌شود (شکل ۹-۲ ت).



ب



الف



ت

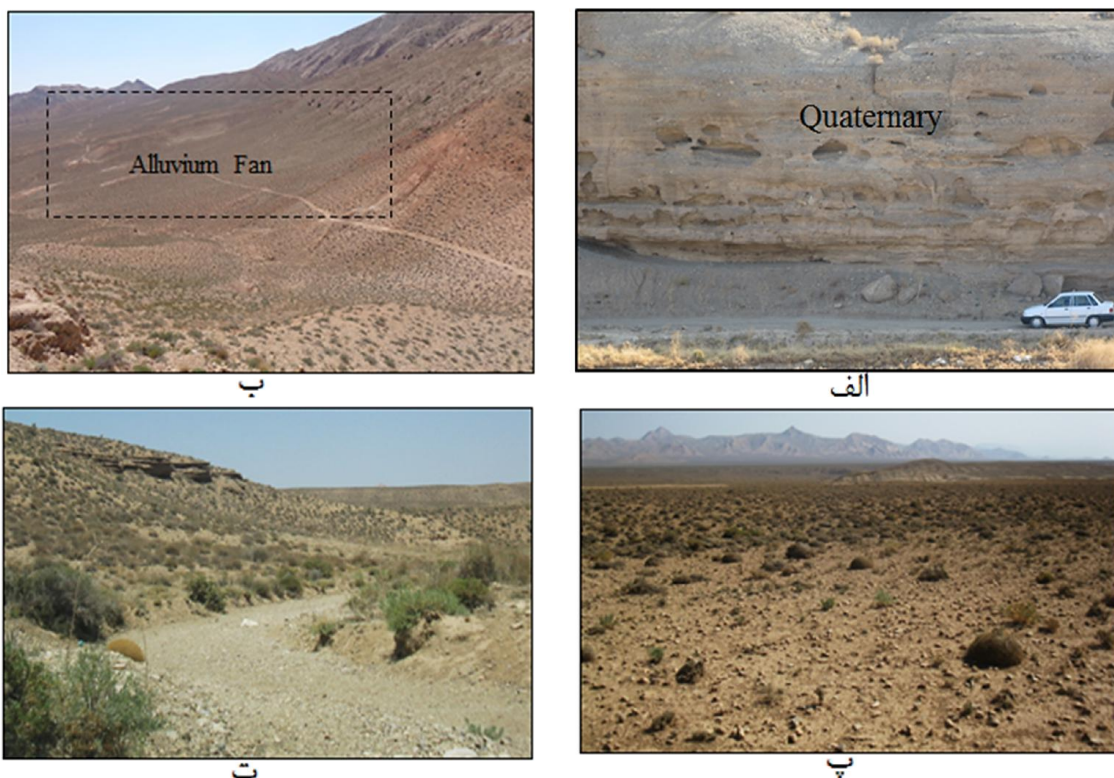


پ



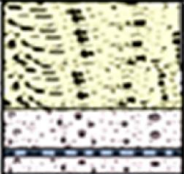
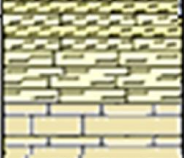
ث

شکل ۸-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای سنوزوئیک در منطقه؛ الف: سازند کرج ، ب: رخنمونی از سازند قم، پ: رخنمونی از واحدهای مارنی- ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی ، ت: رخنمونی از واحدهای کنگلومرای سازند قرمز بالایی، ث: رخنمونی از واحدهای کنگلومرای سازند هزار دره.

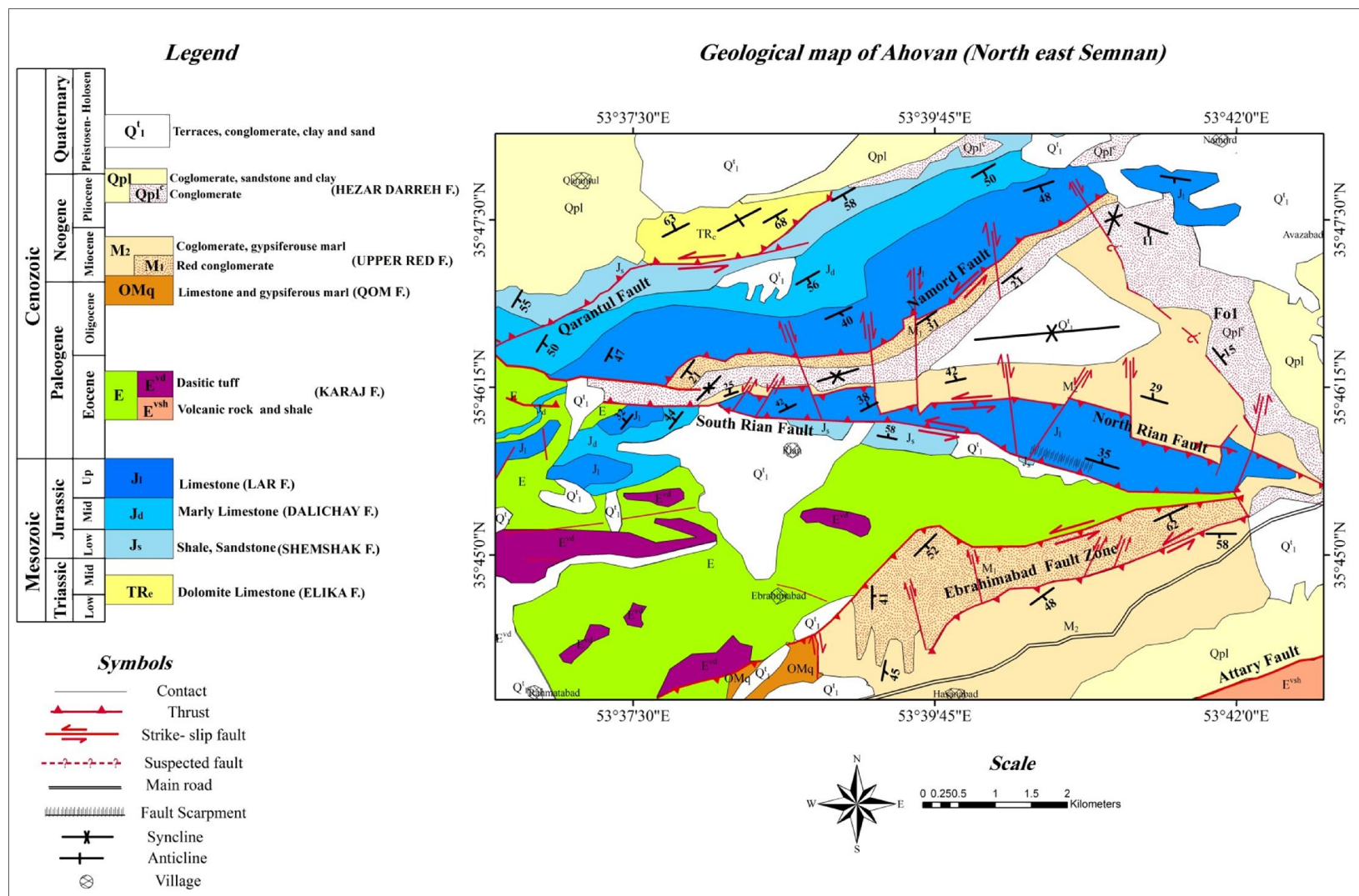


شکل ۲-۹- الف: تراس‌های آبرفتی کهن، ب: بادبزنی‌های آبرفتی، پ: رسوبات آبرفتی ریز دانه، ت: آبرفت‌های رودخانه‌ای.

ستون چین‌نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲-۱۰ آورده شده است.

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Cenozoic	Tertiary	Quaternary			Conglomerate, clay and sand terraces, alluvium fan
		Pliocene	Hezar-darreh		Conglomerate
		Miocene	Upper red		Red conglomerate, gypsiferous marl
		Oligocene	Qom		Limestone, Marly limestone and gypsiferous marl
		Eocene	Karaj		Green tuff, shale, volcanic rocks, sandy limestone, gypsiferous marl and siltstone

شکل ۲-۱۰- ستون چین‌شناسی مربوط به سازندهای دوران سنوزوئیک (بدون مقیاس)



شکل ۲-۱۱- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه؛ اقتباس از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (خراسانی، ۱۳۹۳).



فصل سوم

زمین‌شناسی ساختمانی



در محدوده مورد مطالعه گسل‌های طولی و عرضی و چین‌خوردگی واحدهای سنگی مزوزوئیک و سنوزوئیک از مهمترین عناصر ساختاری موجود هستند. لازم به یادآوری است که منطقه مطالعاتی بخشی از البرز خاوری است که روندهای ساختاری چیره آن به صورت شمال خاوری- جنوب باختری می‌باشد. بر همین مبنا گسل‌های هم راستا با این روند طولی و گسل‌هایی که روند تقریبی شمالی- جنوبی دارند و نسبت به گسل‌های طولی کوچک بوده، عرضی نام نهاده شده است. این گسل‌ها از ویژگی‌های ساختاری عمومی این منطقه می‌باشند که واحدهای سنگی موجود را به صورت عرضی قطع و همبری‌های غیرطبیعی را ایجاد نموده‌اند. در این پژوهش سعی بر این است که به مطالعه دگرشکلی‌های رخ داده؛ اعم از هندسه و سازوکار حرکت سامانه گسلی، الگوی چین‌خوردگی، مدل هندسی و وضعیت سینماتیک و دینامیک گسل‌های منطقه در سازندهای مزوزوئیک و سنوزوئیک پرداخته شود.

۳-۱- گسل‌ها

این عناصر ساختاری در مطالعات زمین‌شناسی کاربرد ویژه‌ای دارند. به کارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های این عناصر به محققین زمین‌شناسی کمک مؤثری در استنباط فرآیندهای حرکتی می‌نماید. از آنجا که محدوده مورد مطالعه در بین دو زون البرز و ایران مرکزی واقع می‌باشد و شدت شکستگی‌ها در این قسمت زیاد و گسل‌های بسیاری با روندهای متفاوت واحدهای سنگ‌شناسی را قطع نموده‌اند، لذا لازمه تحلیل دگرریختی شدید حاصل از آنها، اندازه‌گیری سطوح گسلی به همراه بررسی آثار ریخت‌شناسی بر روی آنها می‌باشد. در ابتدا پیش از معرفی گسل‌های منطقه، به اصول تئوری که در خصوص چگونگی تشخیص سازوکار گسل‌های منطقه از آنها استفاده شده است، پرداخته می‌شود. ضرورت پرداختن به این مبحث در آن است که در مکان‌ها و پهنه‌های محدود که روش‌های تشخیص سازوکار گسل‌ها مانند چین‌نگاری، عناصر ساختاری همچون چین‌های کشیده سطح گسل (Fault derage fold) و ... حضور ندارند، شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل می‌تواند به تشخیص

نحوه حرکت و سازوکار آنها کمک نماید. به ویژه در واحدهای سنگی جوان به منظور بررسی تنش دیرین در بازه نوزمینساختی با استفاده از تحلیل لغزش گسل‌ها (Fault Slip Analysis) این شاخص‌ها کاربرد ویژه‌ای خواهند داشت. در این پژوهش، قبل از به کارگیری شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل، مطالعه اجمالی بر روی تاریخچه معرفی این معیارها صورت پذیرفت. در ادامه به معرفی مهمترین و معتبرترین این شاخص‌ها، که در منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شده، پرداخته شده است.

شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل

یک روش بسیار مؤثر در تعیین جهت حرکت و سازوکار گسل، مشاهده مستقیم سطوح لغزش می‌باشد. معیارهای ریخت‌شناسی سطح گسل بویژه در مکان‌هایی که واحدهای سنگی طرفین سطح گسل، از یک جنس و سن باشند و روش چینه‌نگاری و سایر ابزارهای تعیین سازوکار مانند خمش‌های مجاور سطح گسل (Fault drag fold) در دسترس نباشند، ابزار مناسبی در تعیین نحوه حرکت (Movement sense) در سطح گسل به شمار می‌روند. این معیارها اساساً تحت تأثیر عوامل عمده‌ای از جمله نوع سنگ و رفتار مکانیکی آن قرار دارند و به انواع متنوعی از ساختارهای ثانوی همراه با گسل از قبیل پله‌های گسل، رشد فیبرهای کانایی، شکستگی‌های ریدل و ... اطلاق می‌شود. از پیشینه مطالعاتی این عناصر می‌توان به مطالعات ریدل^۱ (۱۹۲۹) به عنوان پیشگام در زمینه شکستگی‌های مرتبط با زون‌های برشی (Shear zone) اشاره نمود. وی این شکستگی‌ها را در دسته‌های P, R', R و T تقسیم‌بندی نموده و ملاک تفکیک آنها را میزان زاویه و جهت حرکت این شکستگی‌ها نسبت به گسل می‌داند (کوئلو^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

پتیت^۳ (۱۹۸۷) بعضی از این عناصر حرکتی را با برداشتهای صحرایی در کوه‌های مرتفع آلپ اطلس موروکو (Alpine High Atlas Mountains of Morocco) مورد مطالعه قرار داده و معتبرترین

¹ Riedel

² Coelho

³ Petit

معیارهای نحوه تشخیص حرکت را دسته شکستگی‌های مرتبط با گسل معرفی می‌نماید. دبلاس^۱ (۱۹۹۸) طبقه‌بندی جدیدی از این شاخص‌ها را بر اساس ۶۱ معیار ارائه نموده است (جدول ۳-۱). این معیارهای لغزشی در ۱۱ گروه عمده از قبیل نشانه‌های هلالی شکل (V or Crescentic marking)، پله‌ها (Steps)، شکستگی‌ها (Fractures)، ردیفی از ساختارهای سطح متمایل (Trains of Inclined planar structures)، آثار اجسام بر جای مانده (Trailed material)، برجستگی‌های نامتقارن (Asymmetric elevations)، عناصر تغییر شکل یافته (Deformed elements)، جهت کریستالوگرافی و کانی‌شناسی (Crystallographic/ Mineralogical orientations)، مناظر نامتقارن در سطح گسل (Asymmetric plan-view features)، حفره‌های نامتقارن (Asymmetric cavities) و چین‌های نامتقارن (Asymmetric folds) قرار گرفته‌اند. طبق راهنمای جدول ارائه شده توسط دبلاس اندیس سمت چپ (۱) نشان دهنده مقیاس شاخص‌ها در سه اندازه میکروسکوپی (a)، میلیمتری (b) و متر (c) است و اندیس سمت راست (۲)، سه نوع بردار جهت حرکت بلوک گم شده را بر حسب درصد اطمینان هر یک از شاخص‌های جنبشی به نمایش می‌گذارد (a- خوب، b- نسبتاً خوب، c- ضعیف).

شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل و شناسایی نحوه حرکت با استفاده از آنها کمتر مورد توجه بوده است و از آنجا که در مطالعات نوین زمین‌شناسی ساختمانی، شناسایی این شاخص‌ها و روش به کارگیری آنها ضرورت دارد، سعی شده است که به طور اجمالی به برخی از این شاخص‌های شکل گرفته در سطوح گسلی مشاهده شده بر روی واحدهای آهکی مزوزوئیک و کنگلومرای میوسن و پلیو- پلیستوسن منطقه مطالعاتی از قبیل، پله‌های گسلی، اثر برشی‌های ریدل، نشانه‌های ابزاری و ... اشاره شود.

¹ Doblas

[illegible]

◀ پله‌های گسلی (Fault steps)

پله‌های گسلی برجستگی‌های خطی و تیز در سطوح گسلی هستند که دو پهلوی آن دارای دو شیب متفاوت است و منظره‌ای پله مانند در سطح گسل به ویژه بر روی فرودیواره گسل‌های شیب‌لغز ایجاد می‌کنند. شکل ۱-۳- الف نمونه‌ای از ریخت‌شناسی پله گسل را در رخنمون طبیعی از سطح گسل به نمایش می‌گذارد. رأس این پله‌ها عمود بر خط خش گسلی می‌باشد (توئیس و مورس^۱، ۱۹۹۲). لمس صاف این برجستگی‌های پله‌مانند بر روی سطح گسل جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد که در این صورت آن را معیار صافی مثبت (انجلیر^۲، ۱۹۹۴) یا پله‌های سازگار (نوریس و بارون^۳، ۱۹۶۹) می‌نامند. اما گاهی مشاهده شده است که پله‌های گسلی در خلاف جهت حرکت بلوک گم شده قرار می‌گیرند و ناظر در صورت لمس این دسته از پله‌های گسلی بر روی سطح گسل احساس زبری می‌کند که به اصطلاح به آن معیار صافی منفی (انجلیر^۲، ۱۹۹۴) یا پله‌های ناسازگار (نوریس و بارون^۳، ۱۹۶۹) اطلاق می‌شود. این نوع از پله‌های بازدارنده در محل انحلال حفره‌ای قرار دارند که اگر بر سطح گسل عمود باشند به صورت یک استیلولیت کوچک ظاهر می‌شوند (مارشاک و میترا^۴، ۱۹۸۸).

◀ نشانه‌های V شکل (V or Crescentic markings)

یک گروه بزرگ از ۱۱ گروه شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح لغزش در طبقه‌بندی دبلاس (۱۹۹۸) نشانه‌های V یا هلالی شکل می‌باشد. در این گروه ۱۴ شاخص از ۶۱ معیار دبلاس معرفی شده است که بسته به سمت قرارگیری زاویه حاد این نشانه‌ها (نوک V) نسبت به جهت حرکت بلوک گم شده، در این گروه جای می‌گیرند. نوک V در این نشانه‌ها ممکن است در جهت و یا در خلاف جهت حرکت بلوک گم شده قرار گیرد. از جمله سیماهایی که در این گروه نوک V خلاف جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد، می‌توان به اشکال هویجی شکل اشاره نمود (جدول ۱-۳)، (گروه CM، شاخص

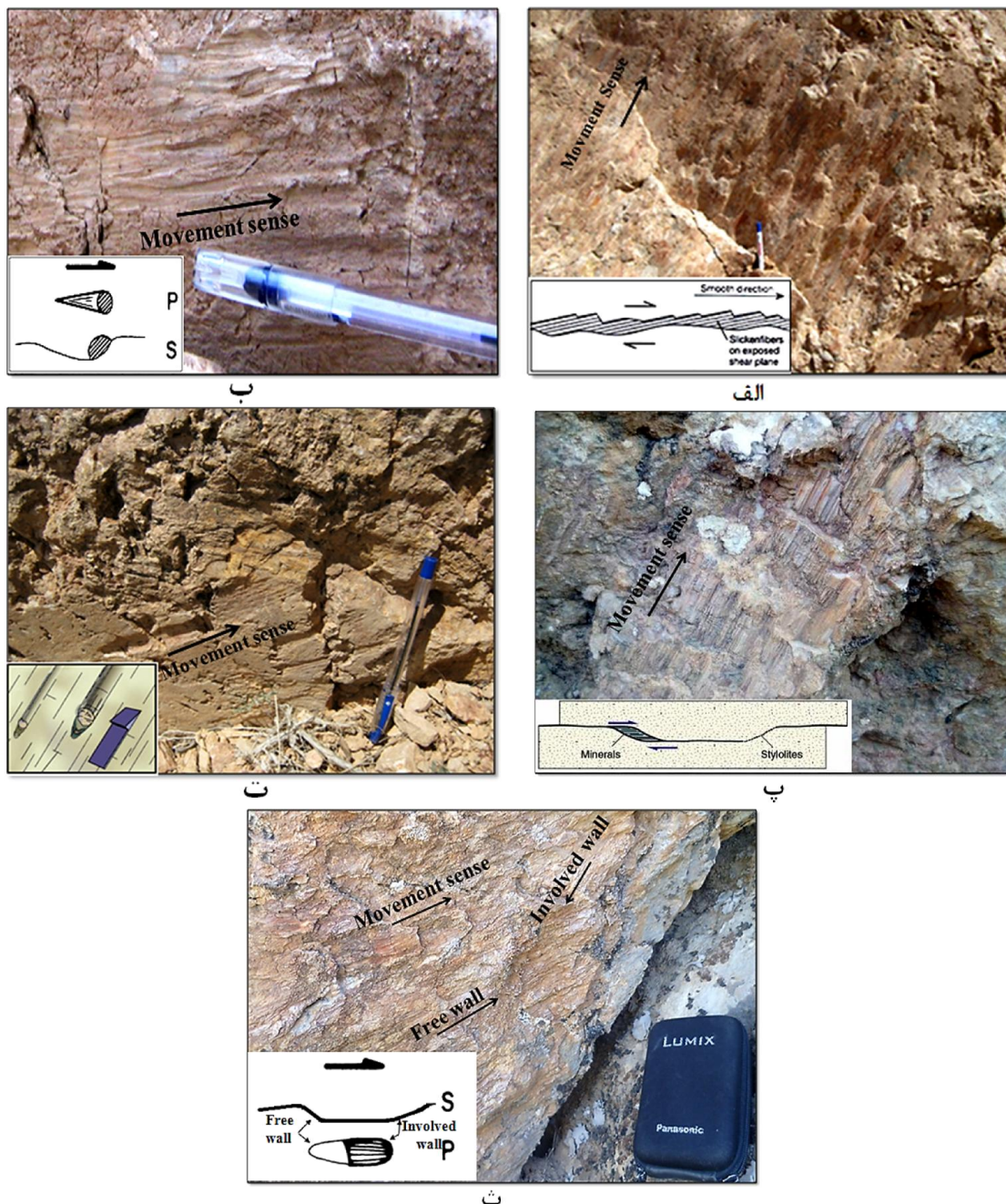
¹ Twiss and Moores

² Angelier

³ Norris and Barron

⁴ Marshak and Mitra

پنجم). این اشکال حاصل از سایش دانه‌ها بر روی یکی از دیواره‌های سطح گسل در جهت حرکت بلوک گم شده می‌باشد که سیماهای تورفته کوچکی را بر روی سطح گسل بر جای می‌گذارد که نوک V نشان‌دهنده جهت حرکت خود بلوک حامل دانه می‌باشد. به کارگیری این نشانه در نحوه تشخیص سمت حرکت در رده معیارهای معتبر دبلاس قرار می‌گیرد (شکل ۱-۳-ب).



شکل ۱-۳- نمونه برخی از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل در رخنمون‌های طبیعی محدوده مطالعاتی به همراه اشکال شماتیک آنها، الف: پله‌های گسلی، ب: نشانه‌های V شکل، پ: خطواره‌های کانیاپی، ت: نشانه‌های ابزاری، ث: حفره‌های نامتقارن.

◀ خطواره‌های کانیايي (Mineral Fibers)

این خطواره‌ها ناشی از رشد کانی‌های رشته‌ای در سطح گسل است (شکل ۳-۱-پ). حضور این خطواره‌ها معرف آن است که گسل ضمن حرکت به طور جزئی باز شده و محلی برای تشکیل کانی‌های ثانویه فراهم ساخته است که با توجه به ترکیب کانی، به صورت رشته‌های ظریف و باریک در جهت حرکت بلوک مقابل در مناطق پناهگاهی رشد می‌کنند (مارشاک و میترا، ۱۹۸۸). به عبارتی مناطق پناهگاهی (عموماً پشت پله‌ها) مناطق رها از درگیر بودن دو بلوک گسلی است که فاقد خش‌لغز بوده و محلی برای رشد کانی‌های ثانویه می‌باشد (فوزن^۱، ۲۰۱۰). فیبرهای کشیده شده با زاویه کوچک به مرزهای مناطق برشی دو قطعه گسل متصل می‌شوند. جهت زاویه حاده در محل اتصال فیبرها به هر قطعه گسلی یا نوک ۷ شکل آن، جهت حرکت آن قطعه گسلی را نشان می‌دهد. این رشته‌های کانیايي حداکثر ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر می‌توانند بزرگی جابجایی گسل را تعیین کنند. در صورتی که جابجایی از این مقادیر بیشتر شود، کانی‌ها دیگر نمی‌توانند به رشد خود ادامه دهند. بنابراین اگر جابجایی گسل در مقیاس چندین متر باشد، فیبرهای کشیده شده معیار مناسبی جهت تعیین میزان جابجایی دو قطعه گسل نمی‌باشند (توئیس و مورس، ۱۹۹۲).

◀ نشانه‌های ابزاری (Tool mark)

نشانه‌های ابزاری خطواره‌های شیاری هستند که در اثر کشیده شدن یک قطعه سنگ یا جسم فرسایش‌دهنده سخت (سخت‌تر از ماتریکس سنگ) بر روی یکی از دیواره‌های گسلی در جریان حرکت سطح لغزشی با رخنمون قاشقی شکل برجای گذاشته می‌شوند و ممکن است قلوه سنگ در انتهای شیار باقی بماند (شکل ۳-۱-ت). در این صورت سمت حرکت به سمت پایانه حرکت جسم سخت می‌باشد (دبلاس، ۱۹۸۵؛ تجیا^۲، ۱۹۶۷). اما در صورت عدم حضور این کلاست‌ها استفاده از این معیار چندان قابل اطمینان نخواهد بود.

¹ Fossen

² Tjia

◀ حفره‌های نامتقارن (Asymmetric cavities)

یکی از نشانه‌های حرکتی معتبر در رده‌بندی دبلاس (۱۹۹۸) وجود حفره‌های نامتقارن بر روی سطح گسل است. از آنجا که در رخنمون‌های طبیعی، سطح گسل به صورت یک سطح کاملاً صاف و مسطح نیست و در طول خود دچار خمیدگی‌هایی می‌باشد؛ ممکن است ضمن حرکت یکی از بلوک‌های گسلی، در مناطقی بر روی سطح اعوجاج یافته گسل اشکال حفره‌ای طویل که نمای نامتقارنی دارند، شکل گیرد. این حفره‌های نامتقارن از دو بخش پر شیب و کم شیب تشکیل شده است (شکل ۳-۱-ث). بخش کم شیب این اشکال که دارای آثار خش‌لغز می‌باشد، نشان‌دهنده دیواره درگیر (Involved wall) دو بلوک گسلی بوده و این در حالی است که بخش پر شیب این حفرات که فاقد خش‌لغز و نشانه‌های حرکتی می‌باشد دیواره رها از درگیر بودن دو بلوک گسلی (Free wall) است. بنابراین در این نشانه‌ها جهت حرکت بلوک گم شده از بخش پر شیب حفره به سمت کم شیب آن می‌باشد.

◀ شکستگی‌های فرعی مرتبط با گسل (Riedel shear)

شکستگی‌ها یکی از بهترین شاخص‌ها جهت تعیین لغزش در زون‌های برشی می‌باشند و اساساً از نوع کششی و یا برشی هستند. شکستگی‌های برشی موسوم به برشی‌های ریدل، اکثراً از پدیده‌های همراه با گسل‌های راستالغز می‌باشند. یکی از ویژگی‌های عمومی این برشی‌ها این است که نسبت به سطح گسل تکرار می‌شوند (فوزن، ۲۰۱۰) و بر اساس اینکه نسبت به سطح اصلی گسل با چه زاویه‌ای تشکیل شوند و چه سازوکاری داشته باشند، نام‌های متفاوتی به خود گرفته و به برشی‌های T و P ، R' و R تقسیم‌بندی می‌شوند (پتیت، ۱۹۸۷). در طبقه‌بندی دیگر این شکستگی‌ها در دو گروه عمده سازگار (Positive) و ناسازگار (Negative) با حرکت سطح گسل طبقه‌بندی می‌شوند (کوئلو، ۲۰۰۶). جهت‌گیری این ساختارها نسبت به گسل اصلی راستالغز، تعیین‌کننده جهت برش در گسل می‌باشد.

برشی‌های R

یکی از انواع برشی‌های ریدل که با زاویه کوچک نسبت به گسل اصلی راستالغز (تقریباً ۱۰ تا ۲۰ درجه) به شکل ردیف‌های پوششی تشکیل می‌شوند و همسو (Synthetic) با حرکت گسل هستند، R نامیده می‌شوند. اثر این برشی‌ها از نظر ریخت‌شناسی بر روی سطح گسل مشابه با عملکرد گسل‌های نرمال کم زاویه می‌باشد (فوزن، ۲۰۱۰). به طوریکه جهت حرکت گسل در راستای بلوک گم شده آسان است و قطعه فرادیواره شکستگی نسبت به سطح اصلی گسل فرو می‌افتد به عبارتی در دسته شکستگی‌های موافق با حرکت گسل (Positive) جای دارند (کوئلو، ۲۰۰۶). پتیت (۱۹۸۷) برشی‌های نوع R را با سه مورفولوژی RO، RM و اشکال هلالی شکل بر روی سطح گسل معرفی نمود که در مطالعات میدانی شناسایی این سه گروه به آسانی امکان پذیر است.

وی در نامگذاری این سه دسته R را مخفف برشی ریدل نوع R دانسته و پسوند O زمانی به کار گرفته می‌شود که در هنگام گسلش فقط شکستگی R بدون شکل‌گیری برشی P بر روی سطح گسل مشاهده شود و M در صورتی است که سطح اصلی گسل در اثر وجود این شکستگی‌ها کاملاً مخطط باشد.

- برشی نوع RO (R Only)

در این نوع از برشی‌های ریدل، شکستگی‌های ثانویه R در فاصله بسیار نزدیک به هم و به طور منظم بر روی سطح گسل تکرار شده و پیامد آن سطح گسل ظاهری مخطط و پله مانند به خود می‌گیرد. این برشی‌ها بدون حضور شکستگی‌های نوع P شکل گرفته و به همین دلیل پسوند O را برای آن در نظر می‌گیرند. نظم مشاهده شده بر روی سطح گسل به دلیل همراه بودن شکستگی‌های R با برشی‌ها نوع R' بوده که باعث شده سطح اصلی گسل ظاهری مضرس و دندان‌ای به خود بگیرد (شکل ۳-۲-الف).

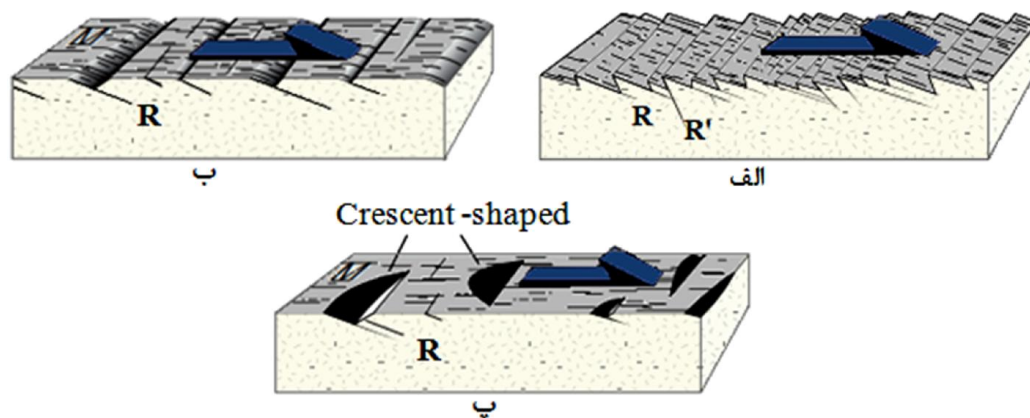
- برشی‌های نوع RM

این نوع برشی‌ها علی‌رغم اهمیت بسیار بالای خود، غالباً دست‌کم گرفته می‌شوند. برشی R در برخورد

با سطح گسل ممکن است با ظاهری خطی و یا منحنی شکل رخنمون یابند، در صورتیکه با سیمای خطی مشاهده شود می‌توان این برشی‌ها را از نوع RM و در غیر این صورت از نوع (Crescent-shape) در نظر گرفته می‌شود. در برشی‌های نوع RM، شکستگی‌های نوع R به طور نامنظم و در فواصل نزدیک به هم و گاهی دور از یکدیگر تکرار می‌شوند. شکل‌گیری این نوع برشی‌ها بر حسب جنس سنگ در مقیاس‌های متفاوتی رخ می‌دهد (شکل ۳-۲-ب).

اشکال هلالی شکل (Crescentic shape) -

یکی دیگر از آثاری که برشی‌های نوع R بر روی سطح گسل بر جای می‌گذارند اشکال هلالی شکل است. وقتی دو بلوک گسلی به موازات سطح لغزش در کنار یکدیگر می‌لغزند به دلیل اصطکاک بوجود آمده بین آنها یکسری کندگی‌های هلالی شکل بر روی سطح گسل شکل می‌گیرد (Friction fracture) که در پروفیل گسل نمای حفره‌ای تو رفته و نامتقارن داشته که سمت شیب کمتر (و یا سمت تقعر) این شکستگی‌ها جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد (شکل ۳-۲-پ).



شکل ۳-۲-الف- نمودار سه‌بعدی مربوط به نحوه شکل‌گیری برشی‌های R، الف: الگوی برشی RO، ب: RM، پ: اشکال هلالی شکل (Crescent shape)

برشی‌های R'

شکستگی‌های نوع R' برشی‌های غیر همسو (Antithetic) با حرکت گسل هستند که به طور متوسط

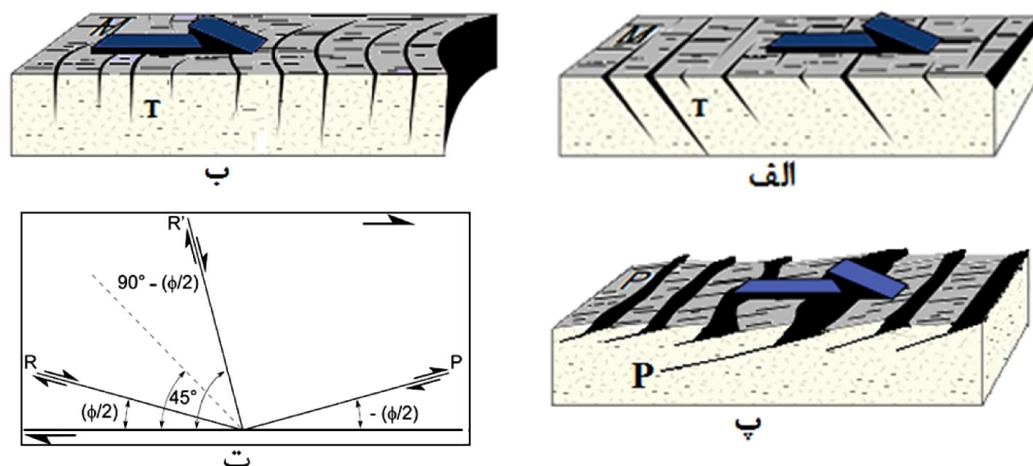
با زاویه ۷۵ درجه نسبت به گسل اصلی گسترش پیدا می‌کنند (شکل ۳-۲-الف). این شکستگی‌ها که نسبت به سطح اصلی گسل در جهت حرکت بلوک گم شده، به صورت سدی در مسیر حرکت گسل نمایان می‌شوند و به عبارتی در راستای بلوک گم شده حرکت به آسانی صورت نمی‌گیرد، جزء دسته شکستگی‌های مخالف با حرکت (Negative) محسوب می‌شوند (کوئلو، ۲۰۰۶).

شکستگی‌های T

شکستگی‌های T بهترین معیارهای ریخت‌شناسی بر روی سطح گسل هستند که به طور معمول با سطح گسل زاویه‌ای در حدود ۳۰ تا ۹۰ درجه می‌سازد (پتیت، ۱۹۸۷). رخنمون این شکستگی‌ها بر روی سطح گسل به صورت یک خط می‌باشد که حاصل از تقاطع سطح لغزش و سطح شکستگی است و نوک گوه حاصل از این تقاطع، خلاف جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد (شکل ۳-۳-الف). گاهی اوقات تقاطع این شکستگی‌ها بر روی سطح گسل به سیمای منحنی شکلی رخنمون می‌یابد که جهت تقعر این شکستگی‌ها به جهت لغزش بلوک گم شده اشاره دارد (شکل ۳-۳-ب). در واقع گسستگی‌های نوع T شکستگی‌های کششی هستند که به صورت بازشدگی‌هایی بر روی سطوح گسلی رخنمون می‌یابند و هیچ‌گونه آثار حرکتی بر روی آنها ثبت نمی‌شود و به طور معمول توسط کانی‌های ثانویه همانند کوارتز پر می‌شوند (فوزن، ۲۰۱۰).

برشی‌های P

برشی‌های نوع P شکستگی‌های برشی همسو با حرکت گسل هستند که با زاویه متوسط ۱۵ درجه نسبت به گسل اصلی توسعه پیدا می‌کنند. این شکستگی‌ها با زاویه میانگین ۳۰ درجه نسبت به برشی‌های نوع R ایجاد می‌شوند. ریخت‌شناسی این شکستگی‌ها بر روی سطح اصلی گسل (شکل ۳-۳-پ) مشابه عملکرد گسل‌های تراستی و یا معکوس کم زاویه می‌باشد (فوزن، ۲۰۱۰). روابط زاویه‌ای میان برشی‌های ریدل در شکل ۳-۳-ت نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- نمودار سه بعدی شکستگی‌های کششی، الف: شکستگی‌های کششی با مورفولوژی خطی، ب: شکستگی‌های کششی با مورفولوژی منحنی شکل، پ: نحوه شکل‌گیری شکستگی‌های P، ت: شکل شماتیکی از روابط زاویه‌ای برشی‌های ریدل در زون‌های برشی (فوزن، ۲۰۱۰).

اهمیت برشی‌های ریدل از میان شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل در آن است که این شکستگی‌ها به دلیل دارا بودن نظم هندسی بهتر، در مرحله شناسایی و تشخیص سمت حرکت توسط آنان، کارآمدی بهتری در مقایسه با سایر عوامل دارند. این شاخص‌ها در خصوص گسل‌های نوزمینساختی به دلیل عدم فرسایش نسبت به سایر شاخص‌ها، از اطمینان بیشتری برخوردار هستند؛ زیرا سایر معیارهای ریخت‌شناسی مانند پله‌های گسلی، نشانه‌های ابزار و ... محدود به سطح گسستگی هستند و در حجم سنگ نفوذ ندارند و متأثر از فرآیند فرسایش، متحمل تغییر در شکل شده و فاقد کارآمدی خوب در شناسایی نحوه حرکت خواهند شد.

نکته حائز اهمیت در شکل‌گیری این شکستگی‌ها در سنگ توجه به خواص مکانیکی سنگ و شرایط فیزیکی آن است. در سنگ‌هایی با جنس‌های مختلف این برش‌ها با زوایای خاصی نسبت به روند گسل اصلی قرار خواهند گرفت که این زاویه تابع زاویه اصطکاک داخلی سنگ (Φ) می‌باشد. بدین منظور به روابط تئوری ارتباط بین (Φ) و زاویه شکستگی‌ها با سطح اصلی گسل اشاره شده است (رابطه ۱). اگرچه طبق روش معمول در زمین‌شناسی ساختمانی می‌توان زاویه (Φ) متوسط را برای توده سنگ در حدود ۳۰ درجه در نظر گرفت، ولی برای بررسی و محاسبه دقیق‌تر زاویه بین شکستگی‌های برشی

با سطح اصلی، می‌توان از زاویه Φ بدست آمده برای انواع سنگ‌ها در آزمایشگاه‌ها استفاده نمود. لذا در این پژوهش نیز از یافته‌های آزمایشگاهی لوک^۱ (۲۰۰۷) در خصوص زاویه Φ ، طبق جدول ۲-۳ استفاده شده است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه عمدتاً در سازندهای آهکی دلیچای، لار، کنگلومرای نئوژن (کنگلومرای قرمز بالایی و هزار دره) بوده است، مقادیر ممکن برای زوایای R, R', P و T با در نظر گرفتن زاویه Φ مناسب برای این سازندها در منطقه به شرح جدول ۳-۳ محاسبه گردیده است.

$$R = \Phi/2$$

$$R' = 90 - \Phi/2$$

رابطه ۱ (فوزن، ۲۰۱۰):

$$P = -\Phi/2$$

$$T = 45$$

جدول ۲-۳- تعیین زاویه اصطکاک داخلی برحسب نوع سنگ (لوک، ۲۰۰۷)

Roke class	Friction angles range(degrees)	Typical rock types
Low Friction	20 to 27	Schists, shale
Medium Friction	27 to 34	Sandston, siltstone, Chalk gneiss, slate
High Friction	34 to 40	Basalt, granite, limestone, conglomerate

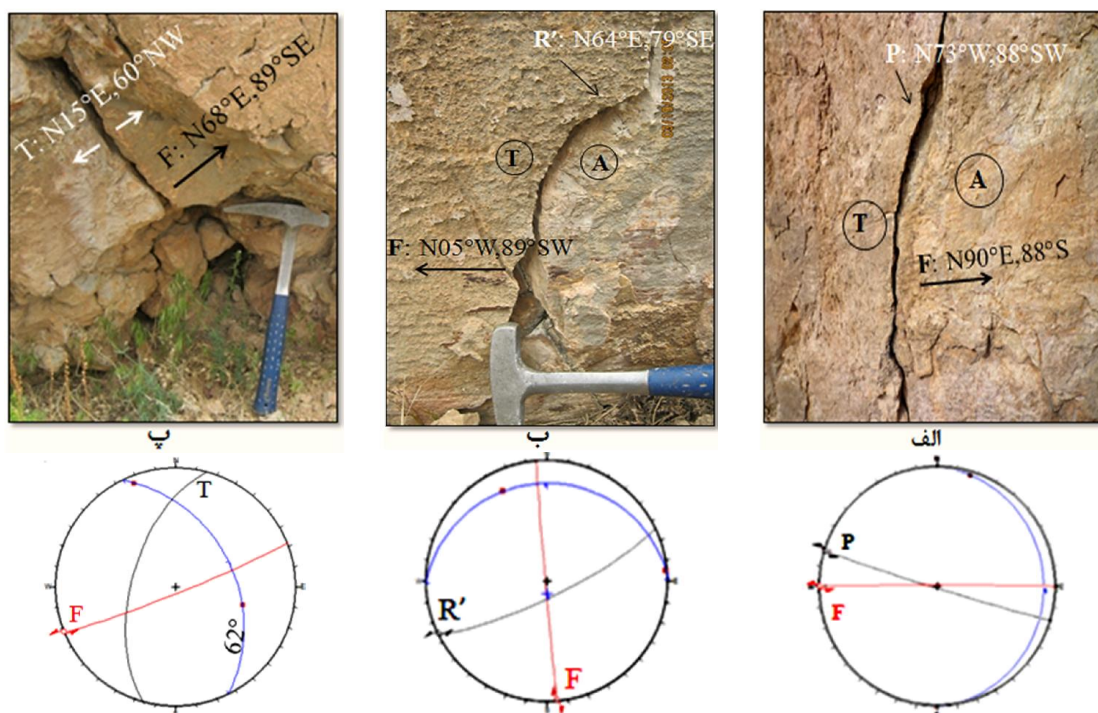
جدول ۳-۳- تعیین مقادیر زوایای برشی‌های ریدل با در نظر گرفتن Φ مناسب برای سازندهای منطقه

Formation	Φ	R	R'	T	P
Lar	40	20	70	45	-20
Delichy	38	19	71	45	-19
Upper red	36	18	72	45	-18
Hezardare	34	14	73	45	-14

شکل ۳-۴ نمونه صحرایی تشخیص سازوکار سطوح گسلی با استفاده از شاخص برشی‌های ریدل را نشان می‌دهد. در شکل ۳-۴ الف برشی P با جابجایی چپ‌بر در امتداد خود بر روی سطح گسل عمود بر خراش‌های افقی بوده و با سطح اصلی گسل زاویه ۱۸ درجه می‌سازد و از آنجا که نحوه حرکت در

¹ Look

این نوع برشی‌ها همسو با حرکت گسل می‌باشد لذا نحوه سازوکار گسل به صورت راستالغز چپ‌بر است. شکل ۳-۴ ب نمونه ای از برشی R' بر روی سطح گسل را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، اثر این برشی نیز بر خش‌لغزهای افقی سطح گسل عمود بوده و ضمن جابجایی چپ‌بر در امتداد خود، با سطح اصلی گسل زاویه 70° درجه می‌سازد. با توجه به آنچه درباره ویژگی‌های این نوع برشی ذکر گردید بنابراین سازوکار گسل از نوع راستالغز راست‌بر می‌باشد. شکستگی‌های T نیز بر روی سطوح گسلی در منطقه به صورت بازشدگی‌هایی رخنمون دارند که بر روی آنها هیچ‌گونه آثار حرکتی قابل مشاهده نمی‌باشد. در شکل ۳-۴ پ نمونه‌ای از این شکستگی بر روی سطح گسل برداشت گردید که بر خراش گسل عمود بوده و با سطح گسل زاویه 62° درجه می‌سازد. جهت شیب کمتر این شکستگی‌ها سمت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد، لذا مؤلفه راستالغزی گسل از نوع چپ‌بر می‌باشد. لازم به یادآوری است که زوایای برشی‌های ریدل اندازه‌گیری شده از سطوح گسل در صحرا با زوایای حاصل از زاویه Φ محاسبه شده در سازند لار (جدول ۳-۳) تقریباً همخوانی دارد.



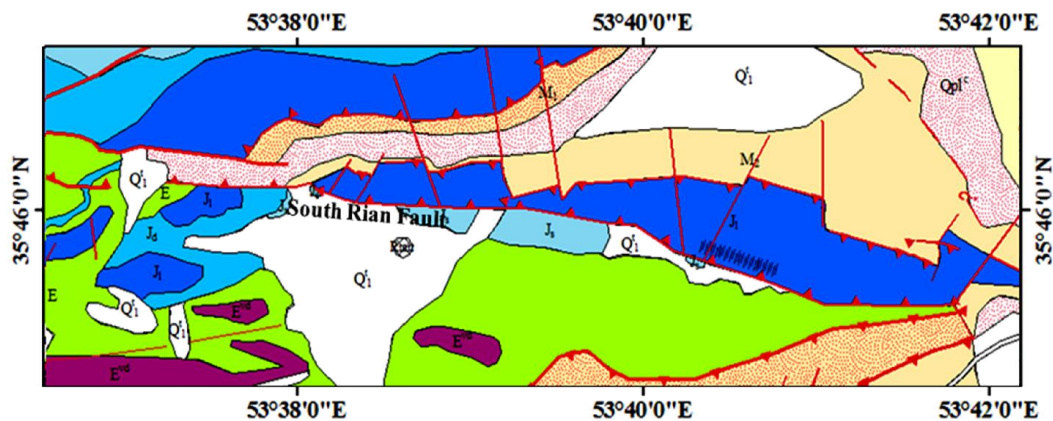
شکل ۳-۴ - شکل‌گیری برشی‌های ریدل P و T بر روی سطوح گسلی سازند لار به همراه نمودار استریوگرام آنها، الف: نمایی از برشی P (دید به سمت شمال باختر)، ب: نمایی از برشی R' (دید به سمت باختر)، پ: تصویری از برشی T (دید به سمت جنوب).

در ادامه این مبحث به تمامی گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه که در عکس‌های ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی قابل شناسایی بوده، پرداخته شده است. همانگونه که ذکر گردید گسل‌هایی با راستای شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری تحت عنوان گسل‌های طولی در نظر گرفته شده‌اند. برخی از این گسل‌ها قبلاً در نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شناسایی و در این پژوهش گسل‌های رین شمالی، رین جنوبی، ابراهیم‌آباد و قرن‌تول نامگذاری شده‌اند اما برخی دیگر مانند گسل نمرود در این پژوهش برای اولین بار شناسایی شده است. علاوه بر مطالعه تفصیلی گسل‌های طولی، گسل‌های عرضی منطقه با دو روند غالب شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری، نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ابتدا به معرفی گسل‌های طولی و سپس به گسل‌های عرضی منطقه می‌پردازیم.

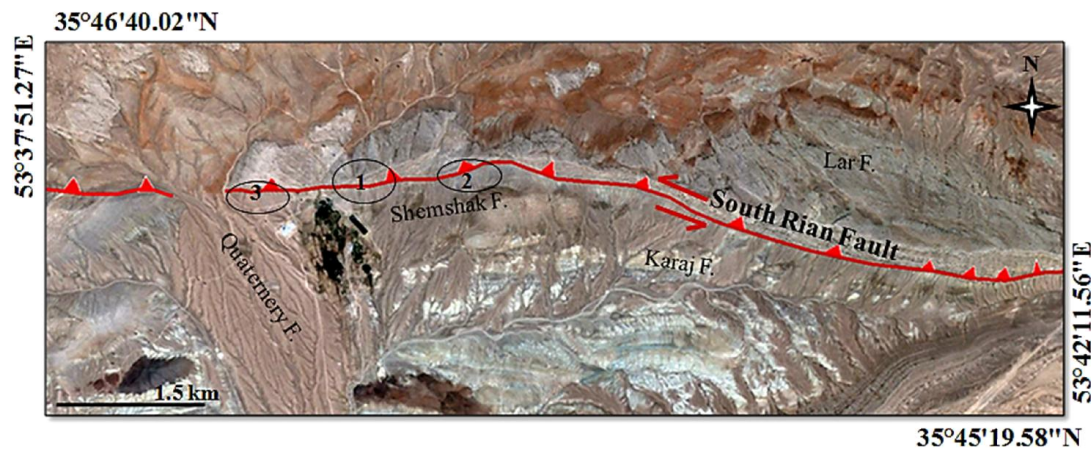
۳-۱-۱- گسل‌های طولی

۳-۱-۱-۱- رین جنوبی

این گسل در گردنه آهوان، در شمال روستای متروکه عطاری، برای اولین بار توسط علوی نائینی (۱۳۵۱) در نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به صورت یک خطواره نشان داده شده است. امیدی و همکاران (۱۳۸۱) ضمن نامگذاری رین (به اعتبار نزدیکی با کلاته رین)، به بررسی ویژگی‌های هندسی و سینماتیک آن پرداخته‌اند. گسل رین جنوبی با درازای ۱۰ کیلومتر، مرز بین سازند لار در شمال با واحد شیل و ماسه‌سنگی سازند شمشک، واحدهای سازند کرج و در برخی رخنمون‌ها نهشته‌های کواترنری را در جنوب می‌سازد و یکی از گسل‌های اصلی منطقه به شمار می‌رود (شکل ۳-۵). خطواره این گسل در تصویر ماهواره‌ای به خوبی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۶). بهترین راه دسترسی به این گسل جاده آسفالت سمنان- دامغان و جاده‌های خاکی متعدد جنوب کلاته رین است.



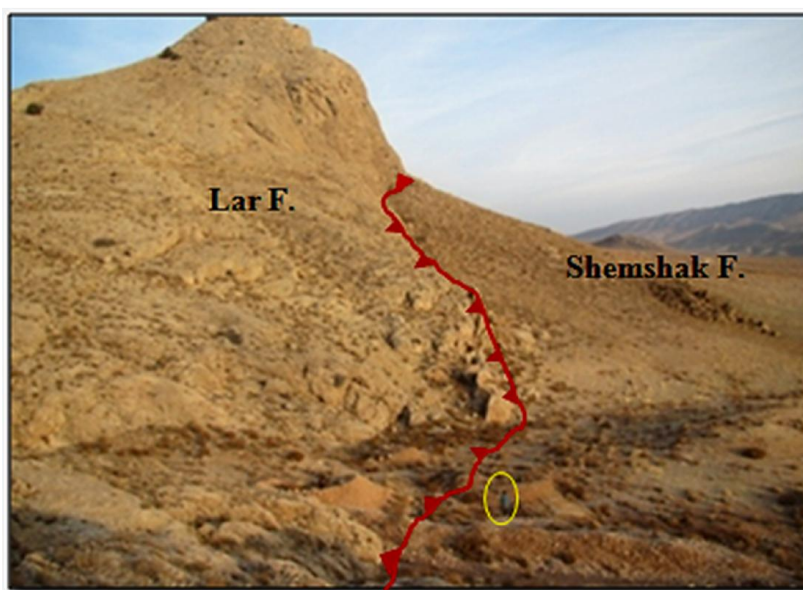
شکل ۳-۵- نقشه نواری (Strip map) بخشی از منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که گسل رین جنوبی بر روی آن مشخص شده است (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)



شکل ۳-۶- موقعیت ایستگاه‌های برداشت از گسل رین جنوبی در تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth)

اگرچه استقرار سازند لار در کنار سازند شمشک، از نظر ترتیب توالی چینه‌نگاری نشان‌دهنده مرز طبیعی بین این دو سازند می‌باشد، اما قرارگیری این سازند در مقابل سازندهایی با سن متفاوت مانند واحدهای سازند کرج و نهشته‌های کواترنری دلیلی بر گسلی بودن این مرز است. از طرفی شواهد صحرایی از جمله برش گسلی، افراز گسلی و وجود نشانه‌های ریخت‌شناسی سطوح گسل بر روی سطح مرزی بین دو سازند بویژه بر روی آهک‌ها و ... همگی حاکی از گسلی بودن این مرز است. مشاهدات صحرایی نشان داد که سازند لار در بلوک فرادیواره و شمشک در فرودیواره قرار دارد ولی ریخت‌شناسی سطح گسل، بجز در چندین رخنمون تحت تأثیر هوازدگی، انحلال و فرسایش شدید

قرار گرفته است. تصویر صحرایی از روند این خطواره گسلی، در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.



شکل ۷-۳- اوج‌گیری سازند لار درمقابل سازند فرسایش‌پذیر شمشک به موازات گسل رین جنوبی (دید به سمت خاور).

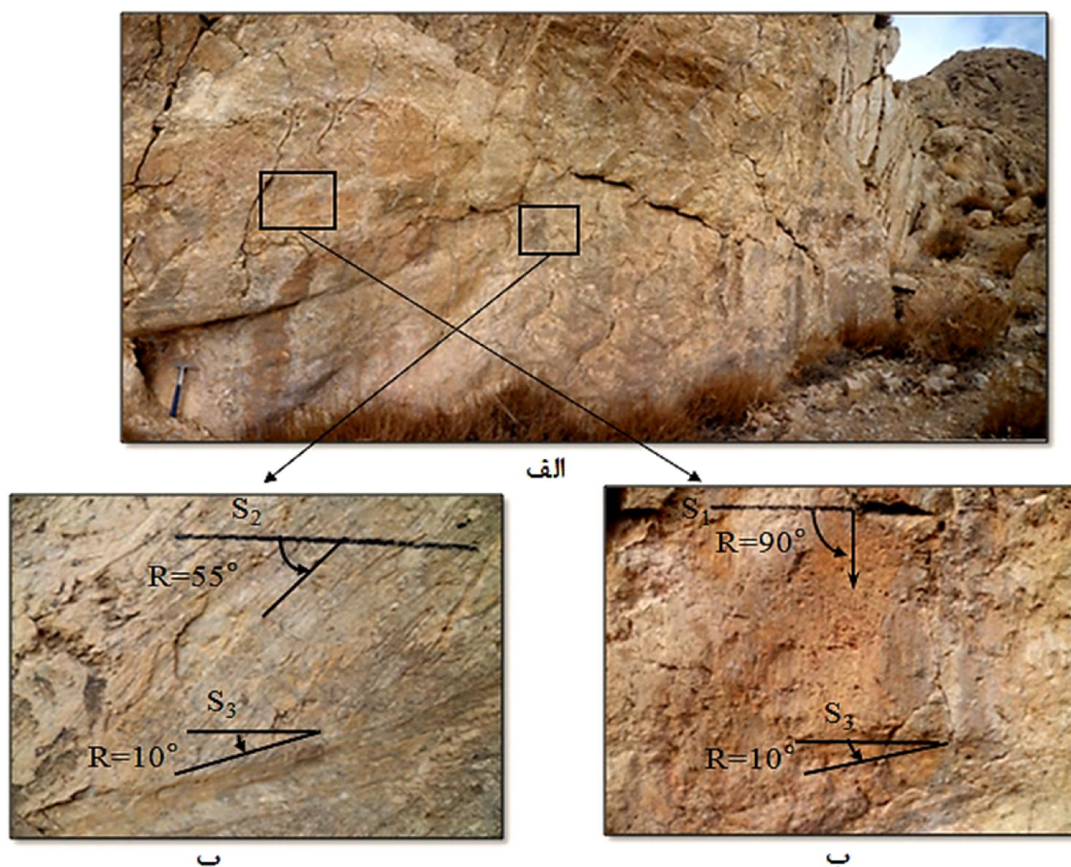
هندسه و سازوکار گسل رین جنوبی

بررسی ویژگی‌های گسل رین جنوبی، در سه ایستگاه به طور مجزا بر روی آهک‌های لار صورت گرفت (شکل ۶-۳) و در هر ایستگاه سعی شده است به کمک نشانه‌های ریخت‌شناسی سطح گسل هندسه و سازوکار آن تعیین شود.

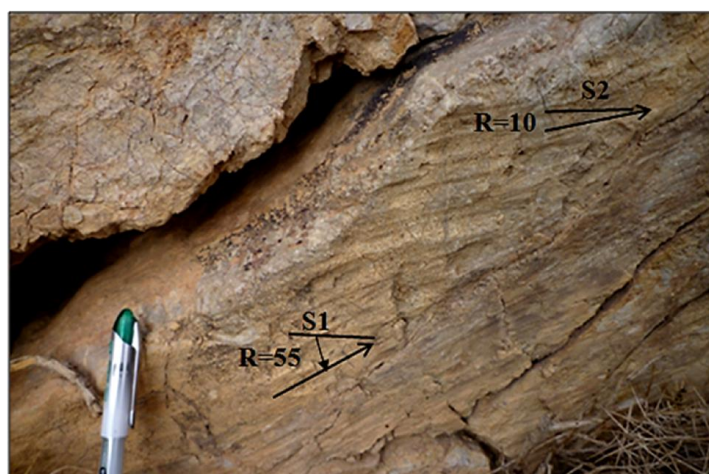
ایستگاه ۱

در این ایستگاه سازوکار گسل بیشتر بر مبنای برشی‌های ریدل به عنوان قابل اطمینان‌ترین نشانه‌های ریخت‌شناسی سطح گسل و پله‌های گسلی استوار است. بر روی افراز گسلی بوجود آمده بر روی سازند لار توسط گسل رین جنوبی، سه دسته خراش گسلی با ریک بالا (۹۰ درجه)، متوسط (۵۵ درجه) و کم (۱۰ درجه) دیده می‌شود (شکل ۸-۳). با توجه به حرکت رو به پایین بلوک جنوبی و ریخت‌شناسی پله‌های گسلی، می‌توان سازوکار معکوس را برای ریک بالا در سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}W, 88^{\circ}N$ ، تشخیص داد. از طرفی قطع شدگی دو نسل خراش گسلی با ریک ۵۵ و ۹۰ درجه توسط خش‌لغزهای

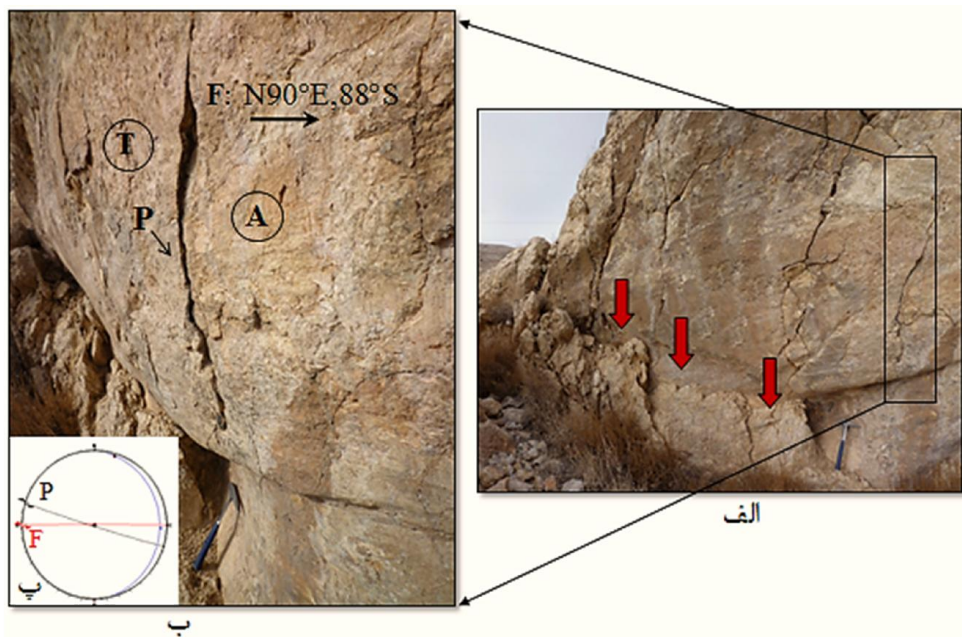
تقریباً افقی بر روی این سطح طبق قاعده برش (Cross-cutting)، خراش گسلی قطع‌کننده خراش گسلی دیگر، از نظر سنی جوان‌تر است، حاکی از جوان بودن حرکت گسل در امتداد خراش‌هایی با زاویهٔ ریک کمتر می‌باشد. شکل ۳-۹ سطح گسل رین جنوبی با روند خاوری- باختری و شیب نزدیک به قائم را نشان می‌دهد که به همراه پله‌های گسلی در امتداد دو نسل خراش با زاویه ریک ۵۵ و ۱۰ درجه بر روی آن، حرکت مورب‌لغز از نوع معکوس چپ‌بر و راست‌لغز از نوع چپ‌بر را آشکار می‌سازد. علاوه بر این، مطالعهٔ برشی‌های ریدل مشاهده شده بر روی سطوح گسل در این ایستگاه نیز نشانه‌ای دیگر بر شناسایی نحوهٔ سازوکار گسل رین جنوبی است. بدین ترتیب که برخی از شکستگی‌های برداشت شده با موقعیت $N73^{\circ}W, 82^{\circ}SW$ بر روی این دیوارهٔ گسلی، در راستای خود جابجایی چپ‌بر نشان داده و با سطح گسل به موقعیت $N90^{\circ} E, 88^{\circ} S$ زاویهٔ ۱۹ درجه می‌سازد (شکل ۳-۱۰)، اما برخی دیگر از این شکستگی‌ها که دارای موقعیت $N23^{\circ}E, 79^{\circ}NW$ می‌باشند و فاقد جابجایی بوده، به صورت بازشدگی‌هایی بر روی سطح گسل با موقعیت $N90^{\circ} E, 85^{\circ}S$ رخنمون داشته و با آن زاویهٔ ۶۵ درجه می‌سازند (شکل ۳-۱۱). اثر هر دو شکستگی عمود بر خراش‌های افقی بر روی سطح گسل می‌باشد، بنابراین به ترتیب شکستگی‌هایی از نوع P و T در نظر گرفته شده‌اند. از آنجا که نحوهٔ حرکت در برشی‌های P همسو با گسل می‌باشد و سمت شیب کمتر شکستگی‌های T در جهت حرکت بلوک گم شده قرار دارد، لذا نحوهٔ حرکت گسل برای نسل سوم خراش‌های گسلی از نوع راست‌لغز چپ‌بر می‌باشد. لازم به یادآوری است که زوایای حاصل از برشی‌های P و T بدست آمده از طریق مطالعات صحرایی برای آهک‌های سازند لار با زاویه Φ محاسبه شده از رابطه (۱-۱) نیز همخوانی دارد.



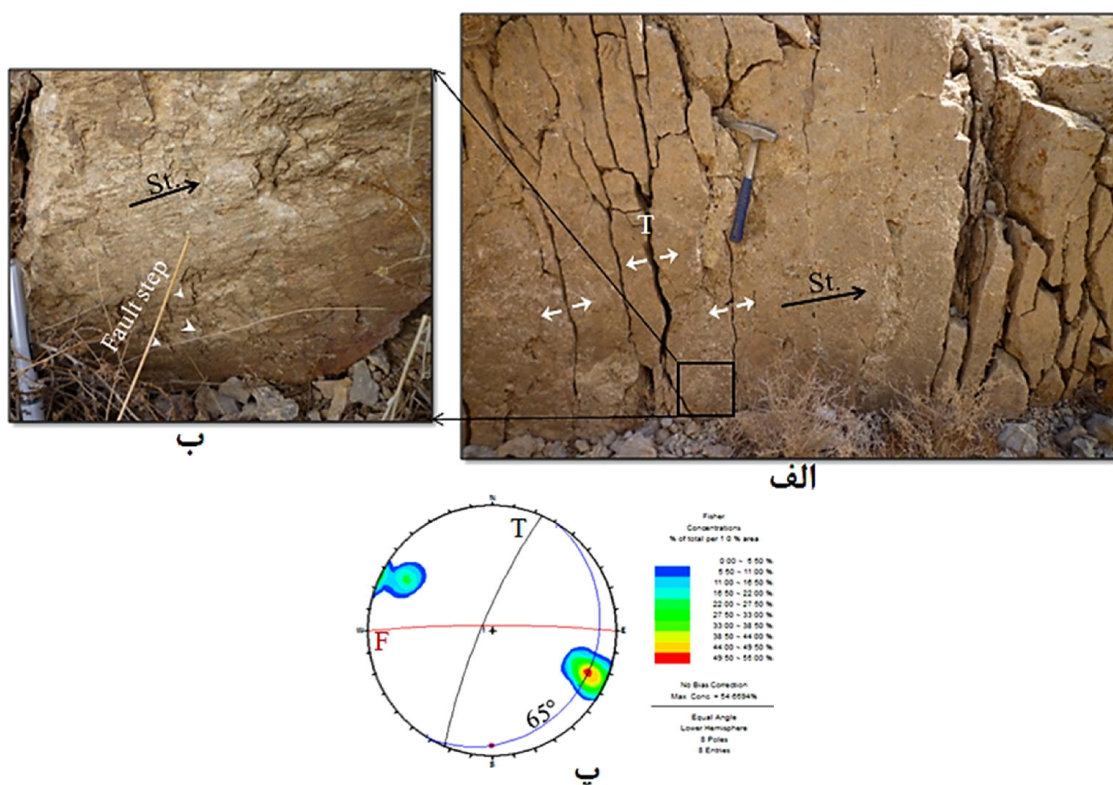
شکل ۳-۸- الف: افزاز گسل رین جنوبی در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}46'04''N$ و $53^{\circ}38'55''E$ بر روی سازند لار (دید به سمت شمال)، ب: خراش گسلی با ریک ۹۰ و ۱۰ درجه بر روی سطح گسل با موقعیت $N58^{\circ}W, 88^{\circ}N$ ، پله‌های گسلی نشان‌دهنده حرکت رو به پایین بلوک جنوبی است (برداشت بر روی بلوک شمالی)، پ: قطع شدگی خش لغز با ریک ۵۵ درجه (S_2) توسط خراش با ریک ۱۰ درجه (S_3) بر روی سطح گسل، جوان بودن فاز حرکت را برای S_3 نشان می‌دهند (برداشت بر روی بلوک شمالی).



شکل ۳-۹- نمایی از سطح گسل رین جنوبی با موقعیت $N90^{\circ}W, 87^{\circ}S$ بر روی سازند لار (ایستگاه ۱)، وجود دو دسته خش لغز با ریک ۵۵ و ۱۰ درجه به همراه پله‌های سطح گسل، به ترتیب حرکت مورب لغز چپ‌بر را برای S_1 و حرکت امتداد لغز چپ‌بر را برای S_2 نشان می‌دهند (دید به سمت شمال).



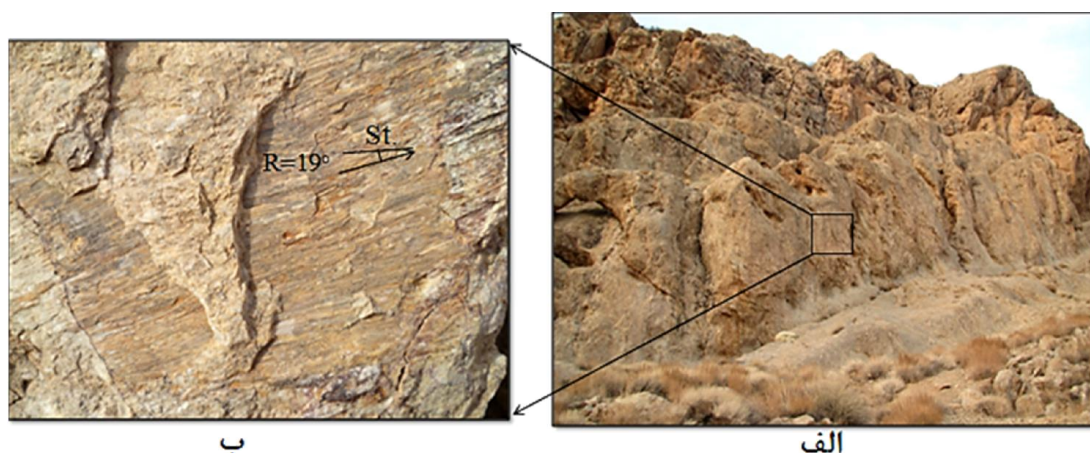
شکل ۳-۱۰- الف: نمایی از برش گسلی در امتداد گسل رین جنوبی بر روی سازند لار (دید به سمت باختر)، ب: تصویر نزدیک از شکل الف که شکستگی P بر روی آن نمایش داده شده است، پ: استرایوگرام مربوط به زاویه نشان دهنده برشی P و سطح گسل (فلش‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده سطوح برشی P و فلش سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد).



شکل ۳-۱۱- الف: نمایی از دیواره گسل رین جنوبی و حضور شکستگی‌های T بر روی آن (دید به سمت جنوب)، ب: تصویر نزدیک از شکل الف، نمایی از خراش‌های افقی به همراه شاخص پله گسل، پ: کنتور دیاگرام قطب مربوط به شکستگی‌های T و سطح گسل با نمایش زاویه ایجاد شده بین آنها.

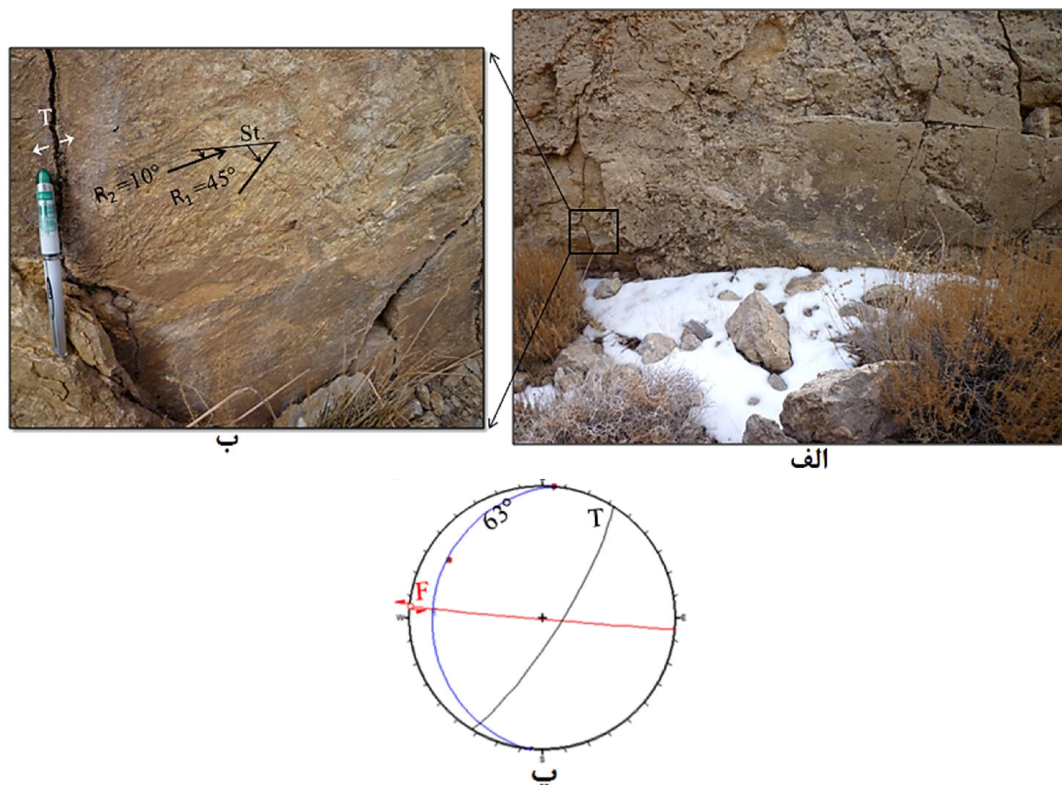
ایستگاه ۲

در این ایستگاه افزای از گسل رین جنوبی بر روی سازند آهکی لار مشاهده گردید. با توجه به حضور خراش‌هایی با ریک ۱۹ درجه پادساعتگرد بر روی سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}E, 80^{\circ}SE$ به همراه شاخص پله‌های گسلی، سازوکار چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس برای گسل رین جنوبی در این رخنمون قابل تشخیص است (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲- الف: افزای گسل رین جنوبی، در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}46'05''N$ و $53^{\circ}39'22''E$ بر روی سازند لار (دید به سمت شمال خاور)، ب: نمای نزدیک از تصویر الف، خشلغز با ریک ۱۹ درجه پادساعتگرد نشان‌دهنده سازوکار چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس است (برداشت در فرودپواره).

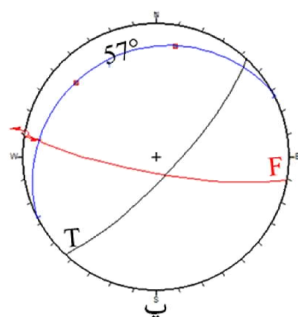
از دیگر نقاط برداشت در ایستگاه ۲، مربوط به سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}W, 90^{\circ}$ و برداشت دو دسته خشلغز با زاویه ریک ۴۵ و ۱۰ درجه بر روی آن می‌باشد. با توجه به وجود شکستگی‌های T با موقعیت $N32^{\circ}E, 79^{\circ}SE$ که خط اثر آنها تقریباً عمود بر خراش‌هایی با ریک کم ($R_2=10^{\circ}$) می‌باشد و ضمن ساختن زاویه ۶۳ درجه‌ای با سطح گسل، به صورت بازشدگی‌هایی بر روی سطح اصلی رخنمون می‌یابد، می‌توان حرکت راستالغز چپ‌بر را برای خراش‌هایی با ریک کم تشخیص داد. علاوه بر این قطع‌شدگی نسل خراش‌های با ریک بالا توسط خشلغزهای افقی، نشان‌دهنده فاز جدید حرکت از نوع راستالغز چپ‌بر می‌باشد (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳- الف: نمایی از سطح گسل رین جنوبی در ایستگاه ۲ با موقعیت $N85^{\circ}W, 90^{\circ}N$ (دید به سمت شمال)، ب: قطع‌شدگی خش‌لغزهای با ریک 45° توسط خراش‌هایی با زاویه ریک کم و حضور شکستگی‌های T (برداشت بر روی بلوک جنوبی) ب: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین سطح گسل و شکستگی T .

ایستگاه ۳

در ایستگاه ۳ رخنمون دیگری از گسل رین جنوبی بر روی سازند آهکی لار مشاهده شده است. شکستگی‌های کششی با موقعیت میانگین $N43^{\circ}E, 78^{\circ}SE$ از جمله نشانه‌های حرکتی بر روی سطح گسل به موقعیت $N80^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ می‌باشد که خط اثر آنها عمود بر خراش‌های افقی است. این شکستگی‌ها به صورت سطوح باز شده‌ای که هیچ‌گونه آثار حرکتی بر روی آنها مشاهده نشده است، بر روی سطح اصلی گسل ظاهر شده و با آن زاویه 57° درجه می‌سازد. از آنجا که جهت حرکت بلوک گم شده در جهت شیب کم شکستگی‌های کششی می‌باشد بنابراین سازوکار گسل از نوع راستالغز چپ‌بر است (شکل ۳-۱۴). علاوه بر شواهد ذکر شده، وجود افزاز گسلی (شکل ۳-۱۵) و نیز تغییر آبراهه در طول این گسل، نشانه‌ای دیگر بر وجود عملکرد راستالغز چپ‌بر گسل رین جنوبی در این ایستگاه می‌باشد.



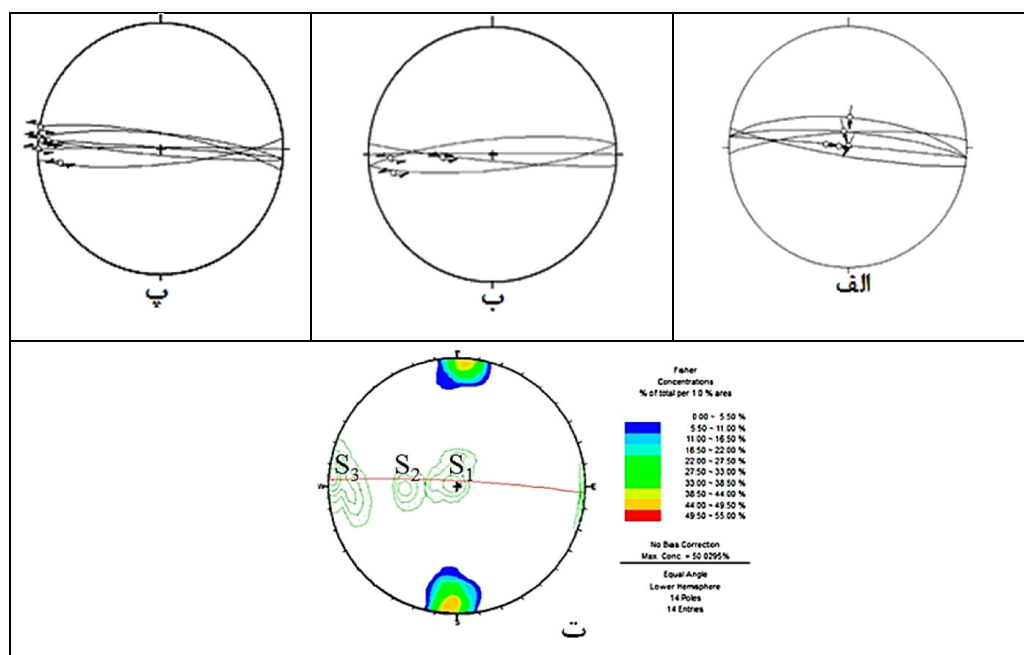
شکل ۳-۱۴- الف: جابجایی چپ‌بر آبراهه توسط گسل رین جنوبی در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}48'04/50''$ N و $53^{\circ}38'48/68''$ E (دید به سمت شمال)، ب: نمای نزدیک از سطح گسل با حضور شکستگی‌های کششی (T) که عمود بر خش‌لغزهای افقی (S) هستند (برداشت بر روی فرادیواره)، پ: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین سطح گسل و شکستگی T.



شکل ۳-۱۵- افراز گسل رین جنوبی در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}46'03/84''$ N و $53^{\circ}38'35/77''$ E بر روی سازند لار (دید به سمت شمال باختر).

استریوگرام‌های مربوط به داده‌های برداشت شده (پیوست ۱) از سطوح گسل رین جنوبی در ایستگاه‌های سه‌گانه، شامل تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار هم‌تراز قطب داده‌های گسلی، وضعیت هندسی غالب $N88^{\circ}W, 85^{\circ}NE$ را برای این گسل نشان می‌دهد. همچنین میانگین موقعیت سه دسته خراش گسلی در این استریوگرام‌ها نشان داده شده است. S_1, S_2, S_3 به ترتیب دارای موقعیت

۸۶/۳۰۰، ۶۷/۲۷۰ و ۰۶/۲۷۵ می‌باشند (شکل ۳-۱۶).



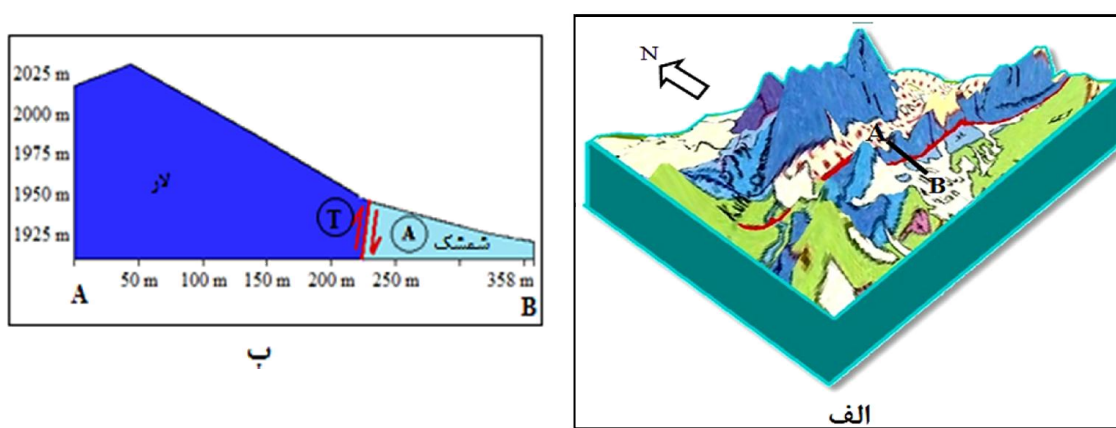
شکل ۳-۱۶- نمودارهای سیکلوگرافیک مربوط به گسل رین جنوبی: الف، ب و پ: به ترتیب سطوح گسلی دارای خراش‌های ریک بالا (S_1)، ریک متوسط (S_2) و ریک کم (S_3) را نشان می‌دهد، ت: نمودار همتراز قطب صفحات گسلی که روند غالب $N88^\circ W, 85^\circ NE$ را برای گسل رین جنوبی به همراه میانگین کنتور خراش برای سه نسل خوش‌لغز S_1 ، S_2 ، S_3 نشان می‌دهد.

بنابراین با استناد بر شواهد صحرایی بدست آمده، می‌توان حرکت معکوس، معکوس چپ‌بر و چپ‌بر را به ترتیب برای خراش‌هایی با ریک بالا (S_1)، متوسط (S_2) و کم (S_3) برای سطوح گسل رین جنوبی نتیجه‌گیری نمود. نکته قابل ذکر آن است که با توجه به قطع‌شدگی دسته خوش‌لغزهای نسل اول و دوم (S_1 و S_2) توسط نسل سوم خراش‌های گسلی (S_3) و استفاده از قاعدهٔ برش (Cross-cutting)، می‌توان سازوکار راست‌الغز چپ‌بر را جوان‌ترین فاز حرکت در راستای این گسل دانست.

ریخت زمین‌ساخت گسل رین جنوبی

گسل رین جنوبی با عملکرد معکوس خود در فاز اول و دوم (خراش‌هایی با ریک ۹۰ و ۵۵ درجه)، باعث برخاستگی بیشتر سازند آهکی و صخره‌ساز لار (در فرادیواره) در مقابل سازند فرسایش‌پذیر شیل

و ماسه‌سنگی شمشک (در فرودیواره) گشته است (شکل ۳-۱۷). همچنین سطوح شکستگی‌های اریب بوجود آمده از دگرریختی‌های قبلی در سراسر بلوک شمالی (فرادیواره) باعث شده تا سنگ آهک‌های سازند لار به شدت از حالت بکر خارج شود (شکل ۳-۱۸). علاوه بر این، گسل رین جنوبی در راستای خود باعث ایجاد افرازهای گسلی متعدد با شیب نزدیک به قائم (شکل ۳-۸، شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۵) و جابجایی آبراهه‌ها به صورت چپ‌برشده است (شکل ۳-۱۴).



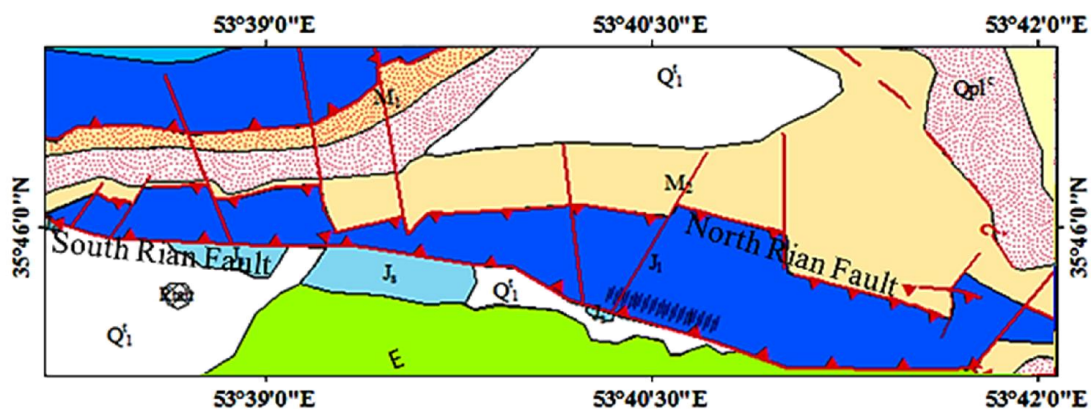
شکل ۳-۱۷- تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و نقشه زمین‌شناسی منطقه به منظور نشان دادن برخاستگی سازند لار، ب: نیمرخ عرضی از افراز گسلی در راستای AB به منظور نشان دادن برخاستگی سازند لار و اختلاف ارتفاع در دو سوی سطح گسل رین جنوبی.



شکل ۳-۱۸- سطوح شکستگی‌های اریب در بلوک شمالی (فرادیواره) گسل رین جنوبی در سازند لار .

۳-۱-۱-۲- گسل رین شمالی

جایگاه گسل رین شمالی در واحد آهکی سازند لار در یال جنوبی ناودیس رین، به موازات گسل رین جنوبی می‌باشد. این گسل توسط علوی نائینی (۱۳۵۱) در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام فقط به صورت خطواره‌هایی ناپیوسته نشان داده شده است. در این پژوهش با نام رین شمالی، در شمال کلاته رین با درازای حدود ۸ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۳-۱۹). همانطور که در تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۳-۲۰) نیز مشهود است، این گسل با روند کلی خاوری-باختری با شیب به سمت جنوب، سبب رانده شدن واحدهای آهکی سازند لار با سن ژوراسیک بالایی بر روی مارن‌های میوسن شده است.



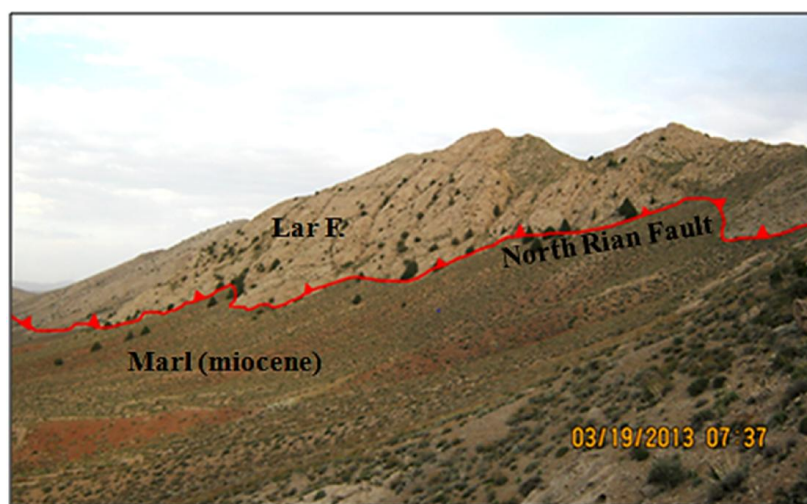
شکل ۳-۱۹- نقشه نواری (Strip map) بخشی از منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که گسل رین شمالی بر روی آن مشخص می‌باشد (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)



شکل ۳-۲۰- موقعیت ایستگاه‌های برداشت داده از سطوح گسل رین شمالی بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth).

هندسه و سازوکار گسل رین شمالی

مشاهدات صحرایی در پیمایش طولی از این گسل در ایستگاه‌های متفاوت نشان می‌دهد که سازند لار در بلوک فرادیواره و واحدهای مارنی-ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در فرودیواره گسل رین شمالی قرار دارد (شکل ۳-۲۱). ایستگاه‌های برداشت داده از گسل رین شمالی در تصویر ماهواره‌ای برگرفته از Google earth در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده و داده‌های ساختاری آن از ۴ ایستگاه برداشت و در هر ایستگاه به طور جداگانه به هندسه و سازوکار آن پرداخته شده است.

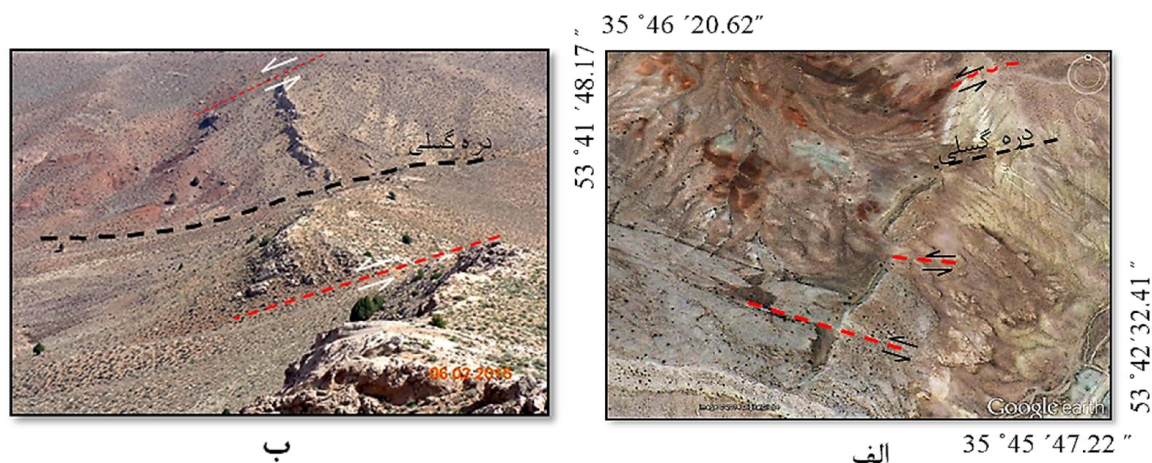


شکل ۳-۲۱- رانده شدن سازند لار بر روی نهشته‌های میوسن (دید به سمت جنوب خاور).

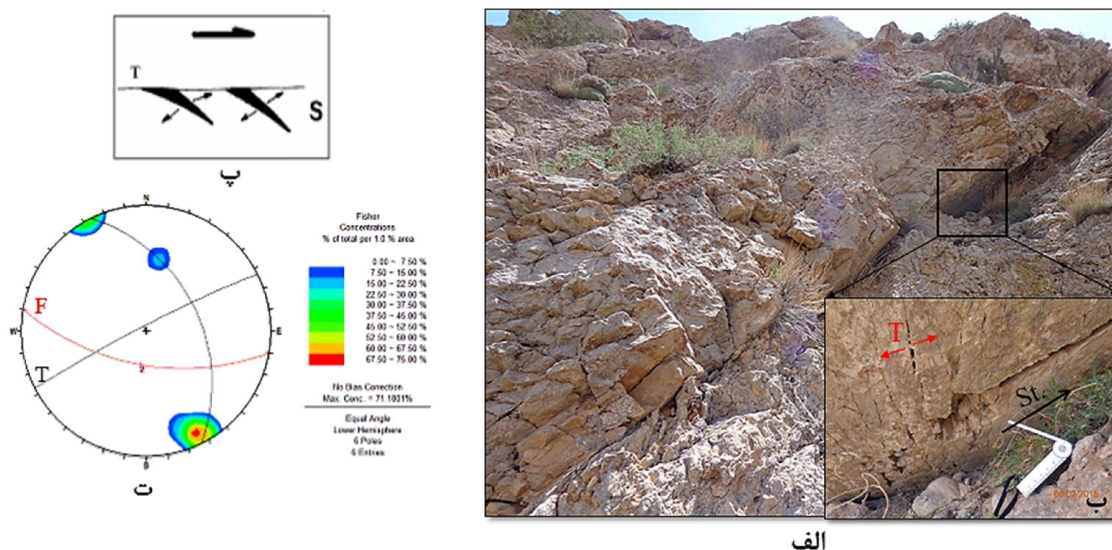
ایستگاه ۱

جابجایی چپ‌بر بلوک‌های گسلی در طول سطوح گسل رین شمالی در تصاویر دورسنجی و صحرایی به خوبی مشهود است (شکل ۳-۲۲). همانطور که در شکل ۳-۲۳ مشاهده می‌شود، در این ایستگاه سطحی با روند تقریبی خاوری-باختری در سازند لار مورد بررسی قرار گرفت که بر روی آن خش‌لغزهای افقی بر خط اثر شکستگی‌هایی با موقعیت میانگین $N62^{\circ}E, 80^{\circ}NW$ که به صورت بازشدگی بر سطح گسل رخمون دارند عمود می‌باشد. این شکستگی‌ها فاقد آثار حرکتی بر روی سطوح خود بوده و زاویه‌ای در حدود 54° درجه با سطح گسل می‌سازند، لذا از نوع شکستگی‌های کششی (T) در نظر گرفته می‌شوند و از آنجا که سمت شیب کمتر این نوع شکستگی‌ها نمایانگر

جهت حرکت بلوک گم شده می‌باشد، بنابراین سازوکار چپ‌بر برای گسل رین شمالی در این رخنمون قابل تشخیص است. شکل ۳-۲۴ نمونه دیگری از سطح گسل رین شمالی به همراه خش‌لغزهای عمود بر اثر شکستگی‌های T موجود بر روی گسل را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۲۲- تصویر ماهواره‌ای از خطواره‌های گسل رین شمالی در ایستگاه ۱ (برگرفته از Google earth). ب: تصویر صحرایی از جابجایی چپ‌بر بلوک‌های گسلی در دو طرف گسل رین شمالی (دید به سمت شمال).



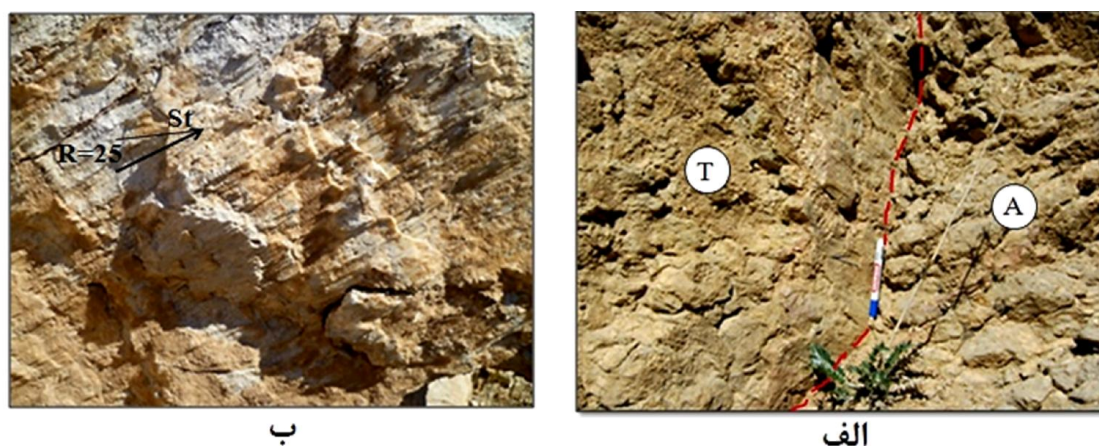
شکل ۳-۲۳- الف: تصویری از سطح گسل رین شمالی با موقعیت $N80^{\circ}W, 60^{\circ}SW$ (دید به سمت جنوب باختر)، ب: حضور شکستگی‌های کششی به صورت باز شدگی در سطح گسل، پ: شکل شماتیکی از شکستگی‌های کششی، ت: استریوگرام شکستگی‌های کششی و سطح گسل.



شکل ۳-۲۴- تصویر دیواره گسل رین شمالی با موقعیت $N90^{\circ}W, 85^{\circ}S$ بر روی سازند لار (دید به سمت خاور)، ب: نمای نزدیک از خش‌لغزهای افقی که عمود بر اثر شکستگی‌های کششی می‌باشند.

ایستگاه ۲

رخنمون گسل رین شمالی در این ایستگاه نشان دهنده جابجایی بلوک‌های گسلی در دو طرف سطح گسل با موقعیت $N80^{\circ}W, 88^{\circ}NE$ می‌باشد. همانطور که در شکل ۳-۲۵- الف مشاهده می‌شود، جابجایی در امتداد خش‌لغزهای نزدیک به افق حاکی از نحوه حرکت از نوع راستالغز چپ‌بر بر روی این گسل بوده است. ضمن آنکه در همین ایستگاه سطحی با موقعیت $N84^{\circ}E, 85^{\circ}NW$ و ریک ۲۵ درجه پادساعتگرد به همراه رشد فیبرهای نازک کلسیت و پله‌ای شدن آن مشاهده گردید که حاکی از سازوکار چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس برای این گسل می‌باشد (شکل ۳-۲۵-ب).



شکل ۳-۲۵- الف: نمایی از جابجایی چپ‌بر بلوک‌های طرفین سطح گسل رین شمالی در سازند لار (دید به سمت خاور)، ب: تصویر نزدیک از رشد فیبرهای نازک کلسیت و پله‌ای شدن آن در امتداد گسل رین شمالی (دید به سمت جنوب).

همچنین حضور دو نسل خش‌لغز بر روی سطحی به موقعیت $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ با زاویه ریک ۷۸ و صفر درجه، به همراه پله‌ای شدن فیبرهای نازک کانی‌های ثانویه در امتداد خراش‌های افقی حاکی از حرکت راست‌الغز چپ‌بر برای نسل دوم (St_2) از خش‌لغزهای گسلی است. از آنجا که خراش‌های با ریک بالا (St_1) توسط خش‌لغزهای افقی (St_2) قطع گردیده است، بنابراین طبق قاعده برش (Cross-cutting)، خراش گسلی قطع‌کننده خراش گسلی دیگر، از نظر سنی جوان‌تر است)، فاز جوان حرکت گسل از نوع راست‌الغز چپ‌بر می‌باشد (شکل ۳-۲۶).



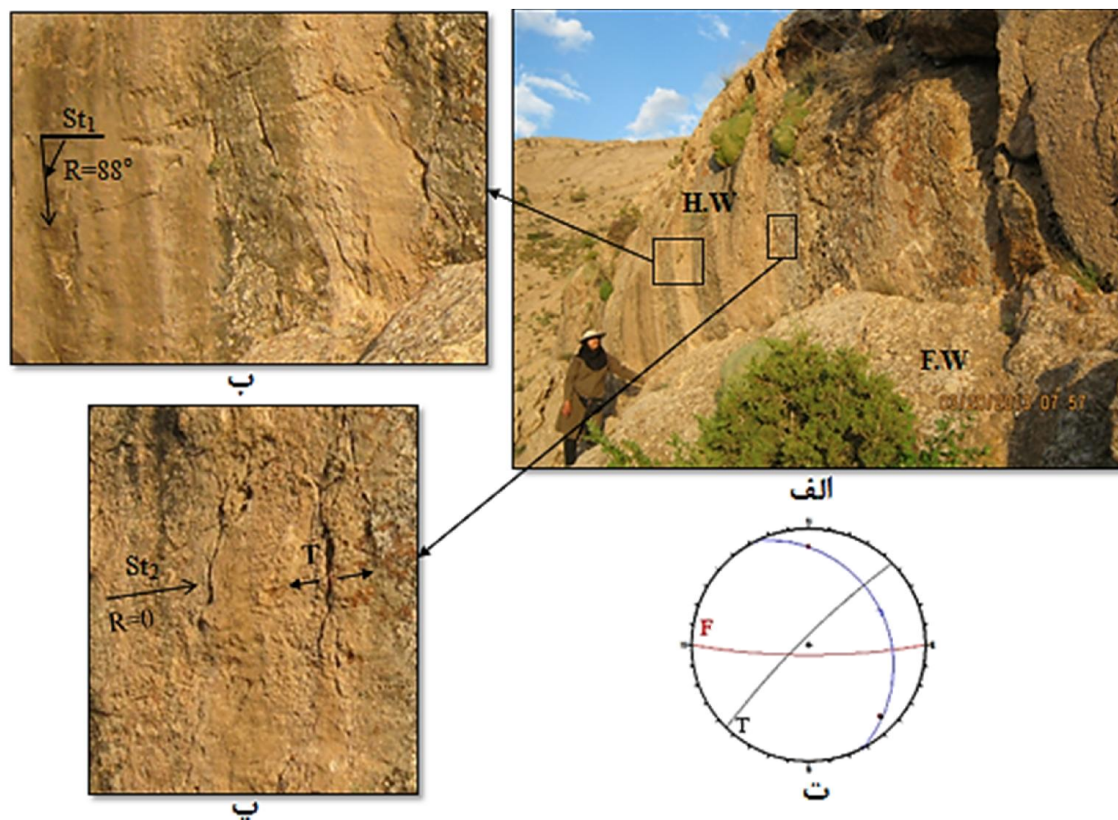
ب

شکل ۳-۲۶- نمای نزدیک از تقاطع دو نسل خش‌لغز بر روی سطح گسل رین شمالی با موقعیت $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ در سازند لار (دید به سمت جنوب خاور).

ایستگاه ۳

در این ایستگاه بر روی سازند آهکی لار رخنمونی از سطح خمیده و مواج گسل رین شمالی که شیارها و برآمدگی‌های بزرگ را ایجاد نموده، مشاهده شده است (شکل ۳-۲۷). خط‌القعر و خط‌الرأس این خمیدگی‌ها که نمادی از خش‌لغزهای بزرگ‌تر می‌باشد، از مؤلفه شیب‌لغزی برای این گسل حکایت دارد. از طرفی قطع‌شدگی خراش‌های گسلی شیب‌لغز توسط خش‌لغزهای افقی، نشان‌دهنده جوان بودن مؤلفه امتدادلغز می‌باشد. با توجه به حرکت رو به پایین بلوک شمالی (در فرودپواره) در امتداد خراش‌هایی با ریک بالا و نیز حضور خش‌لغزهای افقی عمود بر اثر شکستگی‌های کششی با موقعیت $N42^{\circ}W, 80^{\circ}NW$ که به صورت بازشدگی‌هایی بر سطح گسل به موقعیت $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ رخنمون دارند و با آن زاویه ۴۷ درجه می‌سازند (سمت شیب کم شکستگی‌های کششی جهت حرکت بلوک گم

شده را نشان می‌دهد؛ می‌توان برای این گسل معکوس بودن مؤلفه شیب‌لغز و چپ‌بر بودن مؤلفه امتدادلغز را به اثبات رسانید.

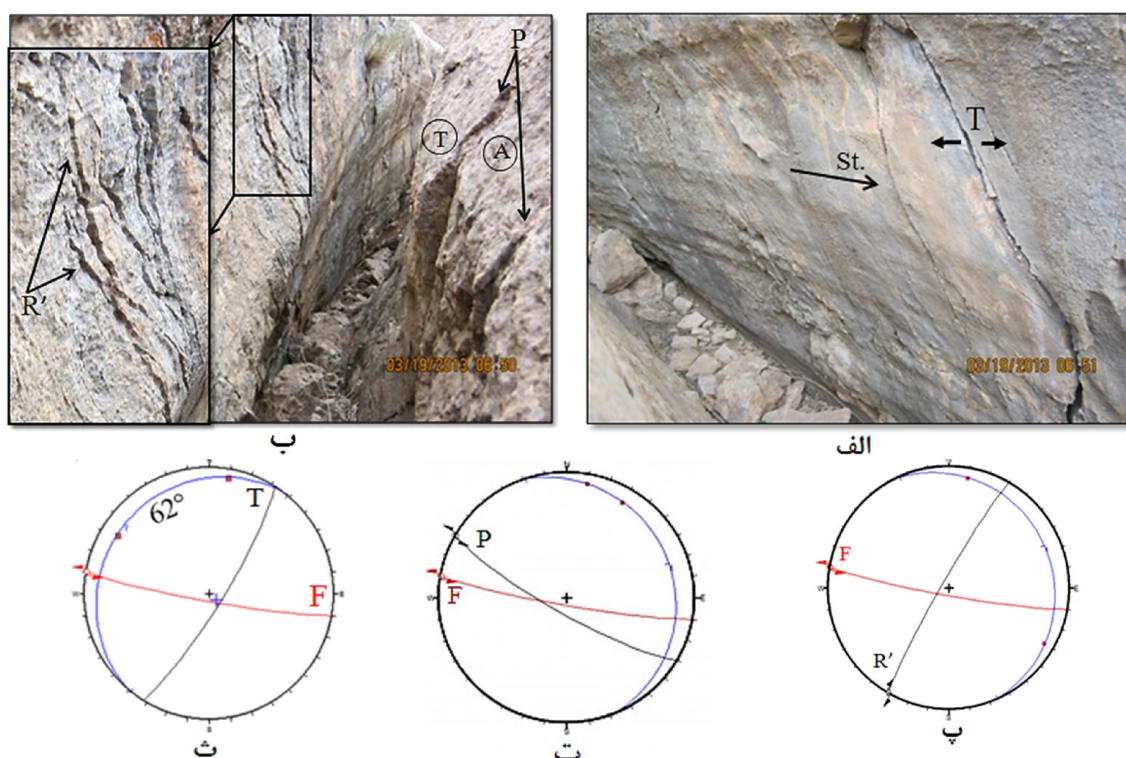


شکل ۳-۲۷- الف: افراز گسل رین شمالی در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}46'09''E$ و $53^{\circ}40'24''N$ (دید به سمت جنوب خاور)، ب: وجود برآمدگی موج در مقیاس خراش‌های بزرگ (St_1) با ریک ۸۸ درجه بر روی فرادیواره گسل با موقعیت $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ ، پ: خش‌لغزهای افقی (St_2) که عمود بر اثر شکستگی‌های کششی می‌باشند، ت: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین شکستگی‌های کششی و سطح گسل.

ایستگاه ۴

در این ایستگاه رخنمونی از گسل رین شمالی در سطحی با موقعیت $N80^{\circ}W, 85^{\circ}SW$ برداشت گردید (شکل ۳-۲۸). ضمن خط‌القعر و خط‌الرأس خمیدگی‌های سطح گسل، که نمادی از خش‌لغزهای بزرگ می‌باشد و نشان‌دهنده مؤلفه امتدادلغز برای این گسل است، حضور برشی‌های ریدل نیز حرکت امتدادلغز چپ‌بر را برای این گسل آشکار می‌سازد. برشی R' با موقعیت $N30^{\circ}E, 80^{\circ}NW$ با سطح گسل زاویه 71° درجه می‌سازد و به صورت مانعی در جهت حرکت گسل ظاهر شده و جابجایی راست‌بر

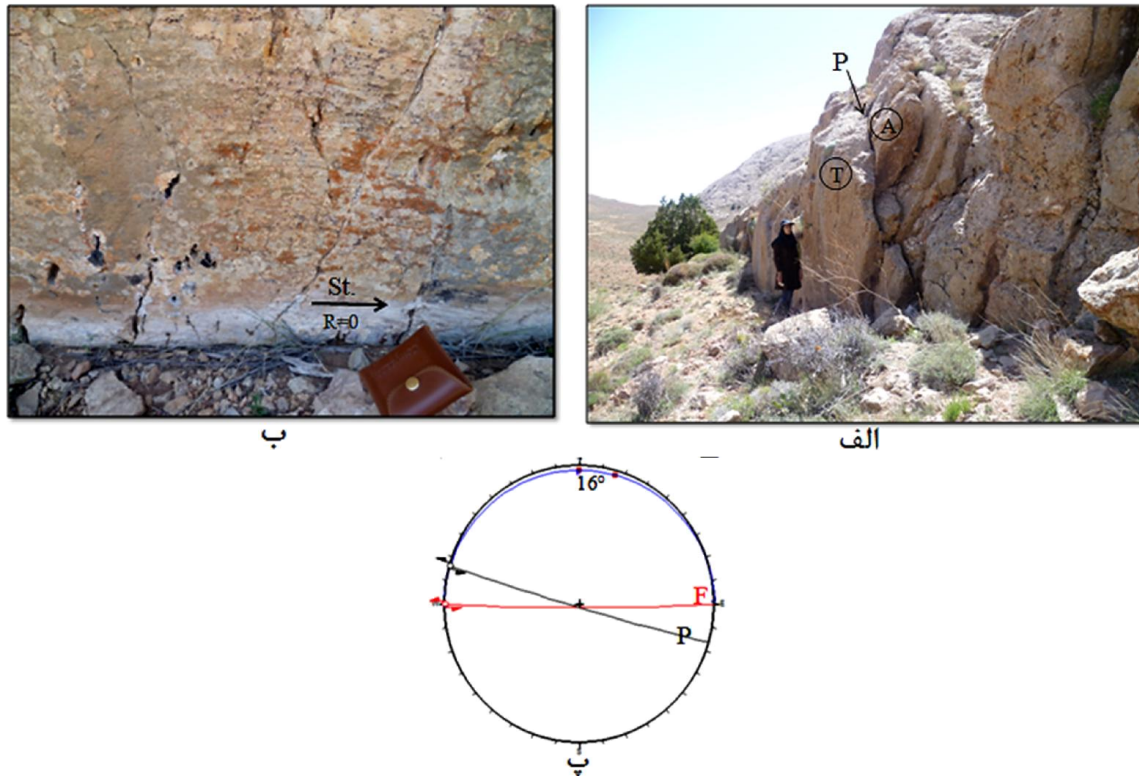
را در راستای خود بر روی سطح گسل به نمایش می‌گذارد. برشی P نیز با موقعیت $N60^{\circ}W, 84^{\circ}SW$ زاویه 20° درجه با سطح گسل تشکیل می‌دهد و با جابجایی چپ‌بر در امتداد خود، حرکت راستالغز چپ‌بر را این سطح گسلی نشان می‌دهد. علاوه بر این شکستگی‌های T با موقعیت $N32^{\circ}E, 81^{\circ}SE$ که به صورت بازشدگی‌های عمود بر خراش‌های افقی در سطح گسل ظاهر شده‌اند و با آن زاویه 62° درجه‌ای می‌سازند، سازوکار گسل از نوع امتدادلغز چپ‌بر را تأیید می‌نمایند. سمت شیب کمتر این شکستگی‌ها جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۸- سطحی با موقعیت $N80^{\circ}W, 85^{\circ}SW$ بر روی سازند لار در ایستگاه ۴، وجود برآمدگی‌های مواج در مقیاس شیارهای بزرگ نشان‌دهندهٔ خش‌لغزه‌هایی با ریک صفر درجه است که بر اثر برشی‌های P، R' و T در سطح گسل عمودند (دید به سمت باختر)، الف: نمایش شکستگی T بر روی فرودیوارهٔ گسل، ب: تصویر برشی P و R' بر روی فرادیوارهٔ گسل، پ، ت و ث: به ترتیب نشان‌دهندهٔ استریوگرام زاویهٔ برشی‌های R' و P و T با سطح گسل می‌باشد.

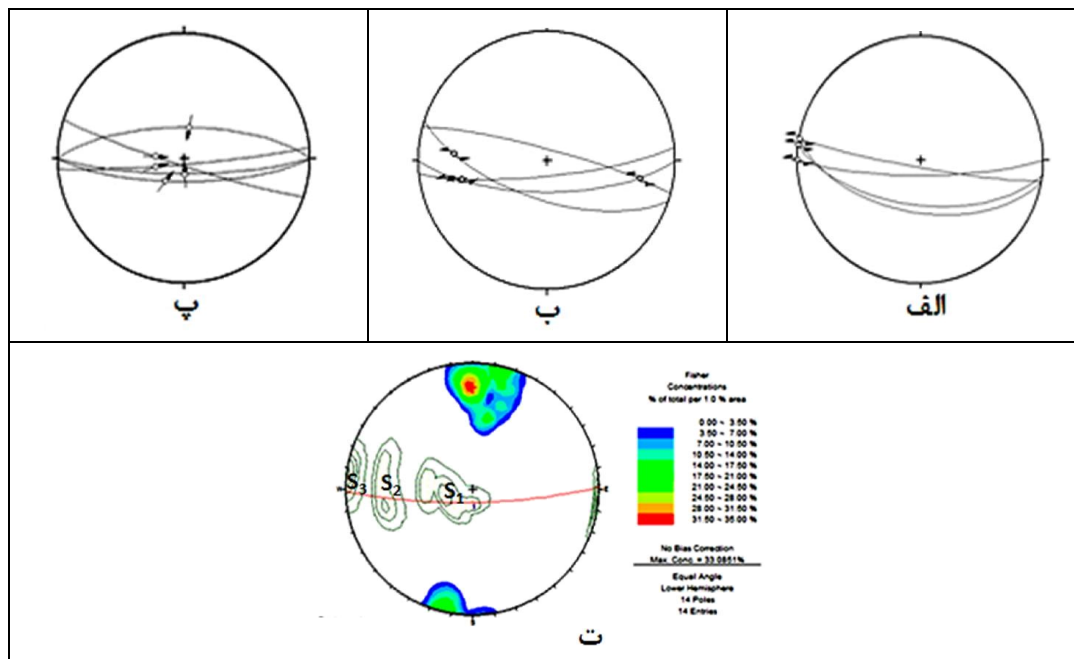
از دیگر شاخص‌های جنبشی گسل رین شمالی در ایستگاه ۴ پدید آمدن دیوارهٔ گسلی در سازند لار با روند خاوری- باختری و شیب قائم است که خش‌لغزه‌های افقی بر روی این سطح گسل عمود بر اثر شکستگی‌هایی است که دارای موقعیت $N74^{\circ}W, 88^{\circ}SW$ بوده و با سطح اصلی گسل زاویهٔ 16° درجه می‌سازند. با توجه به اینکه این سطوح شکستگی در راستای خود بر روی سطح گسل جابجایی چپ‌بر

نشان می‌دهند، از نوع P در نظر گرفته شده است. از آنجا که برشی‌های P همسو با گسل بوده، لذا سازوکار گسل در این رخنمون از نوع راستالغز چپ‌بر می‌باشد (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹- الف: دیواره گسل رین شمالی با موقعیت $N90^{\circ}W, 87^{\circ}S$ به همراه برشی P تشکیل شده بر روی سطح آن در سازند لار در ایستگاه ۴ (دید به سمت خاور)، ب: تصویر نزدیک از دیواره گسل با حضور خراش‌هایی با ریک صفر درجه، پ: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین برشی P و سطح گسل.

برداشت داده‌های ساختاری از گسل رین شمالی در پیوست ۲ درج شده است. تصویر سیکلوگرافیک این داده‌ها و نمودار کنتور قطب صفحات گسلی در استریوگرام‌های شکل ۳-۳۰ آمده است. این استریوگرام‌ها روند چیره $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ را برای گسل رین شمالی به همراه کنتور سه دسته خراش S_1, S_2, S_3 که به ترتیب دارای موقعیت $72/259, 31/259$ و $00/099$ می‌باشند، نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۰- تصاویر سیکلوگرافیک از سطوح گسل رین شمالی: الف، ب، و پ: به ترتیب نشان‌دهنده سطوح گسلی دارای خراش‌های افقی، مورب‌لغز و شیب‌لغز می‌باشد، ت: نمودار همتراز قطب صفحات گسل رین شمالی و تعیین صفحه غالب $N90^{\circ}W, 80^{\circ}S$ به همراه میانگین کنتور خراش برای سه نسل خش‌لغز S_1, S_2, S_3 .

بنابراین با استناد به شواهد چینه‌شناسی و نیز ریخت‌شناسی سطوح گسل رین شمالی در ایستگاه‌های متفاوت، می‌توان وجود سه فاز حرکت شیب‌لغز از نوع معکوس، مورب‌لغز از نوع معکوس چپ‌بر و امتدادلغز از نوع چپ‌بر را بر روی این گسل مشاهده نمود. از طرفی قطع‌شدگی خراش‌های گسلی با ریک بالا توسط خش‌لغزهای افقی، آخرین سازوکار این گسل را به صورت راستالغز چپ‌بر به اثبات می‌رساند.

ریخت زمین‌ساخت گسل رین شمالی

گسل رین شمالی در راستای خود باعث ایجاد افزازهای گسلی با شیب نزدیک به قائم شده است (شکل ۳-۲۷ و ۳-۲۹). دره‌های گسلی بوجود آمده در امتداد این گسل به همراه جابجایی چپ‌بر بلوک‌های سنگی در دو طرف این خطواره‌ها، بویژه در ایستگاه ۱، از دیگر نشانه‌های عملکرد این گسل از نوع راستالغز چپ‌بر در منطقه می‌باشد (شکل ۳-۲۲). البته در بسیاری از رخنمون‌ها در اثر عملکرد این گسل قطع‌شدگی لایه‌بندی واحدهای رسوبی در مجاورت آن نیز به چشم می‌خورد (شکل ۳-۳۱).



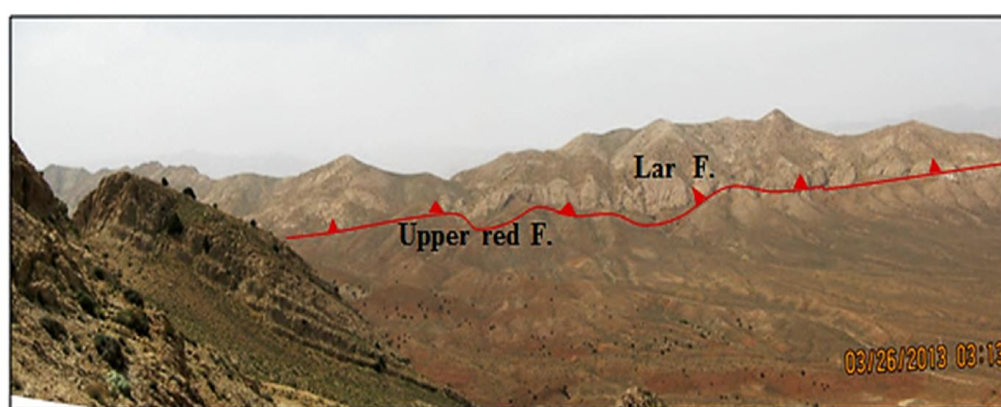
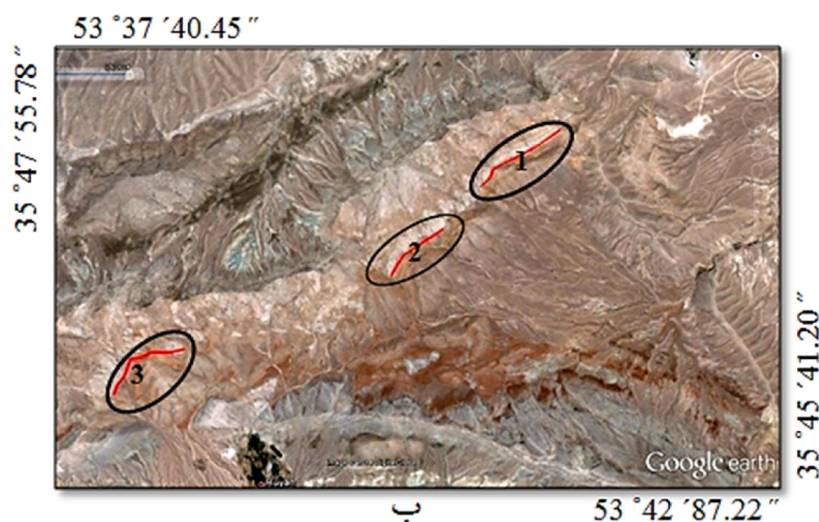
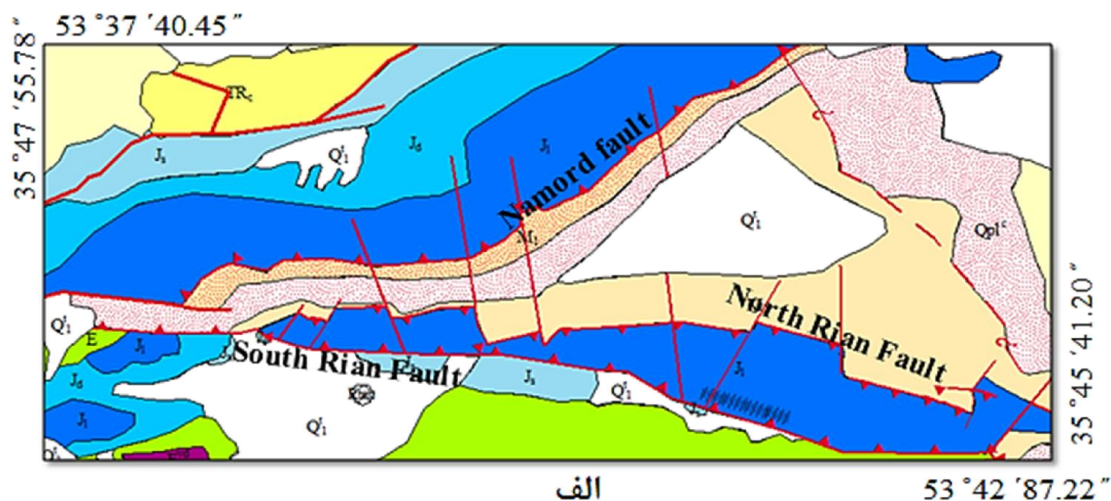
شکل ۳-۳۱- تصویر از قطع شدگی واحدهای سازند لار توسط گسل رین شمالی.

۳-۱-۱-۳- گسل نمرد

گسل نمرد با درازای حدود ۷ کیلومتر در نزدیکی دهستان نمرد واقع شده است. همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه (شکل ۳-۳۲-الف) و تصویر ماهواره‌ای لندست (شکل ۳-۳۲-ب) دیده می‌شود، راستای کلی این گسل در بخش‌های خاوری منطقه، شمال خاوری-جنوب باختری می‌باشد و در بخش باختری نیز با روند خاوری- باختری امتداد می‌یابد. این گسل در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام مشخص نشده و در این پژوهش برای اولین بار مورد شناسایی قرار گرفته است.

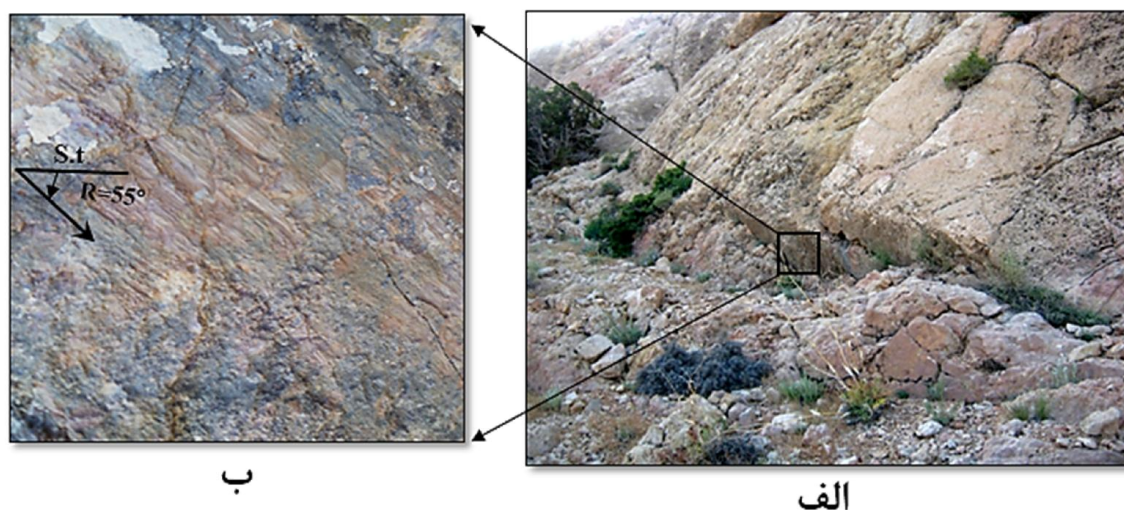
هندسه و سازوکار گسل نمرد

جهت برآورد هندسه و شناسایی سازوکار گسل نمرد رخنمون‌های این گسل در ۳ ایستگاه مطالعه و برداشت شده که در تصویر ماهواره‌ای شکل ۳-۳۲-ب نشان داده شده است. شواهد صحرایی نشان می‌دهد که در طول گسل نمرد واحدهای کنگلومرایی سازند قرمز بالایی در فرودیواره و سازند آهکی لار در فرادیواره رخنمون یافته و بلوک شمال باختری نسبت به بلوک جنوب خاوری بالا آمده است. طبق شواهد چینه‌نگاری، این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن می‌باشد (شکل ۳-۳۲-پ).



شکل ۳-۳۲-الف: نقشه نواری (Strip map) بخشی از منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که گسل نمرد بر روی آن مشخص شده است (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰). ب: تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth) که نشان‌دهنده ایستگاه‌های برداشت ۱ تا ۳ از سطح گسل نمرد می‌باشد، پ: رانده شدن سازند لار بر روی نهشته‌های میوسن در امتداد گسل نمرد (دید به سمت شمال).

علاوه بر شواهد چین‌نگاری، بررسی‌های صحرایی بر روی ریخت‌شناسی سطح گسل نمرد، خراش‌های با ریک ۵۵ درجه را نشان می‌دهد. این خش‌لغزها که نشان‌دهنده حرکت مورب‌لغز برای گسل نمرد است مؤید سازوکار بدست‌آمده از روش چین‌نگاری به صورت معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز گسل می‌باشند؛ البته تلفیق یافته‌های چین‌نگاری (مؤلفه معکوس) و حضور خش‌لغزهای مشاهده شده با ریک ۵۵ درجه به همراه رشد فیبرهای کانایی بر روی سطح این گسل، حرکت چپ‌بر را برای مؤلفه راست‌الغزی تأیید می‌نماید. نمونه‌ای از این سطوح در شکل ۳-۳۳ نشان داده شده است.



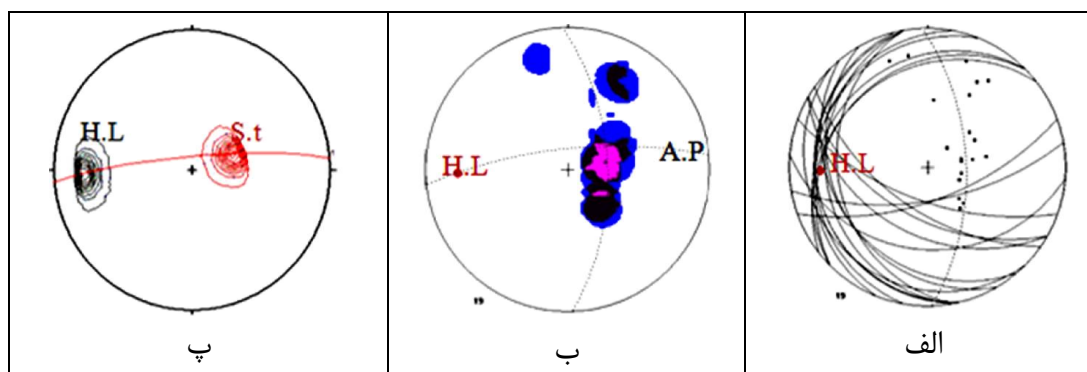
شکل ۳-۳۳- الف: نمایی از سطح گسل نمرد با موقعیت $N85^{\circ}E, 65^{\circ}NW$ (دید به سمت شمال باختر)، ب: نمای نزدیک از سطح گسل همراه با خش‌لغز با ریک نزدیک به ۵۵ درجه بر روی سازند لار (برداشت بر روی فرادیواره).

در ادامه باختری این گسل واقع در ایستگاه ۲، چین کشیده‌ای (Drag fold) در سازند لار در تماس با سطح گسل نمرد ایجاد شده است (شکل ۳-۳۴). پس از برداشت موقعیت لایه‌بندی به صورت تاکدیس در فرادیواره گسل نمرد (پیوست ۳) و ترسیم استریوگرام‌های مربوط به چین تشکیل شده مجاور سطح گسل، موقعیت سطح محوری و لولای چین به ترتیب به صورت $78/354$ و $23/268$ تعیین گردید. همچنین مشاهده شد لولا بر روی سطح گسل منطبق می‌باشد و با خش‌لغز به موقعیت $66/070$ زاویه 87 درجه می‌سازد (شکل ۳-۳۵) این ارتباط هندسی مؤید آن است که چین مورد بحث منشأ کشیدگی در سطح گسل دارد و سمت تحذب چین جهت حرکت بلوک حامل را نشان

می‌دهد. این در حالی است که در سایر ایستگاه‌ها سطوح گسلی دارای خراش‌هایی با ریک بالای ۵۵ درجه یافت شده است که با توجه به روش چینه‌نگاری سازوکار معکوس چپ‌بر را تأیید می‌نماید.

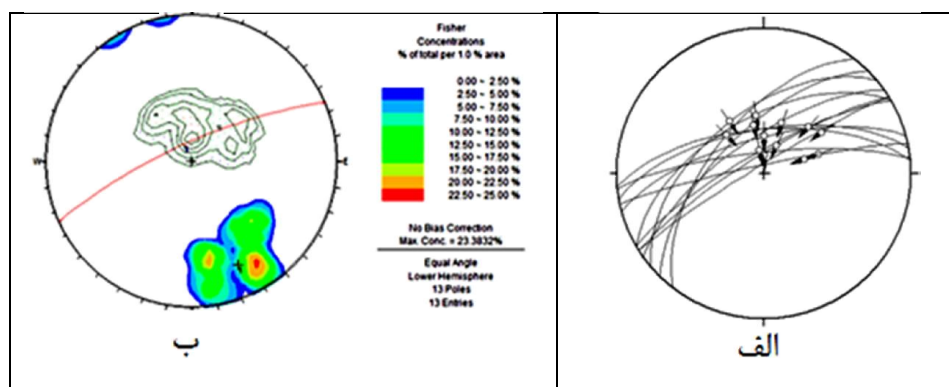


شکل ۳-۳۴- نمایی از چین کشیده تحت تأثیر گسل نمرد با موقعیت $N85^{\circ}E, 82^{\circ}NW$ در مختصات جغرافیایی $35^{\circ}47'18/1''N$ و $53^{\circ}40'12/9''E$ (دید به سمت شمال باختر).



شکل ۳-۳۵- الف: نمودار β و نمودار π و تعیین موقعیت خط لولا (۲۳/۲۶۸)، ب: نمودار کنتور قطب پال‌های چین به منظور تعیین موقعیت سطح محوری با موقعیت (۷۸/۳۵۴)، پ: استریوگرام رسم شده از چین و سطح گسل نمرد؛ کنتور قرمز رنگ، نماینده خراش گسلی و کنتور سیاه رنگ، نماینده موقعیت لولای چین می‌باشد.

میانگین وضعیت هندسی گسل نمرد بر اساس برداشت داده‌های حاصل از ایستگاه‌های سه‌گانه (پیوست ۴)، $N66^{\circ}E, 76^{\circ}NW$ به دست آمده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آنها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل ۳-۳۶ نشان داده شده است.

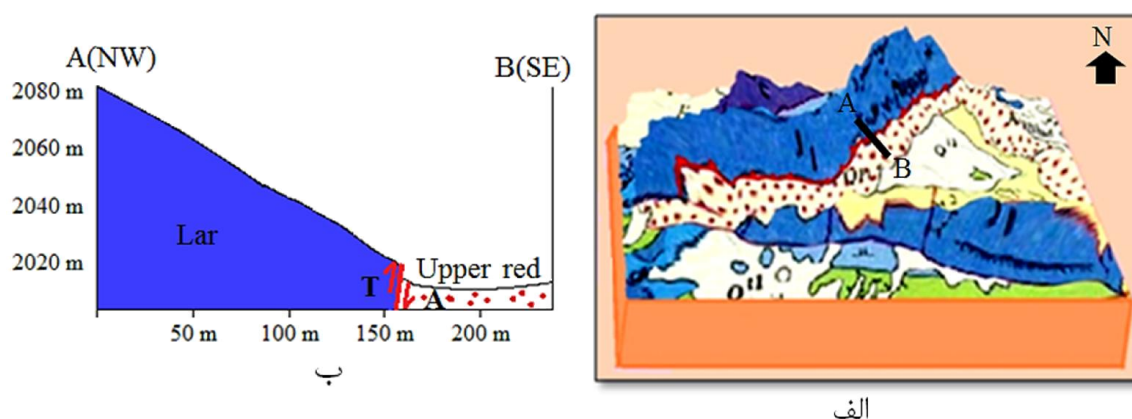


شکل ۳-۳۶- استریوگرام داده‌های گسل نمرد، الف: تصویر سیکلوگرافیک داده‌ها همراه با خوش‌لغزهای گسلی، ب: نمودار کنتوری از قطب صفحات که روند میانگین و غالب $N66^{\circ}E, 76^{\circ}NW$ را برای گسل نمرد نشان می‌دهد؛ کنتورهای سبزرنگ متعلق به میانگین خراش‌های گسلی با موقعیت $78^{\circ}/000$ می‌باشند.

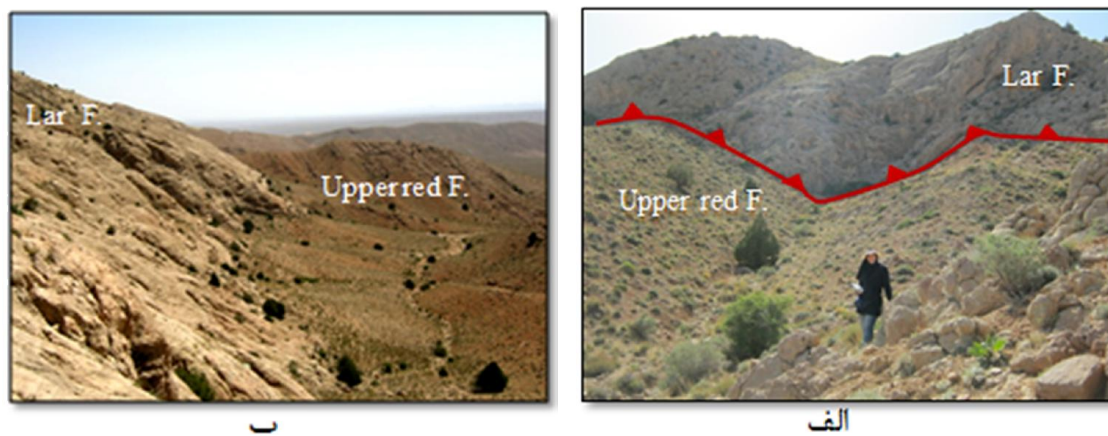
در نتیجه، با استناد بر نشانه‌های دورسنجی، مشاهدات صحرایی و چینه‌نگاری و نیز پدیده چین‌های کشیده، سازوکار کلی این گسل به صورت معکوس همراه با مؤلفه امتدادلغز چپ‌بر تعیین می‌شود.

ریخت زمین‌ساخت گسل نمرد

گسل نمرد در بخش‌هایی از طول خود، در مرز بین واحدهای مارن و کنگلومرای میوسن و سازند آهکی لار، سبب ایجاد برخاستگی سازند لار در مقابل سازند قرمز بالایی شده است؛ که حاکی از عملکرد چیره مؤلفه شیب‌لغزی برای این گسل می‌باشد (شکل ۳-۳۷ و شکل ۳-۳۸-الف). این گسل در امتداد خود در ادامه باختری، سبب ایجاد دره‌های گسلی شده است که در نتیجه فرسایش صورت گرفته بر اثر جریان یافتن آب، به دره نسبتاً عریضی تبدیل شده است (شکل ۳-۳۸-ب).



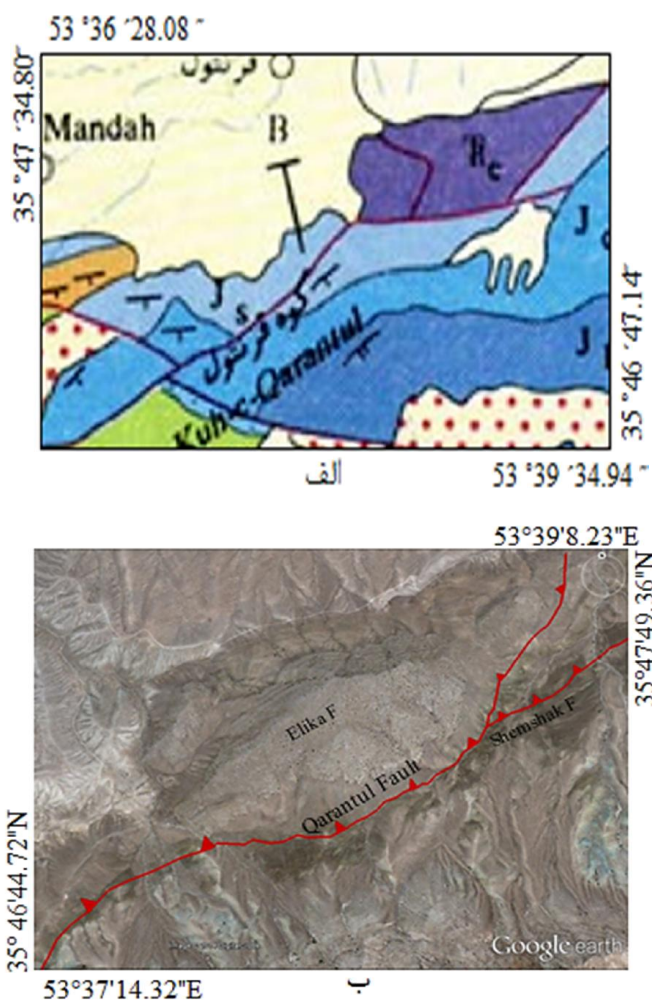
شکل ۳-۳۷- الف: رانده شدن سازند لار بر روی نهشته‌های میوسن توسط گسل نمرد (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و نقشه زمین‌شناسی)، ب: مقطع عرضی رسم شده از برخاستگی سازند لار در راستای AB بر روی شکل الف.



شکل ۳-۳۸- الف: تصویر صحرایی از برخاستگی سازند لار در مقابل نهشته‌های میوسن در امتداد گسل نمرود (جهت دید به سمت شمال)، ب: دره گسلی نسبتاً عریض ایجاد شده توسط گسل نمرود (دید به سمت خاور)

۳-۱-۱-۴- گسل قرن‌تول

گسل قرن‌تول ابتدا توسط علوی نائینی (۱۳۵۱) در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام به صورت یک خطواره نشان داده شده است (شکل ۳-۳۹- الف). اثر این گسل را در حاشیه شمال باختری منطقه مورد مطالعه می‌توان دید که در بیشتر درازای خود از سازند فرسایش‌پذیر شمشک عبور کرده و به سمت باختر، سازند دلیچای را نیز متأثر نموده است (شکل ۳-۳۹- ب). حدود ۳ کیلومتر از طول این گسل با روند خاوری- باختری، در مرز بین سازند شمشک در جنوب و آهک‌های سازند الیکا در شمال قرار دارد. وجود لایه‌های فرسایش‌پذیر شیل در مجاورت خط گسل باعث شده است که این بخش از منطقه تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته و بر روی آن و به موازات گسل دره‌ای طولی ایجاد شود (شکل ۳-۴۰- الف). اثر این گسل بر روی زمین تنها در رخنمون‌های کوچکی از منطقه که واحدهای ماسه‌سنگی شمشک در آن بیرون زدگی دارند و تحت تأثیر گسل شدیداً خرد شده هستند، قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۴۰- ب).



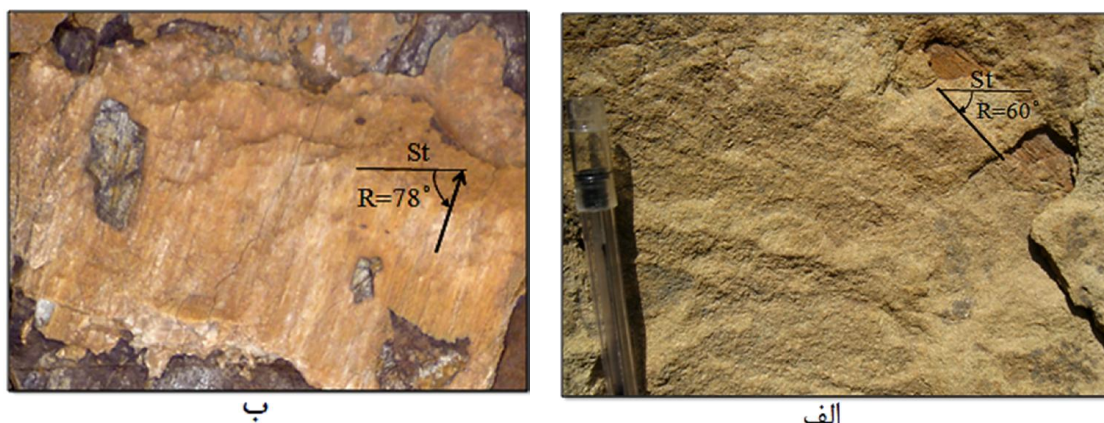
شکل ۳-۳۹- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که گسل قرنتول بر روی آن مشخص شده است. ب: خطواره گسل قرنتول بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth).



شکل ۳-۴۰- الف- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل قرنتول (دید به سمت شمال باختر)؛ ب: نمای نزدیک از کادر زرد رنگ در تصویر الف، دیواره گسلی و خردشدگی در سازند شمشک تحت تأثیر گسل قرنتول (دید به سمت باختر).

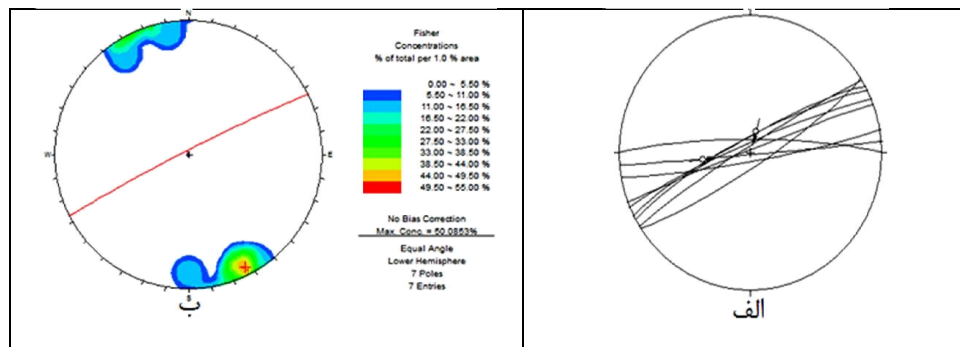
هندسه و سازوکار گسل قرنطول

برداشت‌های صحرایی از سطوح گسل قرنطول به همراه خراش‌هایی با ریک تقریباً بالا حاکی از چیرگی مؤلفه شیب‌لغز برای گسل مورد بحث می‌باشد که می‌تواند به صورت معکوس یا نرمال باشد؛ اما با توجه به نشانه‌های چینه‌نگاری (قرارگیری سازند الیکا بر روی شمشک) جنبش گسل مورد بحث به صورت معکوس تأیید می‌شود که با تلفیق داده‌های حاصل از خراش‌هایی با ریک تقریباً بالا بر روی سطح گسل، حرکت راستالغز گسل از نوع چپ‌بر خواهد بود. همچنین رشد فیبرهای کانیاپی در امتداد خراش‌هایی با ریک ۷۸ درجه بر روی سطح گسل با موقعیت $N61^{\circ}E, 81^{\circ}NW$ سازوکار گسل را از نوع معکوس با مؤلفه کوچک چپ‌بر نشان می‌دهد (شکل ۳-۴۱).



شکل ۳-۴۱- الف: نمای نزدیک از خش‌لغز (St) با ریک ۶۰ درجه بر روی فرادیواره گسل قرنطول با موقعیت $N85^{\circ}E, 85^{\circ}NW$ (دید به سمت شمال). ب: خراش گسلی با ریک ۷۸ درجه بر روی فرادیواره گسل با موقعیت $N61^{\circ}E, 81^{\circ}NW$ ، به همراه حضور فیبرهای کانیاپی (دید به سمت جنوب). هر دو برداشت بر روی ماسه سنگ‌های سازند شمشک انجام گرفته است.

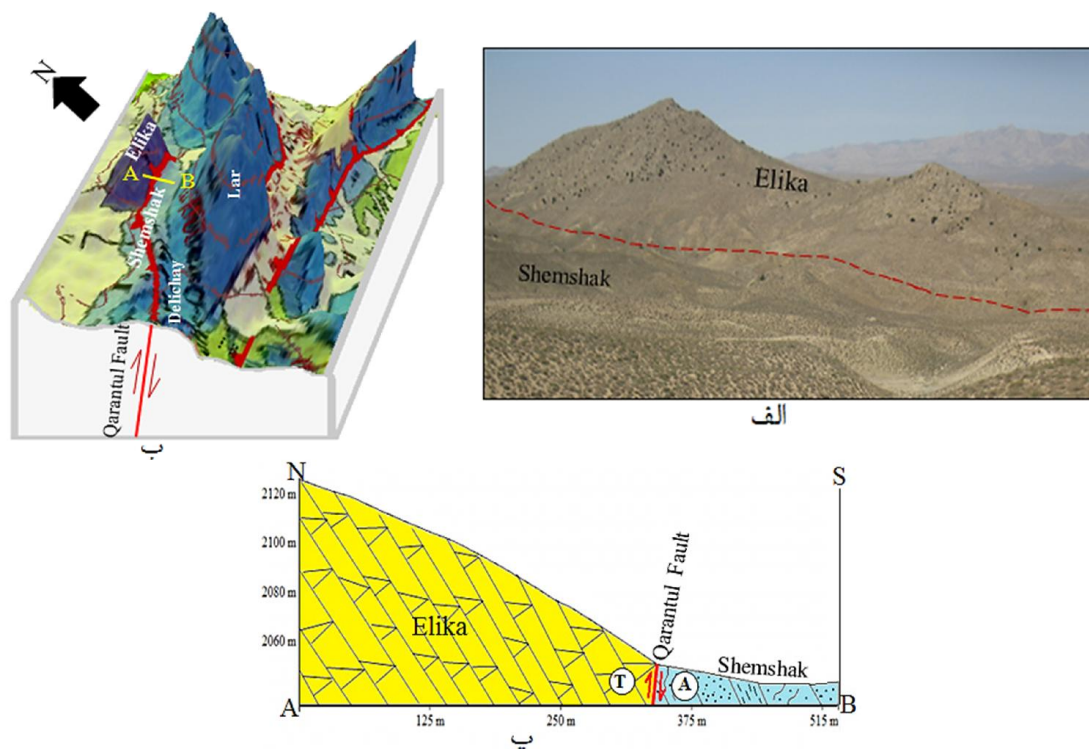
داده‌های ساختاری برداشت شده از گسل قرنطول در پیوست ۵ درج شده است. تصویر سیکلوگرافیک این داده‌ها و نمودار کنتوری قطب آنها در استریوگرام‌های شکل ۳-۴۲ آمده است. این استریوگرام‌ها روند چیره $N63^{\circ}E, 86^{\circ}NW$ را برای این گسل نشان می‌دهند.



شکل ۳-۴۲- استریوگرام‌های سطح گسل قرنتول؛ الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی. ب: نمودار کنتور قطب صفحات اندازه‌گیری شده از گسل قرنتول؛ میانگین سطوح گسلی با موقعیت $N63^{\circ}E, 86^{\circ}NW$ می‌باشد.

ریخت زمین‌ساخت گسل قرنتول

در مرز گسلی بین سازند الیکا در شمال و سنگ‌های سازند شمشک در جنوب، دره‌ی طولی با روند شمال خاوری- جنوب باختری به موازات گسل قرنتول شکل گرفته که دامنه‌ی شمالی آن را کوه قرنتول ساخته است. گسل قرنتول در امتداد خود با عملکرد معکوس چپ‌بر سبب بر پایی سازند الیکا در بلوک شمالی بر روی سازند فرسایش‌پذیر شمشک در جنوب شده است (شکل ۳-۴۳).



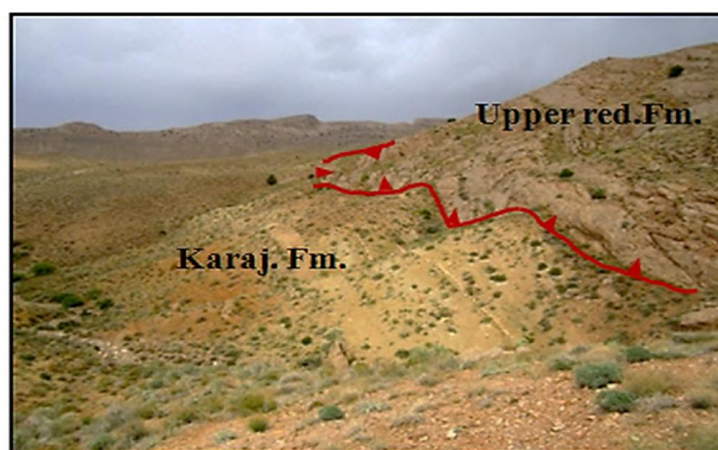
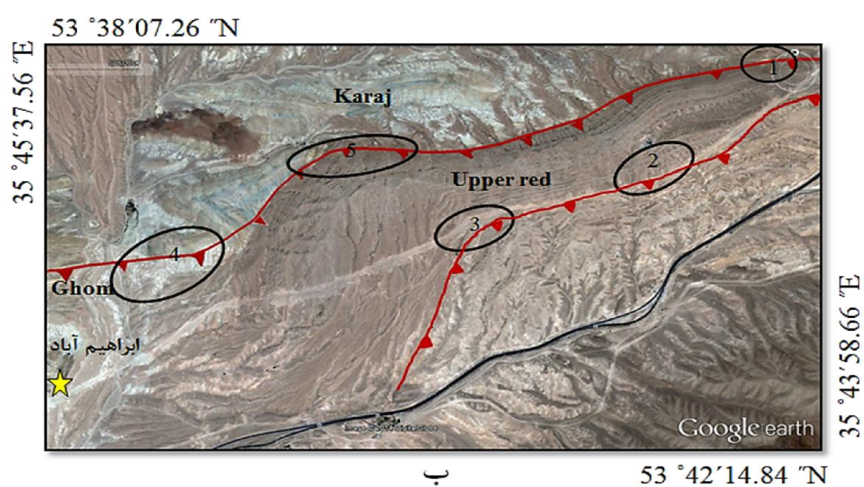
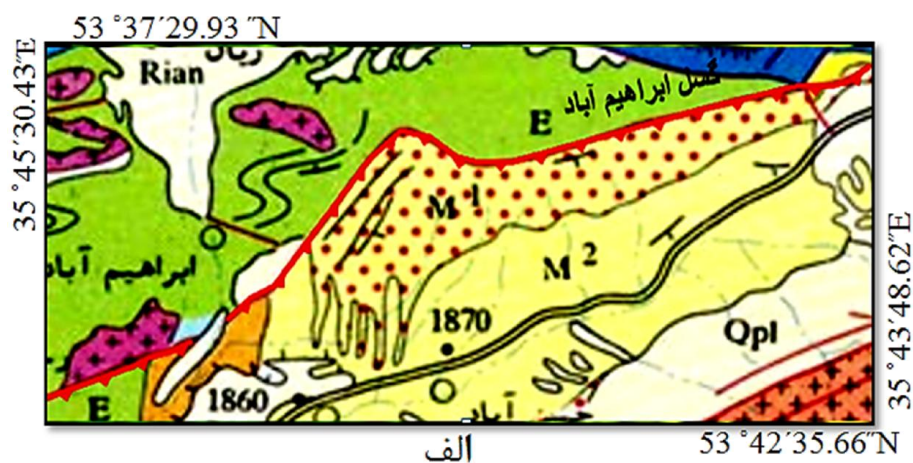
شکل ۳-۴۳- الف: تصویر صحرایی از برپایی سازند الیکا بر روی رسوبات سازند شمشک توسط گسل قرنتول (دید به سمت شمال). ب: تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM، نقشه‌ی توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه. پ: مقطع عرضی رسم شده از برخاستگی در راستای AB، بر روی شکل ب.

۳-۱-۱-۵- گسل ابراهیم‌آباد

گسل ابراهیم‌آباد به عنوان یکی دیگر از گسل‌های اصلی منطقه، با درازای حدود ۷ کیلومتر در شمال دهستان ابراهیم‌آباد واقع شده است. این گسل در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ (جام (علوی، ۱۳۵۱) آورده شده (شکل ۳-۴۴-الف) و در تصویر ماهواره‌ای (شکل ۳-۴۴-ب)، دارای راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری می‌باشد. بخش اعظم گسل مرز بین سازندهای قرمز بالایی و کرج را می‌سازد (شکل ۳-۴۴-پ). بهترین راه دسترسی به این گسل، جاده خاکی شمال کلاته ابراهیم‌آباد می‌باشد. مکان برداشت داده‌های مربوط به این گسل در تصویر ماهواره‌ای شکل ۳-۴۴ نشان داده شده است. ردیابی این گسل در ایستگاه‌های پنج‌گانه نشان‌دهنده یک پهنه گسلی می‌باشد. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که این گسل در تمام طول خود دارای سازوکاری مشابه است اما شیب صفحات گسلی برداشت شده در تمامی رخنمون‌ها یکسان نمی‌باشد. همچنین مطالعات انجام شده جهت تشخیص سازوکار این گسل، بر مبنای شاهد پله‌های گسل و چین‌های کشیده مجاور گسل استوار است.

هندسه و سازوکار گسل ابراهیم‌آباد

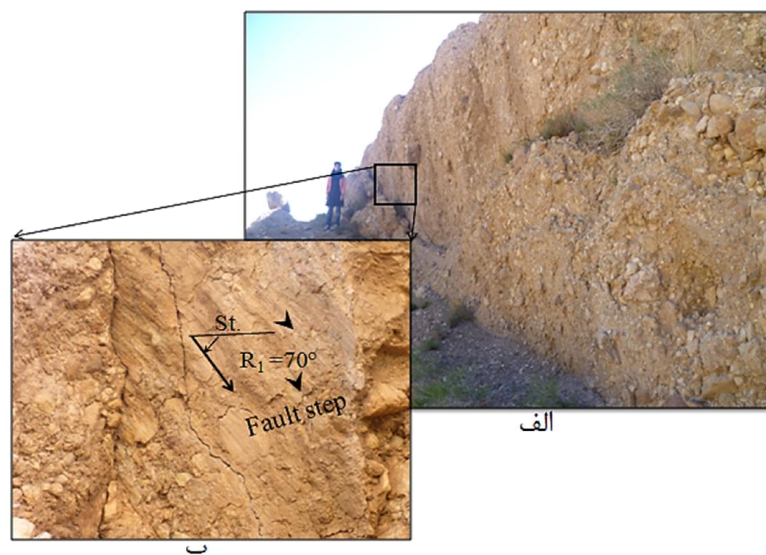
هندسه و سازوکار گسل ابراهیم‌آباد در ۵ ایستگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت که در تصاویر دورسنجی (شکل ۳-۴۴-ب) نشان داده شده است. رخنمون‌های برداشت از سطح این گسل در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ در واحدهای مارنی و کنگلومرایی سازند قرمز بالایی، در ایستگاه ۴ در سازند قم و در ایستگاه ۵ بین واحد کنگلومرای سازند قرمز بالایی و سازند کرج می‌باشد. اگر چه مرز بین سازند قرمز بالایی با سازند کرج طبیعی به نظر می‌رسد اما از نظر ریخت‌شناسی گسل ابراهیم‌آباد با راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری در بخش اعظم خود باعث برخاستگی بیشتر سازند کنگلومرای قرمز بالایی (میوسن) در فرادیواره بر روی واحدهای سازند کرج (ائوسن) در فرودیواره شده است. بنابراین از دیدگاه چینه‌نگاری این گسل دارای سازوکار معکوس برای مؤلفه شیب‌لغز آن می‌باشد.



پ

شکل ۳-۴۴- الف: بخشی از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که گسل ابراهیم‌آباد بر روی آن مشخص شده است (علوی، ۱۳۵۱)، ب: تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth) که نشان‌دهنده مکان‌های برداشت ۱ تا ۵ از سطح گسل ابراهیم‌آباد می‌باشد، پ: مرز گسلی سازند قرمز بالایی و سازند کرج در منطقه مطالعاتی با شیب به سوی جنوب خاوری (دید به سمت شمال خاور).

علاوه بر این، بررسی‌های صحرایی بر روی ریخت‌شناسی سطح گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۱ (شکل ۳-۴۵)، ایستگاه ۲ (شکل ۳-۴۶)، ایستگاه ۳ (شکل ۳-۴۷-الف) و ایستگاه ۵ (شکل ۳-۴۷-ب) حضور خراش‌هایی با ریک بالای ۶۰ درجه را نشان داد که شاخص ریخت‌شناسی پله‌های گسلی بر روی برخی از این سطوح به وضوح مشاهده می‌شود. لذا با این معیار حرکت گسل از نوع معکوس چپ‌بر تشخیص داده شد. از طرفی تلفیق یافته‌های چین‌نگاری (مؤلفه شیب‌لغز معکوس) با خش‌لغزهای مشاهده شده بر روی این سطوح که حرکت چپ‌بر را برای مؤلفه راست‌لغز این گسل آشکار می‌سازد، نشان دیگری برای پی بردن سازوکار این گسل می‌باشد.



شکل ۳-۴۵- رخنمونی از سطح گسل ابراهیم‌آباد با موقعیت $N84^{\circ}E, 80^{\circ}SE$ در کنگلومرای قرمز بالایی در ایستگاه ۱ (دید به سمت جنوب خاور)، ب: تصویر نزدیک از قطع‌شدگی قطعات کنگلومرا توسط گسل به همراه خراش‌هایی با موقعیت $52/182$ (برداشت بر روی فرادیواره).



شکل ۳-۴۶- نمایی از سطح گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۲ در واحدهای مارنی- کنگلومرای سازند قرمز بالایی، سطح لغزش به موازات لایه‌بندی می‌باشد (دید به سمت جنوب)، ب: تصویر نزدیکی از فرادیواره گسل با موقعیت $N50^{\circ}E, 65^{\circ}SE$ به همراه خراش‌هایی با موقعیت $33/213$.



ب



الف

شکل ۳-۴۷- نمایی از فرودیواره گسل ابراهیم‌آباد با موقعیت $N70^{\circ}E, 80^{\circ}SE$ در ایستگاه ۳ در واحد کنگلومرای سازند قرمز بالایی، به همراه خراش‌هایی با موقعیت $47/208$ (دید به سمت خاور)، ب: نمایی از آینه گسلی در ایستگاه ۵ با موقعیت $N65^{\circ}E, 75^{\circ}SE$ به همراه خراش‌هایی با ریک ۷۵ درجه ساعتگرد (برداشت در فرادیواره).

در ایستگاه ۴ که ادامه باختری گسل ابراهیم‌آباد می‌باشد، لایه‌بندی سازند قم تحت تأثیر عملکرد گسل دچار چین‌خوردگی گردیده است. با برداشت این چین‌ها در چندین مکان از این ایستگاه سازوکار گسل به خوبی آشکار شده است. همانطور که پیش‌تر نیز اشاره گردید، از نشانه‌های هندسی چین‌های کشیده (Drag fold) این است که موقعیت لایه‌بندی واحدهای رسوبی در نزدیکی گسل متفاوت از نواحی دور از گسل می‌باشد و خط لولای چین بر سطح گسل منطبق بوده و با خش‌لغز زاویه 90° درجه می‌سازد. با برداشت در لایه‌بندی سازند قم (پیوست ۶) استنباط شد که در نزدیکی سطح گسل، موقعیت لایه‌بندی تغییر کرده و با روند خاوری- باختری قرار گرفته‌اند و این در حالی است که در نواحی دور از گسل روند لایه‌بندی تقریباً شمالی- جنوبی است (شکل ۳-۴۸).

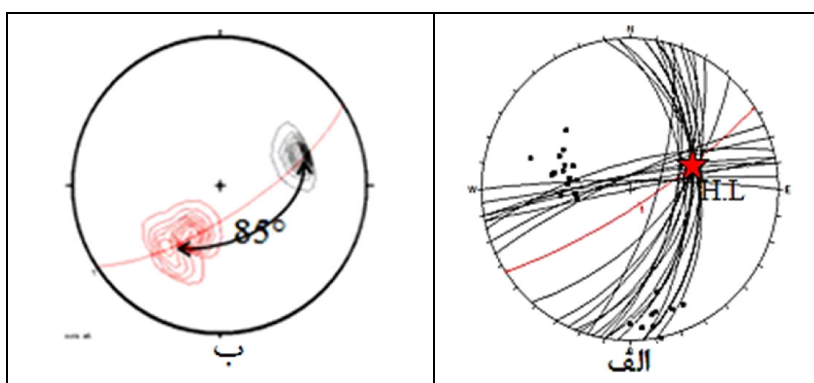
نمودار سیکلوگرافیک لایه‌بندی سازند قم به همراه میانگین سطوح گسل با موقعیت $N57^{\circ}E, 73^{\circ}SE$ و نیز زاویه 85° درجه‌ای میان میانگین خراش‌های گسلی با موقعیت $57/210$ و لولای چین به موقعیت $40/070$ سازوکار معکوس چپ‌بر را برای این رخنمون از گسل ابراهیم‌آباد به اثبات می‌رساند (شکل ۳-۴۹).

همچنین در این ایستگاه با برداشت‌هایی که بر روی گسل ابراهیم‌آباد با موقعیت $N65^{\circ}E, 50^{\circ}SE$ در واحدهای آهکی سازند قم انجام شد مشخص گردید که حضور خش‌لغزهایی با ریک 60° درجه

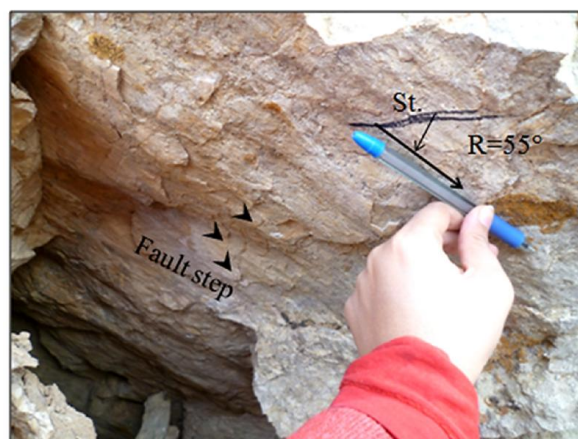
ساعتگرد بر روی فرادیواره به همراه مورفولوژی پله‌های گسلی حرکت معکوس چپ‌بر را تأیید می‌نماید (شکل ۳-۵۰).



شکل ۳-۴۸- رخنمونی از لایه‌بندی سازند قم در تماس با گسل ابراهیم‌آباد در ایستگاه ۴، ب: نمای کلی از چین کشیده در سازند قم تحت تأثیر عملکرد گسل ابراهیم‌آباد (دید به سمت جنوب).

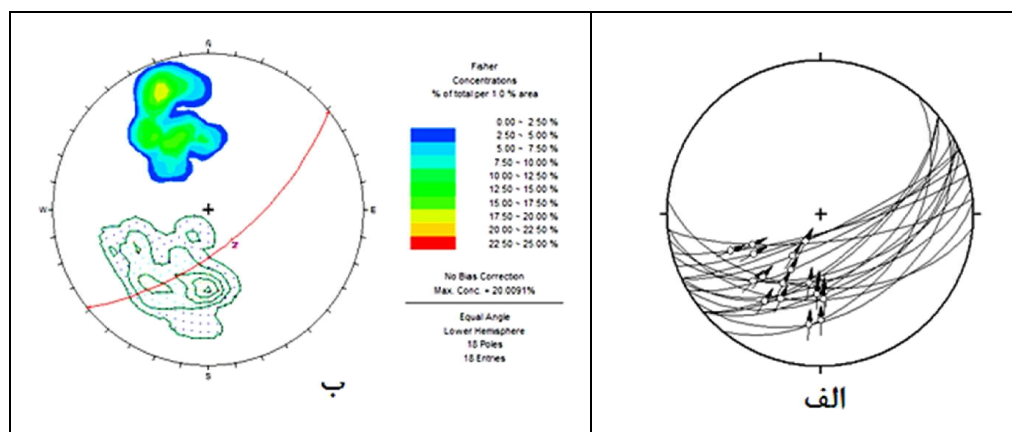


شکل ۳-۴۹- الف: استریوگرام رسم شده از چین و سطح گسل؛ ب: کنتور قرمز رنگ، نماینده خراش‌های گسلی و کنتور سیاه رنگ، نماینده موقعیت لولای چین می‌باشد.



شکل ۳-۵۰- نمایی از فرادیواره گسل ابراهیم‌آباد با موقعیت $N65^{\circ}E, 50^{\circ}SE$ در ایستگاه ۴ در سازند قم، به همراه خراش‌هایی با موقعیت $44/190$ و نمایش پله‌های سطح گسل (دید به سمت جنوب خاور).

میانگین وضعیت هندسی گسل ابراهیم‌آباد بر اساس برداشت از ایستگاه‌های پنج‌گانه (پیوست ۷)، $N51^{\circ}E, 62^{\circ}SE$ به دست آمده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار هم‌تراز قطب آنها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل ۳-۵۱ نشان داده شده است. این استریوگرام‌ها میانگین خراش‌های گسلی را با موقعیت $53^{\circ}/183$ نشان می‌دهد.

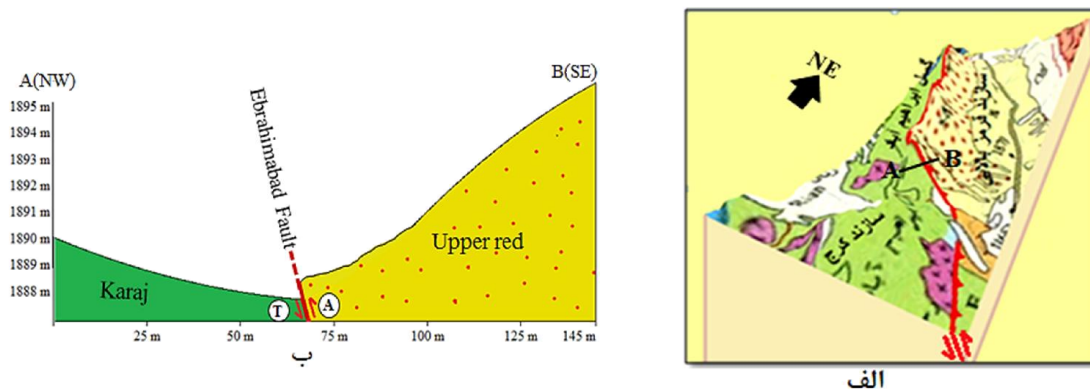


شکل ۳-۵۱- استریوگرام داده‌های گسل ابراهیم‌آباد از ایستگاه‌های پنج‌گانه، الف- تصویر سیکلوگرافیک صفحات گسلی به همراه سازوکار آنها، ب: نمودار کنٹوری از قطب داده‌ها که روند غالب $N51^{\circ}E, 62^{\circ}SE$ را برای گسل ابراهیم‌آباد نشان می‌دهد؛ کنٹورهای سبز رنگ متعلق به میانگین خراش‌های گسلی با موقعیت $53^{\circ}/183$ می‌باشند.

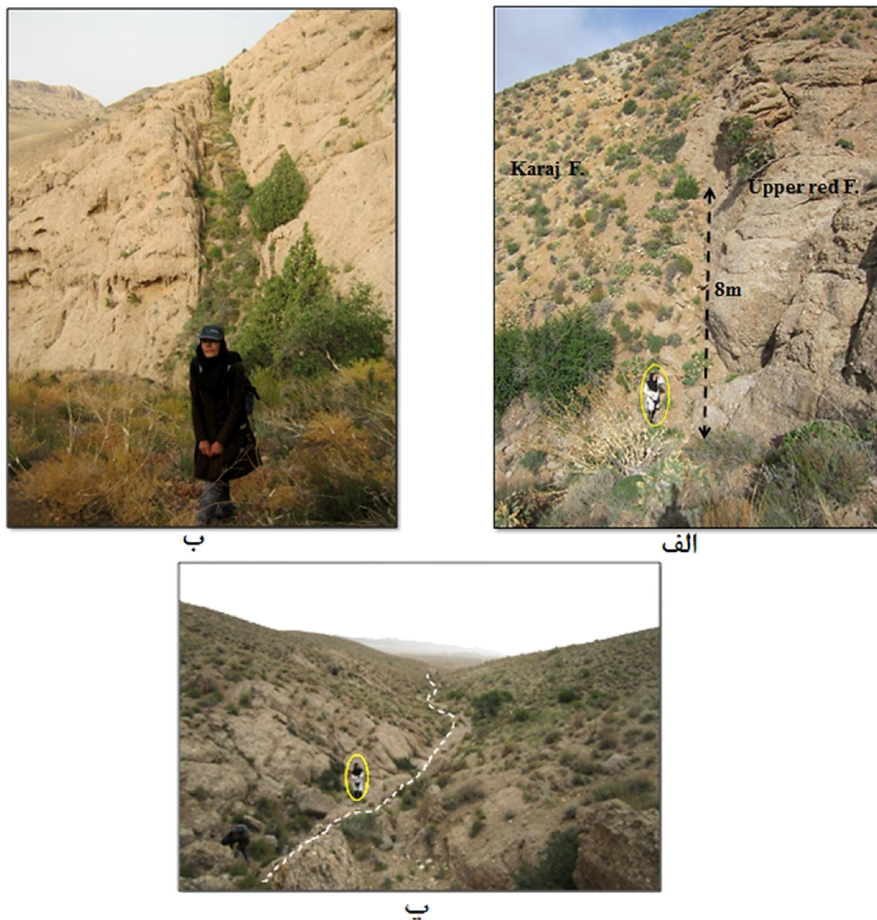
ریخت زمین‌ساخت گسل ابراهیم‌آباد

مهمترین عامل ساختاری تأثیرگذار بر ریخت‌شناسی بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه، گسل ابراهیم‌آباد می‌باشد. در تصاویر دورسنجی، در شمال کلاته ابراهیم‌آباد، این گسل به صورت خطواره کاملاً مشخصی دیده می‌شود که نهشته‌های میوسن را به وضوح بریده است و با عملکرد معکوس خود سبب رانده شدن واحدهای مارنی و کنگلومرای سازند قرمز بالایی بر روی رسوبات سازند کرج گشته و ارتفاعات جنوب خاوری ناحیه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۵۲). در سراسر گسل ابراهیم‌آباد پرتگاه‌هایی با شیب تقریباً قائم، با ارتفاع‌های مختلف دیده می‌شود که فعالیت معکوس گسل ابراهیم‌آباد، سبب ایجاد این مناظر زمین‌ریختی گشته است. (شکل ۳-۵۳- الف). ضمن آنکه رویش خطی گیاهان به موازات این گسل نیز از دیگر نشانه‌های عملکرد آن می‌باشد (شکل ۳-۵۳- ب). همچنین گسل ابراهیم‌آباد با عملکرد خود در بخش باختری واحدهای کنگلومرای میوسن را در طول

خود و در مرز با سازند کرج قطع نموده و بستر مناسبی را برای رودخانه‌ها فراهم آورده که در نتیجه فرسایش صورت گرفته بر اثر جریان یافتن این رودخانه‌ها، دره نسبتاً طولیلی در مسیر آن با راستای شمال خاوری- جنوب باختری شکل گرفته است (شکل ۳-۵۳-پ).



شکل ۳-۵۲- تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و نقشه زمین‌شناسی منطقه، ب: نیمرخ عرضی از افراز گسلی ابراهیم‌آباد در راستای AB به منظور نشان دادن برخاستگی سازند قرمز بالایی در مقابل سازند کرج.

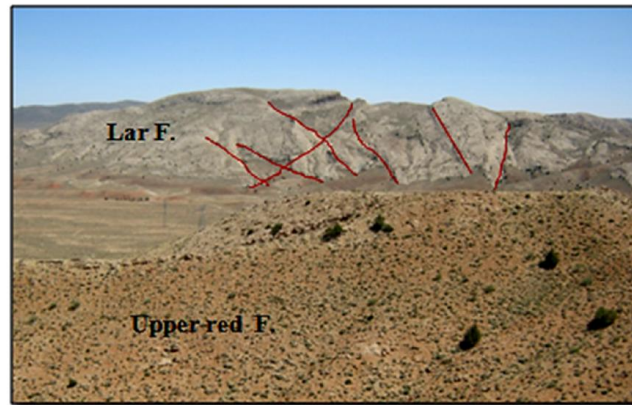


شکل ۳-۵۳- الف: پرتگاه ایجاد شده توسط گسل ابراهیم‌آباد با ارتفاع حدود ۸ متر (دید به سمت شمال خاور). ب: رویش خطی گیاهان به موازات گسل ابراهیم‌آباد در واحد کنگلومرای سازند قرمز بالایی، پ: مسیر دره‌ای که بر اثر قطع‌شدگی واحدهای کنگلومرای میوسن توسط گسل ابراهیم‌آباد ایجاد گشته است (دید به سمت جنوب باختر).

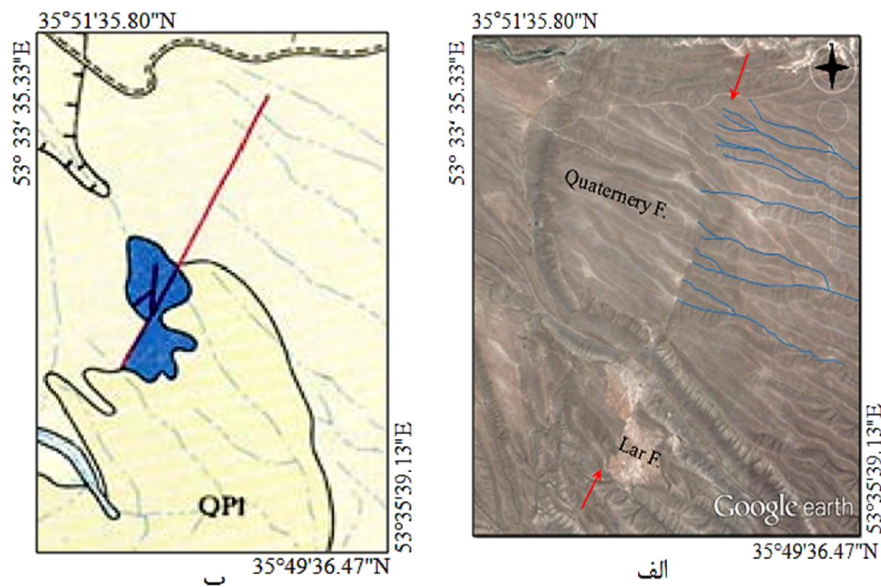
۳-۱-۲- گسل‌های عرضی

گسل‌های عرضی در این پژوهش به آن دسته سطوحی گفته می‌شود که ساختارها و واحدهای سنگی منطقه را به صورت عرضی قطع نموده‌اند. جنبش‌های صورت گرفته بر روی این گسل‌ها در مورفولوژی و بهم ریختگی سازندهای موجود در منطقه بسیار تأثیرگذار بوده است. این گسل‌ها علاوه بر اینکه در یال جنوبی ناودیس رین (شکل ۳-۵۴)، با طول‌های متفاوت و روندهای غالب شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری قرار گرفته و بعضاً تعدادی از آنها نیز در یال شمالی ناودیس امتداد یافته‌اند، در سازند قرمز بالایی در بخش جنوبی منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اکثر داده‌های مربوط به سطوح این گسل‌ها در سازندهای آهکی لار، سازند قرمز بالایی و هزاردره برداشت شده است. با توجه به رخنمون این گسل‌ها در سازندهای نئوژن منطقه (واحدهای میوسن و پلیوسن)، می‌توان پی برد که این گسل‌ها از آثار دگرریختی در بازه نوزمینساخت به شمار می‌روند. نکته حائز اهمیت آن است که بر اساس شواهد دورسنجی و نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، این گسل‌ها در بخش‌های شمال باختری محدوده مورد مطالعه (منطقه رضاآباد)، موجب بریده شدن رسوبات کواترنری و قطع‌شدگی آبراهه‌ها در این نهشته‌ها شده‌اند، که مؤید فعالیت کواترنری این گسل‌ها می‌باشد (شکل ۳-۵۵).

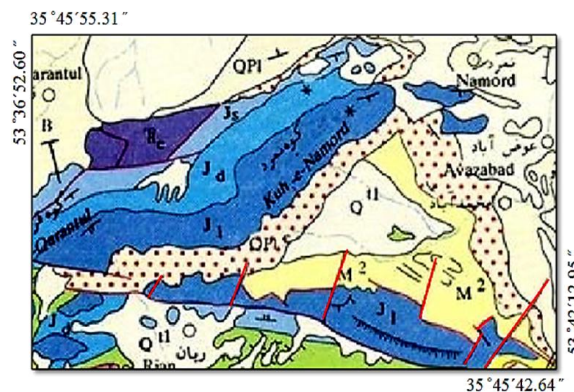
لازم به یادآوری است که تعدادی از گسل‌های مورد بحث در نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ فقط به صورت خطواره مشخص شده است (شکل ۳-۵۶). اما در این پژوهش، مورد بررسی هندسی و سینماتیکی تفصیلی قرار گرفته‌اند.



شکل ۳-۵۴- تصویر صحرایی از روندهای مختلف گسل‌های عرضی در یال جنوبی ناودیس رین (دید به سمت جنوب).



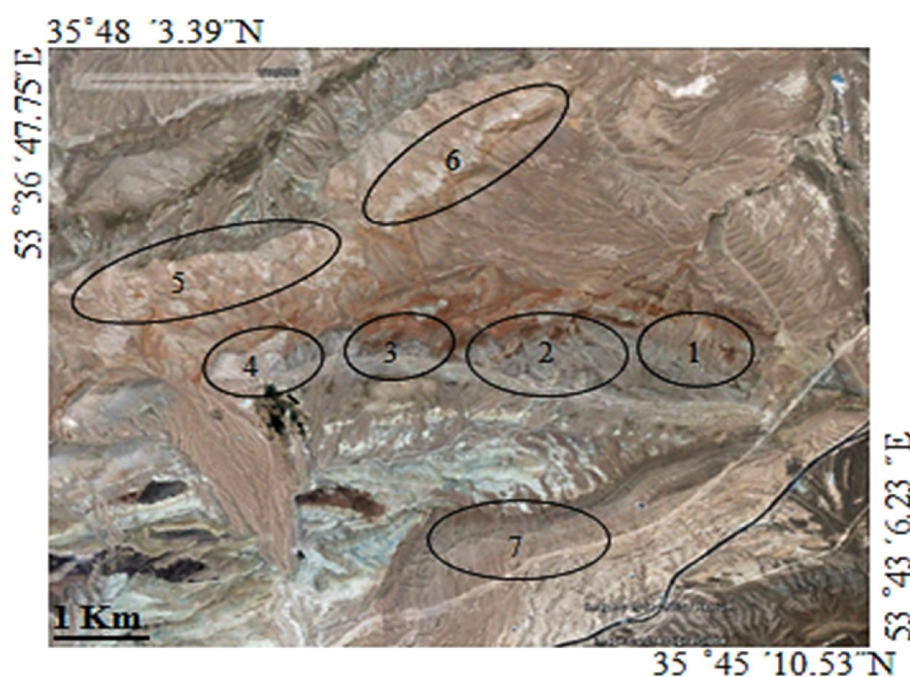
شکل ۳-۵۵- تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google Earth) از گسل عرضی در شمال باختری محدوده مطالعاتی که رسوبات کواترنری و آبراهه‌ها را قطع نموده است، ب: بخشی از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، که گسل‌های عرضی را با روند شمال خاوری- جنوب باختری نشان می‌دهد (علوی، ۱۳۵۱).



شکل ۳-۵۶- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که برخی از گسل‌های عرضی منطقه بر روی آن مشخص است (علوی، ۱۳۵۱).

هندسه و سازوکار گسل‌های عرضی

به منظور بررسی هندسه گسل‌های عرضی، از تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های میدانی ۱۳۱ سطح گسل استفاده شده است. داده‌های مربوط به این گسل‌ها عمدتاً از سازندهای لار، سازند قرمز بالایی و هزاردره در هفت ایستگاه از منطقه جمع‌آوری شده است. محل این ایستگاه‌ها در تصویر ماهواره‌ای شکل ۳-۵۷ مشخص می‌باشد. به طور کلی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از مطالعات میدانی (پیوست ۸)، گسل‌های عرضی منطقه در دو گروه شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری قرار می‌گیرند. در ادامه به هر گروه از این گسل‌ها به طور جداگانه پرداخته شده است.

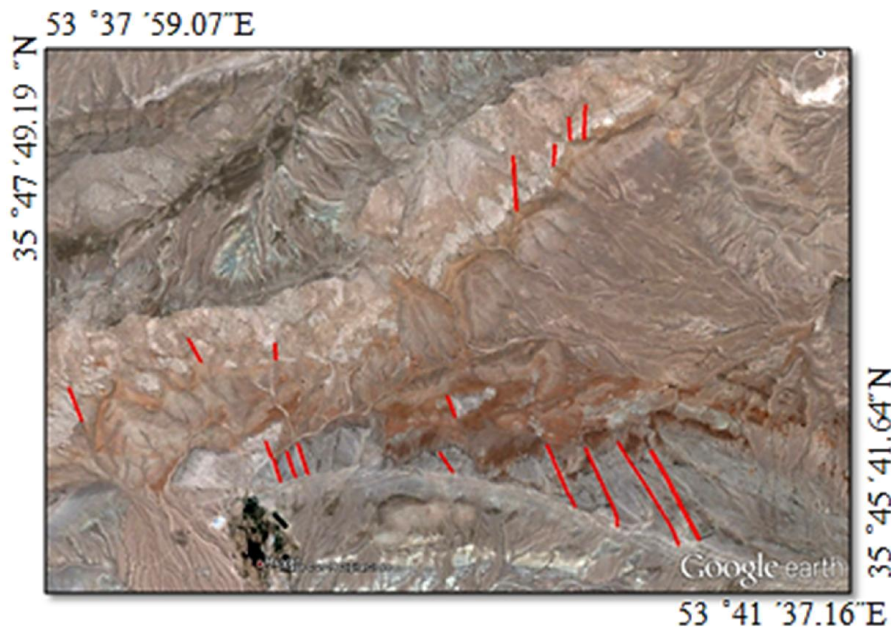


شکل ۳-۵۷- تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth) که نشان‌دهنده ایستگاه‌های برداشت ۱ تا ۷ از سطوح گسل‌های عرضی می‌باشد.

۱-۲-۱-۳- گسل‌هایی با روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری

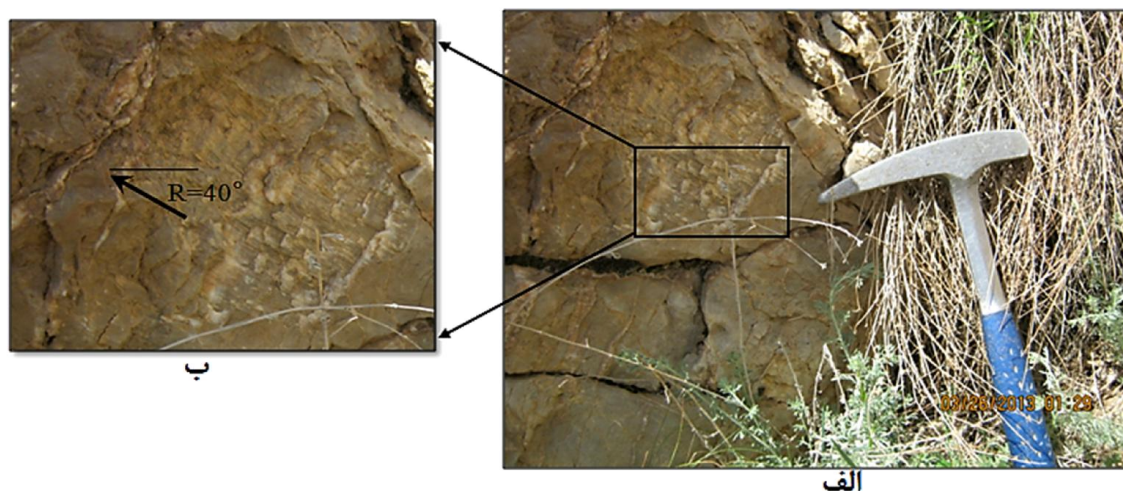
بیشترین داده‌های صحرایی در برداشت گسل‌های عرضی منطقه، مربوط به گسل‌هایی با روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری می‌باشد که تصویر ماهواره‌ای برخی از این سطوح در شکل

۵۸-۳ آورده شده است. تصاویر صحرایی از عملکرد این گسل‌ها در هر ایستگاه در شکل ۵۹-۳ تا شکل ۶۸-۳ نشان داده شده است.



شکل ۵۸-۳- تصویر ماهواره‌ای لندست برخی از گسل‌های روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری در منطقه (برگرفته از Google earth).

تشخیص سازوکار سطوحی با روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاور در ایستگاه ۲، بر مبنای حضور پله‌های گسلی صورت گرفته است. در شکل ۵۹-۳ نمونه‌ای از این سطوح با موقعیت $N20^{\circ}W, 85^{\circ}NE$ به همراه خراش‌هایی با ریک ۴۰ درجه ساعتگرد نشان داده شده است که با توجه به رشد رشته‌های باریک کانیایی در پشت پله‌های گسلی حرکت گسل از نوع معکوس راست‌بر تشخیص داده شد. در رخنمون دیگر از این ایستگاه، پدیده برشی شدن به موازات سطح گسل با روند تقریبی $N10^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ در سازند آهکی لار اتفاق افتاده است که بر روی سطوح صیقلی آن خش‌لغزهای افقی به همراه ریخت‌شناسی پله‌های گسل حاکی از سازوکار راستالغز راست‌بر برای این سطح گسل می‌باشد (شکل ۶۰-۳).



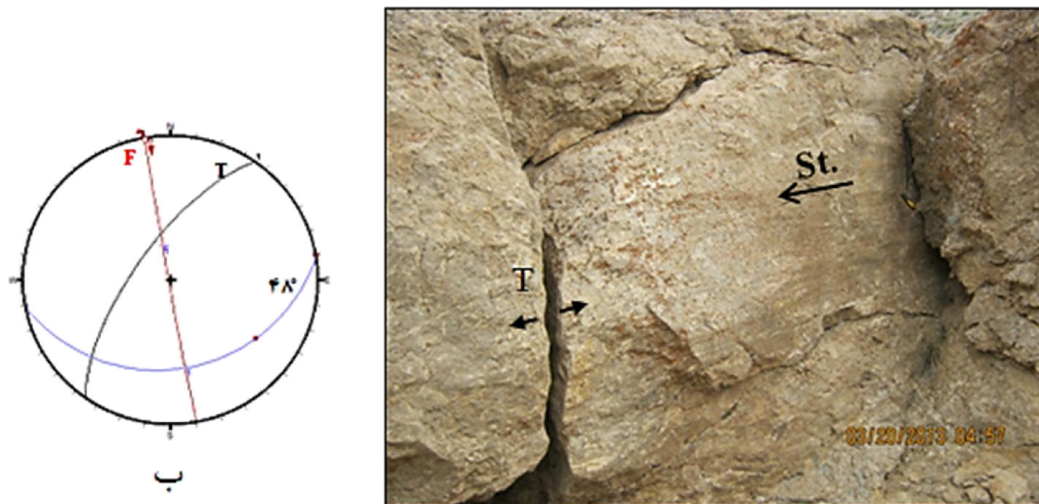
شکل ۳-۵۹- نمایی از سطح گسل با موقعیت $N20^{\circ}W, 85^{\circ}NE$ بر روی سازند آهکی لار در ایستگاه ۲ (دید به سمت باختر)، ب: رشد رشته‌های باریک کانیایی در پشت پله‌های گسلی به همراه خش‌لغزهایی با ریک 40° درجه، حرکت معکوس راست‌بر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶۰- الف: برشی شدن سازند لار در اثر عملکرد گسل شمالی- جنوبی در ایستگاه ۲ (دید به سمت جنوب)، ب: سطح گسل با موقعیت $N10^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ به همراه خراش‌های افقی که حضور پله‌های گسلی حاکی از حرکت راست‌بر گسل می‌باشد (دید به سمت باختر).

سازوکار گسل‌های عرضی مورد بحث در ایستگاه ۳ به کمک سطح شکستگی با موقعیت $N35^{\circ}E, 70^{\circ}NW$ که به صورت بازشدگی بر روی سطح گسل با روند تقریبی شمالی- جنوبی با شیب قائم $(N10^{\circ}W, 90)$ رخنمون داشته مورد بررسی واقع شد. با توجه به اینکه هیچ‌گونه آثار حرکتی بر روی شکستگی موجود ثبت نشده است و نیز بر خش‌لغزهای روی سطح گسل عمود بوده و زاویه 48° درجه با آن می‌سازد؛ لذا این شکستگی از نوع کششی (T) در نظر گرفته شده است. از آنجا که در این

شکستگی‌ها نوک گوئه ساخته شده توسط سطح شکستگی و سطح اصلی گسل خلاف حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد. بنابراین سازوکار گسل از نوع راستالغز راست‌بر تشخیص داده شده است (شکل ۳-۶۱).



الف

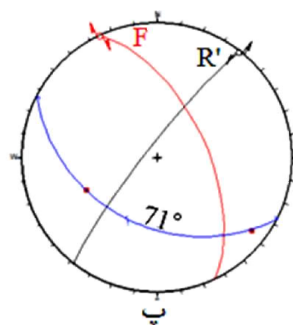
شکل ۳-۶۱- الف: نمایی از شکستگی T بر روی سطح گسل عرضی در سازند لار (ایستگاه ۳)؛ نوک گوئه ساخته شده توسط سطح شکستگی و گسل خلاف جهت حرکت بلوک گم شده را نشان می‌دهد (دید به سمت جنوب)، ب: نمودار استریوگرام بدست آمده از سطح گسل (F) و شکستگی T مرتبط با آن.

یکی دیگر از رخنمون گسل‌های عرضی در ایستگاه ۳ متعلق به سطحی دارای موقعیت $N25^{\circ}W, 65^{\circ}NE$ به همراه خش‌لغزهای افقی بر روی آن می‌باشد. با توجه به اینکه سطح شکستگی با موقعیت $N38^{\circ}E, 83^{\circ}NW$ عمود بر خراش‌های افقی بوده و با سطح اصلی گسل زاویه 71° درجه می‌سازد و در راستای خود جابجایی چپ‌بر از خود نشان می‌دهد؛ لذا این شکستگی از نوع R' بوده که به صورت مانعی در مسیر حرکت گسل قرار گرفته است. با توجه به مطالبی که پیش‌تر نیز در مورد برشی‌های R' گفته شد، این برشی‌ها ناهمسو با حرکت گسل بوده، بنابراین سازوکار گسل از نوع راستالغز راست‌بر می‌باشد (شکل ۳-۶۲).



ب

الف



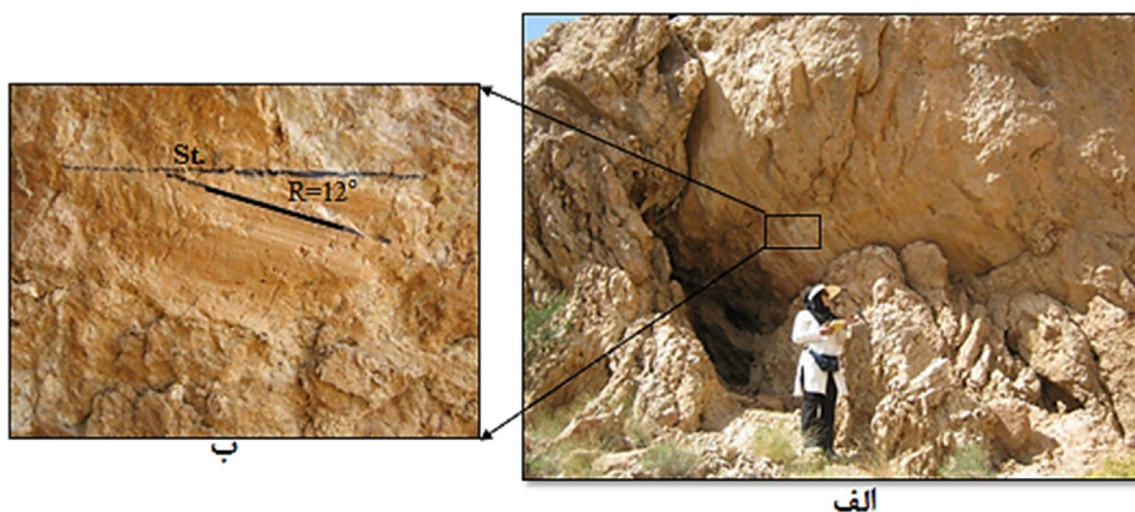
شکل ۳-۶۲- الف: نمایی از سطح گسل با موقعیت $N25^{\circ}W, 65^{\circ}NE$ به همراه خراش‌هایی با ریک صفر درجه در سازند لار در ایستگاه ۳ (دید به سمت جنوب خاور)، ب: وجود شکستگی‌های R' در مسیر گسل با موقعیت $N38^{\circ}E, 83^{\circ}NW$ (دید به سمت شمال)، پ: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین سطح گسل و برشی R' .

از جمله پدیده‌ای که در سازند آهکی لار واقع در ایستگاه ۴ مشاهده شده است جابجایی لامینه باریک و ظریف در راستای گسل عرضی با روند شمالی- جنوبی می‌باشد (شکل ۳-۶۳). در برخورد با این پدیده دو تحلیل امکان پذیر است؛ اول اینکه قطع‌شدگی لامینه یک جدایش ظاهری (Separation) باشد که در این صورت انتظار می‌رود که لامینه با همان امتداد بالا بیاید و در اثر فرسایش، نشان‌دهنده یک جابجایی ظاهری باشد. دوم آنکه در اثر گسلش، جابجایی امتدادلغز در این پدیده رخ داده باشد در این صورت باید به دنبال نشانه‌ای در طرفین گسل بود؛ در اینجا آنچه این گمان را محتمل‌تر می‌سازد حضور یک خم کوچک در لامینه در مجاورت سطح گسل می‌باشد که جابجایی از نوع راستبر را به نمایش می‌گذارد.



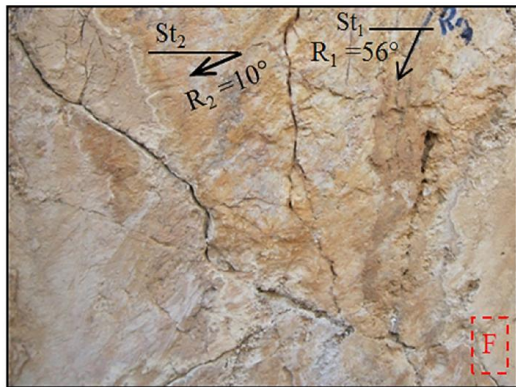
شکل ۳-۶۳- قطع‌شدگی و جابجایی راستبر لامینه در راستای گسل شمالی- جنوبی در سازند لار واقع در ایستگاه ۴.

همانطور که ذکر گردید گسل‌های شمالی- جنوبی گاه‌ها در بخش‌های شمالی منطقه نیز امتداد یافته‌اند که در بازدیدهای صحرایی در ایستگاه ۵ و ۶ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در شکل ۳-۶۴ دیواره‌ای از گسل‌های عرضی که در مجاورت آن برش گسلی از سازند لار بوجود آمده است، مشاهده می‌شود. در این مکان سطح گسل با موقعیت $N25^{\circ}W, 60^{\circ}NE$ به همراه خش‌لغزهایی با زاویه ریک ۱۲ درجه برداشت شده است که حرکت راستالغزی با مؤلفه کوچک شیب‌لغزی در امتداد گسل را نشان می‌دهد.

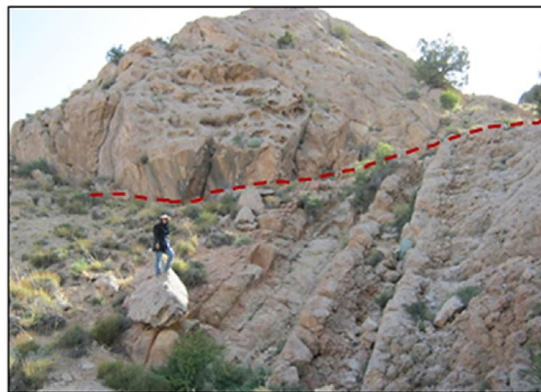


شکل ۳-۶۴- الف: نمایی از سطح گسل با روند $N25^{\circ}W, 60^{\circ}NE$ در ایستگاه ۵ (دید به سمت شمال)، ب: وجود خراش گسلی با ریک ۱۲ درجه نشان‌دهنده حرکت راستالغز گسل می‌باشد.

بارزترین رخنمون از عملکرد گسل‌های شمالی- جنوبی در مرز سازند آهکی لار و سازند قرمز بالایی واقع در ایستگاه ۶ منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. در این ایستگاه لایه‌بندی نهشته‌های میوسن توسط گسل عرضی (F) با روند تقریبی $N17^{\circ}W, 55^{\circ}SW$ قطع شده است. به طوریکه سازند لار در فرادیواره گسل و سازند قرمز بالایی در فرودیواره آن قرار دارد (شکل ۳-۶۵-الف). نحوه عملکرد گسل در این ایستگاه به دلیل فرسایش سطح آن، به کمک شواهد چین‌نگاری و شاخص ریخت‌شناسی سطح گسل از نوع برشی ریدل مورد بررسی قرار گرفته است. بر روی این سطح گسلی دو نسل خش‌لغز با زاویه ریک $R_1=56^{\circ}$ و $R_2=10^{\circ}$ دیده شده است (شکل ۳-۶۵-ب). از آنجا که خش‌لغزهای با زاویه ریک کمتر (St_2) خراش‌های با ریک بالاتر (St_1) را قطع نموده است لذا جدیدترین سازوکار برای گسل از نوع راست‌الغز می‌باشد. با تلفیق شواهد چین‌نگاری (رانده شدن سازند لار بر روی سازند قرمز بالایی) و حضور خراش‌هایی با ریک ۵۶ درجه پادساعتگرد بر روی این سطح می‌توان سازوکار گسل را برای نسل اول خراش‌های گسلی (St_1)، از نوع معکوس راست‌بر دانست. با بررسی برشی ریدل مرتبط با این گسل نیز مشخص گردید که این برشی از نوع R بوده، بدین ترتیب که با موقعیت $N5^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ با سطح گسل (F) زاویه ۲۵ درجه می‌سازد و دارای سازوکار راست‌بر می‌باشد (شکل ۳-۶۵-پ و ج) زیرا بر روی این برشی، سطوح شکستگی با موقعیت $N20^{\circ}W, 88^{\circ}SW$ مشاهده شد (نسل دوم برشی ریدل) که بر خراش‌های افقی عمود بوده و ضمن زاویه ۲۳ درجه‌ای که با سطح اصلی خود (R) ساخته (شکل ۳-۶۵-ت و ث)، جابجایی راست‌بر از خود نشان می‌دهد. لذا این سطوح شکستگی از نوع P بوده و حاکی از راست‌بر بودن این سطح دارد. با توجه به حضور برشی R موجود بر روی گسل (F) می‌توان نحوه عملکرد این گسل را برای خراش‌های گسلی نسل دوم، از نوع راست‌بر تشخیص داد.



ب



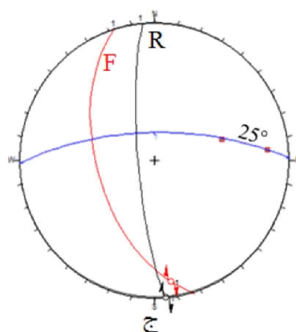
الف



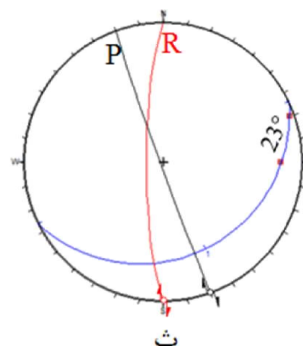
ت



پ



ج



ث

شکل ۳-۶۵- الف: قطع لایه‌بندی سازند قرمز بالایی توسط گسل عرضی (F) واقع در ایستگاه ۶ (دید به سمت شمال باختر)، ب: سطح گسل (F) با موقعیت $N17^{\circ}W, 55^{\circ}SW$ به همراه دو دسته خراش با ریک‌های $St_1=56^{\circ}$ ، $St_2=10^{\circ}$ (برداشت روی فرادیواره)، پ: نمایی از سطح گسل عرضی (F) به همراه تشکیل برشی R مرتبط با آن به موقعیت $N5^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ ، ت: تصویری از سطح برشی R و برشی P تشکیل شده بر روی آن که عمود بر خش‌لغزهای افقی است، ث: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه برشی P و سطح R، ج: نمودار نشان‌دهنده زاویه بین برشی R با سطح اصلی (F).

همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد رخنمون گسل‌های عرضی در سازندهای جوان مانند نهشته‌های نئوژن از جنبه آثار دگرریختی در بازه زمانی نوزمینساختی دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. لذا مشاهده

گسل‌هایی با روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری در سازند هزاردره در برخی از ایستگاه‌ها از جمله ایستگاه ۶ حکایت از عملکرد جوان این گسل‌ها دارد. ایجاد پرتگاه گسلی و بریده شدن قطعات بزرگ و کوچک تشکیل‌دهنده کنگلومرای پلیو-پلئیتوسن از نشانه‌های عملکرد گسل در این رخنمون است (شکل ۳-۶۶). همچنین برداشت‌های میدانی بر روی این سطوح گسلی، خط اثر شکستگی‌های عمود بر خش‌لغزهایی با ریک نزدیک به افق (حرکت راستالغزی) را نشان می‌دهد که معرف برشی‌های نوع P و R' می‌باشند. این شکستگی‌ها به ترتیب دارای موقعیت $N52^{\circ}W, 90^{\circ}$ و $N50^{\circ}E, 63^{\circ}SE$ بوده و در راستای خود بر روی سطح گسل با موقعیت $N25^{\circ}W, 83^{\circ}NE$ ، جابجایی از نوع راست‌بر (P) و چپ‌بر (R') نشان می‌دهند. ضمن آنکه پس از ترسیم استریوگرام مربوط به سطح گسل و برشی‌های مرتبط با آن مشخص می‌شود که برشی‌های P و R' به ترتیب زاویه ۱۷ و ۷۳ درجه با سطح گسل می‌سازند. بنابراین سازوکار امتدادلغز راست‌بر برای این دیواره گسلی به اثبات می‌رسد (شکل ۳-۶۷). لازم به یادآوری است که میزان زاویه بدست آمده برای برشی‌های مرتبط با این سطح گسل با مقادیر حاصل از روش محاسباتی برای برشی‌های P و R' کنگلومرای هزاردره تقریباً همخوانی دارد.



ب

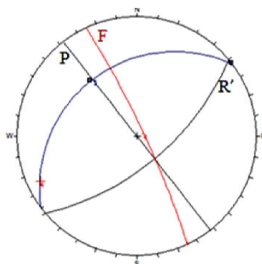


الف

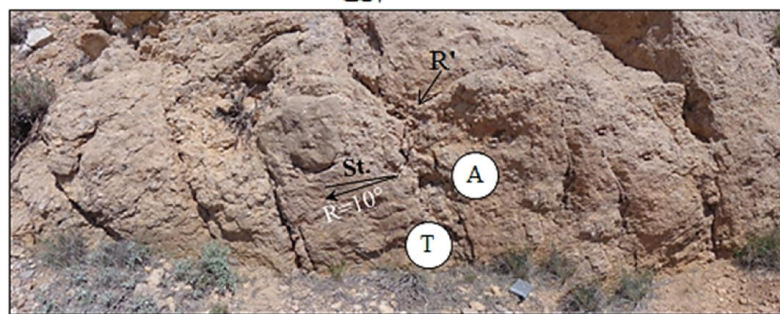
شکل ۳-۶۶- الف: نمایی از دیواره گسلی با روند شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری بر روی سازند هزاردره در ایستگاه ۶ (دید به سمت جنوب)، ب: تصویری از شکستگی قطعات کنگلومرای پلیو- پلئیتوسن در سطح گسل‌های عرضی.



الف



پ

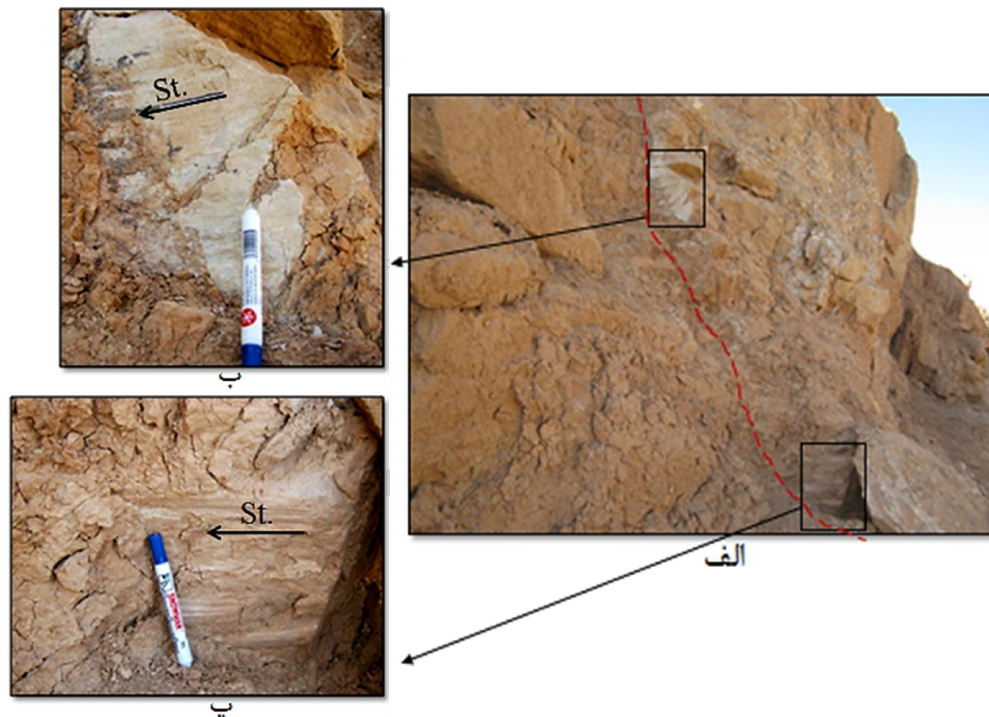


ب

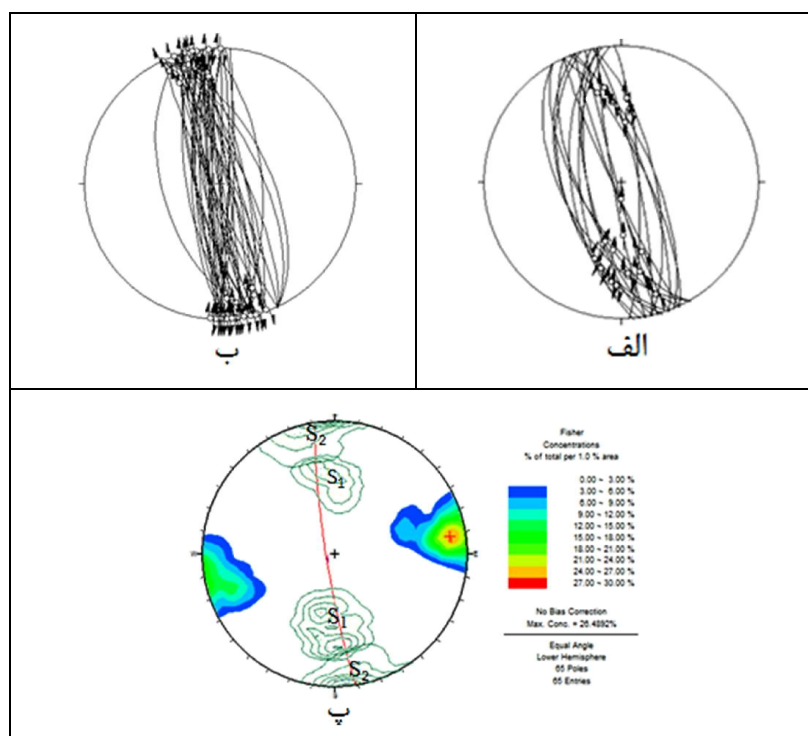
شکل ۳-۶۷- رخنمونی از گسل‌های عرضی در ایستگاه ۶ به مختصات $41^{\circ}10'6''$ E و $35^{\circ}47'33.2''$ N در سازند هزاردره، الف: سطح گسل با موقعیت $N25^{\circ}W, 83^{\circ}NE$ به همراه خش‌لغزهای افقی که عمود بر برشی P است (دید به سمت جنوب خاور)، ب: نمایش حضور خش‌لغزهایی با ریک ۱۰ درجه که عمود بر شکستگی‌های R' بر روی گسل می‌باشد، پ: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه تشکیل شده میان سطح گسل و برشی‌های P و R' بر روی آن.

حائز اهمیت است که مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی از این گروه گسل‌های عرضی، در ایستگاه ۷ در نهشته‌های میوسن نیز حاکی از عملکرد راست‌بر این گسل‌ها دارد. در شکل ۳-۶۸ تصویری از این سطوح دیده می‌شود که در امتداد خش‌لغزهای افقی موجود بر روی آنها جابجایی راست‌الغز بلوک‌های گسلی به طور راست‌بر صورت گرفته است.

با توجه به آنچه گفته شد، میانگین وضعیت هندسی برای این گروه از گسل‌های عرضی بر اساس داده‌های برداشت از ایستگاه‌های هفت‌گانه (پیوست ۸)، $N10^{\circ}W, 85^{\circ}SW$ به دست آمده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار هم‌تراز قطب آنها برای یافتن روند غالب در استریوگرام‌های شکل ۳-۶۹ نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار ملاحظه می‌شود، برای این دسته گسل‌های عرضی می‌توان دو نسل خش‌لغز (S_1 و S_2) به ترتیب با موقعیت میانگین $31/180$ و $00/177$ تعیین نمود.



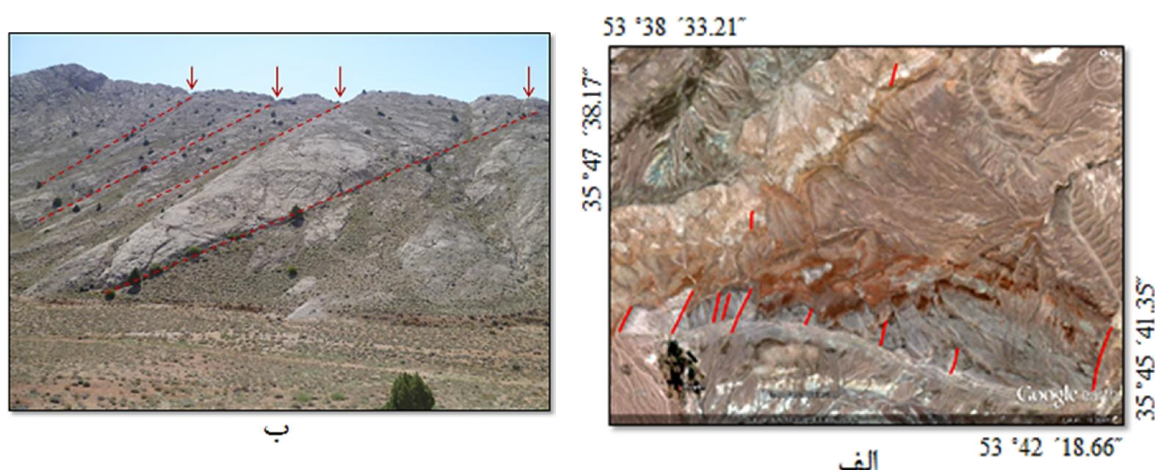
شکل ۳-۶۸- الف: سطح گسل با موقعیت $N20^{\circ}W, 86^{\circ}NE$ ، دارای خش‌لغزهای افقی که جابجایی راستبر دو بلوک گسلی در امتداد سطح گسل صورت گرفته است، ب و پ: نمای نزدیک از خراش‌های افقی بر روی سطح گسل.



شکل ۳-۶۹- تصاویر سیکلوگرافیک مرتبط با گسل‌های عرضی شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری، الف و ب: به ترتیب سطوح گسلی دارای خراش‌های مورب‌لغز و افقی را نشان می‌دهند، پ: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب $N10^{\circ}W, 85^{\circ}SW$ را برای این گروه از گسل‌های عرضی به همراه میانگین کنتور خراش برای دو نسل خش‌لغز S_1 و S_2 نشان می‌دهد.

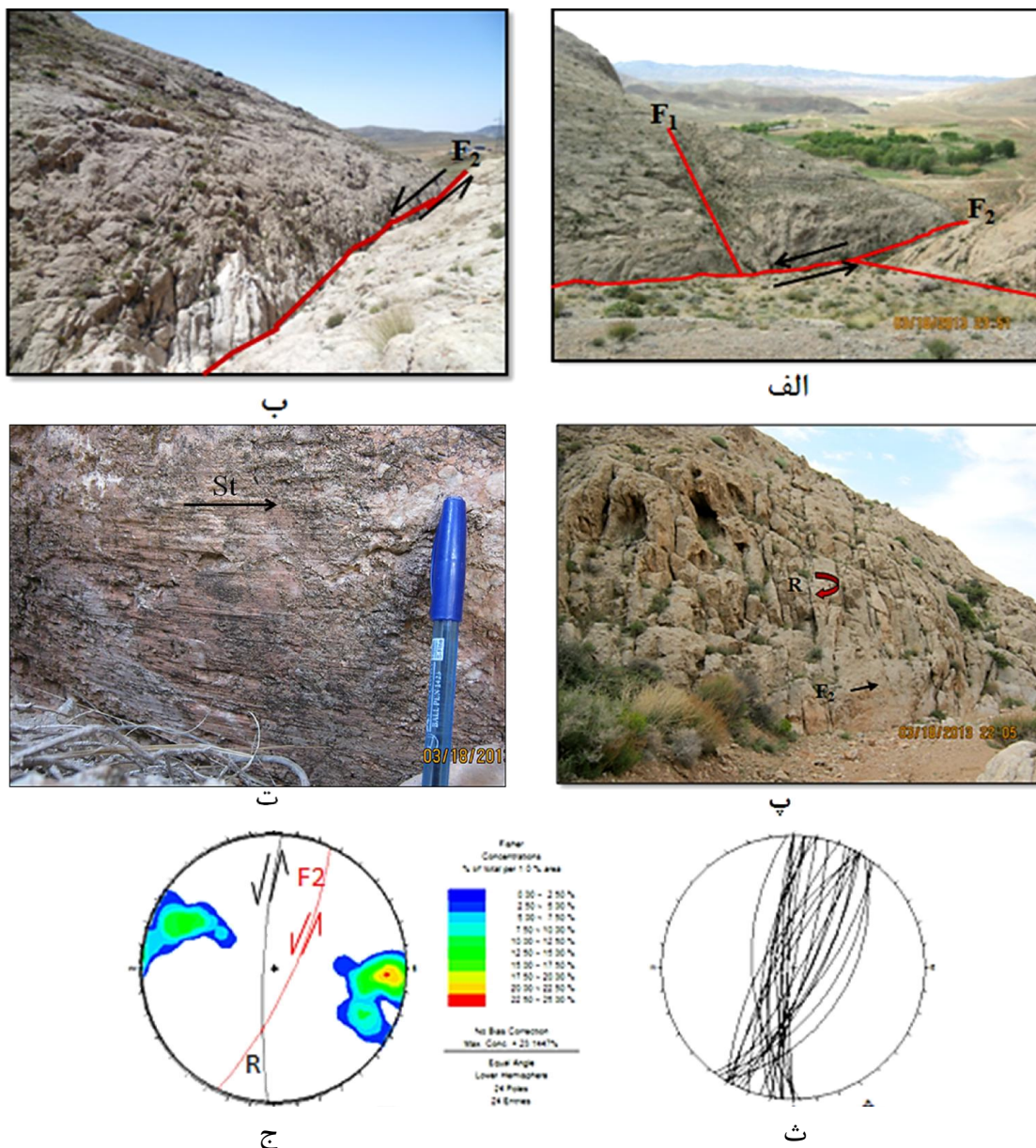
۳-۲-۱- گسل‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری

گروه دیگر از گسل‌های عرضی در منطقه متعلق به گسل‌هایی با روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری می‌باشد که برخی از آنها در نقشه زمین‌شناسی جام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ فقط به صورت یک خطواره مشخص شده است. روند سطوح گسلی مورد بحث در تصاویر دورسنجی با روند مشاهده شده در صحرا مطابقت دارد (شکل ۳-۷۰).



شکل ۳-۷۰- الف: تصاویر برخی از گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری در منطقه مورد مطالعه؛ الف: تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth)، ب: تصویر صحرایی از روند این گسل‌ها (دید به سمت جنوب).

بهترین داده‌های مربوط به این گروه از گسل‌های عرضی از ایستگاه ۴ برداشت گردیده است. در بازدیدهای صحرایی صورت گرفته در این ایستگاه، یکی از گسل‌های عرضی منطقه (F_2) که به موازات آن دره گسلی ایجاد شده است؛ بر اساس شواهد مورفولوژی منطقه، شاخه‌ای از گسل رین جنوبی (F_1) را به صورت چپ‌بر جابجا نموده است (شکل ۳-۷۱- الف). پس از برداشت دسته شکستگی‌های مرتبط با این دره گسلی (پیوست ۹) و ترسیم استریوگرام‌های مربوط به آن (شکل ۳-۷۱- ث و ج)، مشاهده شد که این سطوح اریب از نوع R با موقعیت میانگین $N2^{\circ}E, 80^{\circ}W$ می‌باشند که نسبت به یکدیگر به صورت چپ‌بر و پوششی قرار گرفته‌اند و با میانگین سطوح گسلی زاویه 27° درجه می‌سازد. از این رو علاوه بر شواهد مورفولوژی منطقه، برشی‌های R مرتبط با گسل نیز، تأییدی بر حرکت چپ‌بر این گسل عرضی می‌باشد.



شکل ۳-۷۱- الف: جابجایی چپ‌بر گسل F_1 توسط گسل عرضی F_2 (دید به سمت جنوب خاور)، ب: نمایی از دره گسلی که به موازات گسل عرضی F_2 است (دید به سمت جنوب)، پ: نمای برشی‌های R شکل گرفته بر روی گسل عرضی F_2 (دید به سمت جنوب)، ت: نمای نزدیک از سطح گسل F_1 به همراه خراش‌های افقی، ث: نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل عرضی F_2 و شکستگی‌های مرتبط با آن (R)، ج- نمودار هم‌تراز قطب صفحات، که روند غالب $N25^{\circ}E, 74^{\circ}SE$ را برای گسل عرضی F_2 و روند غالب $N2^{\circ}E, 80^{\circ}W$ را برای برشی‌های R نشان می‌دهد.

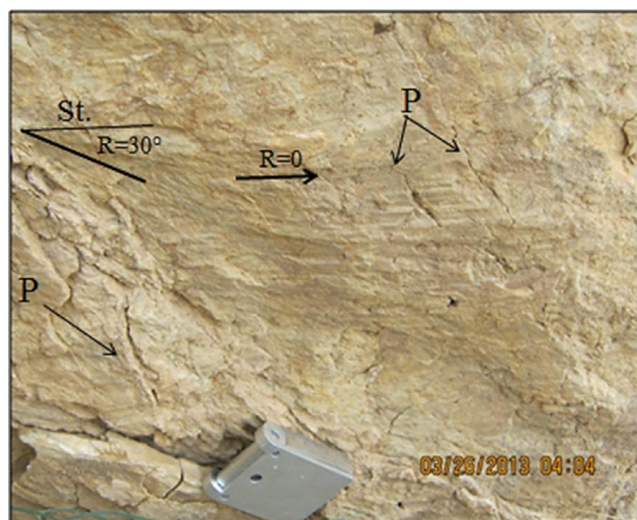
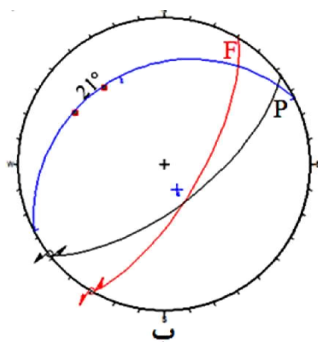
از جمله آثار عملکرد گسل عرضی F_2 در این ایستگاه، می‌توان به دره گسلی واقع در شمال کلاته رین، و ایجاد چشمه‌ای به همین نام در پایانه جنوب باختری آن اشاره نمود (شکل ۳-۷۲). این گسل عرضی

به همراه تشکیل شکستگی‌های مرتبط با خود این دره را به زون خردشده با نفوذپذیری بالا تبدیل نموده است. لذا باعث زهکشی کردن آب ثقیلی موجود در بخش‌های مختلف سه سازند دلیچای، لار و قسمت‌هایی از کنگلومرای قرمز بالایی از بخش‌های شمالی منطقه می‌شود که آب زیرزمینی را به چشمه رین هدایت کرده و در ایجاد این چشمه نقش بسزایی داشته است.



شکل ۳-۷۲- پایانه جنوب باختری گسل عرضی منطقه و دره گسلی ناشی از فعالیت آن به همراه نمایش محل چشمه رین (دید عکس به سمت جنوب).

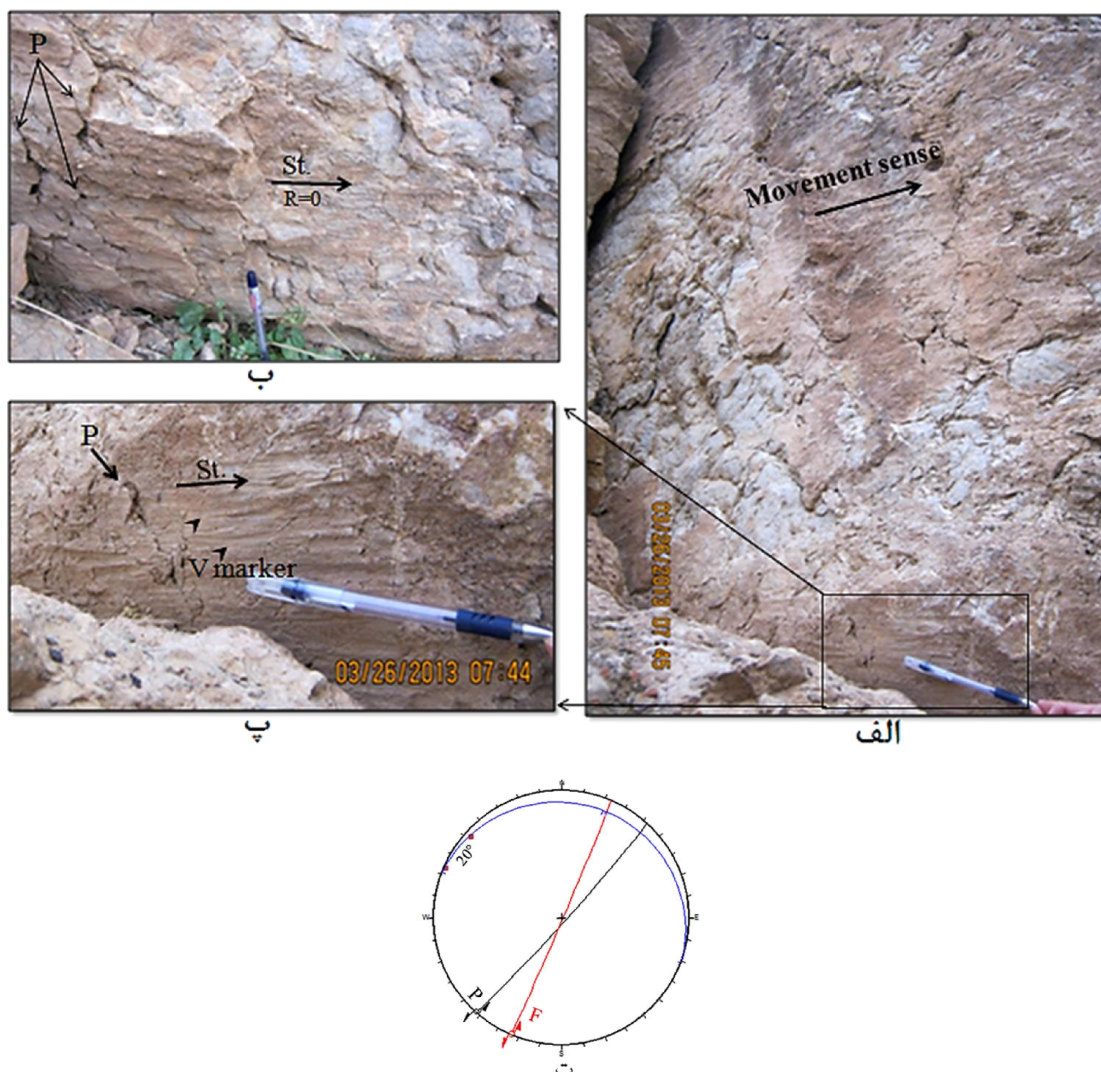
مشاهدات و برداشت‌های صحرایی در ایستگاه ۲ رخنمونی را نشان می‌دهد که نحوه سازوکار سطح گسلی، با شاخص برشی‌های نوع P و پله‌های گسل قابل شناسایی می‌باشد (شکل ۳-۷۳-الف). این سطح گسل دارای موقعیت $N30^{\circ}E, 70^{\circ}SE$ بوده و بر روی آن دو دسته خش‌لغز با ریک 30 درجه و صفر درجه مشاهده شده است. با توجه به حضور دو دسته خش‌لغز متقاطع بر روی این سطح (دسته خش‌لغزهای افقی، خراش‌های با ریک بالا را قطع نموده‌اند)، جوانترین فاز حرکت گسل از نوع راست‌الغز می‌باشد. حضور پله‌های گسلی و برشی P با موقعیت $N49^{\circ}E, 80^{\circ}SE$ که عمود بر خراش‌های افقی بوده و بر روی سطح گسل در راستای خود جابجایی چپ‌بر نشان می‌دهند و با آن زاویه ۲۱ درجه می‌سازد (شکل ۳-۷۳-ب). حرکت برای مؤلفه راست‌الغزی گسل از نوع چپ‌بر می‌باشد.



الف

شکل ۳-۷۳- الف: سطحی بر روی سازند آهکی لار در ایستگاه ۲، با موقعیت $N30^{\circ}E, 70^{\circ}SE$ به همراه دو نسل خراش با ریک ۳۰ درجه و صفر درجه؛ حضور برشی‌های P و پله گسلی بر روی این سطح نشان‌دهنده سازوکار چپ‌بر برای گسل است، برداشت در فرادیواره (دید به سمت باختر)، ب: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه بین سطح گسل و برشی P.

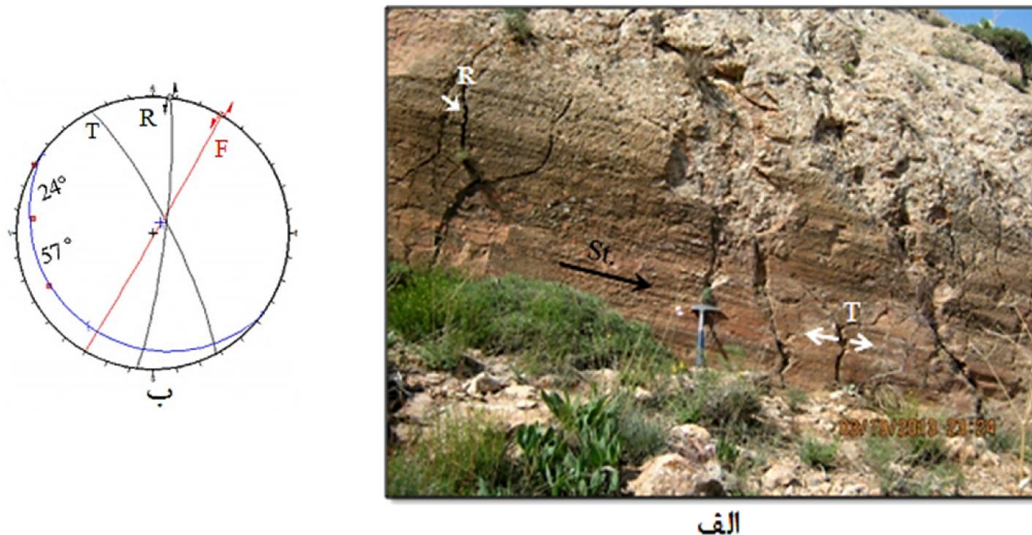
از دیگر مطالعات صحرایی در ایستگاه ۲ برداشت بر روی دیواره گسل با موقعیت $N23^{\circ}E, 90^{\circ}$ می‌باشد. (شکل ۳-۷۴- الف) که با توجه به خراش‌های افقی بر روی آن با حضور نشانه‌های V شکل و برشی نوع P سازوکار این گسل از نوع راستالغز چپ‌بر تشخیص داده شد. همانطور که در مباحث پیشین نیز اشاره گردید یکی از انواع نشانه‌های V شکل، اشکال هویجی می‌باشد. در این نشانه‌ها نوک V خلاف جهت حرکت بلوک گم شده (یا سمت حرکت خود بلوک حامل) را نشان می‌دهد. بنابراین نحوه حرکت بر مبنای این شاخص راستالغز چپ‌بر می‌باشد (شکل ۳-۷۴- پ). علاوه بر این، وجو برشی نوع P بر روی این سطح با موقعیت $N42^{\circ}E, 87^{\circ}SE$ که بر خراش‌های افقی عمود بوده و در راستای خود بر روی سطح اصلی گسل جابجایی چپ‌بر نشان می‌دهد نیز تأییدی بر سمت حرکت گسل به صورت چپ‌بر می‌باشد. ضمن آنکه این برشی با سطح گسل زاویه ۲۰ درجه می‌سازد (شکل ۳-۷۴- ب و ت).



شکل ۳-۷۴- الف: دیوارهٔ گسل عرضی در ایستگاه ۲ (دید به سمت باختر)، ب: تصویر نزدیک از ادامه سطح گسل در شکل الف با موقعیت $N23^{\circ}E, 90^{\circ}$ به همراه برشی P عمود بر خراش‌های افقی، پ: نمای نزدیک از تصویر الف، حضور نشانه‌های هویجی شکل به همراه برشی P بر روی سطح گسل، ت: استریوگرام نشان‌دهندهٔ زاویهٔ بین برشی P و سطح گسل.

از دیگر رخنمون برداشت گسل‌های عرضی مورد بحث در ایستگاه ۳ در سازند لار می‌باشد. موقعیت سطح گسل در این مکان دارای روند $N30^{\circ}E$ با شیب نسبتاً قائم است. همانطور که در شکل ۳-۷۵ ملاحظه می‌شود برشی‌های ریدل نوع R و T بوجود آمده بر روی سطح گسل که عمود بر خراش‌های افقی بوده، نحوهٔ سازوکار گسل را به صورت راستالغز چپ‌بر نشان می‌دهند. بدین ترتیب که برشی‌های R با موقعیت $N07^{\circ}E, 83^{\circ}SE$ در راستای خود بر روی سطح گسل جابجایی چپ‌بر از خود نشان می‌دهد و با سطح گسل زاویهٔ 24° درجه می‌سازد. شکستگی‌های نوع T ($N27^{\circ}W, 80^{\circ}NE$) که به

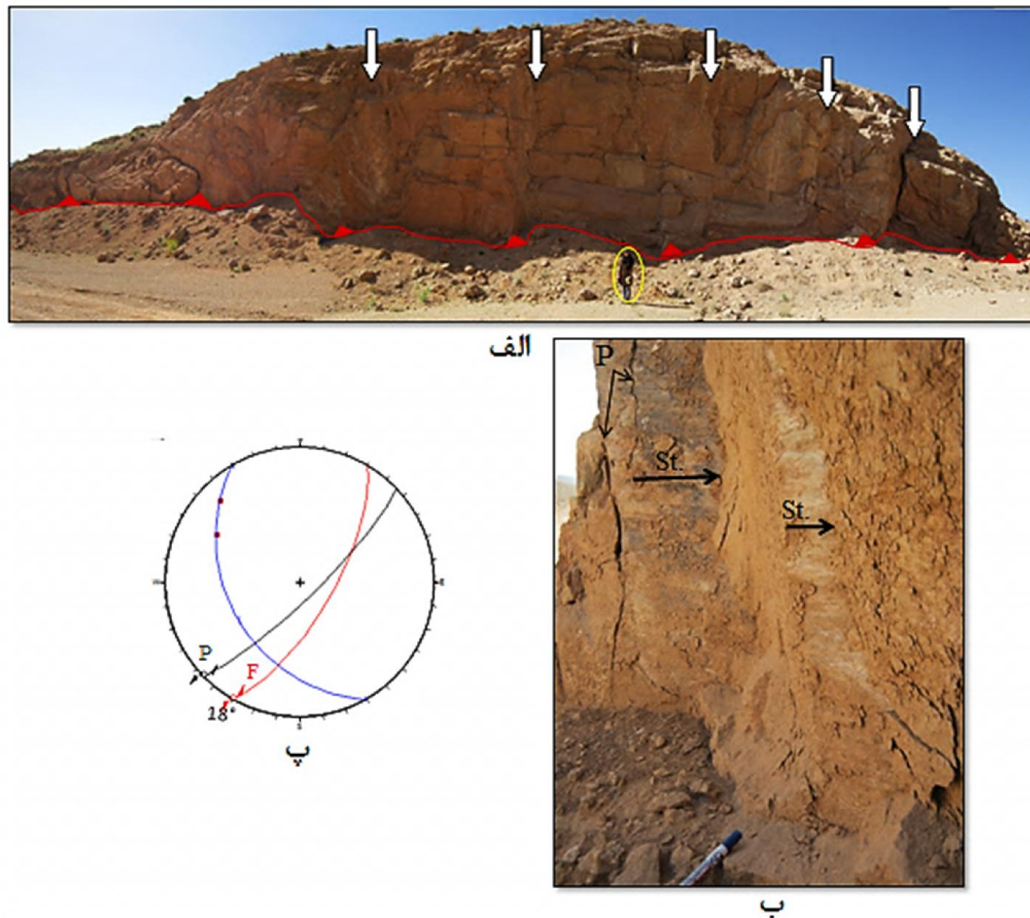
صورت بازشدگی‌هایی بر روی سطح گسل رخنمون دارند و بر روی آنها هیچ‌گونه آثار حرکتی دیده نمی‌شود، با سطح گسل زاویه ۵۷ درجه می‌سازند. از آنجا که برشی‌های R همسو با سازوکار گسل بوده و جهت شیب کمتر شکستگی‌های T در جهت حرکت بلوک گمشده می‌باشد؛ لذا نحوه حرکت گسل از نوع چپ‌بر می‌باشد.



الف

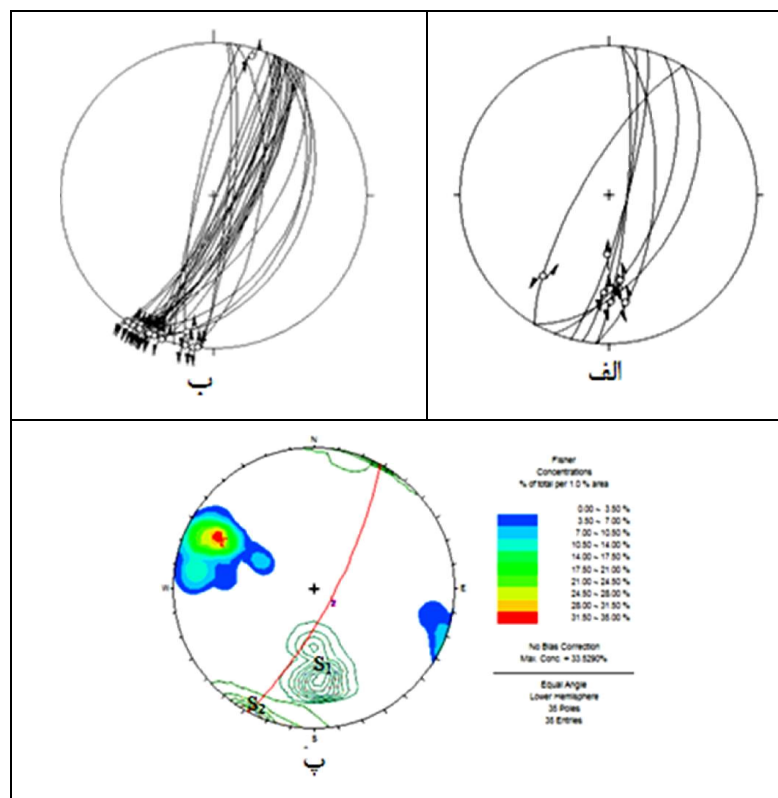
شکل ۳-۷۵- الف- نمایی از برشی R و شکستگی T بر روی سطح گسل با موقعیت N30E,90 در سازند لار (ایستگاه ۳)، فلش سیاه رنگ نشان‌دهنده جهت حرکت می‌باشد (دید به سمت شمال باختر)، ب و پ- استرایوگرام نشان‌دهنده زاویه میان برشی‌های R و T با سطح گسل.

از دیگر مکان‌های رخنمون گسل‌های عرضی در بخش‌های جنوبی منطقه (ایستگاه ۷)، در واحدهای مارنی- کنگلومرای سازند قرمز بالایی می‌باشد (شکل ۳-۷۶- الف). این سطوح با موقعیت میانگین N30°E,70°SE در راستای خود دارای جابجایی چپ‌بر می‌باشند و به طور عرضی نسبت به پهنه گسلی ابراهیم‌آباد قرار گرفته‌اند. خراش‌های گسلی با ریک صفر درجه به همراه جابجایی بلوک‌های گسلی به صورت چپ‌بر در امتداد آن و نیز حضور شاخص برشی نوع P، مؤید سازوکار راستالغزی چپ‌بر برای این سطوح گسلی است. برشی P با روند N46°E,80°SE و با جابجایی چپ‌بر در امتداد خود، بر خش‌لغزهای افقی سطح گسل عمود بوده و با سطح گسل زاویه ۱۸ درجه می‌سازد (شکل ۳-۷۶- ب و پ).



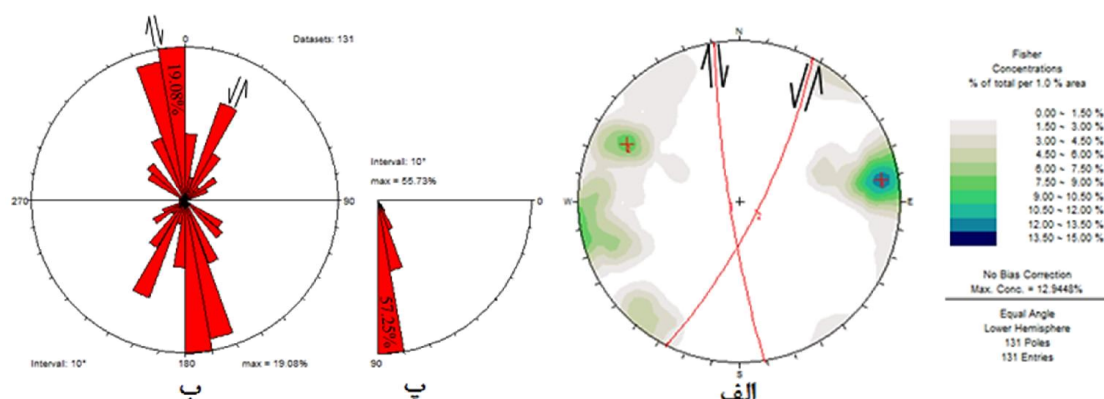
شکل ۳-۷۶- الف: نمایی از رخنمون گسل ابراهیم‌آباد در بخش‌های جنوبی منطقه که گسل‌هایی با روند شمال خاوری- جنوب باختری به صورت عرضی این گسل را قطع کرده‌اند (دید به سمت جنوب خاور). ب: تصویر جابجایی چپ‌بر بلوک‌های طرفین سطوح گسلی با روند میانگین $N20^{\circ}E, 70^{\circ}SE$ و نمایش برشی P عمود بر خراش‌های افقی، پ: استریوگرام نشان‌دهنده زاویه برشی P با میانگین سطوح گسل عرضی.

با توجه به مطالب فوق، میانگین وضعیت هندسی برای این گروه از گسل‌های عرضی بر اساس برداشت از ایستگاه‌های متعدد $N28^{\circ}E, 74^{\circ}SE$ به دست آمده است. این داده‌ها در پیوست ۱۰ درج شده است. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و نمودار هم‌تراز قطب آنها جهت یافتن روند غالب برای این گروه از گسل‌های عرضی به همراه دو نسل خش‌لغز S_1 و S_2 با موقعیت میانگین به ترتیب $40/175$ و $00/207$ در استریوگرام‌های شکل ۳-۷۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۷۷- تصاویر سیکلوگرافیک از گسل‌های عرضی شمال خاوری- جنوب باختری، الف: سطوح گسلی دارای خش‌لغزهای با ریک متوسط، پ: نمایش صفحات گسلی برداشت شده با خش‌لغزهای افقی، ت: نمودار همتراز قطب صفحات گسلی با روند شمال خاوری- جنوب باختری و تعیین صفحه غالب $N28^{\circ}E, 74^{\circ}SE$ به همراه دو نسل خراش گسلی (S_1 و S_2).

آنچه از پردازش و مطالعه داده‌های برداشت شده از تمامی سطوح گسل‌های عرضی منطقه و ترسیم نمودار همتراز قطب صفحات گسلی می‌توان پی برد آن است که این گسل‌ها در دو گروه عمده شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری که به ترتیب دارای روند غالب $N28^{\circ}E, 74^{\circ}SE$ و $N10^{\circ}W, 85^{\circ}SW$ می‌باشند، جای گرفته‌اند (شکل ۳-۷۸-الف). همچنین نمودار گل‌سرخ امتدادی این صفحات نیز بیان‌کننده آن است که $19/08\%$ داده‌ها متعلق به روند چیره شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری با سازوکار کنونی راستبر می‌باشند که با توجه به نمودار گل‌سرخ شیبی، $57/25\%$ از آنها دارای شیب بین 80° تا 90° دارند (شکل ۳-۷۸-ب و پ).



شکل ۳-۷۸- الف: نمودار همتراز قطب گسل‌های عرضی منطقه با تعیین دو روند غالب با موقعیت $N10^{\circ}W, 85^{\circ}W$ و $N28^{\circ}E, 74^{\circ}SE$ ؛ ب: نمودار گل‌سرخ امتدادی که دو روند غالب شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری را نشان می‌دهد؛ پ: نمودار گل‌سرخ شیبی؛ اغلب سطوح گسلی دارای شیب بین ۸۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند.

ریخت زمین‌ساخت گسل‌های عرضی

گسل‌ها با قطع کردن واحدهای رسوبی با توجه به خردشدگی و هوازدهی عمیقی که ایجاد می‌کنند، راهی را برای مجاری عبور آب فراهم کرده که به تدریج به دره‌هایی در مسیر رودخانه‌ها تبدیل می‌شوند. بارزترین سیمای زمین‌ریختی که در اثر عملکرد گسل‌های عرضی در منطقه قابل مشاهده می‌باشد دره‌های گسلی عمیق و ۷ شکل به همراه پرتگاه‌های گسلی به ارتفاع ۱۲ متر در امتداد این گسل‌ها است. این پرتگاه‌ها به عنوان یکی از علل تغییر ناگهانی ریخت‌شناسی منطقه، از دیواره‌های پر شیب و طویل، در اثر حرکت گسل و در طول آن تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۷۹- الف و ب). قطع شدن ناگهانی لایه‌های رسوبی در اثر عملکرد گسل‌های عرضی از دیگر نشانه‌های عملکرد این گسل‌ها می‌باشد (شکل ۳-۷۹- پ). همچنین از جمله تأثیرات مهم گسل‌های عرضی در منطقه می‌توان به قطع‌شدگی و جابجایی سازندهای جوان منطقه همچون نهشته‌های میوسن (سازند قرمز بالایی) و پلیو- پلیستوسن (سازند هزاردره) اشاره نمود (شکل ۳-۷۹- ت). از طرفی در راستای گسل‌های عرضی برش‌های گسلی توسعه یافته‌اند که بعضاً در برخی از رخنمون‌ها به ویژه در داخل دره‌های گسلی به خوبی قابل رؤیت می‌باشد (شکل ۳-۷۹- ث).



شکل ۳-۷۹- الف: اختلاف ارتفاع ایجاد شده بر اثر عملکرد گسل‌های عرضی و ایجاد دره‌ای با شیب تند (دید به سمت جنوب)، ب: نمای نزدیک از کادر زردرنگ در تصویر الف، پرتگاه ایجاد شده بر اثر عملکرد گسل‌های عرضی با شیب نزدیک به قائم و ارتفاع حدود ۱۲ متری در سازند لار (دید به سمت جنوب خاور)؛ پ: به دام افتادن ناگهانی لایه‌های سازند دلیچای توسط دو گسل عرضی منطقه (دید به سمت شمال خاوری)؛ ت: جابجایی نهشته‌های قرمز رنگ میوسن در اثر عملکرد گسل‌های عرضی و قرارگیری آنها در مجاورت سازند لار (دید به سمت جنوب)، ث: نمایی از برش گسلی در راستای گسل‌های عرضی در سازند لار (دید به سمت جنوب).

۳-۲- چین خوردگی

اطلاعات دورسنجی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد بخش اعظم منطقه مطالعاتی را چین‌هایی با مقیاس بزرگ تشکیل می‌دهند که در این پژوهش تاقدیس قرنترول، ناودیس رین و چین ابراهیم‌آباد (بنا به اعتبار نزدیکترین کلاته) نامگذاری شده‌اند. اندازه‌گیری چین‌های منطقه با برداشت موقعیت ۳۷۹ صفحه لایه‌بندی که نتیجه آن اطلاعات مربوط به ۱۹ چین بوده است، صورت پذیرفت. سپس موقعیت محور، سطح محوری و زاویه بین یالی با استفاده از روش‌های استریوگرافیک مورد تجزیه و تحلیل واقع شد و جایگاه آنها نیز در طبقه‌بندی فلوتی^۱ (۱۹۶۴)، بر اساس زاویه بین یالی و میل خط لولا و شیب سطح محوری مشخص گردید. مطالعه وضعیت این اشکال ساختمانی در منطقه نشان می‌دهد که روند غالب چین‌خوردگی، شمال خاوری- جنوب باختری می‌باشد.

۳-۲-۱- چین خوردگی در سازندهای مزوزوئیک

۳-۲-۱-۱- تاقدیس قرنترول

این تاقدیس در شمالی‌ترین بخش محدوده مطالعاتی، در واحدهای دولومیتی سازند الیکا که هسته این چین را تشکیل می‌دهد (علوی، ۱۳۵۱)، قرار گرفته است (شکل ۳-۸۰). براساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس قرنترول (پیوست ۱۱)، می‌توان بیان داشت که این چین یک تاقدیس مایل بوده که موقعیت خط لولای آن ۱۲/۰۶۲ و موقعیت سطح محوری آن ۸۶/۳۳۲ می‌باشد (شکل ۳-۸۲). زاویه بین دو یال در این تاقدیس حدود ۶۵ درجه بوده که بنابر تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یالی، در رده چین‌های بسته (Close) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright- gently plunging) قرار می‌گیرد. شکل ۳-۸۱ برش نمادین از این چین را به نمایش می‌گذارد.

¹Fleuty

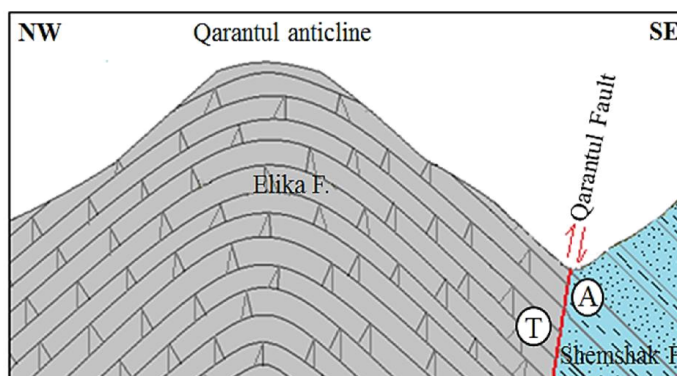


ب

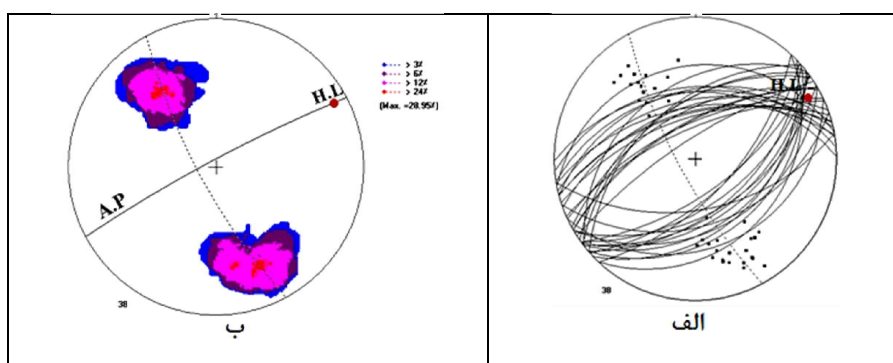


الف

شکل ۳-۸۰- تاقدیس قرن‌تول در واحدهای دولومیتی الیکا ، الف: یال شمالی (دید به سمت جنوب باختر)، ب: یال جنوبی (دید به سمت شمال خاور).



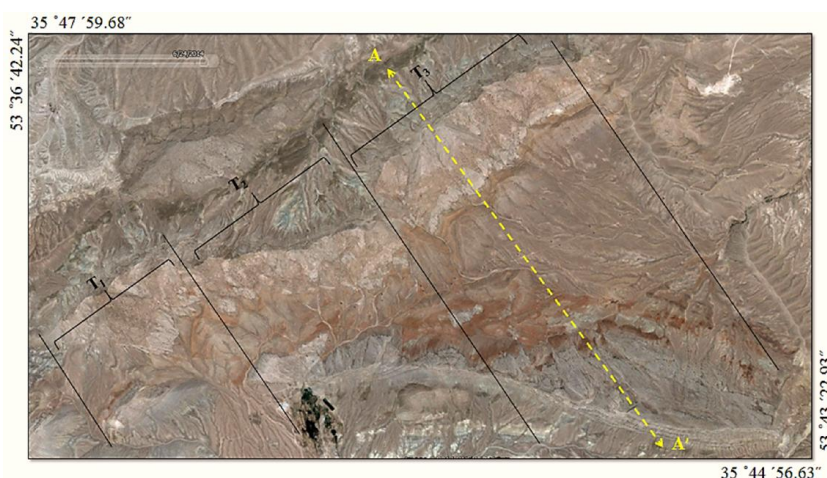
شکل ۳-۸۱- برش ساختاری نمادین از تاقدیس قرن‌تول.



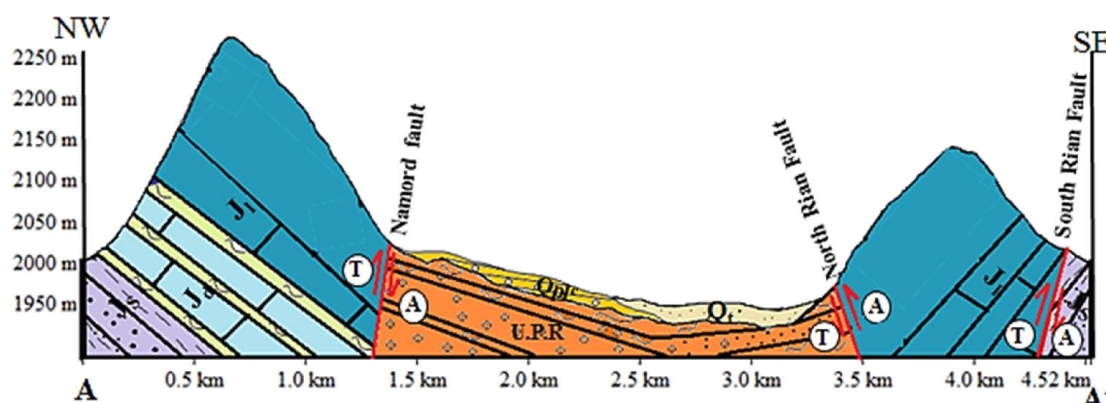
شکل ۳-۸۲- استریوگرام حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس قرن‌تول: الف: نمودار β و نمودار π و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت $12/062$ ؛ ب: نمودار هم‌تراز قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (65°) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت $86/332$.

۳-۲-۱-۲- ناودیس رین

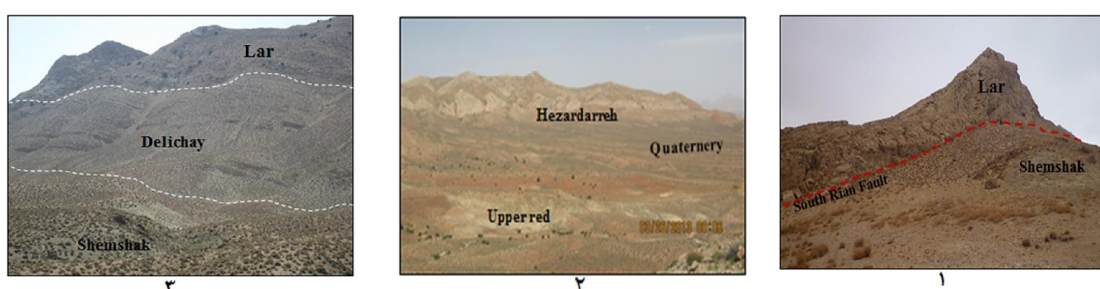
بزرگترین چین منطقه را ناودیس رین تشکیل می‌دهد که بخش وسیعی از محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. به همین دلیل شناسایی هندسه چین‌خوردگی سازندهای تشکیل‌دهنده این ناودیس در سه پیمایش عرضی (T_1 ، T_2 و T_3) صورت پذیرفت (شکل ۳-۸۳). بررسی و مطالعات میدانی نشان می‌دهد که واحدهای سنگی رخنمون یافته در یال‌های تشکیل‌دهنده این چین از قدیم به جدید سازند شمشک، دلیچای، لار، قرمز بالایی و در برخی از رخنمون‌های یال شمالی سازند هزاردره نیز دیده می‌شود. همان‌طور که در مباحث پیشین نیز ذکر گردید، سازندهای شمشک، دلیچای و لار از نظر چین‌شناسی به طور هم‌شیب نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ در نتیجه هندسه چین‌خوردگی در هر سه سازند تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد (شکل ۳-۸۴). یال‌های این ناودیس از گسل‌های عرضی و طولی کوچک مقیاسی متأثر گردیده است که به وضوح در عکس‌های ماهواره‌ای دیده می‌شوند. یال جنوبی ناودیس نسبت به یال شمالی از تعداد گسل‌های بیشتری برخوردار است که به دلیل وجود گسل‌های رین شمالی و رین جنوبی دگرشکلی این یال بیشتر می‌باشد. هر چه به سمت محور ناودیس (بخش میانی منطقه) نزدیک‌تر می‌شویم شیب لایه‌بندی کمتر و خردشدگی واحدهای سنگی افزایش می‌یابد. در ادامه به تشریح ویژگی‌های هندسی چین رین در هر سازند به طور جداگانه پرداخته شده است.



شکل ۳-۸۳- تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth) که نشان‌دهنده پهنه‌های پیمایش ۱ تا ۳ از ناودیس رین می‌باشد.



الف



ب

شکل ۳-۸۴- الف: مقطع نمادین از ناودیس رین در راستای AA' بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست در Google earth
 شکل ۳-۸۳، ب: نماهای صحرایی از سازندهای تشکیل‌دهنده ناودیس رین، ۱: یال جنوبی (دید به سمت شمال)، ۲:
 منطقه لولا (دید به سمت شمال خاور)، ۳: یال شمالی (دید به سمت جنوب خاور).

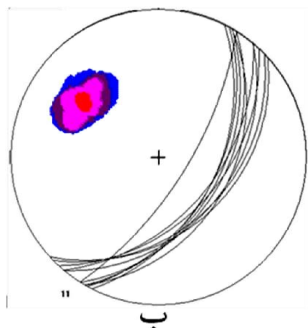
۳-۲-۱- سازند شمشک

رخنمون سازند شمشک در بخش جنوبی منطقه مطالعاتی نسبت به یال شمالی ناودیس رین محدودتر بوده و در اکثر رخنمون‌ها این واحد توسط نهشته‌های کواترنری پوشیده شده‌اند. ویژگی هندسه ناودیس رین در سازند شمشک در سه پهنه پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 مورد بررسی قرار گرفت و داده‌های اندازه‌گیری شده در هر پهنه پیمایش در پیوست ۱۲ آورده شده است.

✓ پهنه پیمایش T_1

سازند شمشک در پهنه پیمایش T_1 در یال شمالی ناودیس به صورت یکسری لایه‌هایی با شیب واحد برداشت شد و رخنمونی از آن در یال جنوبی ناودیس مشاهده نگردیده است. بر اساس استریوگرام

بدست آمده از برداشت موقعیت لایه‌بندی در این پیمایش، میانگین سطوح لایه‌بندی $N36^{\circ}E, 55^{\circ}SE$ تعیین شده است (شکل ۳-۸۵).



الف

شکل ۳-۸۵- الف: تصویر لایه‌بندی سازند شمشک در پهنه T_1 (دید به سمت شمال خاور)، ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N36^{\circ}E, 55^{\circ}SE$ می‌باشد.

✓ پهنه پیمایش T_2

تصویر صحرایی ناودیس رین در این پیمایش در (شکل ۳-۸۶) نشان داده شده است. استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از پیمایش T_2 نشان می‌دهند که خط لولای ناودیس رین در این پهنه به موقعیت $14/065$ و سطح محوری آن دارای موقعیت $85/336$ می‌باشد (شکل ۳-۸۷). زاویه بین دو یال 91 درجه بوده که ناودیس را در این پیمایش در رده چین‌های باز (Open) قرار داده و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز در رده چین‌های ایستاده و مایل (Upright- Gently plunging) قرار می‌گیرد.

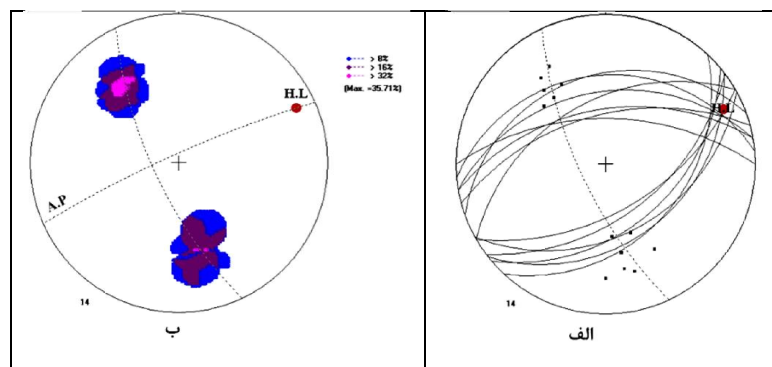


ب



الف

شکل ۳-۸۶- الف: تصویر لایه‌بندی سازند شمشک در پهنه پیمایش T_2 ، الف: در یال جنوبی، ب: در یال شمالی (در هر دو تصویر دید به سمت شمال خاور می‌باشد).



شکل ۳-۸۷- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۱۴/۰۶۵)، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (91°)، و تعیین سطح محوری با موقعیت (۸۵/۳۳۶).

✓ پهنه پیمایش T_3

ناودیس رین در این پهنه پیمایش با خط لولای دارای موقعیت ۲۴/۰۸۲ و سطح محوری به موقعیت ۸۳/۱۷۰ قابل شناسایی می‌باشد (شکل ۳-۸۹). این ناودیس، براساس زاویه بین یالی که در حدود ۱۱۰ درجه می‌باشد، در رده چین‌های باز (Open) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و مایل (Upright- Gently plunging) قرار می‌گیرد. تصویر لایه‌بندی از سازند شمشک در این پهنه پیمایش در شکل ۳-۸۸ در نشان داده شده است.

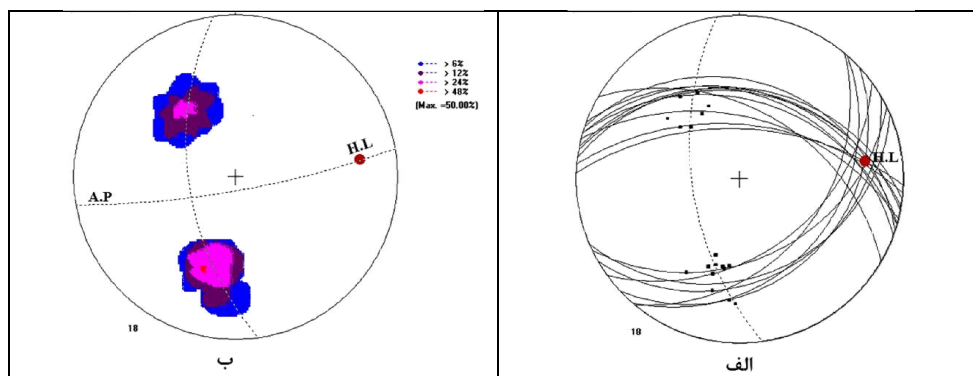


ب



الف

شکل ۳-۸۸- تصویر لایه‌بندی سازند شمشک در پهنه پیمایش T_3 ، الف: در یال جنوبی (دید به سمت خاور)، ب: در یال شمالی (دید به سمت شمال خاور).



شکل ۳-۸۹- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۲۴/۰۸۲)، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۱۱۰)، و تعیین سطح محوری با موقعیت (۸۳/۱۷۰).

۳-۲-۱-۲-۲- سازند دلیچای

رخنمون سازند دلیچای در یال شمالی ناودیس وسیع بوده و در یال جنوبی به جز در پهنه پیمایش T_1 در مکان دیگری قابل مشاهده نمی‌باشد. لذا اندازه‌گیری موقعیت لایه‌بندی در این سازند در پهنه پیمایش T_2 و T_3 به صورت یکسری لایه‌های کج شده می‌باشد و از آنجا که در این دو پهنه پیمایش، رخنمونی از این سازند در یال جنوبی وجود نداشته بنابراین بازسازی آن به صورت یک چین واحد امکان‌پذیر نمی‌باشد. شکل ۳-۹۰ تصویر صحرایی از سازند دلیچای را در پهنه پیمایش T_1 نشان می‌دهد. استریوگرام‌های شکل ۳-۹۱، موقعیت محور و سطح محوری چین را به ترتیب به صورت $۱۰/۰۳۶$ و $۸۶/۱۲۶$ نشان می‌دهد. زاویه بین یالی چین ۷۳ درجه می‌باشد. بنابراین در تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین دو یال (فلوتی، ۱۹۶۴) در رده چین‌های باز (Open) و در تقسیم‌بندی دیگر بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا (فلوتی، ۱۹۶۴)، در رده چین‌های ایستاده با میل افقی (Upright-horizontal) قرار می‌گیرد.

تصاویر صحرایی و استریوگرام رخنمون‌های مربوط به دو پهنه پیمایش T_2 و T_3 نیز (شکل ۳-۹۲ و شکل ۳-۹۳)، موقعیت چیره ساختار را به ترتیب به صورت $N57^\circ E, 39^\circ SE$ و $N69^\circ E, 56^\circ SE$ نشان می‌دهد. داده‌های اندازه‌گیری شده از هر سه پهنه پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 در پیوست ۱۳ آورده شده است.

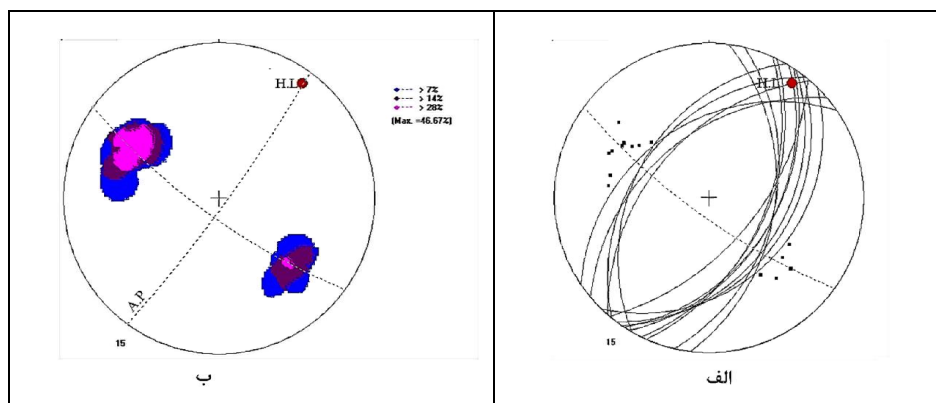


ب

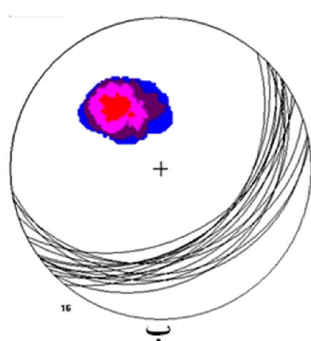


الف

شکل ۳-۹۰- بخشی از چین خوردگی سازند دلیچای در پهنهٔ پیمایش T_1 ، الف: یال شمالی (دید به سمت جنوب)، ب: یال جنوبی (دید به سمت شمال خاور)



شکل ۳-۹۱- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۱۰/۰۳۶)، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویهٔ بین دو یال (۷۳)، و تعیین موقعیت سطح محوری با موقعیت (۸۶/۱۲۶).

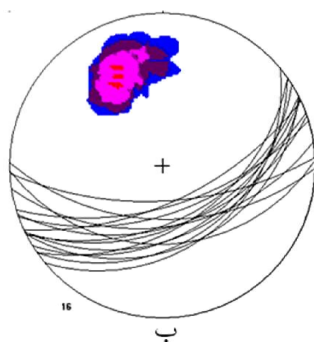


ب



الف

شکل ۳-۹۲- الف: تصویر لایه‌بندی سازند دلیچای در پهنهٔ پیمایش T_2 (دید به سمت جنوب خاور). ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N57^\circ E, 39^\circ SE$ می‌باشد.



الف

شکل ۳-۹۳- الف: تصویر لایه‌بندی سازند دلیچای در پهنهٔ پیمایش T_3 (دید به سمت جنوب باختر). ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N69^\circ E, 56^\circ SE$ می‌باشد.

۳-۲-۱-۲-۳ سازند لار

همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد ژوراسیک بالایی در منطقهٔ مطالعاتی از آهک‌های ضخیم خوب لایه‌بندی شده تا توده‌ای ساخته شده است که از نظر رخساره و سن کاملاً شبیه آهک‌های سازند لار می‌باشد. این سازند بخش اعظم یال شمالی و جنوبی ناودیس رین را با ستمبرای زیاد تشکیل داده و در اکثر رخنمون‌ها به صورت توده‌ای مشاهده شده است لیکن در محدود مکان‌هایی، این سازند دارای لایه‌بندی نسبتاً ضخیم و خوبی بوده است. به همین منظور موقعیت لایه‌بندی در این سازند در سه پهنهٔ پیمایش عرضی (T_1, T_2 و T_3) در یال‌های شمالی و جنوبی، اندازه‌گیری شده است. شکل ۳-۹۴، شکل ۳-۹۶ و شکل ۳-۹۸ تصاویر صحرایی موقعیت لایه‌های سازند لار را در منطقهٔ مورد مطالعه در سه پیمایش عرضی نشان می‌دهد. در ادامه داده‌های اندازه‌گیری شده در هر پیمایش (پیوست ۱۴) و استریوگرام‌های مربوط به آنها به طور جداگانه آورده شده است.

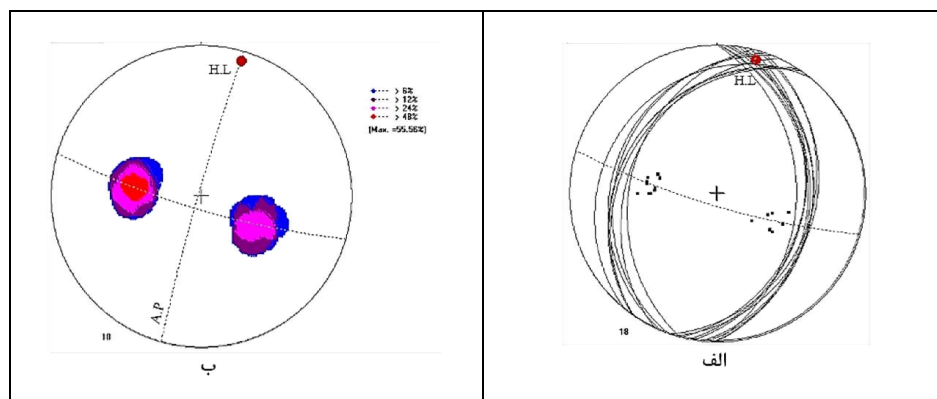
✓ پهنهٔ پیمایش T_1

ویژگی هندسی ناودیس رین در پهنهٔ پیمایش T_1 ، بر اساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده، دارای خط لولایی با موقعیت $7/016$ و سطح محوری با موقعیت $88/286$ مشخص شد (شکل ۳-۹۵). زاویهٔ بین یالی این چین 110 درجه است که در تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویهٔ

بین دو یال (فلوتی، ۱۹۶۴) در رده چین‌های باز (Open) و در تقسیم‌بندی دیگر بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا (فلوتی، ۱۹۶۴)، در رده چین‌های ایستاده با میل افقی (Upright- horizontal) قرار می‌گیرد. تصویر صحرایی از این پیمایش در شکل ۳-۹۴ آورده شده است.



شکل ۳-۹۴- تصاویر مربوط به پهنه پیمایش T_1 در ناودیس رین از سازند لار، الف: تصویر لایه‌بندی در یال شمالی (دید به سمت شمال)، ب: تصویر لایه‌بندی در یال جنوبی (دید به سمت جنوب).



شکل ۳-۹۵- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۷/۰۱۶)، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۱۱۰)، و تعیین سطح محوری با موقعیت (۸۸/۲۸۶).

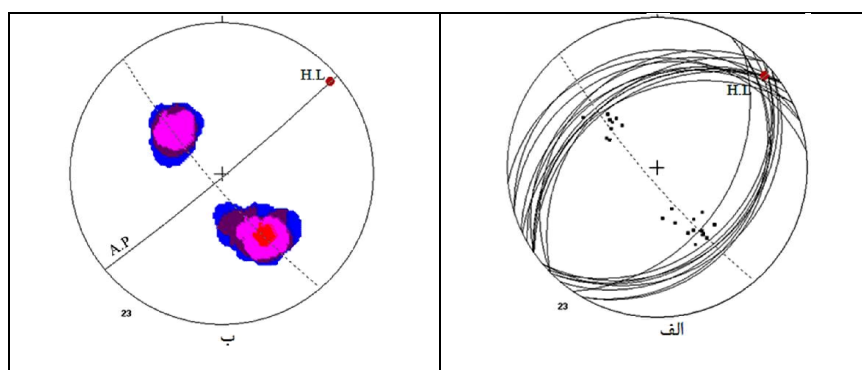
✓ پهنه پیمایش T_2

تصاویر صحرایی از این پیمایش در شکل ۳-۹۶ آورده شده است. استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های حاصل از پیمایش T_2 نشان می‌دهد که لولای ناودیس رین در این پیمایش دارای موقعیت ۰۷/۰۴۹ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۸/۱۴۰ می‌باشد (شکل ۳-۹۷). در این پیمایش زاویه بین دو یال ناودیس ۱۰۶ درجه به دست آمد که در رده چین‌های باز (Open) و بر اساس شیب سطح

محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده با میل افقی (Upright -horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۹۶- الف: تصاویر مربوط به پهنه پیمایش T_2 در ناودیس رین از سازند لار، الف: یال جنوبی (دید به سمت شمال باختر). ب: یال شمالی (دید به سمت شمال خاور).



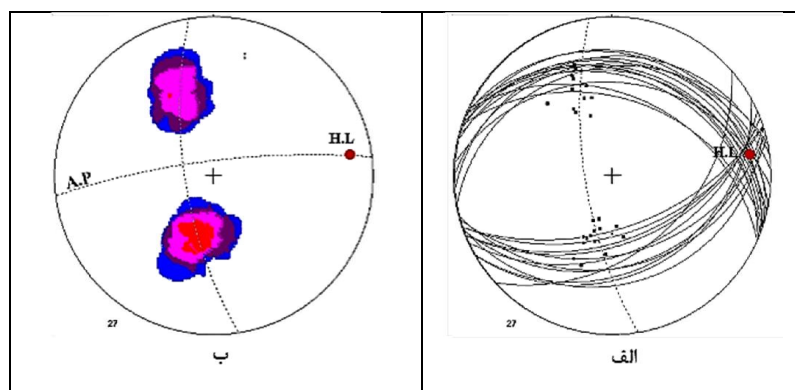
شکل ۳-۹۷- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولای $(0.7/0.49)$ ، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (1.06) و موقعیت سطح محوری با موقعیت $(.88/1.40)$.

✓ پهنه پیمایش T_3

تصاویر روی زمین از لایه‌بندی یال شمالی و جنوبی از این ناودیس در پهنه پیمایش T_3 ، در شکل ۳-۹۸ نشان داده شده است. بر اساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این ناودیس، موقعیت خط لولا $15/0.81$ و سطح محوری آن دارای موقعیت $82/3.53$ می‌باشد (شکل ۳-۹۹). زاویه بین یالی چین در این پیمایش 10.5 درجه بوده که در رده چین‌های باز (open) و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های ایستاده با میل ملایم (Upright- Gently plunging) قرار دارد.



شکل ۳-۹۸- الف: لایه‌بندی سازند لار در یال جنوبی ناودیس رین (دید به سمت جنوب). ب: تصویر لایه‌بندی در یال شمالی ناودیس رین (دید به سمت باختر). هر دو تصویر مربوط به پهنهٔ پیمایش T_3 می‌باشد.



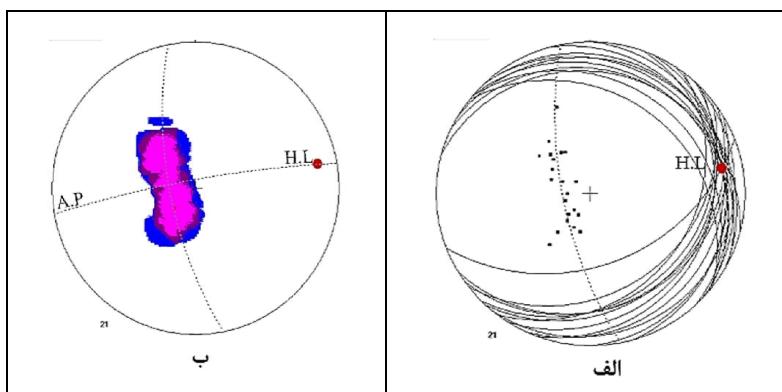
شکل ۳-۹۹- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۱۵/۰۸۱). ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویهٔ بین دو یال (۱۰۵)، و تعیین سطح‌محوری با موقعیت (۸۲/۳۵۳).

۳-۱-۲-۳- تاقدیس رین

واحدهای آهکی سازند لار که ناودیس رین را تشکیل داده‌اند، در مرز پهنهٔ پیمایش T_2 و T_3 در میان واحدهای مارن- ماسه‌سنگ سازند قرمز بالایی تاقدیسی را شکل داده‌اند (شکل ۳-۱۰۰). پس از ترسیم استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های برداشت شده از این تاقدیس (پیوست ۱۵)، موقعیت خط لولا و سطح محوری آن به ترتیب $۰۷۹/۱۵$ و $۳۵۰/۸۵$ بدست آمده است (شکل ۳-۱۰۱). زاویهٔ بین یالی حدود ۱۴۷ درجه بوده که طبق تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویهٔ بین دو یال، در ردهٔ چین‌های ملایم (Gentle) و در طبقه‌بندی دیگر بر مبنای شیب سطح محوری و میل لولا، در ردهٔ چین‌های ایستاده با میل ملایم (Upright-gently plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰۰- تاقدیس رین در سازند آهکی لار (دید به سمت شمال خاور).



شکل ۳-۱۰۱- الف: نمودار β و تعیین موقعیت خط لولا (۱۵/۰۷۹). ب: نمودار π و کنترل قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۱۴۷)، و تعیین سطح محوری با موقعیت (۸۵/۳۵۰).

۳-۲-۲- چین خوردگی در سازندهای سنوزوئیک

۳-۲-۲-۱- ناودیس رین (در نهشته‌های میوسن)

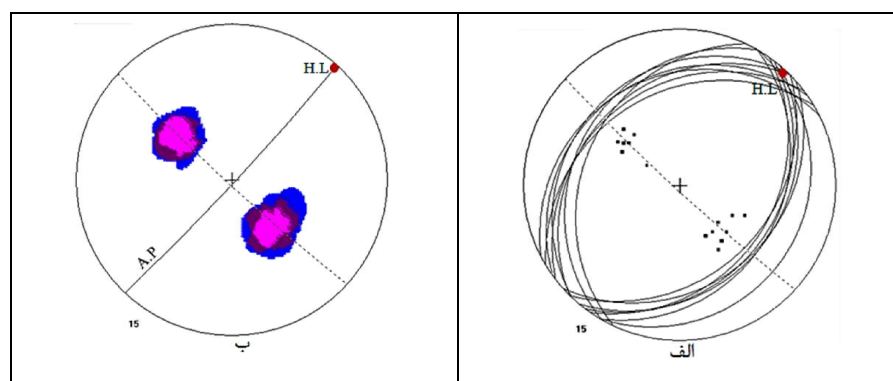
همانطور که قبلاً اشاره گردید ناودیس رین در بخش‌های شمالی منطقه، علاوه بر سازندهای مزوزوئیک در نهشته‌های میوسن نیز شناسایی گردید. به طور کلی مارن‌های میوسن و میان لایه‌های سست ماسه‌سنگی درون آن، یال جنوبی و واحدهای کنگلومرایی این سازند یال شمالی ناودیس را می‌سازند. این نهشته‌ها در سه پهنه پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 مورد بررسی قرار گرفته که داده‌های برداشت شده (پیوست ۱۶) و استریوگرام حاصل از این داده‌ها در هر پیمایش به طور جداگانه آورده شده است.

✓ پیمایش T_1

ناودیس رین در این پهنه پیمایش با روند کلی شمال خاوری- جنوب باختری در مارن‌های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگی درون آن مورد شناسایی قرار گرفت (شکل ۳-۱۰۲). استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این پیمایش در شکل ۳-۱۰۳ مشاهده می‌شود. خط لولای این چین به موقعیت $02/040$ و سطح محوری آن دارای موقعیت $88/130$ می‌باشد. این ناودیس در پهنه پیمایش T_1 بر مبنای زاویه بین یالی، که حدود 131° درجه می‌باشد، در رده چین‌های ملایم (Gentel) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و افقی (Upright- horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰۲- تصویر لایه‌بندی از سازند قرمز بالایی در ناودیس رین در پهنه پیمایش T_1 ، الف: یال شمالی (دید به سمت جنوب خاور)، ب: یال جنوبی (دید به سمت شمال باختر).



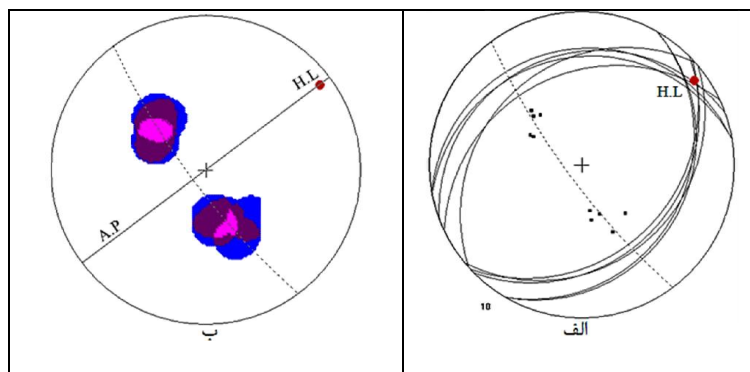
شکل ۳-۱۰۳- استریوگرام حاصل از داده‌های برداشت شده از سازند قرمز بالایی در ناودیس رین در پهنه پیمایش T_1 ؛ الف: نمودار β و تعیین خط لولای (H.L.) با موقعیت $02/040$ ، ب: نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (131°) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت $88/130$.

✓ پهنه پیمایش T_2

در بازدیدهای صحرایی از پهنه پیمایش T_2 ، ناودیس رین با روند کلی شمال خاوری - جنوب باختری در مارن‌های میوسن با میان لایه‌های ماسه‌سنگی در یال جنوبی و واحد کنگلومرای در یال شمالی مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۳-۱۰۴). استریوگرام‌های حاصل داده‌های برداشت شده از ناودیس در این پهنه در شکل ۳-۱۰۵ مشاهده می‌شود. خط لولای این چین به موقعیت $09/053$ و سطح محوری آن دارای موقعیت $90/333$ می‌باشد. این ناودیس در پیمایش T_2 بر مبنای زاویه بین یالی، که حدود 123° درجه می‌باشد، در رده چین‌های ملایم (Gentle) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و افقی (Upright-horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰۴- الف: تصویر لایه‌بندی از واحد مارنی - ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در یال جنوبی ناودیس رین (دید به سمت خاور). ب: تصویر لایه‌بندی از کنگلومرای سازند قرمز بالایی در یال شمالی ناودیس (دید به سمت جنوب خاور). هر دو تصویر مربوط به پیمایش T_2 می‌باشد.



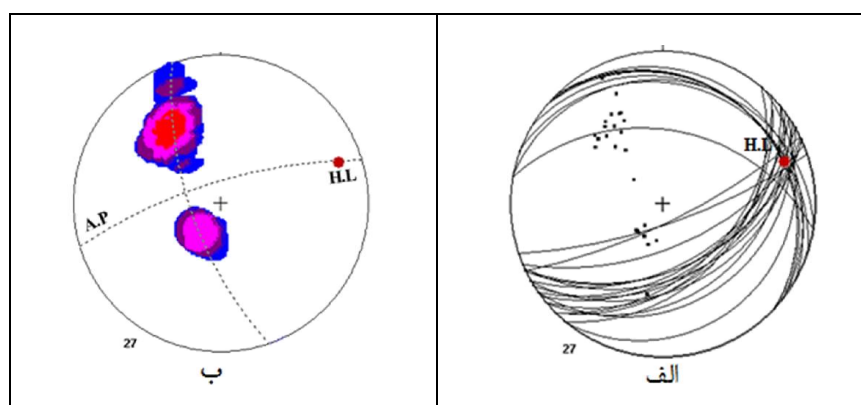
شکل ۳-۱۰۵- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در پهنه پیمایش T_2 ، الف - نمودار β و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت $09/053$ ، ب نمودار π و کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (123°) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت $90/333$.

✓ پهنه پیمایش T_3

در پهنه T_3 مارن‌های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگی درون آن، به ترتیب یال‌های شمالی و جنوبی این ناودیس را تشکیل داده است (شکل ۳-۱۰۶). براساس استریوگرام حاصل از داده‌های برداشت شده (پیوست ۱۶)، برای ناودیس در این پیمایش موقعیت خط لولا $17/071$ و موقعیت سطح محوری $78/343$ بدست آمده است (شکل ۳-۱۰۷). این ناودیس براساس زاویه بین یالی (121°) در رده چین‌های ملایم (Gentel) و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های پر شیب با میل محوری ملایم (Steeply inclined- Gently plunging) قرار دارد.



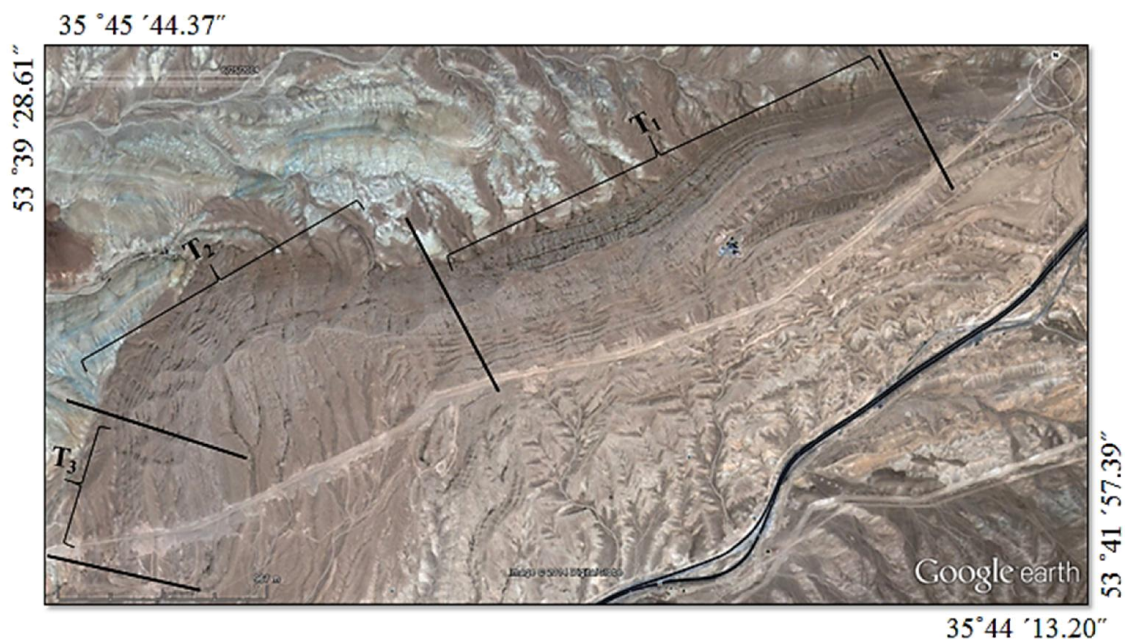
شکل ۳-۱۰۶- تصویر ناودیس رین در سازند قرمز بالایی از پهنه پیمایش T_3 . الف: یال جنوبی (دید به سمت خاور). ب: یال شمالی (دید به سمت شمال خاور).



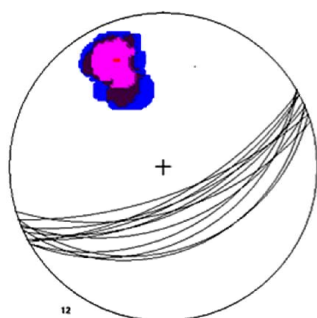
شکل ۳-۱۰۷- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در پهنه T_3 . الف: نمودار β و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت $17/071$ ؛ ب: نمودار π و کنترل قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (121°) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت $78/343$.

۳-۲-۲-۲- چین ابراهیم آباد

رخنمون نهشته‌های میوسن در منطقه مورد مطالعه به ویژه در بخش‌های جنوبی، در حاشیه شمالی جاده اصلی سمنان- دامغان وسیع می‌باشد. بنابراین به منظور تعیین ویژگی‌های هندسه چین‌خوردگی در این سازند، موقعیت لایه‌بندی در سه پیمایش مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۳-۱۰۸) و در این پژوهش به دلیل نزدیکی آن به روستای ابراهیم‌آباد با این نام، نامگذاری شده است. قابل ذکر می‌باشد که موقعیت لایه‌بندی (پیوست ۱۷) در هر سه پیمایش به صورت یکسری لایه‌های کج شده برداشت شده است. بر اساس استریوگرام‌های موجود میانگین سطوح لایه‌بندی در این چین‌خوردگی در سه پهنه پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب به صورت $N65^{\circ}E, 62^{\circ}SE$ ، $N45^{\circ}E, 52^{\circ}SE$ و $N00^{\circ}, 41^{\circ}E$ تشخیص داده شد. تصاویر صحرایی از هر پیمایش به همراه استریوگرام وضعیت چین‌خوردگی در شکل ۳-۱۰۹، شکل ۳-۱۱۰ و شکل ۳-۱۱۱ آورده شده است.



شکل ۳-۱۰۸- تصویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth) که نشان‌دهنده مسیرهای پیمایش ۱ تا ۳ از چین ابراهیم‌آباد می‌باشد.

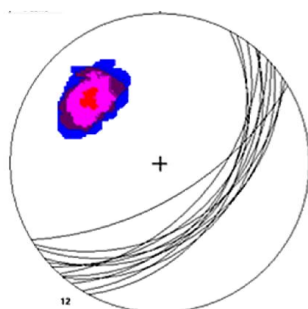


ب



الف

شکل ۳-۱۰۹-الف: تصویر لایه‌بندی از چین ابراهیم‌آباد در سازند قرمز بالایی از پهنهٔ پیمایش T_1 (دید به سمت باختر)، ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطح لایه‌بندی به صورت $N65^{\circ}E, 62^{\circ}SE$ می‌باشد.

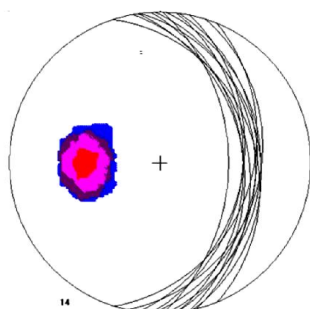


ب



الف

شکل ۳-۱۱۰-الف: تصویر لایه‌بندی از چین ابراهیم‌آباد در سازند قرمز بالایی از پهنهٔ پیمایش T_2 (دید به سمت جنوب خاور)، ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N45^{\circ}E, 52^{\circ}SE$ می‌باشد.



ب



الف

شکل ۳-۱۱۱-الف: تصویری از لایه‌بندی سازند قرمز بالایی در پهنهٔ پیمایش T_3 (دید به سمت جنوب خاور)، ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N00^{\circ}, 41^{\circ}E$ می‌باشد.

۳-۲-۲-۳- چین نمرد

در شمال خاوری محدوده مورد مطالعه در نزدیکی کلاته نمرد رخنمونی از واحدهای کنگلومرایی پلیو- پلیستوسن تحت سازند هزاردره به صورت ناودیس مشاهده گردید که به اعتبار نزدیکی با کلاته نمرد به این نام معرفی شده است (شکل ۳-۱۱۲). براساس استریوگرام بدست آمده از داده‌های برداشت شده صحرایی (پیوست ۱۸)، موقعیت خط لولای این چین ۱۳/۱۹۲ و موقعیت سطح محوری آن ۸۲/۲۸۱ می‌باشد (شکل ۳-۱۱۳). زاویه بین دو یال آن حدود ۱۶۲ درجه بوده و بنا بر تقسیم‌بندی چین‌ها براساس زاویه بین یالی، در رده چین‌های ملایم (Gentle) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های پر شیب با تمایل ملایم (Upright - gently plunging) قرار می‌گیرد.

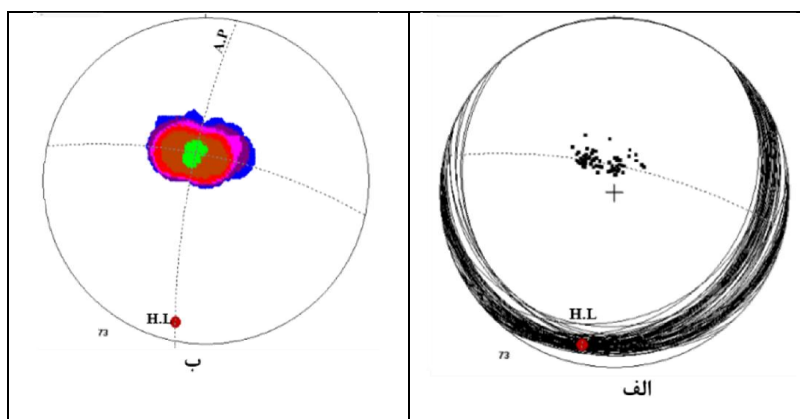


ب



الف

شکل ۳-۱۱۲- نمای لایه‌بندی از چین نمرد در سازند هزاردره، الف: دید به سمت جنوب خاور، ب: دید به شمال باختر.



شکل ۳-۱۱۳- الف: نمودار β و نمودار π و تعیین موقعیت خط لولا (۱۳/۱۹۲). ب: نمودار کنتور قطب یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۱۶۲)، و تعیین سطح محوری با موقعیت (۸۲/۲۸۱).

F0₁-۴-۲-۲-۳

در خاور منطقه مطالعاتی در موقعیت جغرافیایی $53^{\circ} 42' 00''/90^{\circ} E$ و $35^{\circ} 46' 58''/84'' N$ در سازند کنگلومرای هزاردره از حالت افقی خارج شده و به صورت یکسری لایه‌های کج شده برداشت گردیده است (شکل ۳-۱۱۴-الف). برداشت‌های میدانی مرتبط با این چین در پیوست ۱۹ آورده شده است. همانطور که در استریوگرام ترسیم شده از این چین ملاحظه می‌شود، میانگین سطح لایه‌بندی در این سازند به صورت $N24^{\circ}W, 15^{\circ}NE$ می‌باشد (شکل ۳-۱۱۴-ب).

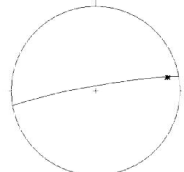
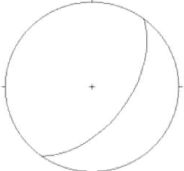
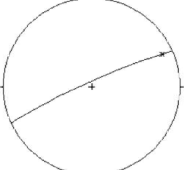
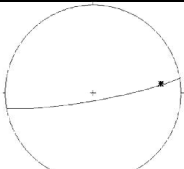
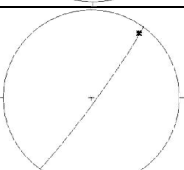
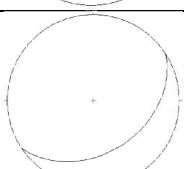
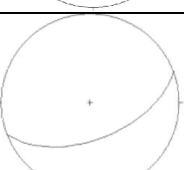
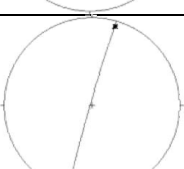
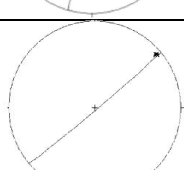


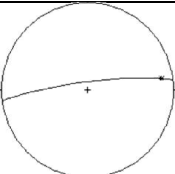
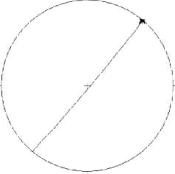
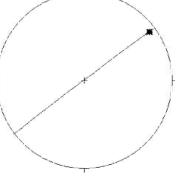
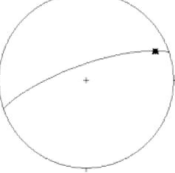
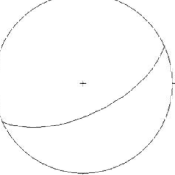
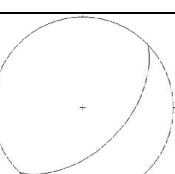
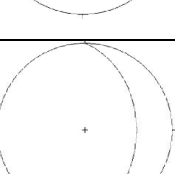
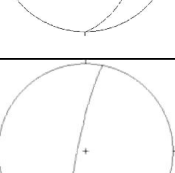
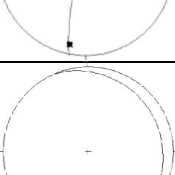
شکل ۳-۱۱۴- تصویر چین F0₁ در سازند هزاردره (دید به سمت جنوب). ب: تصویر سیکلوگرافیک لایه‌بندی؛ میانگین سطوح لایه‌بندی به صورت $N24^{\circ}W, 15^{\circ}NE$ می‌باشد.

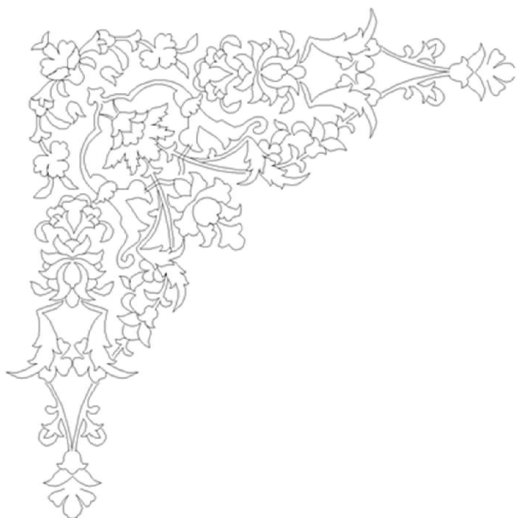
در جدول ۴-۳ خلاصه‌ای از مشخصات هندسی چین‌های بررسی شده در منطقه مورد مطالعه، به تفکیک سازندها، ارائه شده است.

جدول ۴-۳- خلاصه‌ای از ویژگی‌های هندسی چین‌های منطقه مورد مطالعه
*موقعیت میانگین سطح لایه‌بندی

نام چین	سازند	سن	پهنه پیمایش	زاویه بین دویال	خط لولا	سطح محوری	استریوگرام
تاق‌دیس قرنتول	الیکا	تریاس میانی	-	۶۵	۱۲/۰۶۲	۸۶/۳۳۲	

	۸۵/۳۵۰	۱۵/۰۷۹	۱۴۷		ژوراسیک پسین	لار	تاق‌دیس رین
	۵۵/۱۲۶*	-	-	T ₁	تریاس پسین - ژوراسیک پیشین	شمشک	ناودیس رین
	۸۵/۳۳۶	۱۴/۰۶۵	۹۱	T ₂			
	۸۳/۱۷۰	۲۴/۰۸۲	۱۱۰	T ₃			
	۸۶/۱۲۶	۱۰/۰۳۶	۷۳	T ₁	ژوراسیک میانی	دلیچای	
	۳۹/۱۴۷*	-	-	T ₂			
	۵۶/۱۵۹*	-	-	T ₃			
	۸۸/۲۸۶	۰۷/۰۱۶	۱۱۴	T ₁	ژوراسیک پسین	لار	
	۸۸/۱۴۰	۰۷/۰۴۹	۱۰۶	T ₂			

	۸۲/۳۵۳	۱۵/۰۸۱	۱۰۵	T ₃	میوسن	قرمز بالایی	چین ابراهیم‌آباد
	۸۸/۱۳۰	۰۲/۰۴۰	۱۳۱	T ₁			
	۳۲۳/۰۹۰	۰۹/۰۵۳	۱۲۳	T ₂			
	۷۸/۳۴۳	۱۷/۰۷۱	۱۲۱	T ₃			
	۶۲/۱۵۵*	-	-	T ₁			
	۵۲/۱۳۵*	-	-	T ₂			
	۴۱/۰۹۰*	-	-	T ₃			
	۸۲/۲۸۱	۱۳/۱۹۲	۱۶۴	-	پلیوسن - پلئیسٹوسن	هزاردره	ناودیس نمرد
	۱۵/۰۶۶*	-	-				FO ₁



فصل چہارم

بحث و نتیجہ گیری

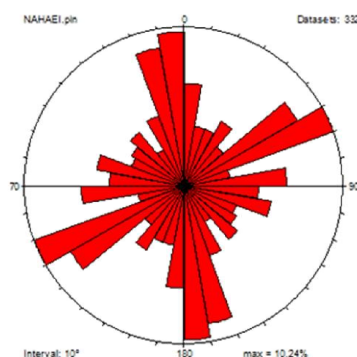


همانطور که پیش‌تر نیز اشاره گردید عناصر ساختاری چون شکستگی‌ها (به ویژه گسل‌ها) و چین‌ها ابزاری ضروری جهت شناخت نوع دگرریختی و دستیابی به الگوی دگرشکلی در هر ناحیه محسوب می‌گردند، بنابراین با تعیین وضعیت هندسی ساختارها، دگرریختی رخ داده را می‌توان بررسی و مشخص کرد. شناسایی و مطالعه جنبش‌هایی که به هنگام تشکیل و دگرشکلی سنگ‌ها رویداده است، همچون جابجایی، تغییر حجم، چرخش و بهم‌ریختگی را تحلیل جنبشی گویند (دیویس^۱، ۱۹۸۴). از این رو برای دستیابی به الگوی جنبشی مناسب در هر منطقه باید مراحل زیر را مورد بررسی قرار داد:

- بررسی هندسه و سازوکار تشکیل ساختارهای اصلی (چین‌ها و گسل‌ها)
- بررسی تغییرات محلی هندسه ساختارها
- دستیابی به محورهای تنش حاکم بر منطقه (تحلیل دینامیکی)
- ترکیب موارد بالا برای دستیابی به الگوی جنبشی مناسب (تهیه نقشه ساختاری)

۴-۱- بررسی هندسه و سازوکار گسل‌ها

با توجه به مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری ۳۳۲ صفحه گسل از منطقه مورد مطالعه این عناصر ساختاری در دو روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری (گسل‌های قرن‌تول، نمرد، رین شمالی، رین جنوبی و ابراهیم‌آباد) و شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری به ترتیب تحت عنوان گسل‌های طولی و عرضی جای گرفته‌اند (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- الف: نمودار گل‌سرخ امتدادی که روند غالب شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری را برای گسل‌های عرضی و روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری را برای گسل‌های طولی نشان می‌دهد.

^۱ Davis

۴-۱-۱- گسل رین جنوبی

گسل رین جنوبی دارای راستای خاوری- باختری و شیب به سمت شمال ($N88^{\circ}W, 85^{\circ}NE$) می باشد. شواهد چینه نگاری سازند لار و شمشک، برش گسلی، افراز گسلی و سایر شواهد ریخت شناسی موجود بر روی سطوح این گسل نشان دهنده گسلی بودن این مرز است. این گسل دارای سه سازوکار است. اولین فاز حرکت بر روی آن معکوس (دسته خراش هایی با ریک ۹۰ درجه) تشخیص داده شد که باعث برخاستگی سازند آهکی لار بر روی سازند فرسایش پذیر شمشک شده است. دومین فاز حرکت مربوط به دسته خراش هایی با ریک ۵۵ درجه می باشد که نشان دهنده سازوکار معکوس چپ بر بوده و سومین فاز حرکت یا جدیدترین سازوکار گسل برای دسته خراش های با زاویه ریک کم از نوع امتداد لغز چپ بر است.

۴-۱-۲- گسل رین شمالی

گسل رین شمالی با روند خاوری- باختری ($N90^{\circ}W, 79^{\circ}S$) با شیب به سمت جنوب تشکیل شده است. با توجه به برداشت های صحرایی سه دسته خراش گسلی شیب لغز، مورب لغز و افقی بر روی این سطوح مشاهده می شود که در طی خراش های گسلی شیب لغز سازند قدیمی تر لار بر روی واحد مارنی- ماسه سنگی سازند قرمز بالایی رانده شده است و در دسته خراش های افقی جابجایی بلوک های سنگی در امتداد این گسل ها به صورت چپ بر می باشد. با توجه به قطع خراش های گسلی با ریک بالا توسط خش لغز های افقی می توان سازوکار کنونی برای این سطوح را امتداد لغز چپ بر دانست. قابل ذکر است که سازوکار این گسل با سازوکار گسل اصلی رین جنوبی که راستای خاوری- باختری دارد، هماهنگ است.

۴-۱-۳- گسل نمرد

گسل نمرد در حاشیه شمالی منطقه به موازات گسل قرن تول قرار گرفته است. این گسل دارای راستای

کلی شمال خاوری - جنوب باختری با شیب به سمت شمال ($N65^{\circ}E, 76^{\circ}NW$) می‌باشد. قرارگیری سازند لار بر روی واحدهای کنگلومرایی سازند قرمز بالایی در امتداد گسل نشاندهنده سازوکار معکوس است. از طرفی خراش‌هایی با زاویه ریک حدود 55° درجه (موربلغز) حاکی از عملکرد مؤلفه چپ‌بر برای گسل می‌باشد.

۴-۱-۴- گسل قرن‌تول

این گسل با راستای کلی شمال خاوری - جنوب باختری و شیب نسبتاً قائم، در بخش اعظم طول خود از سازند فرسایش‌پذیر شمشک عبور نموده است. جابجایی واحدهای رسوبی طرفین این گسل (قرارگیری سازند الیکا بر روی شمشک) به همراه خراش‌هایی با ریک تقریبی 70° درجه سازوکار معکوس همراه با مؤلفه امتدادلغز چپ‌بر را برای آن تأیید می‌نماید.

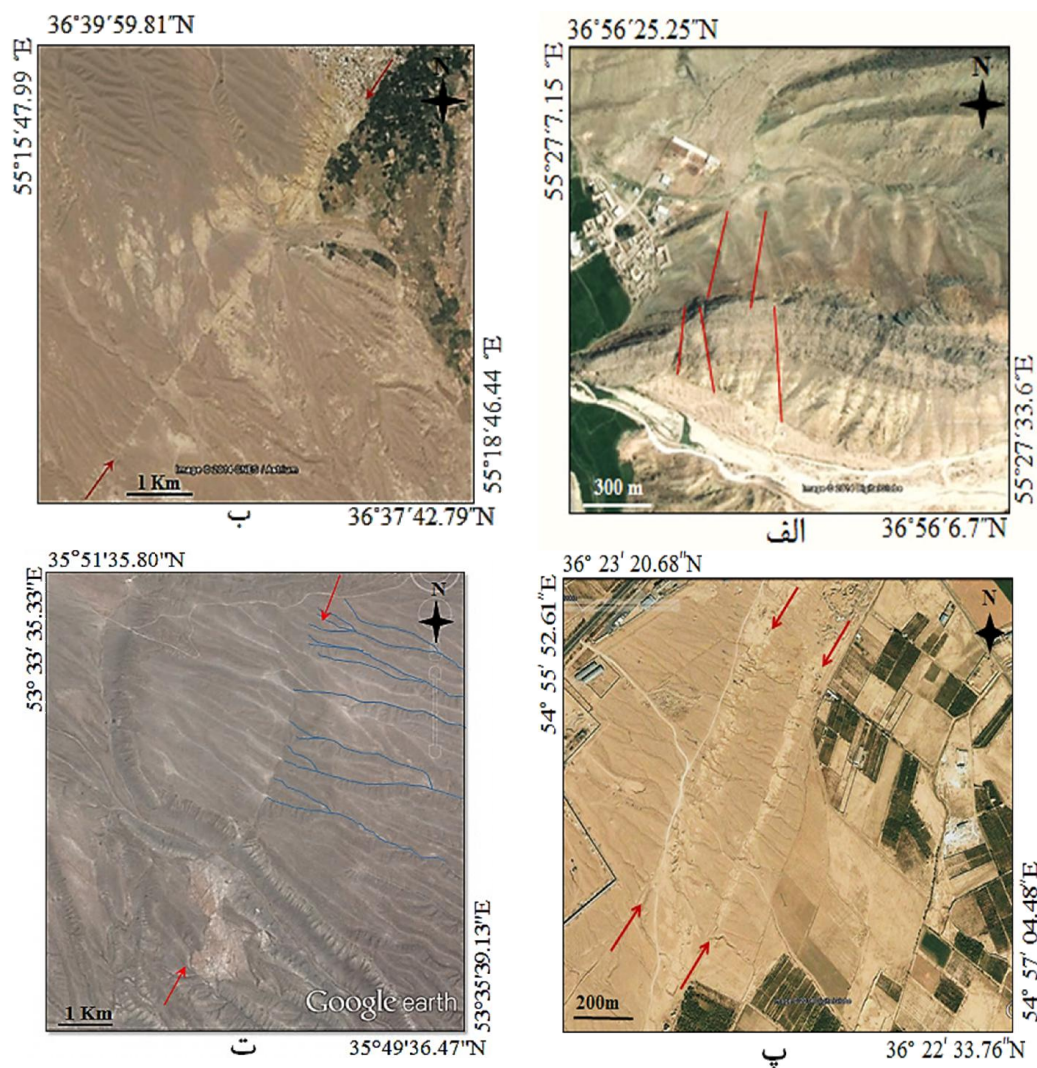
۴-۱-۵- گسل ابراهیم‌آباد

گسل ابراهیم‌آباد با راستای شمال خاوری - جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاور ($N51^{\circ}E, 62^{\circ}SE$)، در بخش اعظم خود باعث برخاستگی بیشتر سازند قرمز بالایی در مقابل رسوبات سازند کرج گردیده است که نشان از معکوس بودن مؤلفه شیب‌لغز گسل می‌باشد. از طرفی وجود خراش‌هایی با ریک تقریبی 70° درجه به همراه شاخص پله‌های سطح گسل و نیز بوجود آمدن چین‌های کشیده مجاور سطح گسل علاوه بر عملکرد مؤلفه معکوس، حاکی از حرکت چپ‌بر برای این گسل نیز می‌باشد.

۴-۱-۶- گسل‌های عرضی

مطالعات انجام شده در محدوده مورد مطالعه، دو راستای تقریبی شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری و شمال خاوری - جنوب باختری را برای گسل‌های عرضی نشان می‌دهد. این گسل‌ها همانند دیگر گسل‌های عرضی موجود در نوار چین‌خورده - رانده البرز (منطقه غزنوی، شاهرود، خنج،

تویه دروار و ...) که در بازدیدهای صحرایی از این مناطق مشاهده شد؛ محدود به گسل‌های طولی (با راستای شمال خاوری - جنوب باختری) بوده و به صورت مورب نسبت به آنها قرار گرفته‌اند و درازای آنها در مقایسه با گسل‌های طولی کمتر می‌باشد (شکل ۴-۲).



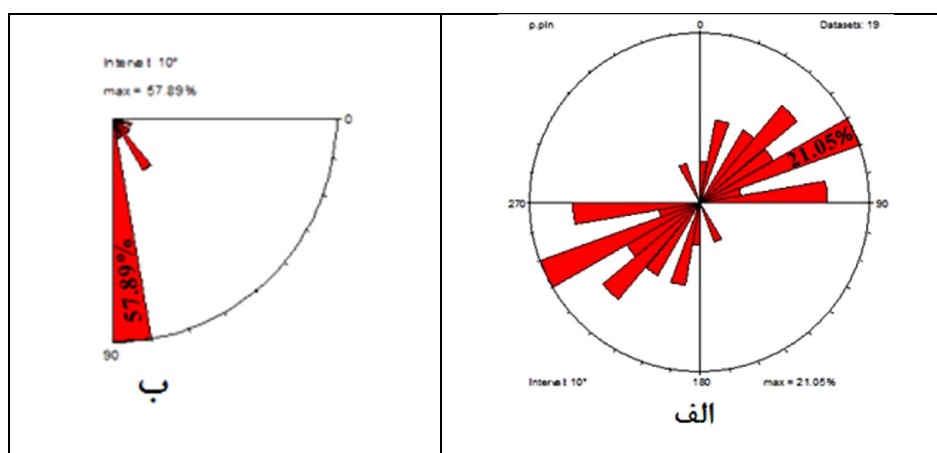
شکل ۴-۲- نمایش برخی از گسل‌های عرضی در البرز خاوری؛ الف: منطقه غزنوی، ب: گسل خنج (خوش بیلاق)، پ: گسل کواترنری شاهرود، ت: منطقه رضاءآباد (برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای Google earth).

طی بررسی و مشاهدات صورت گرفته بر روی برخی از سطوح گسل‌های عرضی در منطقه مورد مطالعه، حضور دو دسته خراش گسلی با ریک‌های متفاوت حاکی از تأثیر حداقل دو فاز حرکت بر روی این سطوح می‌باشد. با توجه به قطع شدگی خراش‌های گسلی با ریک بیشتر توسط خش‌لغزهای افقی، می‌توان آخرین حرکت این گسل‌ها را برای روند تقریبی شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری

از نوع راستالغز راست بر و برای راستای شمال خاوری - جنوب باختری از نوع راستالغز چپ بر معرفی نمود. ضمن آنکه شکل گیری برخی دیگر از سطوح گسل های عرضی منطقه نیز، با توجه به بررسی های ریخت شناسی صورت گرفته بر روی آنها مرتبط با فاز کنونی حرکت (امتداد لغز) است.

۴-۲- چین ها

نتایج بررسی وضعیت چین های منطقه و ترسیم نمودار گل سرخی مربوط به سطوح محوری آنها بیان می دارد که حدود ۲۱ درصد داده های اندازه گیری شده از این عناصر ساختاری، روند شمال خاوری - جنوب باختری را نشان می دهند که نشان دهنده پیروی کردن روند غالب آنها از روند ساختاری البرز خاوری (شمال خاوری - جنوب باختری) می باشد (شکل ۴-۳-الف). همچنین با دقت در نمودار رزیدیاگرام شیبی می توان پی برد، ۵۷/۸۹ درصد سطوح محوری چین های منطقه دارای شیبی در بازه ۸۰ تا ۹۰ درجه می باشد (شکل ۴-۳-ب).



شکل ۴-۳- نمودار گل سرخی مربوط به سطوح محوری چین ها؛ الف: نمودار گل سرخی امتدادی که روند غالب شمال خاوری - جنوب باختری را نشان می دهد؛ ب: نمودار گل سرخی شیبی؛ اغلب سطوح محوری چین ها دارای شیب بین ۸۰ تا ۹۰ درجه می باشند.

مطالعه وضعیت چین خوردگی در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که چین ها، در رده بندی فلوئی (۱۹۶۴)، بر مبنای زاویه بین دو یال، عمدتاً در رده باز (Open)، ملایم (Gentle) و به تعداد محدودتر در رده بسته (Close) قرار دارند (جدول ۴-۱).

[illegible]

--	--	--	--

1000



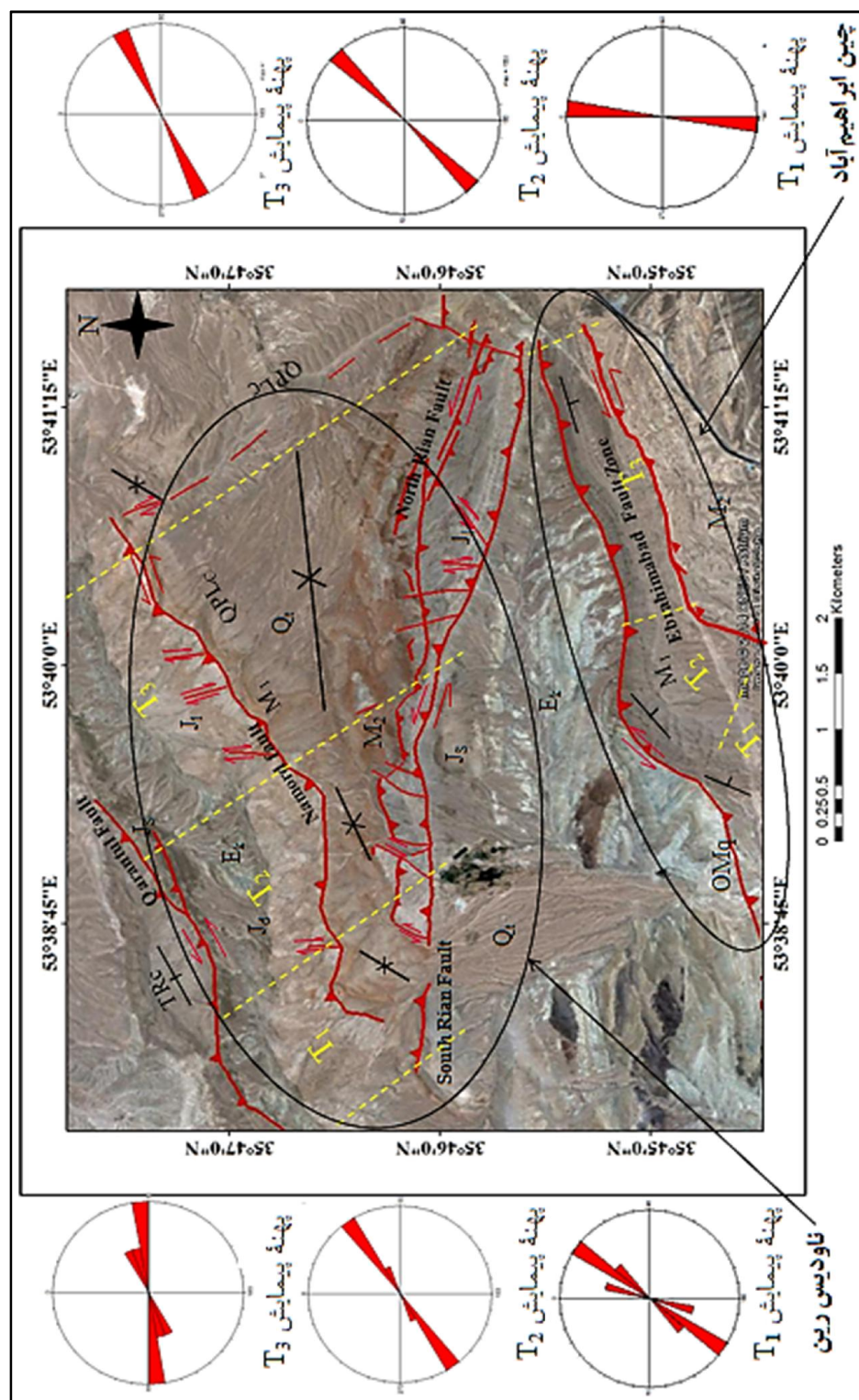
“...and the fact that the world is not a place where you can go and just take what you want, and then you can go back and live your life. It’s a place where you have to go and take what you want, and then you have to go back and live your life.”

۴-۳- بررسی تغییرات محلی هندسه ساختارها

حرکات برشی، چرخشی، و جابجایی‌های گوناگون سبب پیدایش عناصر ساختاری و تغییر شکل بعدی آنها می‌گردد. این حرکات و جابه‌جایی عناصر ساختاری در تحلیل جنبشی نقش مهمی دارند. از این رو پس از اندازه‌گیری‌های انجام شده از موقعیت لایه‌بندی در سازندهای مزوزوئیک و سنوزوئیک منطقه در سه پهنهٔ پیمایش T_1 ، T_2 ، T_3 و بدست آوردن موقعیت عناصر هندسی ناودیس رین و تعیین سطوح میانگین لایه‌بندی برای چین ابراهیم‌آباد، نمودار گل سرخی امتدادی جهت تعیین روند غالب سطح محوری این عناصر ساختاری در هر پیمایش ترسیم گردید. نمودارهای ترسیم شده در چین‌های مربوط به هر سه پیمایش نشان می‌دهد که روند غالب سطوح محوری از پیمایش T_1 تا T_3 برای ناودیس رین به ترتیب به صورت $N38^\circ E$ ، $N52^\circ E$ و $N76^\circ E$ می‌باشد و این در حالی است که روند میانگین سطح لایه‌بندی برای چین ابراهیم‌آباد در بخش‌های جنوبی منطقه به صورت $N05^\circ E$ ، $N45^\circ E$ و $N65^\circ E$ از پهنهٔ پیمایش T_1 تا T_3 تغییر می‌کند (شکل ۴-۵). حدس زده می‌شود که این تغییر روند ناشی از قرارگیری محدودهٔ مطالعاتی در یک رژیم ترافشارشی چپ‌گرد باشد.

۴-۴- تحلیل دینامیکی (بررسی ویژگی‌های میدان تنش)

هدف اصلی تنش دیرین پیدا کردن تنسور تنش است که مسبب جهت لغزش روی گسل‌های موجود در یک ناحیه است. مقصود از تنسور تنش، تعیین جهت محورهای اصلی تنش (σ_1 : بیشینه، σ_2 : میانه، σ_3 : کمینه) است که در یک پهنهٔ گسلی با شرایط شکننده، سامانه‌ای از صفحات گسلی با راستا و شیب متفاوت و خش‌لغزهای مخصوص بر هر صفحه گسلی را تشکیل می‌دهد. به عبارتی چنانچه بتوان نیروهای وارد بر هر صفحهٔ گسلی، که در یک تنش مشخص به همه سامانه وارد شده است، را در جهت‌های مختلف تعیین کرد، دستیابی به تنسور تنش میسر خواهد شد. تعیین راستای تنش‌های اصلی اساساً به کمک آرایش گسل‌ها و طرح لغزش روی آنها صورت می‌گیرد. در این پژوهش نیز به کمک داده‌های لغزش سطح گسل (Fault Slip Analysis) و بکارگیری روش دو وجهی عمود بر هم



شکل ۴-۵- موقعیت چین های منطقه به همراه نمودار گل سرخی ترسیم شده از میانگین سطوح محوری ناودیس رین و چین ابراهیم آباد در سه پهنه پیمایش T_1 ، T_2 و T_3 .

(Right Dihedral Method)، راستای تنش حاکم بر منطقه تعیین شده است. اما قبل از آن به چگونگی استفاده از تحلیل لغزش گسل و جهت تعیین وضعیت میدان تنش به دو شیوه معکوس و دو وجهی عمود بر هم به اختصار اشاره گردیده است.

➤ روش معکوس (Inverse method)

یکی از روش‌های معمول که امروزه برای تعیین میدان تنش دیرین بکار گرفته می‌شود، روش استرس وارون (Inverse Stress) است. در مکانیک سنگ پژوهشگران با در دست داشتن جهت تنش معلوم تلاش می‌کنند به جهت بیشینه برش در سنگ‌ها دست یابند. اما برای مقاصد زمین‌شناسی، جهت بیشینه تنش (خط خش) بر روی صفحه گسلی معلوم است و آنچه مطلوب است، وارونه کردن مسئله است. بدان معنی که با داشتن جهت برش بیشینه بتوان به جهت تنش‌های اصلی رسید که باعث تشکیل گسل و خش لغز روی آن شده است.

در واقع روش معکوس یا بازگردانی به دست آوردن جهت تنش با استفاده از داده‌های لغزش گسلی است که با استفاده از الگوریتم‌های بازگردانی ارائه شده توسط محققینی چون یاماجی^۱ (۲۰۰۰)، انجلیبر (۱۹۷۹) و ... صورت می‌گیرد. روش‌های ارائه شده توسط این محققین علیرغم تفاوت‌هایی در اجرا همگی بر فرضیات زیر استوار هستند:

(۱) لغزش به موازات ماکسیمم تنش برشی روی داده است (بوت^۲، ۱۹۵۹).

(۲) لغزش بر روی هر سطح از قانون کولمب پیروی می‌کند. این قانون در سنگ بکر به شکل:

$$\tau = tg\varphi \cdot \sigma_n$$

و بر روی شکستگی‌های قدیمی به صورت $\tau = c_0 + tg\varphi \cdot \sigma_n$ می‌باشد (جانسون^۳، ۱۹۹۹)

(۳) گسل‌ها هیچ بر هم کنشی ندارند (لغزش بر روی سطح یک گسل تأثیری بر لغزش بر روی گسل‌های دیگر ندارد).

^۱Yamaji

^۲Bott

^۳Johnson

(۴) میدان تنش با موقعیت گسل‌های همجوار تغییر نمی‌کند.

(۵) میدان تنشی که باعث این گسل‌ها شده همگن و مستقل از زمان می‌باشد.

(۶) در زمان گسلش یکی از محورهای تنش قائم می‌باشد (آندرسون^۱، ۱۹۵۱)

(۷) بلوک‌های گسلی چرخش نمی‌کنند.

از معایب این روش آن است که جهت بیشینه تنش برشی اندازه‌گیری شده (جهت خط خشی که در طبیعت اندازه‌گیری می‌شود، S) و جهت بیشینه تنش برشی محاسبه شده (به کمک روابط فیزیکی، τ) با یکدیگر همخوان نیستند. به اختلاف زاویه‌ای که میان این دو مقدار طبیعی و نظری وجود دارد، زاویه ناهمخوانی^۲ گفته می‌شود. برای حل این مشکل باید تنسور تنشی محاسبه شود تا زاویه ناهمخوانی (α) در آن به کمترین حد ممکن برسد. این مرحله یکی از پایه‌های روش برگشتی بوده و در بعضی از روش‌ها از جمله روش (کری و برونیر^۳، ۱۹۷۴) زاویه ناهمخوانی تا ۳۰ درجه پذیرفتنی است و بیش از این از محاسبه حذف می‌گردد. به عبارتی زاویه ناهمخوانی (مقدار α) درجه سازگاری لغزش گسلی محاسبه شده را با تنش برشی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد و مقایسه کمتر از ۴۵ درجه قابل قبول تلقی شده و بیش از این مقدار نمایانگر درجه ناسازگاری خواهد بود (انجلیر، ۱۹۹۰). بنابراین درجه اطمینان، جهت سازگاری تنش برشی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، با کاهش زاویه ناهمخوانی افزایش می‌یابد.

➤ روش دو وجهی عمود بر هم (Right Dihedral Method)

روش دو وجهی عمود بر هم از پرکاربردترین شیوه تعیین وضعیت میدان تنش حاکم بر یک منطقه به شمار می‌رود. این روش برای نخستین بار توسط انجلیر و مک‌لر^۴ (۱۹۷۷) ارائه شد. در این روش برای هر دسته از داده‌ها (وضعیت گسل و بردار لغزش) دو صفحه کمکی^۵ می‌توان رسم نمود که یکی از آنها

¹ Anderson

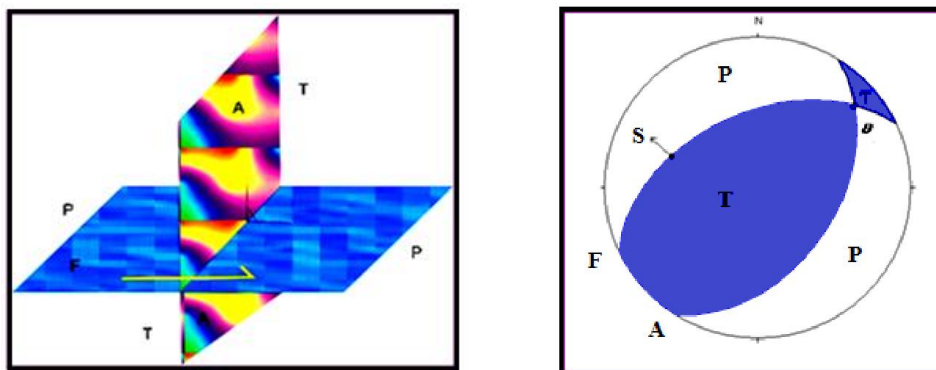
² Miss angel

³ Carey and Brunier

⁴ Angelier and Machler

⁵ Auxiliary Plane

سطح گسل و دیگری عمود بر صفحه اول می باشد، به گونه ای که قطب آن، بردار لغزشی سطح گسل است. در این صورت محدوده تحت گسلش به دو بخش فشارشی و کششی تقسیم می شود که دو ربع فشارشی و کششی در مقابل یکدیگر قرار می گیرند (شکل ۴-۶).



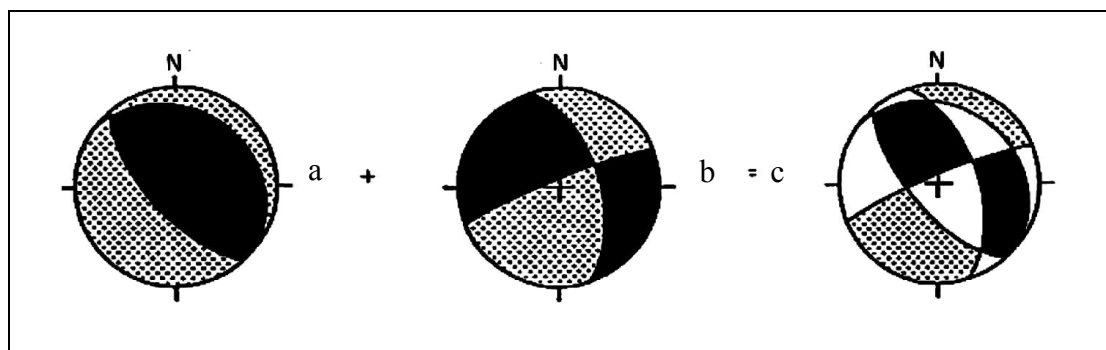
شکل ۴-۶- دو وجهی عمود بر هم و نواحی کششی و فشارشی در هر دو شکل دیده می شوند. تصویر سمت چپ: دید سه بعدی و تصویر سمت راست: استریوگرام نیمکره پایین (F سطح گسل، A سطح کمکی، n نرمال صفحه گسل (بردار واحد)، s بردار لغزش واحد، B تقاطع دو سطح A و F، P دو وجهی فشارشی، T دو وجهی کششی (آرتود^۱، ۱۹۶۹).

ربع هایی که در شکل ۴-۶ به ترتیب با حروف T و P نشان داده شده است، محدوده فشارش و کشش بوده که در استریوگرام به ترتیب به صورت بخش های تیره و روشن مشخص شده است. محور σ_1 در ربع فشارشی و محور σ_3 در ربع کششی دو وجهی قرار می گیرند. در این صورت وقتی چند سطح گسل در یک سامانه اعمال تنش اصلی فعال شوند، بردارهای لغزش شکل می گیرند.

به ازاء هر سطح گسل و خط لغزش روی آن یک دو وجهی عمود بر هم به دست خواهد آمد که محوره های تنش σ_1 و σ_3 به ترتیب به نواحی فشارشی و کششی آن تعلق دارند. با انطباق استریوگرام های مربوط به دو وجهی هر سطح گسل بر روی هم، می توان نواحی مشترک فشارش و کشش استریوگرام ها را استخراج و بخش های ناسازگار را کنار گذاشته و نواحی فشارشی را هر چه بیشتر محدود نمود. مثلاً در شکل ۴-۷ دو وجهی حاصل از دو صفحه گسل با هم ترکیب شده و نواحی کشش (سیاه رنگ) و فشارش (نقطه چین) محدودتری به دست آمده است. محدوده های ناسازگار (مناطق هم پوشانی) به رنگ سفید کنار گذاشته شده است. با افزایش دو وجهی گسل های

¹ Arthaud

دیگر می‌توان این نواحی را هر چه بیشتر محدود و به یک نقطه نزدیک کرد و در نهایت وضعیت محور σ_1 و σ_3 را دریافت. به عبارت دیگر در این روش، لغزش روی گسل‌هایی صورت می‌گیرد که وضعیت‌های متفاوتی دارند ولی تحت شرایط تنش، یکنواخت هستند.

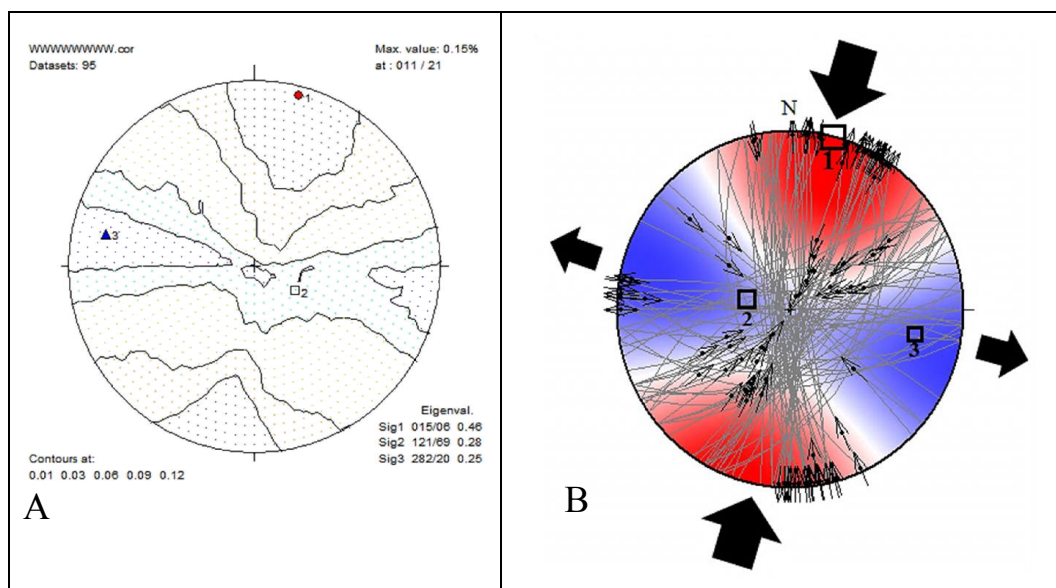


شکل ۴-۷- تعیین تنش با استفاده از روش دو وجهی عمود بر هم، (a و b) مورد ساده‌ای از دو نوع مکانیسم گسلی که نتیجه آنها در (c) نشان داده شده است (محدوده‌های نقطه چین محور فشارش (P)، سیاه رنگ محور کشش (T) و سفید رنگ محدوده هم‌پوشانی).

تعیین راستای تنش اصلی حاکم بر منطقه مطالعاتی

تحلیل تنش و تهیه نقشه ساختاری، ابزار مناسبی برای درک تکتونیک هر منطقه است. در این بررسی جهت تعیین راستای تنش اصلی وارد بر منطقه مورد مطالعه، از عناصر ساختاری چون گسل‌ها استفاده گردیده است. پس از برداشت این عناصر ساختاری از بخش‌های مختلف منطقه بر روی سازندهایی با جنس و سن متفاوت، سعی شد تا گسل‌های سازگار با جنبش‌های نوزمینساختی از نظر سینماتیک تفکیک و به همراه خراش‌های گسلی مربوط به آنها مورد ارزیابی قرار گیرد (پیوست ۲۰). در نهایت محور تنش مسبب جنبش این عناصر به روش دو وجهی عمود بر هم در بازه زمانی میوسن تا عهد حاضر، با به کارگیری دو نرم‌افزار Tectonics FP و T-Tecto تعیین شده است. بر این اساس، محور کشیدگی با موقعیت ۲۰/۲۸۲ و محور فشردگی با موقعیت ۰۶/۰۱۵ در محیط نرم‌افزاری Tectonics FP به دست آمده است (شکل ۴-۸-الف). همچنین موقعیت محورهای اصلی تنش در محیط نرم‌افزاری T-Tecto نیز برای σ_1 ، σ_2 ، σ_3 به ترتیب ۰۲/۰۱۵، ۷۲/۲۷۹، ۱۸/۱۰۵ تعیین شده است (شکل ۴-۸-ب).

همچنین تصاویر برخی از سطوح گسلی به کار گرفته شده در تعیین وضعیت تنش محدوده مورد مطالعه که از ضریب اطمینان بالایی از لحاظ سازوکار برخورداری می‌باشند، در پیوست ۲۱ آورده شده است. قابل ذکر است که به دلیل تعداد زیاد سطوح گسلی به کار گرفته شده در تعیین وضعیت تنش و محدودیت حجم پایان نامه از آوردن تمامی تصاویر خودداری شده است.



شکل ۴-۸- تعیین محورهای کشش، فشارش و حدواسط در منطقه در بازه نوزمینساختی بر اساس روش دو وجهی عمود بر هم، A: در محیط نرم افزار Tectonics FP، B: در محیط نرم افزار T-TECTO.

با بررسی خصوصیات هندسی و جنبشی گسل‌های منطقه و پی بردن به منشأ گسل‌های عرضی، می‌توان اینگونه بیان نمود که برخی از گسل‌های عرضی در منطقه آهوان، نتیجه شکست و گسلش ناشی از اعمال تنش‌های کنونی و تعدادی دیگر مربوط به گسل‌هایی هستند که در فازهای تنش گذشته تشکیل شده و در میدان تنش جدید مجدداً فعال شده‌اند (سطوح دارای دو نسل خراش گسلی). در نتیجه هندسه این گسل‌ها ارتباطی با میدان تنش جاری ندارد، ولی لغزش‌های امتدادلغز ایجاد شده بر روی آنها با شرایط تنش فعلی همخوانی دارد به عبارتی این نوع گسل‌های عرضی از نوع گسل‌های پیش ساخته‌ای می‌باشند که در فاز امتدادلغز خود می‌توانند مرتبط با گسل‌های کواترنری (نوزمینساختی) باشند و با استناد بر اینکه اکثر این گسل‌ها در البرز خاوری از جمله بخش‌های شمالی منطقه مطالعاتی نهشته‌های کواترنری را بریده‌اند، در بازه نوزمینساخت قرار خواهند گرفت. در واقع

آنچه اهمیت گسل‌های عرضی زون ساختاری البرز را محرز می‌نماید و آنها را در بازه مطالعاتی نوزمینساخت قرار می‌دهد، جنبش کواترنری این گسل‌ها می‌باشد.

۴-۵- الگوی جنبشی - دینامیکی

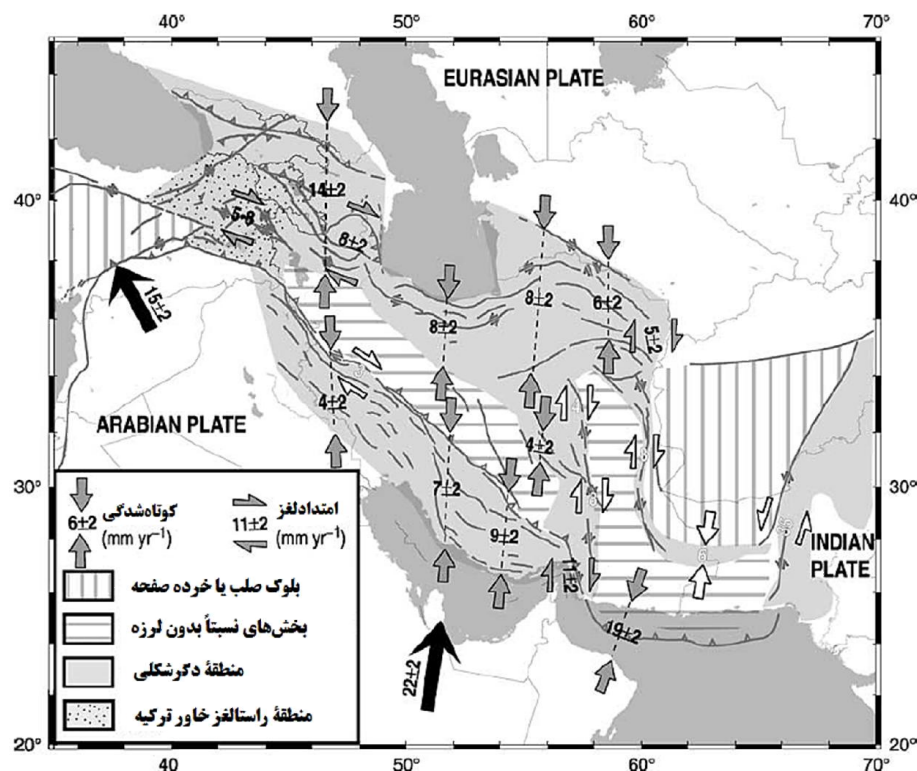
چنانچه می‌دانیم ارائه الگویی که توجیه‌کننده ساختارهای موجود در محدوده مورد مطالعه باشد، بدون انطباق با دستاوردهای حاصل از نحوه تکامل ساختاری البرز امکان‌پذیر نیست، چرا که محدوده مورد مطالعه بخشی از این کوهزاد محسوب می‌گردد و تکامل ساختاری آن نمی‌تواند جدای از تکامل ساختاری رشته کوه البرز باشد. بنابراین اشاره‌ای مختصر به مکانیسم‌های احتمالی ایجادکننده این رشته کوه به نظر لازم می‌آید.

از دیدگاه آلن و همکاران (۲۰۰۳) تغییر شکل فشاری سنوزوئیک در البرز، در میوسن (یا کمی پیش-تر)، با اولین مرحله برخورد صفحات عربی و اوراسیا آغاز گشت که در این زمان جهت‌گیری تنش بیشینه، شمالی- جنوبی بوده و البرز به طور غالب تحت تنش فشارشی قرار داشته است. با غلبه تنش اعمال شده از صفحه عربی و آغاز حرکت رو به سمت 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 مسبب تغییر در شرایط دگرشکلی فشارشی به چپ‌لغز شده است (شکل ۲-۴).

از طرف دیگر برخی از محققین چون، جمور و بایر^۱ (۲۰۰۵)، به اندازه‌گیری‌های ژئودزیکی در محدوده البرز پرداختند. به اعتقاد ایشان کوتاه‌شدگی کنونی البرز عمدتاً مربوط به دامنه شمالی و حرکت امتدادی چپ‌بر بر روی گسل‌های اصلی در دامنه جنوبی محدود می‌باشد. ورنانت^۲ و همکاران (۲۰۰۴)، با اندازه‌گیری سرعت و حرکت پوسته در نقاط مختلف ایران با استفاده از اطلاعات سیستم موقعیت جهانی (GPS) میزان کوتاه‌شدگی را در این ناحیه حدود 8 ± 2 میلی‌متر در سال برآورد نموده‌اند (شکل ۴-۹).

^۱ Djamour and Bayer

^۲ Vernant



شکل ۴-۹- نمایش نتایج بررسی‌های ورنانت و همکاران (۲۰۰۴)؛ پیکان‌های سیاه نشانگر جنبش صفحه عربستان نسبت به اوراسیا می‌باشند. پیکان‌های سفید نمایانگر نرخ‌های برآورد شده به کمک GPS، شواهد زمین‌شناسی و زلزله‌شناسی هستند. پیکان‌های خاکستری نرخ‌های دگرشکلی اندازه‌گیری شده توسط GPS را نشان می‌دهند. تمامی نرخ‌ها بر حسب میلی‌متر در سال می‌باشد.

در همین راستا محققین دیگر طی مطالعات خود به بررسی جهت تنش در بازه‌های زمانی گوناگون در محدوده البرز پرداخته‌اند. ورنانت و همکاران (۲۰۰۴) علاوه بر تعیین جهت تنش بیشینه در محدوده البرز، به تعیین جهت تنش در بخش‌های مختلف کشور پرداخته و برای منطقه البرز، بویژه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، راستای تقریبی شمال، شمال‌خاوری- جنوب، جنوب‌باختری را برای جهت تنش بیشینه تعیین کرده‌اند که نشان‌دهنده رژیم زمینساختی کنونی در سرزمین ایران است. گلونکا^۱ (۲۰۰۷) نیز اینطور بیان می‌دارد که با حرکت رو به باختر خزر جنوبی در زمان پلیوسن نسبت به ایران، جهت تنش بیشینه از حالت شمالی- جنوبی به حالت شمال‌خاوری- جنوب باختری تغییر روند داده و تاکنون ادامه دارد. همچنین امیدی و همکاران (۱۳۸۱) در بازسازی تنش کواترنری در نیمه جنوبی البرز خاوری، جهت تنش بیشینه را رو به سمت شمال-شمال خاوری معرفی کرده‌اند.

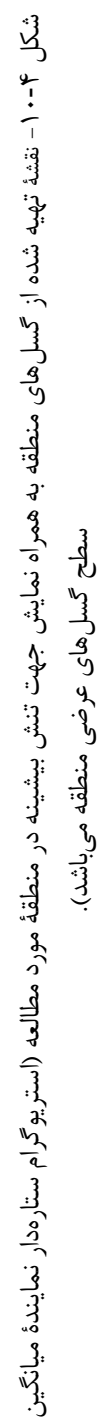
^۱ Golonka

با توجه به توضیحات فوق و نقشه ساختاری تهیه شده از منطقه (شکل ۴-۱۰)، می توان اینگونه بیان نمود که منطقه مورد مطالعه حاصل فازهای زمینساختی قدیم و نوزمینساختی می باشد. به طوریکه جنبش های شیب لغز (معکوس)، قدیمی و جنبش های غالب امتداد لغز، جوان تر می باشند. سازوکار معکوس همراه با مؤلفه راستالغز چپ بر برای اکثر گسل های طولی و سازوکار راستالغز راست بر (روندهای شمالی - جنوبی) و چپ بر (راستای شمال خاوری - جنوب باختری) برای گسل های عرضی منطقه که ناشی از اعمال میدان تنش با جدیدترین جهت امتداد محور بیشینه فشارش با موقعیت بدست آمده $N15^{\circ}E$ می باشد، هماهنگ است. برخی از گسل های جوان و کوچک در الگوی برشی های ریدل مرتبط با گسل های بزرگتر قرار می گیرند و تعدادی از گسل های بزرگ، گسل های پیش ساخته ای می باشند که طبق وضعیت هندسی خود نسبت به میدان تنش جدید، با سازوکارهای متفاوت واکنش نشان داده اند. همچنین تغییر روند تدریجی محور ناودیس رین و میانگین سطوح لایه بندی برای چین ابراهیم آباد در سازندهایی با سن و جنس یکسان در فواصل پیمایشی نزدیک به هم نیز حاکی از اعمال تنش برشی چپ بر در منطقه می باشد. این سازگاری مؤید حاکمیت الگوی دگرریختی ترافشارشی از نوع چپ گرد با راستای شمال، شمال خاوری - جنوب، جنوب باختری در این بخش از البرز است. ذکر این نکته نیز ضروری است که واحدهای سنگی چین خورده به گسل های طولی منطقه محدود بوده و چین های موجود می توانند حاصل مراحل چین خوردگی قبلی و تأثیر گسل های جوانتر بر روی آنها به صورت افزایش شدت چین خوردگی باشند.

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از واحد رسوبی - ساختاری البرز خاوری می باشد، بدیهی است که شکل گیری زمینساختی آن با الگوی ارائه شده برای دگرشکلی این قسمت از ایران همخوانی داشته باشد. با توجه به جهت تنش حاکم بر البرز، به ویژه در البرز خاوری، پیش بینی می شود که گسل های با راستای شمالی - جنوبی، سازوکار امتدادی راست بر را از خود نشان دهند که این موضوع با اطلاعات و شواهد بدست آمده از گسل های عرضی منطقه با راستای تقریبی شمالی - جنوبی همخوانی دارد.

۴-۶- پیشنهادات

- مطالعهٔ سن‌یابی بر روی گسل‌های کواترنری منطقه و بررسی تطبیق حرکات آنها با فازهای مشاهده شده بر روی واحدهای سنگی منطقه.
- مطالعهٔ نقش تکتونیک در شکل‌گیری کارست و چشمهٔ آب موجود در منطقهٔ رین.
- مقایسهٔ میدان تنش حاصل از داده‌های لغزش گسل در بازهٔ نوزمینساخت با تنش حاصل از سازوکار کانون زمین لرزه‌ها در زون البرز.



پوست

پیوست ۱- داده‌های برداشت شده از سطح گسل رین جنوبی.

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dip.	Dip.Dir	Azimuth	Plunge	Sense*		Longitude	Latitude
86	185	269	56	1	1	53°38'54.2"E	35°46'04.9"N
86	185	274	10	4	1	53°38'54.2"E	35°46'04.9"N
89	005	027	89	1	1	53°38'54.9"E	35°46'04.8"N
89	000	270	01	4	1	53°38'54.9"E	35°46'04.8"N
89	000	267	57	1	1	53°38'54.9"E	35°46'04.8"N
80	175	268	19	4	2	53°39'9.39"E	35°46'5.68"N
89	185	273	46	1	2	53°39'7.06"E	35°46'5.23"N
89	185	275	01	4	2	53°39'7.06"E	35°46'5.23"N
80	190	280	01	4	3	53°38'48.68E	35°48'4.50"N
89	004	274	04	4	2	53°39'6.00"E	35°46'5.62"N
80	355	260	20	4	3	53°38'38.98E	35°46'4.38"N
80	375	346	79	1	2	53°39'9.39"E	35°46'5.68"N
84	189	274	84	1	3	53°38'36.01E	35°46'3.66"N
70	005	004	70	1	3	53°38'34.95E	35°46'3.97"N

پیوست ۲- داده‌های برداشت شده از سطح گسل رین شمالی.

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dip	Dip.Dir	Azimuth	Plung	Sense*		Latitude	Longitude
85	198	273	72	1	1	53°41'30.2" E	35°46'09.1" N
86	175	252	71	1	1	53°41'01.8" E	35°46'18.0" N
60	190	280	01	4	1	53°41'01.8" E	35°46'18.0" N
85	190	280	01	4	4	53° 39'21.4"E	35°46'21.5"N
80	174	259	26	4	2	53°41'40.2" E	35°46'06.8" N
75	180	219	71	1	3	53° 40'52.9"E	35°46'12.1"N
75	200	263	59	1	3	53° 41'09.0"E	35°46'10.2"N
60	187	277	01	4	2	53° 40'13.6"E	35°46'09.7"N
55	190	280	01	4	2	53°40'15.3"E	35°46'11.0"N
80	180	177	79	1	2	53°40'34.6"E	35°46'09.3"N
80	180	270	01	4	2	53°40'34.6"E	35°46'09.3"N
70	180	257	33	4	2	53°40'36.9"E	35°46'11.9"N
65	198	274	29	4	1	53°42'12.75"E	35°45'58.57"N
70	000	010	70	1	1	53°42'7.59"E	35°45'52.00"N
83	015	101	27	4	1	53°42'18.21"E	35°46'6.45"N
88	010	100	01	4	2	53°40'13.6"E	35°46'09.7"N
85	354	084	01	4	2	53°40'13.6"E	35°46'09.7"N
85	180	270	03	4	1	53°41'01.8" E	35°46'18.0" N
89	180	270	01	4	4	53°39'01.7"E	35°46'21.6"N

پیوست ۳- موقعیت لایه‌بندی از چین کشیده در مجاورت گسل نمرد.

No.	Dip	Dip.Dir.	No.	Dip	Dip.Dir.	No.	Dip	Dip.Dir.
1	65	215	7	20	280	13	20	292
2	70	200	8	70	170	14	30	315
3	60	210	9	70	160	15	31	322
4	50	210	10	40	185	16	20	260
5	32	230	11	16	225	17	32	240
6	27	260	12	20	256	18	35	260

پیوست ۴- داده‌های برداشت شده از سطح گسل نمرد.

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dir.	Dip.Dir.	Azimuth	Plunge	Sense*		Latitude	Longitude
85	330	352	57	1	1	35°47'40.99"N	53°40'52.69"E
78	354	070	66	1	1	35°47'40.97"N	53°40'52.67"E
65	355	054	50	1	1	35°47'36.92"N	53°40'46.26"E
85	328	001	80	1	1	35°47'36.93"N	53°40'46.27"E
65	315	348	62	1	3	35°46'21.7"N	53°38'07.2"E
85	348	070	58	1	1	35°47'18.1"N	53°40'12.9"E
55	320	327	55	1	1	35°47'33.51"N	53°40'37.53"E
60	308	316	60	1	1	35°47'37.61"N	53°40'45.50"E
78	330	349	77	1	1	35°47'32.15"N	53°40'32.84"E
65	350	043	54	1	1	35°47'9.87"N	53°40'7.85"E
80	328	024	73	1	1	35°47'40.62"N	53°40'52.08"E
70	325	019	60	1	2	35°47'9.87"N	53°40'7.83"E
70	345	000	69	1	1	35°47'18.1"N	53°40'12.9"E

پیوست ۵- داده‌های برداشت شده از سطح گسل قرن‌تول.

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Dip.	Dip.Dir.	Azimuth	Plunge	Sense*	Longitude	Latitude
85	170	-	-	-	53°38'53.35"E	35°47'25.21"N
86	328	-	-	-	53°38'43.65"E	35°47'20.99"N
81	333	-	-	-	53°38'31.51"E	35°47'14.42"N
84	337	-	-	-	53°41'04.71"E	35°45'03.2"N
82	147	-	-	-	53°38'7.27"E	35°47'5.04"N
88	339	-	-	-	53°38'04.61"E	35°47'2.63"N
82	000	-	-	-	53°41'04.71"E	35°45'00.2"N
89	175	263	60	1	53°38'2.72"E	35°47'2.93"N
81	331	015	77	1	53°38'59.84"E	35°47'30.20"N

پیوست ۶- داده‌های برداشت شده از لایه بندی چین‌های کشیده در سازند قم.

Dip.Dir	Dip	Dip.Dir	Dip	Dip.Dir	Dip	Dip.Dir	Dip
85	40	85	50	132	60	355	85
80	40	100	40	340	80	350	85
107	70	115	55	335	80	348	79
95	45	120	55	350	80	355	85
0	83	350	80	348	90	350	85
345	70	110	50	112	45	100	45
105	50	100	56	95	46	102	55
110	50	95	45	85	41		

پیوست ۷- داده‌های برداشت شده از سطح گسل ابراهیم‌آباد.

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر.

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dip	Dip.Dir	Azimuth	Plunge	Sense*		Longitude	Latitude
80	155	210	74	1	2	53°41'27.7" E	35°45'06.2" N
65	140	213	33	1	2	53°41'27.7" E	35°45'06.2" N
80	160	239	48	1	3	53°40'44.1" E	35°44'57.1" N
75	174	246	50	1	1	53°42'19.6" E	35°45'39" N
55	153	182	52	1	3	53°40'40.2" E	35°44'56.2" N
54	170	208	47	1	3	53°40'44.1" E	35°44'57.1" N
58	164	225	38	1	3	53°40'44.1" E	35°44'57.1" N
50	185	221	42	1	4	53°38'56.1" E	35°44'47.2" N
43	175	205	39	1	4	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
55	140	183	47	1	4	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
80	165	247	37	1	4	53°39'20.6" E	35°44'43.2" N
50	155	190	44	1	4	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
35	145	186	28	4	5	53°39'54.3" E	35°45'09.3" N
63	140	190	53	1	5	53°39'56.1" E	35°45'11.7" N
43	130	189	42	1	5	53°39'56.9" E	35°45'13.2" N
50	155	177	49	1	5	53°40'14.1" E	35°45'09.7" N
47	150	179	46	1	5	53°40'28.5" E	35°45'12.8" N
75	155	213	63	1	5	53°40'33.8" E	35°45'13.3" N
70	150	208	56	1	5	53°40'39.4" E	35°45'12.4" N

پیوست ۸- داده‌های برداشت شده از سطح گسل‌های شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری

*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dip	Dip.Dir	Azimuth	Plunge	Sense*		Longitude	Latitude
65	085	355	01	3	1	53°41'43.8"E	35°46'04.9"N
85	070	340	01	3	2	53°40'55.71"E	35°46'08.93"N
80	087	007	45	3	2	53°40'55.7"E	35°46'08.9"N
75	070	353	40	3	2	53°41'00.8"E	35°46'03.6"N
85	250	164	46	3	2	53°41'04.1"E	35°45'55.4"N
85	250	160	02	3	2	53°41'04.1"E	35°45'55.4"N
65	065	335	01	3	3	53°40'37.3"E	35°46'12.2"N

90	080	350	01	3	3	53°40'37.3"E	35°46'12.2"N
70	078	004	38	3	2	53°40'59.6"E	35°46'20.4"N
80	260	355	01	3	2	53°41'00.3"E	35°46'13.2"N
55	250	176	32	3	2	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
75	255	345	01	3	3	53°41'01.3"E	35°46'12.7"N
60	065	144	18	3	5	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
55	240	176	34	3	3	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
70	257	197	51	1	3	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
85	245	163	16	3	3	53°39'55.8"E	35°46'15.8"N
70	260	195	53	1	3	53°39'56.9"E	35°46'15.8"N
85	260	178	58	1	3	53°39'56.9"E	35°46'15.4"N
65	245	187	49	1	3	53°40'21.2"E	35°46'10.0"N
65	245	335	01	3	3	53°40'21.2"E	35°46'10.0"N
89	260	350	01	3	3	53°40'28.6"E	35°46'04.4"N
85	082	354	22	3	3	53°40'28.6"E	35°46'04.4"N
80	072	338	21	3	3	53°40'32.5"E	35°46'08.4"N
75	065	345	33	3	4	53°38'53.7"E	35°46'09.9"N
90	090	000	01	3	4	53°38'53.69E	35°46'09.88N
75	065	335	01	3	4	53°38'53.7"E	35°46'09.9"N
70	068	350	31	3	4	53°39'06.0"E	35°46'15.9"N
89	265	355	01	3	4	53°39'06.6"E	35°46'16.6"N
89	260	350	01	3	4	53°39'09.1"E	35°46'16.6"N
75	263	177	17	3	4	53°39'10.9"E	35°46'14.8"N
80	078	004	54	1	4	53°39'13.7"E	35°46'14.6"N
80	078	348	01	3	4	53°39'13.7"E	35°46'14.6"N
75	078	353	19	3	4	53°39'20.9"E	35°46'19.3"N
87	255	182	80	1	5	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
84	077	347	02	3	6	53°39'58.6"E	35°47'06.1"N
80	260	350	01	3	6	53°40'10.9"E	35°47'14.2"N
85	255	163	21	3	6	53°40'18.2"E	35°47'17.5"N
55	253	186	28	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
55	253	193	36	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
55	253	172	13	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
60	262	183	26	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
65	240	168	34	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
65	265	199	41	3	6	53°40'25.9"E	35°47'29.7"N
83	065	336	10	3	6	53°41'10.6"E	35°47'33.2"N
84	257	167	01	3	6	53°41'10.6"E	35°47'33.2"N
83	254	164	01	3	5	53°38'47.7"E	35°46'34.9"N
80	260	170	01	3	5	53°38'54.8"E	35°46'35.6"N
70	260	170	01	3	5	53°39'00.6"E	35°46'37.3"N
76	255	165	01	3	5	53°39'00.6"E	35°46'37.3"N
78	267	177	01	3	6	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
84	264	174	01	3	6	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
76	263	173	01	3	6	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
73	268	178	01	3	6	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
75	072	345	11	3	7	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
86	070	340	01	3	7	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
85	270	180	01	3	7	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
83	271	181	01	3	7	53°41'04.71E	35°45'00.2"N
75	267	177	01	3	7	53°41'04.71E	35°45'00.2"N

83	267	177	01	3	7	53°40'44.1"E	35°44'57.1"N
81	263	173	01	3	7	53°40'40.2"E	35°44'56.21"N
83	264	174	01	3	7	53°39'58.5"E	35°44'33.7"N
86	265	175	01	3	7	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
85	091	181	01	3	7	53°39'54.7"E	35°44'37.1"N
82	092	182	01	3	7	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
85	094	184	01	3	7	53°38'50.0"E	35°43'57.7"N

پیوست ۹- داده‌های مربوط به سطوح برداشت شده از درهٔ گسلی (F₂) در ایستگاه ۴.

Fault Plane									
Dip	Dip.Dir.	Dip	Dip.Dir.	Dip	Dip.Dir.	Dip	Dip.Dir.	Dip	Dip.Dir.
45	122	85	257	80	300	55	267	68	118
70	120	80	270	77	113	70	275	80	105
66	127	85	275	65	300	65	280	70	278
76	115	90	100	75	298	75	270	85	120
85	270	80	275	72	290				

پیوست ۱۰- داده‌های برداشت شده از سطح گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری
*جهت حرکت فرادیواره: ۱: رو به بالا (معکوس)؛ ۲: رو به پایین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

Fault Plane		Slicken Lines			Station	Geographic setting	
Dip	Dip.Dir	Azimuth	Plunge	Sense*		Longitude	Latitude
65	095	171	28	4	1	53°41'46.6"E	35°46'00.7"N
80	100	183	35	4	2	53°41'00.4"E	35°46'04.1"N
65	098	188	01	4	2	53°41'01.7"E	35°46'00.5"N
80	280	191	0	4	2	53°41'02.6"E	35°45'59.7"N
70	120	210	01	4	2	53°41'02.6"E	35°45'59.7"N
83	095	186	31	4	2	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
75	300	211	29	4	2	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
80	095	179	57	1	3	53°40'13.5"E	35°46'09.8"N
80	105	181	01	4	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
74	115	205	01	4	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
85	113	203	05	4	6	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
89	113	204	01	4	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
89	110	200	01	4	2	53°40'23.50"E	35°46'13.17"N
80	116	206	2	4	5	53°39'31.74"E	35°46'46.84"N
77	113	207	37	1	3	53°41'2.66"E	35°45'58.49"N
50	120	173	42	1	7	53°41'28.2" E	35°45'06.7" N
61	112	172	01	4	7	53°41'04.8" E	35°45'00.1" N
83	115	205	01	4	7	53°41'04.8" E	35°45'00.1" N
47	120	210	01	4	7	53°41'04.8" E	35°45'00.1" N
60	125	215	01	4	7	53°39'34.5" E	35°44'43.6" N
70	110	200	01	4	7	53°39'40.8" E	35°44'55.9" N
70	115	205	01	4	7	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
40	115	191	11	4	7	53°39'00.7" E	35°44'42.4" N
80	125	215	01	4	7	53°39'13.8" E	35°44'43.0" N

45	113	203	01	4	7	53°39'15.6" E	35°44'41.9" N
82	285	015	06	4	7	53°41'04.7" E	35°45'00.1" N
79	115	205	01	4	6	53°40'12.9" E	35°47'18.1" N
80	118	208	01	4	6	53°40'18.2" E	35°47'17.5" N
72	118	208	01	4	6	53°40'24.0" E	35°47'20.3" N
69	120	210	01	4	6	53°40'24.0" E	35°47'20.3" N
80	096	186	01	4	7	53°41'04.4" E	35°45'00.1" N
71	119	209	01	4	7	53°40'40.2" E	35°44'56.2" N
84	119	209	01	4	7	53°39'58.5" E	35°44'33.7" N
73	122	212	01	4	7	53°39'40.9" E	35°44'35.4" N
79	124	214	01	4	7	53°39'40.8" E	35°44'35.4" N

پیوست ۱۱- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس قرن‌تول.

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
1	60	350	14	68	138	27	60	170
2	70	335	15	54	143	28	56	347
3	70	330	16	50	142	29	63	345
4	50	345	17	57	143	30	44	139
5	60	340	18	58	149	31	37	133
6	51	351	19	48	150	32	37	155
7	48	355	20	51	161	33	63	144
8	64	345	21	48	150	34	59	139
9	58	325	22	35	349	35	70	144
10	59	323	23	66	342	36	58	319
11	68	133	24	69	330	37	79	327
12	48	136	25	63	331	38	73	336
13	47	322	26	51	359			

پیوست ۱۲- داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در سازند شمشک در سه پهنه T_1 , T_2 , T_3 .

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
T_1								
1	50	136	5	49	120	9	57	117
2	55	133	6	53	122	10	58	130
3	48	138	7	57	119	11	50	130
4	74	122	8	55	120			
T_2								
1	50	350	6	60	350	11	61	143
2	40	340	7	65	000	12	47	133
3	55	330	8	63	345	13	47	142
4	40	355	9	64	150	14	51	151
5	40	340	10	54	140			
T_3								
1	40	131	7	50	16	13	55	130
2	36	137	8	47	20	14	48	130
3	52	144	9	44	7	15	40	18
4	49	154	10	46	10	16	65	002
5	38	150	11	45	16	17	63	005
6	40	157	12	45	11	18	59	14

پیوست ۱۳- داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در سازند دلیچای در سه پهنه پیمایش T_1 , T_2 , T_3 .

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
T_1											
1	50	124	5	47	127	9	45	55	13	57	320
2	55	121	6	43	134	10	55	55	14	51	309
3	65	130	7	60	114	11	50	300	15	50	326
4	55	103	8	59	116	12	59	311			
T_2											
1	31	144	5	47	140	9	51	153	13	44	151
2	47	135	6	45	130	10	47	144	14	40	161
3	40	143	7	47	145	11	28	135	15	167	38
4	42	138	8	52	157	12	27	168	16	171	34
T_3											
1	51	160	5	57	161	9	57	154	13	64	154
2	57	140	6	45	153	10	48	145	14	45	145
3	60	155	7	57	171	11	47	178	15	70	153
4	52	163	8	71	177	12	61	181	16	68	148

پیوست ۱۴- داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در سازند لار در سه پهنه پیمایش T_1 , T_2 , T_3 .

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
T_1								
1	32	290	7	40	98	13	35	95
2	40	295	8	35	93	14	38	90
3	41	285	9	37	90	15	24	309
4	30	293	10	40	100	16	33	105
5	35	305	11	40	103	17	35	108
6	37	305	12	45	90	18	35	304
T_2								
1	45	315	9	33	130	17	40	137
2	43	325	10	30	120	18	35	140
3	45	325	11	32	120	19	24	341
4	45	315	12	37	135	20	48	334
5	45	326	13	40	330	21	50	124
6	48	325	14	40	335	22	28	354
7	30	140	15	35	325	23	32	342
8	35	135	16	35	315			
T_3								
1	26	355	11	35	22	21	38	150
2	32	350	12	30	18	22	51	138
3	23	017	13	25	23	23	43	160
4	30	360	14	35	23	24	50	155
5	28	013	15	35	25	25	48	25
6	41	005	16	60	161	26	63	161
7	33	020	17	55	158	27	57	158
8	42	165	18	35	15	28	49	164
9	33	160	19	50	19			
10	40	150	20	38	23			

پیوست ۱۵- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس رین

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
1	27	40	8	35	38	15	36	142
2	34	127	9	24	123	16	26	149
3	19	40	10	22	110	17	14	75
4	20	26	11	27	133	18	51	159
5	21	15	12	27	145	19	13	30
6	12	45	13	30	135	20	16	114
7	16	47	14	12	90	21	10	130

پیوست ۱۶- داده‌های برداشت شده از ناودیس رین در سازند قرمز بالایی در سه پهنه پیمایش T_1 , T_2 و T_3 .

No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir	No	Dip	Dip.Dir
T_1								
1	40	125	6	20	121	11	35	315
2	35	130	7	35	120	12	32	300
3	37	127	8	37	323	13	38	295
4	40	329	9	28	314	14	42	135
5	30	325	10	30	333	15	36	138
T_2								
1	35	140	5	40	335	9	40	137
2	30	120	6	30	350	10	35	318
3	32	120	7	25	350			
4	37	135	8	28	340			
T_3								
1	20	030	10	50	140	19	20	010
2	20	045	11	45	135	20	55	150
3	20	040	12	50	130	21	55	155
4	20	043	13	48	145	22	35	140
5	15	040	14	50	154	23	57	148
6	23	020	15	53	145	24	55	135
7	20	010	16	48	150	25	55	130
8	53	143	17	40	155	26	80	154
9	50	138	18	50	145	27	79	161

پیوست ۱۷- داده‌های برداشت شده از چین ابراهیم‌آباد در سه پهنه پیمایش T_1 , T_2 و T_3 .

No.	Dip.Dir	Dip	No.	Dip.Dir	Dip	No.	Dip.Dir	Dip
T_1								
1	155	75	5	150	60	9	150	65
2	157	80	6	156	54	10	160	55
3	152	80	7	150	83	11	160	85
4	152	77	8	158	69	12	163	76
T_2								
1	140	46	5	149	70	9	132	61
2	130	45	6	145	48	10	121	52
3	136	56	7	118	48	11	138	51
4	131	50	8	147	53	12	126	53
T_3								

1	110	40	6	080	35	11	090	53
2	095	45	7	086	38	12	095	37
3	105	35	8	095	45	13	070	38
4	090	35	9	080	45	14	085	45
5	100	45	10	078	42			

پیوست ۱۸- داده‌های برداشت شده از چین نمرد

No	Dip.Dir	Dip	No	Dip.Dir	Dip	No	Dip.Dir	Dip
1	145	20	25	170	10	49	155	21
2	155	21	26	140	22	50	200	13
3	140	21	27	135	22	51	200	21
4	130	18	28	137	29	52	230	18
5	148	18	29	142	20	53	185	15
6	130	18	30	148	24	54	195	13
7	135	20	31	135	25	55	202	18
8	130	22	32	140	15	56	180	16
9	140	17	33	145	15	57	180	10
10	133	20	34	143	22	58	153	30
11	153	13	35	130	21	59	185	8
12	153	22	36	185	20	60	150	21
13	135	21	37	185	23	61	145	18
14	138	25	38	185	12	62	187	12
15	148	18	39	185	10	63	150	14
16	138	20	40	180	8	64	155	16
17	180	10	41	185	10	65	188	10
18	174	11	42	180	11	66	225	18
19	140	12	43	129	19	67	190	13
20	170	10	44	203	10	68	190	15
21	190	10	45	190	11	69	210	20
22	190	11	46	175	25	70	185	16
23	175	12	47	152	18	71	177	10
24	164	10	48	135	19	72	170	14

پیوست ۱۹- داده‌های برداشت شده از چین Fo₁

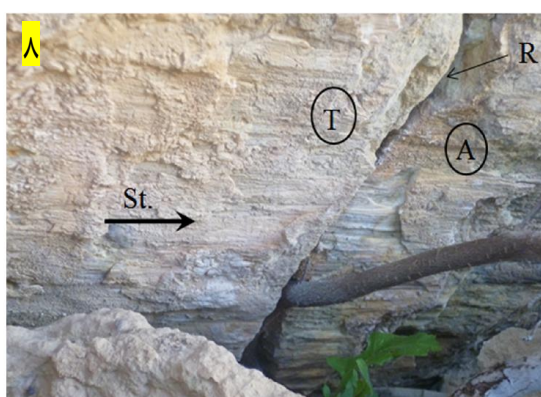
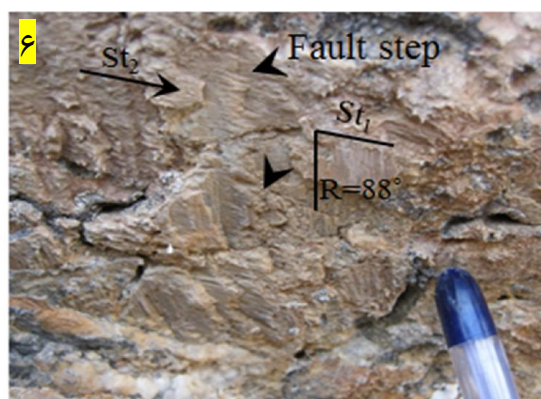
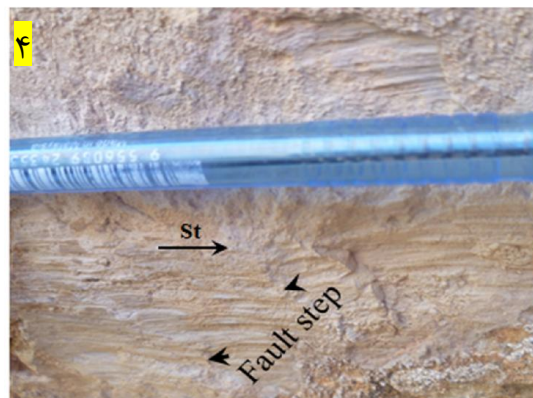
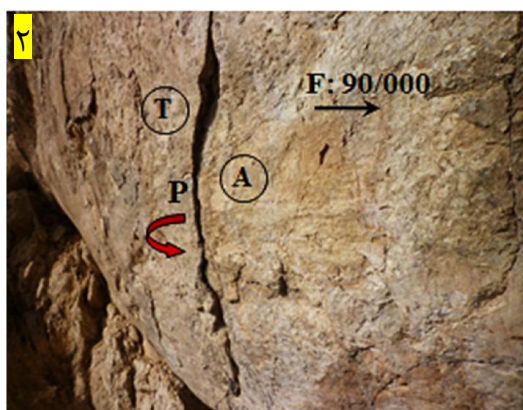
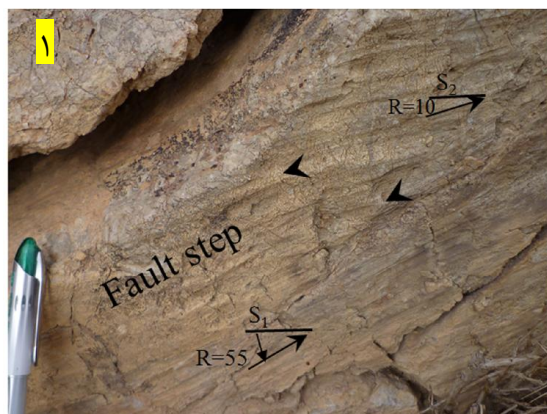
No	Dip.Dir	Dip	No	Dip.Dir	Dip	No	Dip.Dir	Dip
1	90	18	9	40	10	17	50	10
2	80	20	10	50	18	18	55	10
3	70	20	11	55	23	19	52	11
4	75	15	12	50	15	20	60	10
5	58	23	13	90	12	21	70	10
6	78	25	14	80	20	22	80	10
7	75	15	15	55	13	23	55	11
8	55	20	16	68	15	24	50	10

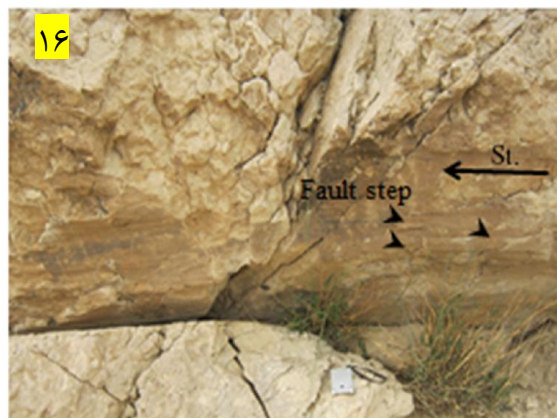
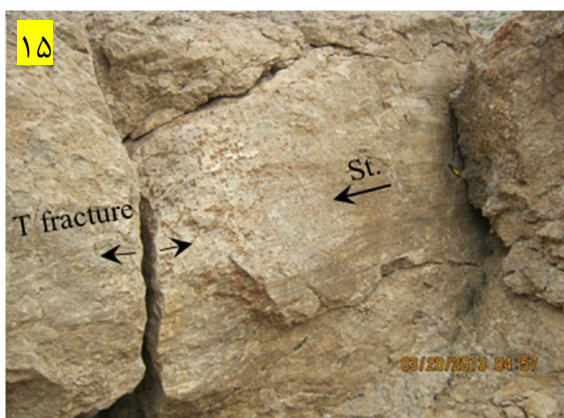
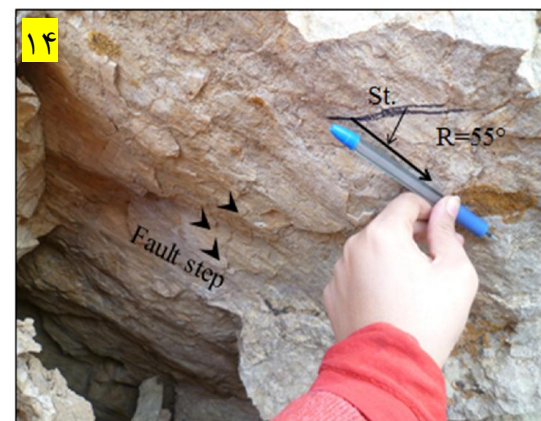
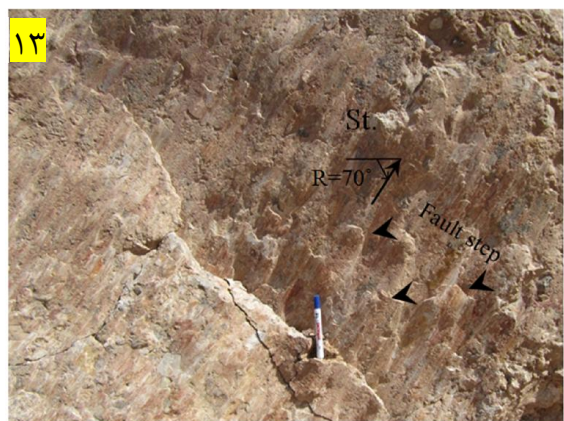
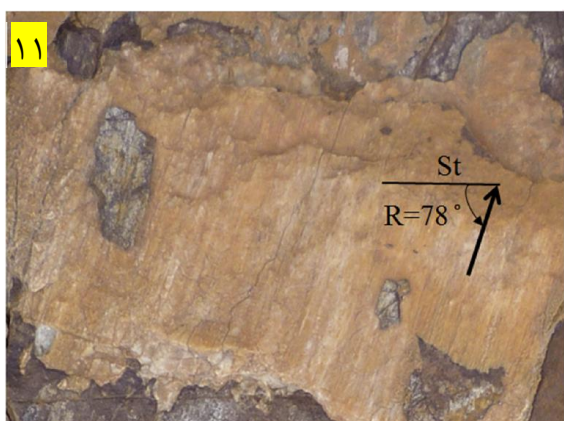
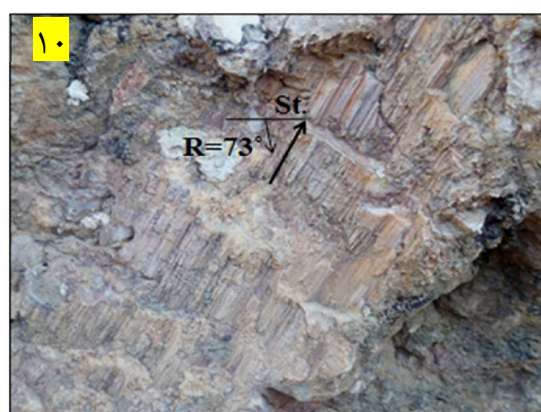
پیوست ۲۰- داده‌های گسلی به کار گرفته شده در تعیین وضعیت تنش در منطقه مورد مطالعه

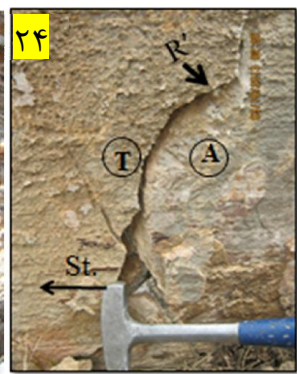
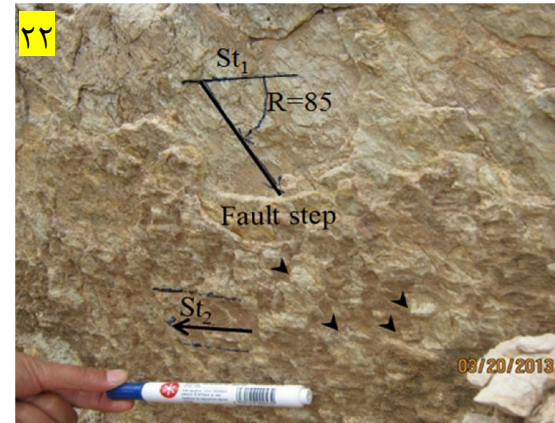
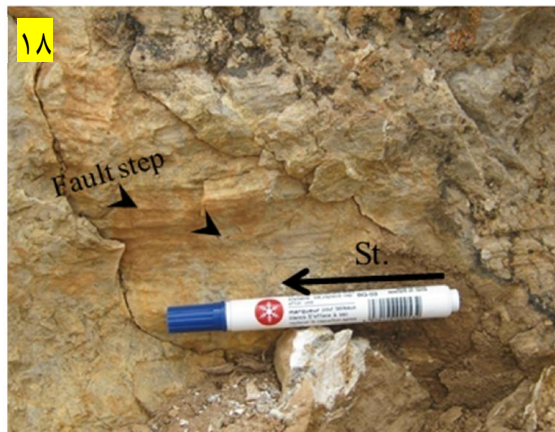
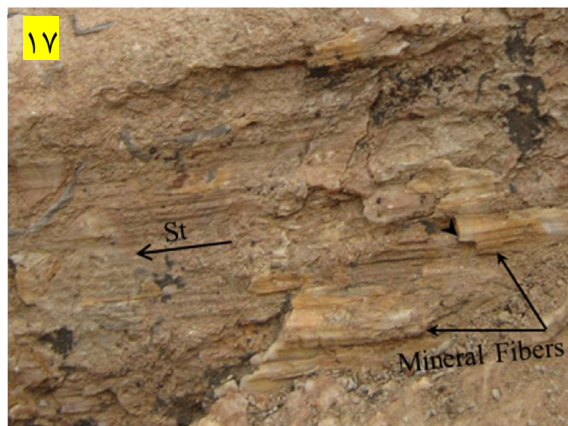
NO	Fault Plane		Slicken Lines			Geographic setting	
	Dip	Dip.Dir	Azimuth	Plunge	Sense*	Latitude	Longitude
1	86	185	274.29	10.02	4	53°38'54.2"E	35°46'04.9"N
2	89	000	270.02	01	4	53°38'54.2"E	35°46'04.9"N
3	85	180	269.83	00.97	4	53°38'54.9"E	35°46'04.8"N
4	89	004	274.07	04	4	53°38'54.9"E	35°46'04.8"N
5	85	190	279.91	00.99	4	53°41'30.2" E	35°46'09.1" N
6	60	187	279.53	00.67	4	53°41'01.8" E	35°46'18.0" N
7	89	000	270	01	4	53°41'01.8" E	35°46'18.0" N
8	78	187	276.57	00.75	4	53° 39'21.4"E	35°46'21.5"N
9	85	328	015.51	82.62	1	53°40'46.27"E	35°47'36.93"N
10	80	328	042	74	1	53°38'07.2"E	35° 46'21.7"N
11	81	331	015	77	1	53°38'59.84"E	35°47'30.20"N
12	80	174	245.48	49.85	1	53°42'19.6" E	35°45'39" N
13	80	160	238.73	47.95	1	53°40'44.1" E	35°44'57.1" N
14	50	155	181.6	51.43	1	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
15	86	265	175.07	01	3	53°40'28.6"E	35°46'04.4"N
16	70	260	170.32	00.88	3	53°41'04.1"E	35°45'55.4"N
17	89	260	349.98	01	3	53°40'37.3"E	35°46'12.2"N
18	76	263	173.23	00.94	3	53°40'37.3"E	35°46'12.2"N
19	83	254	164.12	00.99	3	53°40'59.6"E	35°46'20.4"N
20	73	268	178.28	00.91	3	53°41'00.3"E	35°46'13.2"N
21	65	065	335	01	3	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
22	75	255	344.75	00.93	3	53°41'04.1"E	35°45'55.4"N
23	80	260	349.98	00.12	3	53°40'21.2"E	35°46'10.0"N
24	89	265	354.98	01	3	53°41'00.3"E	35°46'13.2"N
25	78	267	177.2	00.96	3	53°38'47.7"E	35°46'34.9"N
26	83	065	155	01	3	53°41'10.6"E	35°47'33.2"N
27	80	260	170.17	00.97	3	53°41'00.3"E	35°46'13.2"N
28	89	110	199.98	01	4	53°40'23.50"E	35°46'13.17"N
29	77	113	202.76	01.03	4	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
30	73	122	211.72	00.91	4	53°39'31.74"E	35°46'46.84"N
31	73	122	211.72	00.91	4	53°39'31.74"E	35°46'46.84"N
32	75	072	160	13	3	53°41'04.8"E	35°45'00.1"N
33	75	108	195.85	07.96	4	53°41'2.66"E	35°45'58.49"N
34	80	280	190.2	01.14	4	53°41'02.6"E	35°45'59.7"N
35	65	098	187.62	00.82	4	53°41'46.6"E	35°46'00.7"N
36	85	045	318.46	34.58	1	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
37	85	030	304.94	44.56	1	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
38	87	220	132.27	37.04	1	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
39	79	124	213.81	00.96	4	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
40	78	354	058.29	63.9	1	53°40'52.69"E	35°47'40.99"N
41	85	348	069.95	58	1	53°40'52.67"E	35°47'40.97"N
42	65	350	041.53	53.15	1	53°40'46.26"E	35°47'36.92"N
43	70	325	017.3	59.24	1	53°40'46.27"E	35°47'36.93"N
44	70	345	000.24	69.33	1	53°38'07.2"E	35°46'21.7"N
45	80	155	208.16	73.61	1	53°40'40.2"E	35°44'56.2" N
46	65	140	212.53	32.77	1	53°40'44.1"E	35°44'57.1" N
47	54	170	208.21	47.24	1	53°40'44.1"E	35°44'57.1" N
48	50	185	222.08	43.55	1	53°38'53.7"E	35°46'09.9"N

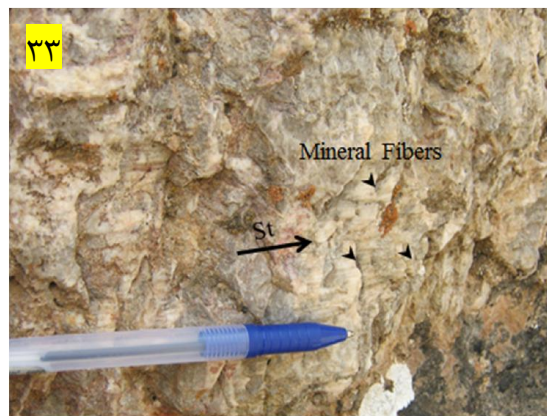
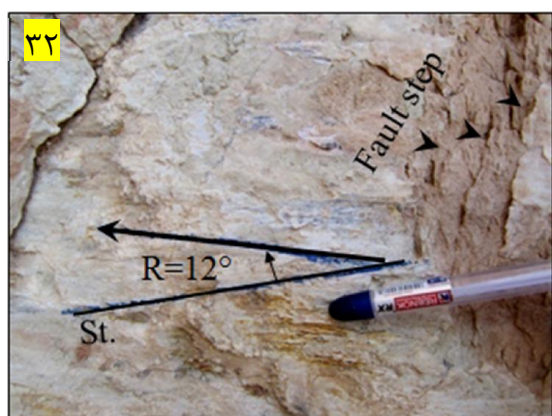
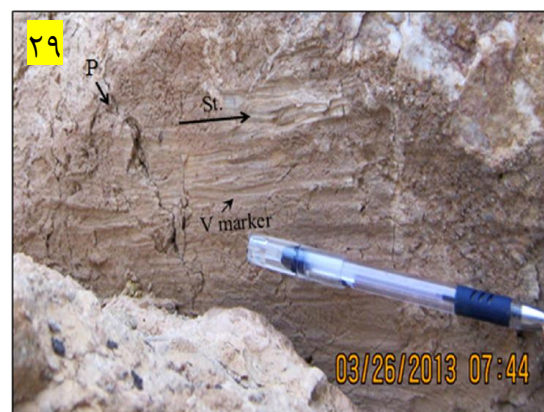
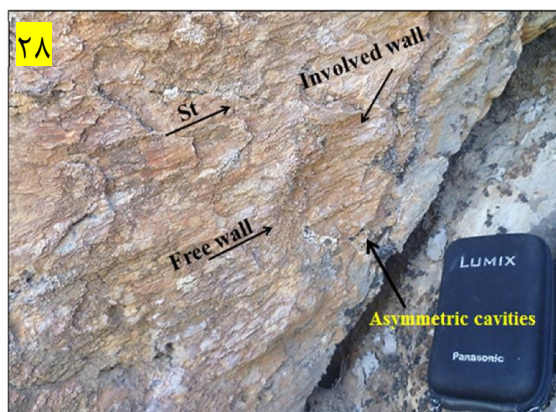
49	43	175	204.97	38.93	1	53°38'53.69"E	35°46'09.88"N
50	55	140	182.49	46.48	1	53°39'56.1"E	35°45'11.7" N
51	63	140	188.85	52.25	1	53°39'56.9"E	35°45'13.2" N
52	50	155	176.53	47.95	1	53°40'14.1"E	35°45'09.7" N
53	47	150	177.7	43.51	1	53°40'28.5"E	35°45'12.8" N
54	75	155	213.18	63.06	1	53°40'33.8" E	35°45'13.3" N
55	70	150	207.59	55.82	1	53°40'39.4" E	35°45'12.4" N
56	80	078	348.17	00.97	3	53°39'13.7"E	35°46'14.6"N
57	84	077	347.21	01.98	3	53°39'13.7"E	35°46'14.6"N
58	80	260	349.83	00.97	3	53°39'20.9"E	35°46'19.3"N
59	55	253	172.2	12.86	3	53°39'58.6"E	35°47'06.1"N
60	85	325	054.13	09.84	4	53°41'00.4"E	35°46'04.1"N
61	83	095	184.89	00.86	4	53°41'01.7"E	35°46'00.5"N
62	71	114	202.46	04.47	4	53°41'02.6"E	35°45'59.7"N
63	80	116	205.83	00.97	4	53°41'02.6"E	35°45'59.7"N
64	83	115	204.88	00.99	4	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
65	55	110	199.2	01.14	4	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
66	40	115	191.24	11.29	4	53°40'13.5"E	35°46'09.8"N
67	45	113	202.5	00.5	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
68	82	285	014.17	05.88	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
69	80	096	185.83	00.97	3	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
70	84	257	167.1	00.99	3	53°39'56.9"E	35°46'15.8"N
71	76	255	165.23	00.94	3	53°39'56.9"E	35°46'15.4"N
72	79	115	204.81	00.96	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
73	80	118	207.83	00.97	4	53°40'25.9"E	35°47'21.8"N
74	72	118	207.71	00.9	4	53°38'55.1"E	35°46'08.2"N
75	69	120	209.67	00.87	4	53°40'23.50"E	35°46'13.17"N
76	71	119	208.69	00.89	4	53°39'31.74"E	35°46'46.84"N
77	84	119	208.9	00.99	4	53°41'2.66"E	35°45'58.49"N
78	85	270	180.09	00.99	3	53°40'28.6"E	35°46'04.4"N
79	83	271	181.12	00.99	3	53°40'32.5"E	35°46'08.4"N
80	80	267	177.17	00.97	3	53°38'53.7"E	35°46'09.9"N
81	83	267	177.12	00.99	3	53°39'20.9"E	35°46'19.3"N
82	81	263	173.16	00.98	3	53°38'27.4"E	35°46'29.6"N
83	83	264	174.12	00.99	3	53°39'58.6"E	35°47'06.1"N
84	85	091	180.91	00.99	3	53°41'43.8"E	35°46'04.9"N
85	82	092	181.86	00.98	3	53°40'55.71"E	35°46'08.93"N
86	85	094	183.91	00.99	3	53°40'55.7"E	35°46'08.9"N
87	87	091	180.95	01	3	53°41'00.4"E	35°46'12.8"N
88	85	155	239.22	49	1	53°38'50.3" E	35°44'49.6" N
89	75	150	224.53	44.87	1	53°39'54.3" E	35°45'09.3" N
90	62	140	203.5	40.01	1	53°39'56.1" E	35°45'11.7" N
91	85	140	224.61	47.05	1	53°39'56.9" E	35°45'13.2" N
92	85	325	049.81	45.98	1	53°40'7.83"E	35° 47'9.87"N
93	70	135	211.44	32.79	1	53°39'54.3" E	35°45'09.3" N
94	85	325	050	46	1	53°40'7.83"E	35° 47'9.87"N
95	70	135	212	33	4	53°40'7.83"E	35° 47'9.87"N
96	83	270	000	01	3	53°41'43.8"E	35°46'04.9"N
97	85	253	167	01	3	53°41'43.8"E	35°46'04.9"N

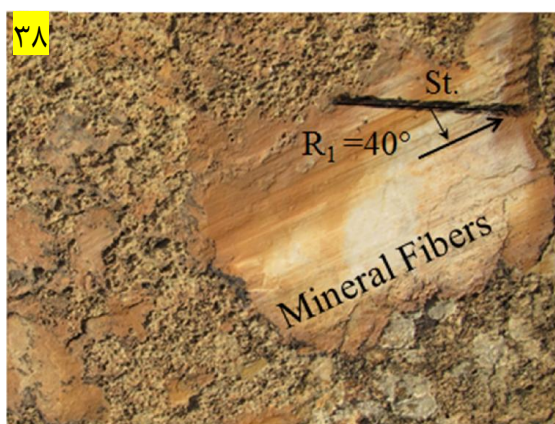
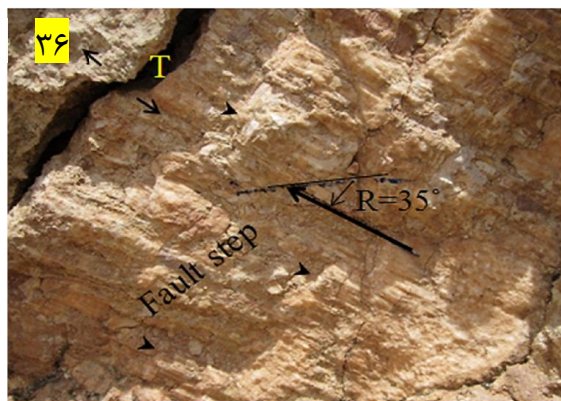
پیوست ۲۱- تصاویر نمونه برخی از سطوح گسلی به کار گرفته شده در تعیین وضعیت تنش منطقه؛
* شماره سطوح گسلی منطبق با موقعیت آنها در پیوست ۲۰ می باشد.











منابع

منابع فارسی

- ❖ آقاباتی س.ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۵۵ ص.
- ❖ آقاباتی س.ع.، و حامدی ا.، (۱۳۷۳)، "نقشه زمین‌شناسی سمنان به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ امیدپ، نوگل سادات م.، قریشی م.، (۱۳۸۰)، "جایگاه نظام گسلی دامغان در پهنه برشی همگرای آستانه- عطاری"، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۳۹-۴۰.
- ❖ امیدپ، نوگل سادات م.، قریشی م.، (۱۳۸۱)، "بازسازی تنش کواترنری بر اساس تحلیل لغزش در نیمه جنوبی البرز خاوری"، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۴۵-۴۶.
- ❖ بربریان م.، قریشی م.، طالبیان م.، شجاع طاهری ج.، (۱۳۷۵)، "پژوهش و بررسی نوزمینساخت و خطر زمینلرزه- گسلش در گستره سمنان"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۶۳، ص ۲۶۶.
- ❖ خادمی م.، (۱۳۷۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی و تحلیل ساختاری گسل‌های دامغان و عطاری در گستره دامغان"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس.
- ❖ خسرو تهرانی خ.، (۱۳۸۲)، "چینه شناسی و رخدادهای زمین‌شناسی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- ❖ درویش‌زاده ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، چاپ اول.
- ❖ رحیمی ب.، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه دکتری: "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی.
- ❖ شهریاری س.، موسوی‌حرمی ر.، و رحیمی ب.، (۱۳۸۲)، "تکوین و تکامل ساختاری البرز و تحولات رسوب‌گذاری مرتبط با آن"، فصلنامه علوم دانشگاه تربیت معلم، شماره ۳-۴، ص ۱۴۱-۱۶۲.

❖ علوی نائینی م.، (۱۳۵۱)، "بررسی زمین‌شناسی ناحیه جام"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۲۹۰.

❖ نبوی م.، (۱۳۵۵)، "دیاچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۰۹.

❖ تصاویر ماهواره‌ای لندست (برگرفته از Google earth, 2014).

- Reference

- ❖ Alavi M., (1996), "Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in Northern Iran", *Journal of Geodynamic*, Vol 21, PP 1-33.
- ❖ Allen M.B., Ghassemi M.R., Shahrabi M., and Qorashi M., (2003), "Accommpdation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range,northern Iran", *Journal of Structural Geology*, Vol 25, PP 627-659.
- ❖ Anderson E.M., (1951), "*The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Application to Britain*", Oliver and Boyd, Edinburgh, P 206.
- ❖ Angelier J., (1979), "Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population", *Tectonophysics*, Vol 56, PP 17-26.
- ❖ Angelier J., (1990), "Inversion of field Dta in fault tectonics to obtain the regional stress. A new rapid direct inversion method by analytical meanes", *Journal of Geophysical*, Vol 103, PP 363-376.
- ❖ Angelier J., and Melcher P., (1977), "Surun methode graphique de recherché des contraintes principes egalemt utisiabte en tectonique et en seismologie: la methode des diedtes droits", *Society Geology France*.Vol 7, PP 1309-1318.
- ❖ Angelier J., (1994), "*Fault slip analysis and paleostress reconstruction*", In: *Hancock, P.L. (Ed.)*, Continental Deformation Pergamon Press, PP 53–100.
- ❖ Arthaud, P., (1969), "Method de deformation graphique dune population de failles", *Bull. Society Geology France*, PP 729-737.
- ❖ Asserto R, (1966), "The Jurassic Shemshak formation in central Elburz (Iran)", *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, Vol 72, PP 1133-1182.
- ❖ Berberian M., King G.G., (1981), "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Journal of Earth Science Canadian*, Vol 18, PP 210-265.

- ❖ Bott M. H., (1959), "The mechanics of oblique slip faulting", *Geology Magazine*, Vol 96, PP 109-117.
- ❖ Carey E. and Brunier B, (1974), "Analyse theorique et numerique d'un modele mecanique elementaire applique a l'etude d'une population de failles", *Comptes Rendus Académie Sciences Paris*, Vol 279, PP 891-894
- ❖ Coelho S., Passchier C., Marques F., (2006), "Riedel-shear control on development of pennant veins: field example and analogue modeling", *Journal of structural geology*, Vol 28, PP 1658-1669.
- ❖ Davis G.H., (1984), "*Structural geology of rocks and regions*", Jhon Wiley and Sons. New york, P 492.
- ❖ Dedual E., (1967), "*Zur geologie des mittleren and unteren Karaj-Tales, Zentral – Elbourz (Iran)*", Uster, Offsetdruck Zimmermann, P 123.
- ❖ Djamour Y., Bayer R., (2005), "Contribution of the geodetic observations (GPS and Leveling) to study the tectonic deformation and seismic hazard on the Central Alborz, Iran", *Geophysical Research Abstracts*, Vol 7, P 1.
- ❖ Doblas M., (1998), "Slickensid kinematic indicators", *Journal of Tectonophysics*, Vol 295, PP 187–197.
- ❖ Ehteshami Moinabadi M., Yassaghi A., (2006), "Geometry and kinematics of the Mosha 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 35, PP 461-492.
- ❖ Fossen H., (2010), "*Structural Geology*", Cambridge University Press, New York, P 463.
- ❖ Golonka J., (2007), "Geodynamic evolution of the South Caspian Basin", In: *Yilmaz, Isaksen (Eds.)*, Oil and Gas of the Greater Caspian Area, American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, Vol 55, PP 17-41.
- ❖ Harland W. B., (1971), "Tectonic transpression in Caledonian Spitsbergen", *Geology Magazine*, Vol 108. PP 27- 42.
- ❖ Jackson J, Priestly K, Allen M. and Berberian M., (2002), "Active tectonic of the South Caspian Basin", *Journal of Geophysical International*, Vol 148, PP 214-245.

- ❖ Look B.G., (2007), “*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*”, Published by: Taylor and Francis/Balkema, P 331.
- ❖ Marshak S., and Mitra G., (1988), “*Basic methods of structural geology*”, New-jersey: prentice Hall, Englewood Clifft, P 464.
- ❖ Norris D.K., and Barron K., (1969), "Structural analysis of features on natural and artificial faults", In: *Baer A., Norris D.K. (Eds.), Research in Tectonics. Geological Survey of Canada*, PP 136–167.
- ❖ Petit J.P., (1987), "Criteria for the sense of movment on fault surfaces in brittle rocks", *Journal of structural geology*, 9, No.5/6, PP 597-608.
- ❖ Riedel W., (1929), “Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen”, *Zentral blatt fur Mineralogier Abteilung B*, PP 354-368
- ❖ Sengor A. M. C., Altiner D., Cin A., Ustamoar T., and Hsu K. J., (1988), “Origin and Assembly of the Teyhyside Orogenic collage at the expense of Gondwana Land, in: Gondwana and Tethys”, (ed. By M.G. Audley charls and A. Hahham), *Society Geology London*, Spicial paper 37, PP 119-181.
- ❖ Stampfil G. M., and Borel G. D., (2002), “A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones”, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol 196, PP 17-33.
- ❖ Tatar M, (2001), “Etude seismotectonique de deux zones de collision continental: Le Zagros Central et l’ Alborz (Iran)”, PhD. Thesis, University de Joseph Fourier.
- ❖ Tija H.D., (1967), ”Sense of fault displacements”, *Geology Mijnbouw* Vol 46, PP 392–396.
- ❖ 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 III. S., (1977), “Seismic stratigraphy and global changes of sea level”, part 4. In: *Global cycles of relative changes of sea level. AAPG Mem. Vol 26*, PP 83-97.
- ❖ Vernant Ph., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abbassi M.R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinod J., Ashtiani A., Bayer R, Tavakoli F., Chery J., (2004), “Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle

Eastconstrained by GPS measurements in Iran and northern Oman”, *Journal of Geophysical International*, Vol 157, PP 381-398.

- ❖ Yamaji A., (2000), “The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault- slip data”, *Journal of structural geology*, Vol 22, PP 441-452.

Abstract

Ahovan area in the northeast of Semnan, is a part of south margin of the eastern Alborz. Stratigraphic studies illustrates that there are outcrops of Mesozoic and Cenozoic rock units in this area with northeast-southwest to east-west structural trend. Geomorphologic view of the studied area is highly affected by Structural features such as folds and faults as well as lithology. studied folds, Based on the interlimb angle of fold (Fleuty 1964), most of the folds fall with in open and gentle categories with a few in the close category. Based on the dip of axial plane and plunge of hinge line, the studied folds are classified into two domains, 1- Upright-horizontal, 2- Upright gently plunging. Folds in younger rock units such as Hezardareh conglomerate are very gentle and interlimb angle of these fold is large. Longitudinal fault strikes with northeast-southwest to east-west trend (South Rian, North Rian, Namord, Qarantul and Ebrahimabad) have left lateral reverse and left lateral mechanism. Transverse faults are visible in two major groups with north-south and northeast- nouthwest trending that include right and left lateral mechanism, respectively. Structures of the region are the result of palaeo and neotectonics phases. Such that old dip-slip movements (reverse) and the dominant slip movements are young. Young movements with stress field along the latest axis of maximum compression are compatible with N15°E. Some of young and small faults in the Riedel shear model are related to larger faults and a number of large faults, are pre-existing faults, which according to their geometry have reacted differntly to the new tension field.

Key words: Eastern Alborz, Semnan, Ahovan, Rian, Namord, Ebrahimabad, Qarantul, Transverse faults.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Tectonic Group

**Investigation of deformation of Mesozoic and Cenozoic rock units in
northeast of Semnan (North of Ahovan)**

Elham Khorasani

Supervisor

Dr. P. Omid

Advisor

Dr. A. Taheri

September 2014