

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک

تحلیل هندسی و آماری شکستگی ها در سنگ آهک های مزوزوئیک شمال خاوری شاهرود

نگارنده: معصومه حسنی

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

بهمن ماه ۹۸

تقدیم اثر

تقدیم به دستان پر مهر پدر و مادرم

که اگر چه از نعمت لمس آنها محروم

ولی همراهی شان برایم ابدی است.

((روحان قرین رحمت الهی باد))

تعمیرنامه

اینجانب **معصومه حسنی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه تحلیل هندسی و آماری شکستگی‌ها در سنگ آهک های مزوزوئیک شمال خاوری شاهرود تحت راهنمایی دکتر پرویز امیدی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در این پژوهش شکستگی ها در سنگ آهک های سازند های دلیچای و لار در شمال خاوری شاهرود در دو دسته با روند های شمال خاوری (NE) - جنوب باختری (SW) و شمال باختری (NW) - جنوب خاوری (SE) شناسائی شدند. هر دو دسته نتیجه چند مرحله دگرریختی در زمانهای متفاوت زمین شناسی می باشند. برخی از این شکستگی ها همزمان با چین خوردگی تشکیل شده و برخی دیگر همزاد با تشکیل گسله ها می باشند. علاوه بر این، هشت گسله F_1 تا F_8 شناسایی شده در منطقه نیز از نظر موقعیت هندسی در همین دو روند قرار می گیرند. بر روی سطوح گسله آثار خشلغز های متعلق به زمین ساخت قدیمی و جدید (نو زمین ساختی - کواترنری) شناسایی شد. جنبش کواترنری با وجود خش لغز های تقریباً امتداد لغز جوان و آشکار که بر روی خش لغز های شیب لغز تحمیل شده اند، نمایان می شود. معیار شناسایی جنبش کواترنری بر روی آنها برگرفته از نشانه های آشکار جنبش کواترنری در مناطق مختلف ایران از جمله البرز خاوری است که به عنوان نمونه بر روی گسله های هم روند با ساختار البرز خاوری مانند گسله کواترنری آستانه و گسله کواترنری شاهرود رخ داده است. گسله ای که به صورت برش در نهشته های کواترنری از حاشیه باختری شاهرود (باختر دانشگاه آزاد شاهرود) تا نوار شمالی شهر دامغان به طول نزدیک به ۶۰ کیلومتر قابل ردیابی است. از این رو می توان گسله F_1 را قطعه ای از گسله کواترنری شاهرود دانست که از نوار شمالی شهر دامغان تا شهر شاهرود و پس از آن در واحدهای کربناته سازند های دلیچای و لار در شمال باختر (در محل آرامگاه شهدای گمنام) و شمال خاوری شاهرود (در شرق جاده شاهرود - بسطام) ادامه دارد.

واژه های کلیدی: گسل کواترنری شاهرود-گسل های نوزمین ساختی-گسله امتداد لغز- شکستگیها

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ - مقدمه
۳	۱-۲ - موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه
۳	۱-۳ - تعریف مساله و اهداف تحقیق
۵	۱-۴ - تاریخچه مطالعات پیشین
۷	۱-۵ - روش انجام تحقیق
۹	فصل دوم: زمین شناسی
۱۰	۲-۱ - زمین ساخت البرز
۱۲	۲-۲ - ریخت شناسی
۱۳	۳-۲ - چینه شناسی
۱۳	۳-۲-۱ - سازند دلیچای
۱۴	۳-۲-۲ - سازند لار
۱۵	۳-۲-۳ - نهشته های کواترنری
۱۹	فصل ۳: زمین شناسی ساختاری
۲۰	۳-۱ - چین خوردگی در سازند دلیچای
۲۴	۳-۲ - شکستگیها
۲۵	۳-۲-۱ - منشأ شکستگی ها
۲۷	۳-۲-۲ - نحوه شناسایی و تفکیک شکستگی ها از یکدیگر
۲۸	۳-۲-۳ - ارتباط شکستگی ها با پدیده های ساختمانی
۲۸	الف- شکستگی های وابسته به چین خوردگی

۳۰	ب- شکستگی های وابسته به گسلش
۳۲	۳-۲-۴- روش های تشخیص سازوکار گسل ها
۳۸	۳-۳- شناسایی گسل هادر منطقه
۳۸	۳-۳-۱- گسل F ₁
۴۴	۳-۳-۲- گسل F ₂
۴۶	۳-۳-۳- گسل F ₃
۵۰	۳-۳-۴- گسل F ₄
۵۴	۳-۳-۵- گسل F ₅
۵۶	۳-۳-۶- گسل F ₆
۵۹	۳-۳-۷- گسل F ₇
۶۲	۳-۳-۸- گسل F ₈
۶۴	۳-۴- بررسی شکستگی ها(درزه ها) در منطقه
۸۱	فصل ۴ بحث و نتیجه گیری
۸۲	۴-۱- چین خوردگی
۸۳	۴-۲- شکستگیها
۸۳	۴-۲-۱- درزه های همزاد با چین خوردگی
۸۴	۴-۲-۲- درزه های همزاد با گسلش
۸۵	۴-۳- گسله ها
۸۹	پیشنهادات

۹۰..... پیوست

۹۵..... منابع

فهرست جداول

- جدول ۳-۱- اطلاعات برداشت شده از چین خوردگی سازند دلیچای..... ۲۲
- جدول ۳-۲- توصیف چین بر اساس زاویه بین یالی..... ۲۳
- جدول ۳-۳- داده های برداشت شده از سطح گسل F1..... ۴۱
- جدول ۳-۴- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های R' از سطح گسل F1..... ۴۳
- جدول ۳-۵- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F2..... ۴۵
- جدول ۳-۶- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F3..... ۴۷
- جدول ۳-۷- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F3..... ۵۰
- جدول ۳-۸- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F4..... ۵۱
- جدول ۳-۹- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های سطح گسل F4..... ۵۳
- جدول ۳-۱۰- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F5..... ۵۵
- جدول ۳-۱۱- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F6..... ۵۷
- جدول ۳-۱۲- میانگین شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F6..... ۵۹
- جدول ۳-۱۳- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F7..... ۶۱
- جدول ۳-۱۴- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F8..... ۶۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نقشه موقعیت جغرافیایی شاهرود..... ۳
- شکل ۱-۲- نقشه واحدهای ساختاری ایران..... ۱۰
- شکل ۲-۲- تصویر سه بعدی از منطقه مورد مطالعه و پیرامون آن..... ۱۳
- شکل ۲-۳- واحدهای سنگی سازند دلیچای در کوه های شمال خاوری شاهرود..... ۱۵
- شکل ۲-۴- واحدهای ضخیم لایه سازند لاربه همراه ندول های چرت..... ۱۵
- شکل ۲-۵- نهشته های آبرفتی کهن و نهشته های آبرفتی جوان..... ۱۶
- شکل ۲-۶- ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مزوزوئیک در منطقه مطالعاتی..... ۱۶
- شکل ۲-۷- نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه..... ۱۷
- شکل ۳-۱- چین خوردگی در لایه های سازند دلیچای..... ۲۱
- شکل ۳-۲- تصویر ماهواره ای از چین خوردگی در لایه های سازند دلیچای..... ۲۲
- شکل ۳-۳- نمودار π و β و تعیین موقعیت خط لولا و نمودار همتراز یال های چین..... ۲۳
- شکل ۳-۴- نمودار فلوتی برای توصیف چین ها براساس سطح محوری ومیل لولا..... ۲۴
- شکل ۳-۵- جهت گیری انواع شکستگی ها نسبت به تنش های اصلی..... ۲۶
- شکل ۳-۶- نمایش سه نوع شکستگی..... ۲۷
- شکل ۳-۷- شکستگی های سبک ۱، سبک ۲، سبک ۳، سبک ۴..... ۲۷
- شکل ۳-۸- محورهای تقارن نسبت به چین خوردگی و توسعه انواع مختلف شکستگی..... ۳۰
- شکل ۳-۹- موقعیت شکستگی های برشی نسبت به گسل اصلی..... ۳۲
- شکل ۳-۱۰- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی های برشی نوع R و تصویر صحرایی آن..... ۳۴
- شکل ۳-۱۱- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی های برشی نوع R' و تصویر صحرایی آن..... ۳۵
- شکل ۳-۱۲- نمایش بلوک دیاگرامی از ساختارهای V شکل و تصویر صحرایی آن..... ۳۶

- شکل ۳-۱۳- بلوک دیاگرام نمایش اثرات خرده سنگ و تصویر صحرایی آن.....۳۷
- شکل ۳-۱۴- نمایش بلوک دیاگرامی از مناظر نامتقارن و تصویر صحرایی آن.....۳۷
- شکل ۳-۱۵- تصویر ماهواره ایی لندست برگرفته از Google earth و نمایش اثرگسله منطقه.....۳۹
- شکل ۳-۱۶- تصویر صحرایی گسل F1 و پرتگاه گسلی ایجاد شده توسط این گسل.....۳۹
- شکل ۳-۱۷- استریوگرام های داده های برداشت شده از سطح گسل F1.....۴۱
- شکل ۳-۱۸- خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F1.....۴۱
- شکل ۳-۱۹- نمایش شکستگی های برشی R' بر روی سطح گسل F1.....۴۲
- شکل ۳-۲۰- تصویر سیکلوگرافیک از صفحه میانگین گسل F1 و موقعیت شکستگی های برشی.....۴۳
- شکل ۳-۲۱- نمایش پله های گسلی و اشکال هویجی شکل بر روی سطح گسل F1.....۴۴
- شکل ۳-۲۲- تصویر صحرایی گسل F2 به همراه ندول های چرت در سطح گسل.....۴۴
- شکل ۳-۲۳- استریوگرام های داده های سطح گسل F2.....۴۵
- شکل ۳-۲۴- نمایش خراش های گسلی بر روی سطح گسل F2.....۴۶
- شکل ۳-۲۵- تصویر صحرایی گسل F3.....۴۷
- شکل ۳-۲۶- استریوگرام های داده های برداشت شده از سطح گسل F3.....۴۸
- شکل ۳-۲۷- نمایش خراش های گسلی بر روی گسل F3.....۴۸
- شکل ۳-۲۸- نمایش پله های گسلی و اثرات خرده سنگ بر روی گسل F3.....۴۹
- شکل ۳-۲۹- تصویر صحرایی از شکستگی های R' بر روی گسل F3.....۴۹
- شکل ۳-۳۰- تصویر سیکلو گرافیک میانگین برشی های R' در سطح گسل F3.....۵۰
- شکل ۳-۳۱- تصویر صحرایی از گسل F4 و F5 در سنگ آهک های سازند لار.....۵۱
- شکل ۳-۳۲- میانگین استریوگرام های ترسیم شده از سطح گسل F4.....۵۱
- شکل ۳-۳۳- نمایش خراش های گسلی بر روی سطح گسل F4.....۵۲

- شکل ۳-۳۴- تصویر سیکلو گرافیک از صفحه میانگین گسل F4 به همراه موقعیت میانگین شکستگیها.....۵۳
- شکل ۳-۳۵- شکستگی های برشی R' بروی گسل F4.....۵۴
- شکل ۳-۳۶- میانگین استریوگرام های ترسیم شده از سطح گسل F5.....۵۵
- شکل ۳-۳۷- نمایش خراش های گسلی بروی گسل F5.....۵۶
- شکل ۳-۳۸- تصویر روی زمین از گسل F6.....۵۷
- شکل ۳-۳۹- استریوگرام های ترسیم شده از صفحه میانگین از سطح گسل F6.....۵۷
- شکل ۳-۴۰- تصویر روی زمین از سطح گسل F6.....۵۸
- شکل ۳-۴۱- تصویر سیکلو گرافیک میانگین برشی های R' در سطح گسل F6.....۵۹
- شکل ۳-۴۲- تصویر صحرایی شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F6.....۵۹
- شکل ۳-۴۳- تصویر روی زمین از موقعیت گسل F6 و F7.....۶۰
- شکل ۳-۴۴- استریوگرام های ترسیم شده از صفحات شکستگی همراه با موقعیت خراش های گسلی از سطح گسل F7.....۶۱
- شکل ۳-۴۵- نمایش دو دسته خراش گسلی برداشت شده از سطح گسل F7.....۶۲
- شکل ۳-۴۶- تصویر صحرایی از سطح گسل F8 و نمایش خراش های گسلی.....۶۲
- شکل ۳-۴۷- مقطع نمادین از ریخت شناسی حریم گسل F8.....۶۳
- شکل ۳-۴۸- استریوگرام های ترسیم شده از میانگین صفحات گسل F8.....۶۴
- شکل ۳-۴۹- تصویر ماهواره ای برگرفته از Google earth و نمایش شکستگی ها بروی آن.....۶۵
- شکل ۳-۵۰- تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۱.....۶۶
- شکل ۳-۵۱- استریوگرام های داده های برداشت شده از ایستگاه ۱.....۶۶
- شکل ۳-۵۲- مدل آرمانی شکستگی ها در یک چین بدون پلانژ با محور شمالی- جنوبی و پل صفحات شکستگی های برداشت شده در ایستگاه ۱.....۶۷

- شکل ۳-۵۳- استریوگرام های داده های برداشت شده از ایستگاه ۲ ۶۹
- شکل ۳-۵۴- تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۲ ۷۰
- شکل ۳-۵۵- اثر شکستگی های برشی R' بر سطح گسل F_1 ۷۱
- شکل ۳-۵۶- استریوگرام های داده های برداشت شده از ایستگاه ۳ ۷۱
- شکل ۳-۵۷- تصویر صحرایی شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۴ ۷۲
- شکل ۳-۵۸- استریوگرام های داده های برداشت شده از ایستگاه ۴ ۷۳
- شکل ۳-۵۹- رگه های پر شده از کلسیت در ایستگاه ۴ ۷۴
- شکل ۳-۶۰- تصویر سیکلو گرافیک میانگین شکستگی های T و گسل F_1 ۷۴
- شکل ۳-۶۱- تصویر صحرایی شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۵ ۷۵
- شکل ۳-۶۲- استریوگرام داده های برداشت شده در ایستگاه ۵ ۷۶
- شکل ۳-۶۳- استریوگرام داده های برداشت شده در ایستگاه ۶ ۷۷
- شکل ۳-۶۴- تصویر روی زمین از موقعیت گسل F_2 و شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۶ ۷۷
- شکل ۳-۶۵- تصویر صحرایی از اشکال هلالی شکل در ایستگاه ۷ ۷۸
- شکل ۳-۶۶- استریوگرام داده های برداشت شده از ایستگاه ۸ ۷۹
- شکل ۴-۱- نمودار π و تعیین موقعیت خط لولا و شکستگی های برداشت شده از چین خوردگی سازند دلیچای ۸۴
- شکل ۴-۲- نمودار گل سرخی امتدادی شکستگیها در منطقه ۸۵
- شکل ۴-۳- موقعیت گسله F_1 و گسله کواترنری شاهرود در تصویر ماهواره ای لندست برگرفته از Google earth ۸۶
- شکل ۴-۴- موقعیت گسل F_8 در تصویر ماهواره ای لندست برگرفته از Google earth ۸۷
- شکل ۴-۵- نقشه ساختاری منطقه مطالعاتی همراه با استریوگرام ساختارهای اصلی ۸۸

فصل ۱ :

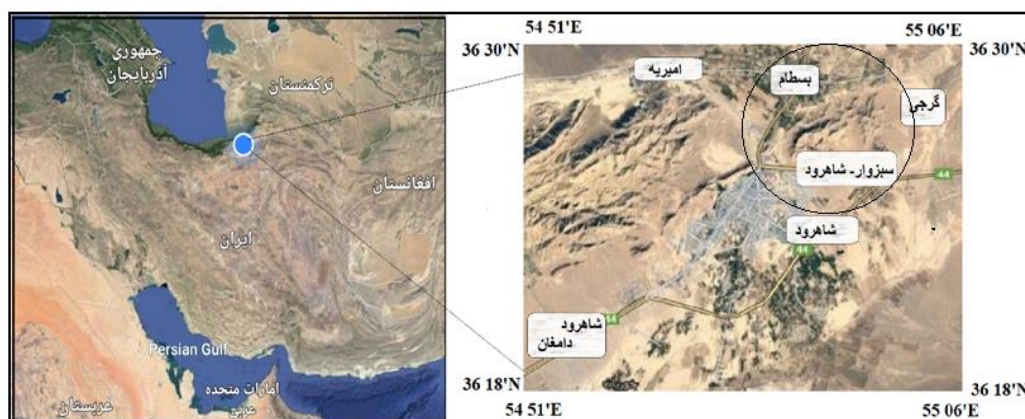
مقدمه

۱-۱ - مقدمه

پوسته زمین تحت تاثیر نیروهای مختلف از جمله وزن لایه ها ، نیروی مغناطیسی ، زمین ساختی و ... قرار دارد که در جهات مختلف بر آن وارد می شوند. در اثر اختلاف تنش حاصل از نیروها در جهات مختلف و متناسب با خصوصیات فیزیکی- مکانیکی، سنگ ها تغییر شکل داده و شکل جدیدی از توزیع تنش را به خود می گیرند (Goodman,1989). در اثر این نیروها، ساختارهای مختلفی با مقیاس متفاوت ایجاد می گردد تا وضعیت تنش- کرنش به پایداری لازم برسد. اگر تنش های وارد بر لایه ها فراتر از حد مقاومت سنگ باشد شکستگی در سنگ ایجاد خواهد شد (Nelson,1985). شکستگی ها از رایج ترین ساختارها در پوسته بالایی زمین هستند که اکثرا توسط نیروهای زمین ساختی کنترل می شوند. امروزه تردیدی نیست که شکستگی ، آشکار کننده تغییر شکل شکننده موجود در سنگ هاست که بررسی و مطالعه دقیق آنها نه تنها به منظور تعیین ماهیت شکستگی ها و ارتباط آن ها با تنش های ایجاد کننده اهمیت دارد و تاریخچه ساختاری یک ناحیه را به نمایش می گذارند، بلکه در رشته های دیگر علوم و فنون زمین مثل آب شناسی، معدن، نفت و عمران و... کاربرد دارد. روابط میان شکستگی ها و عوامل ایجادکننده آن ها، ابزار مهمی را در اختیار زمین شناسان ساختمانی قرار می دهد که با استفاده از آنها می توانند به وضعیت استرس و رفتار مکانیکی سنگ در زمان تشکیل شکستگی ها پی ببرند. در این پژوهش با انتخاب قسمتی از بخش جنوبی البرز خاوری در شمال شرق شاهرود، سعی شده است با مطالعه و بررسی و جمع آوری دقیق تر داده های ساختاری، شکستگی های سازندهای آهکی دلیچای ولار بررسی و گامی در راستای شناسایی الگوی هندسی و منشأ آنها برداشته شود. باتوجه به اینکه در پیرامون منطقه مورد مطالعه که در حاشیه شمال خاوری شهر شاهرود قرار دارد، آثار گسلش کواترنری با روندهای متفاوت دیده می شود (مانند گسله های ابر، کلاته خیج ، گسل کواترنری شاهرود و گسل کواترنری شمال دامغان و...) ردیابی آثار شکستگی های کواترنری در آهک های شمال خاوری شاهرود نیز از اهداف مهم این پژوهش است. در همین راستا ارتباط بین شکستگی ها با چین خوردگی ها در سازند دلیچای ولار مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

محدوده مطالعاتی از نظر جغرافیایی، ارتفاعات شمال خاوری شاهرود محدود به عرض های " ۱۹' ۲۶" تا " ۲۸' ۳۶" شمالی و طول های " ۲۸' ۵۴" تا " ۰۷' ۵۵°۰۵" خاوری را شامل می شود. این محدوده از دیدگاه زمین شناسی در نیمه جنوبی البرز خاوری که بخشی از رشته کوه چین خورده- رانده البرز است قرار دارد. رشته کوه البرز به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا، مجموعه ارتفاعاتی به شکل خمیده به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر را در شمال ایران تشکیل می دهد که با یک راستای عمومی خاوری- باختری از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد. (Alavi, 1996). راههای دسترسی جاده اصلی شاهرود- بسطام و شاهرود- میامی است. همچنین از راه های فرعی حاشیه شمال خاوری شاهرود نیز می توان به منطقه مطالعاتی دسترسی داشت. (شکل ۱-۱).



الف

ب

شکل ۱-۱- الف: نقشه ایران و نمایش موقعیت جغرافیایی شهر شاهرود ب: تصویر ماهواره ای لندست (برگرفته از Google Earth 2009) که در آن منطقه مطالعاتی در دایره قرار گرفته است به همراه راه های ارتباطی

۳-۱- تعریف مساله و اهداف تحقیق

البرز، ناحیه ای با دگرریختی فعال در پهنه برخورد عربی- اوراسیا می باشد که به سه بخش اصلی البرز خاوری، البرز مرکزی و البرز باختری تقسیم شده است. البرز خاوری نواحی کوهستانی از حوالی شمال خاوری شهر سمنان تا ابتدای کوه های کپه داغ را با درازایی حدود ۴۰۰ کیلومتر در برمی گیرد.

با توجه به اینکه نوارشمال - شمال خاوری شاهرود بر روی دامنه جنوبی ارتفاعات البرز شرقی قرار دارد مطالعه شکستگی های این واحدها ضروری به نظر می رسد. به علاوه ارزیابی گسل ها در این منطقه می تواند خطرات لرزه خیزی این گسل ها را بر روی شهر شاهرود مشخص نماید.

در این پژوهش ضمن بررسی منشأ شکستگی ها (همراه با چین خوردگی) ، هندسه شکستگی ها و توزیع آماری آنها در واحدهای سنگی مورد بررسی قرار می گیرد. در ارزیابی منشأ ، گام اول شامل شناخت الگوی چین خوردگی و نیز گسله های مهم منطقه می شود. در همین راستا ردیابی گسله های مهم به ویژه گسله های کواترنری شناخته شده در محدوده شهر شاهرود و شکستگی های مرتبط با آنها از اولویت خاص برخوردار است. در بررسی هندسی، دستیابی به آرایش هندسی آنها (امتداد، زاویه شیب و جهت شیب) و دسته بندی هندسی از اهداف مهم است. برای این منظور از نمودارهای ویژه مانند استریوگرام های هم تراز (Counter diagram) و نمودارهای گل سرخی (Rose diagram) از نوع امتدادی و شیبی و جهت شیب استفاده خواهد شد. همچنین دسته بندی هندسی انواع شکستگی ها (یا تفکیک انواع آنها) در سنگ های مختلف و حسب لزوم در قلمروهای ساختاری مختلف ، مورد توجه خاص است. در این راستا با انتخاب روش های برداشت خطی یا شبکه بندی مساحتی ، شدت درزه ها در واحدهای سنگی یا در قلمروهای ساختاری مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

ساختارهای منطقه مورد مطالعه ، همانند اکثر بخش های البرز خاوری ، از روند شمال خاوری- جنوب باختری پیروی می کنند. واحدهای سنگی مزوزوئیک شامل سازندهای شمشک ، دلیچای و لار در ارتفاعات شمال- شمال باختری و شمال خاوری شاهرود رخنمون دارد. این واحد های چین خورده دارای شکستگی هایی با روند متفاوت می باشند. از بارزترین روندهای شکستگی که در مطالعات قبلی شناسایی شده و در مطالعه کنونی به آن اشاره شده است ، عبور گسلی با روند خاوری- باختری است که در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود، راندگی شاهرود نام گرفته است. این گسل در واقع ادامه خاوری گسل آستانه است. مطالعات صورت گرفته بر روی منطقه عبور گسل هایی با روند شمال خاوری- جنوب

باختری را تایید می کند اما بررسی تفصیلی بر روی این شکستگی هادرمناطقه انجام نشده است. در این پژوهش شکستگی های سازندهای دلیچای ولار بررسی و مقایسه می گردد. باتوجه به اینکه دررخمونهای آهکی شمال شاهرود آثار گسله هایی دیده می شودکه همروند باگسل کواترنری شاهرود (حسینی ۱۳۹۳) می باشند ردیابی این گسل ها در آهک های شمال شرقی شاهرود نیز از اهداف این پژوهش است.

۴-۱- تاریخچه مطالعات پیشین

درپهنه رسوبی - ساختاری البرز مطالعات زمین شناسی به طور عام و مطالعات زمین شناسی ساختمانی به طور خاص در ابعاد ناحیه ای و هم در ابعاد منطقه ای به تعداد زیاد انجام شده است که تعدادی از آنها به موضوع تاریخچه شکل گیری واحد ساختاری البرز تمرکز دارند وتعدادی به لرزه زمین ساخت البرز دلالت دارندکه برخی از آنها در زیر اشاره می شود:

- شهبابی و همکاران(۱۳۶۹)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان را ارائه داده اندکه در آن اطلاعات زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

- وزیری ومجیدی فر(۱۳۶۹)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ شاهرود - بسطام را ارائه داده اند که در آن اطلاعات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با جزئیات بیشتری نشان داده شده است. آلن و همکاران(۲۰۰۳) پهنه رسوبی - ساختاری البرز را نمونه بسیار خوبی از همزمانی دگر شکلی های فشارشی و امتداد لغز (Transpression Zone) دانسته اند.(Allen et al ., 2003)

- ورنانت و همکاران (۲۰۰۴)، در این باور هستند که کوتاه شدگی گستره البرز در اثر برخورد پهنه عربی و اوراسیا بوده و نرخ این کوتاه شدگی را ۳ میلی متر در سال برآورد نموده اند. (Vernant et al ., 2004)

- هالینگ وورث و همکاران(۲۰۱۰)، با معرفی و یافتن عناصر ساختاری جنبش البرز خاوری را در یک سامانه ترافشارشی چپ بر معرفی می نمایند.(Hollingsworth et al., 2006)

هم چنین بسیاری از مطالعات در ابعاد منطقه ای در پهنه های نسبتا کوچک با موضوع زمین شناسی

ساختمانی مانند شکستگی ها و چین های خاص در یک منطقه انجام شده است که به آنها اشاره می شود:

-رحیمی (۱۳۸۱)، در قالب پژوهش های گسترده، با مطالعه زمین ساخت راندگی ها در البرز شرقی در برش دامغان -گرگان تعداد هشت ورقه رورانده را که ساختار اصلی منطقه را تشکیل می دهند معرفی کرده اند.

- حیدری (۱۳۸۸)، خطر ریزش سنگی در ارتفاعات مشرف بر مناطق مسکونی و محل های تفریحی شمال شاهرود را مورد بررسی قرار دادند و با اشاره به وجود شکستگی هادرواحدهای سنگی، پتانسیل ریزش بلوک های سنگی را در نقشه نشان دادند و در انتها با برون یابی حرکت بلوک های سنگی در هر مقطع، نقشه پهنه خطر منطقه را تهیه نمودند.

- اعراب (۱۳۸۸)، آثار دگرریختی کواترنری در باختر شاهرود را مورد بررسی قرار دادند.

- رادفر و همکاران (۱۳۹۰)، در برداشت های صحرایی خود در حاشیه جنوبی البرز خاوری (شاهرود) به تحلیل هندسی چین خوردگی تپال پرداخته اند و در مطالعات خود بیان داشته اند که این ساختار در اثر کوتاه شدگی البرز خاوری با فشارش شمالی - جنوبی و همچنین عملکرد گسل های اصلی سامانه گسلی شاهرود ایجاد شده است. همچنین بیان داشتند که چین های با روند خاوری - باختری در این منطقه مرتبط با گسلش هستند.

- حسینی (۱۳۹۳)، علاوه بر گسل راندگی شاهرود - گسل کواترنری شاهرود، گسل های فرعی دیگری را در محدوده ارتفاعات شمال شاهرود شناسایی نموده که جنبش این گسل ها می تواند در شکل گیری شکستگی ها در منطقه پیشنهادی سهمیم باشند.

۵-۱- روش انجام تحقیق

روش کار در این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

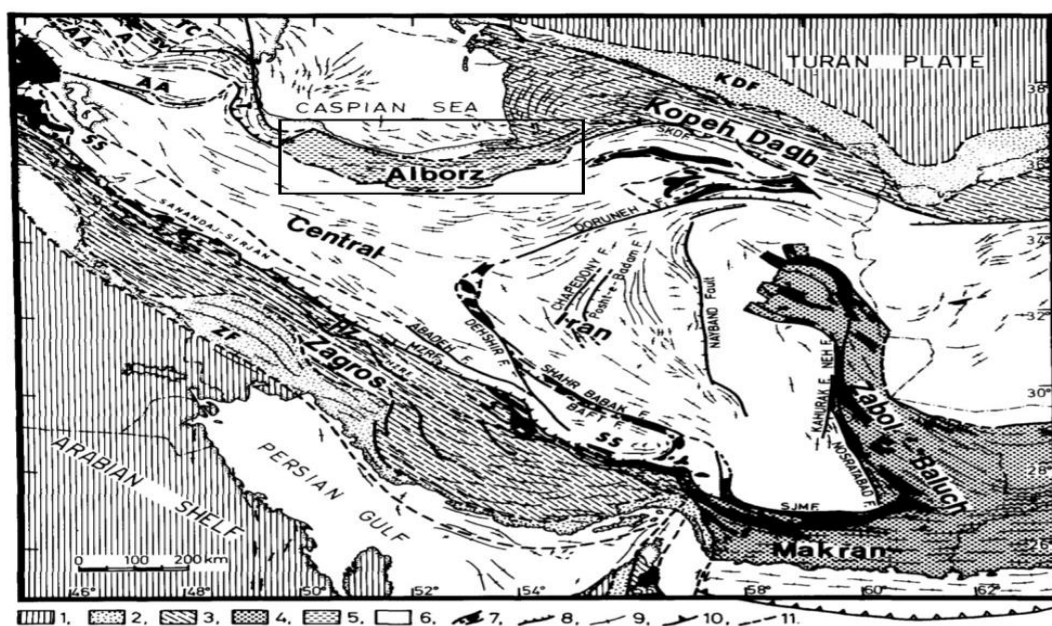
- تهیه منابع مکتوب، نقشه ها، تصاویر هوایی و ماهواره ای لازم برای تهیه نقشه های ضروری.
- مطالعه منابع معتبر در مورد شکستگی ها و چگونگی مطالعه و برداشت های میدانی آنها و انتخاب روش های مناسب برداشت با توجه به ویژگی های منطقه.
- مشاهده و برداشت ساختارها در صحرا اعم از چین خوردگی و شکستگی ها با نگاه ویژه به شکستگیهای نوزمین ساختی با هدف ردیابی گسلش کواترنری در منطقه.
- رسم نمودارهای استریوگرافیک داده ها و نمودارهای آماری لازم به منظور طبقه بندی هندسی- ژنتیکی شکستگی ها.
- نگارش پایان نامه با توجه به اطلاعات ساختاری و موضوع مورد نظر.
- تهیه نقشه زمین شناسی با جنبه های چیره ساختاری که برای تهیه این نقشه از نقشه های زمین شناسی شاهرود و بسطام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۶۹) و چهار گوش گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (شهرابی و همکاران ۱۳۶۹) به عنوان نقشه پایه در نرم افزار GIS استفاده شده است. همچنین در تهیه نقشه ها بر روی داده های سنجش از راه دور (Image Maps) از تصویر ماهواره ای Landsat (برگرفته از Google earth 2019) و عکس های هوایی استفاده شده است.

فصل دوم:

زمین شناسی

۱-۲- زمین ساخت البرز

منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از دامنه جنوبی البرز خاوری است. رشته کوه های البرزبخش حاشیه فلات چین خورده وسیع ایران را تشکیل می دهد. شواهد و مدل های ساختاری کنونی همگی موید یک رژیم زمین ساختی نازک پوسته (Thin-Skinned) با حداقل دگر شکلی در پی سنگ البرز (سازند کهر) می باشد (Allen et al.,2003, Jackson et al.,2002,Zanchi et al.,2006). بررسی ویژگی های زمین ساختی و زمین شناسی عمومی البرز و گستره مطالعاتی به عنوان بخشی از البرز حائز اهمیت است. بر اساس نقشه واحدهای رسوبی ساختاری ایران مانند (Berberian and King,1981) رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی دریای خزر به صورت مجموعه کوه هایی که در منتهی الیه شمالی ایران با روند خاوری-باختری از آذربایجان تا خراسان و با پیچ و خم قابل توجه امتداد دارد، واقع شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نقشه واحدهای ساختاری ایران (برگرفته از Berberian and King,1981) که محدوده جغرافیایی البرز در آن تعیین شده است.

در مورد الگوی دگر ریختی در کوهزاد البرز نظرات مختلفی ارائه شده است، از جمله می توان به نظر (Allen et.at,2003) اشاره کرد که رشته کوه البرز را الگوی مناسبی از همزمانی دگر شکلی های فشارشی

و امتداد لغز می داند. همچنین می توان آن را به عنوان یک کمر بند یا نوار راندگی به همراه چین خوردگی های غیر فعال دانست که از تاثیر مولفه کوتاه شدگی مایل ایجاد شده است.

Ganser (1962)، کوه های البرز را جزئی از بخش شمالی کوهزایی آلپ- هیمالیا در آسیای غربی می داند که از شمال به حوضه فرورفته خزر و از جنوب به فلات مرکزی ایران محدود می شود.

Stocklin (1974)، مرز شمالی البرز را محدود به زمین درز تئیس کهن می داند که از برخورد سنگ کره قاره ای البرز با سنگ کره توران در تریاس پسین به وجود آمده است. حد جنوبی البرز چندان روشن نیست، گسل تبریز (Alavi 1991)، گسل گرمسار (بربریان، ۱۳۷۵)؛ گسل سمنان (نبوی ۱۳۵۵) و گسل عطاری (Alavi 1972) مرز جنوبی البرز دانسته شده اند. ولی چنین به نظر می رسد که گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد (آقاناتی، ۱۳۷۷). از نظر کوه نگاری، مرز باختری البرز تا قفقاز کوچک و مرز خاوری آن تا کوه های پاراپامیوس افغانستان گسترش دارد. (Alavi 1996) بر اساس مشاهدات خود، ساختار البرز را در قالب ساختارهای دوبلکس از نوع Antiformal Stack در نظر گرفته است. اما دیگر زمین شناسان همچون (stocklin 1974)، (Allen et al 2003)، (Nazari 2006) و (Shahidi 2008) برای پهنه ساختاری در شمال ایران، معتقد به مدلی چون گل ساخت مثبت با راندگی هایی به سمت شمال و جنوب هستند.

گسل های راستالغز و راندگی در کوه های البرز به فراوانی دیده می شوند. این گسل ها اکثرا به موازات رشته کوه البرز هستند. این گسل های موازی با رشته کوه شیب تندی دارند. این شیب زیاد بیانگر آن است که بیشتر گسل های راندگی، همان گسل های عادی کهن هستند که در زمان نئوژن و کواترنری دوباره فعال شده اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۸). به ظاهر سرگذشت ساختاری و چینه ای البرز در همه جا یکسان نیست و بر این اساس از نظر ساختمانی رشته کوه البرز از شرق به غرب به سه بخش اصلی تقسیم می شود که عبارتند از:

- منطقه البرز خاوری، که از سمنان تا نواحی شمال مشهد را شامل می شود و ادامه آن در شمال و شمال باختر مشهد، کپه داغ و بینالود قرار گرفته است که ویژگی های ساختاری آن متفاوت از البرز

است.

- زون البرز مرکزی که از سمنان تا قزوین امتداد دارد.
 - منطقه البرز باختری از قزوین به سمت باختر تا گسله تاش ادامه می یابد. (برخی از زمین شناسان کوه های تاش را نیز جزء البرز باختری قرار می دهند)
- در البرز خاوری ساختارها دارای امتداد شمال خاوری- جنوب باختری هستند، در حالی که در البرز باختری، ساختارها دارای امتداد شمال باختری- جنوب خاوری بوده که کاملاً موازی با بخش شمالی راندگی اصلی زاگرس، گسل زنجان و امتداد ساختمانی قفقاز کوچک و بزرگ است. این دو روند متفاوت ساختاری در البرز میانی به هم می رسند که یک محل بحرانی را در رشته کوه البرز به وجود آورده است. جالب توجه آن است که دقیقاً در محل تلاقی همین دو امتداد است که آتشفشان بزرگ دماوند بر پاشده است. علاوه بر این، در مطالعات بر روی البرز مشخص شده است که نیمه شمالی آن با نیمه جنوبی آن به ویژه از نظر چینه نگاری اختلاف زیادی دارد، بر این اساس در طبقه بندی دیگر بر روی البرز، ساختارهای اصلی در البرز از شمال به جنوب به صورت البرز شمالی و البرز جنوبی توصیف می شوند. راندگی هایی که در بخش شمالی البرز قرار دارند به سمت جنوب شیب دارند در حالی که راندگی ها در دامنه جنوبی، شیبی به سمت شمال دارند.

۲-۲- ریخت شناسی

شهر شاهرود میان دو ایالت زمین ساختی مختلف (البرز در شمال و ایران مرکزی در جنوب) قرار گرفته است. این محدوده از نگاه ریخت شناسی، شامل نواحی مرتفع و بخش های پست می باشد، بطوریکه واحدهای سنگی مزوزوئیک شامل سازندهای شمشک، دلیچای، لار ارتفاعات شمالی را تشکیل داده این واحدهای سنگی که بخشی از ارتفاعات جنوبی البرز خاوری بوده و در شمال و شمال باختر و شمال خاور شهر شاهرود رخنمون دارند (شکل ۲-۲)، نزدیک ترین واحدهای سنگی نسبت به شهر شاهرود هستند. ارتفاعات جنوبی آن که بخشی از ایالت زمین ساختی ایران مرکزی است، نسبت به مرکز شهر حدود ۱۳ کیلومتر فاصله دارند و متشکل از لایه های رسوبی غالباً تخریبی سازندهای قرمز بالایی و کنگلومرای

هزار دره است. دشت جلالی که در بخش باختری منطقه مورد مطالعه قرار دارد و نیز بخش های جنوبی آن که شهر شاهرود بر روی آن بنا شده است قسمت های پست را تشکیل می دهند که عمدتاً توسط نهشته های کواترنری پوشیده شده اند.



شکل ۲-۲- مدل ارتفاعی سه بعدی (DEM) از منطقه پیرامون شاهرود، که با داده های ماهواره ای SRTM و تصویر ماهواره ایی لندست برگرفته از Google earth (2019) تهیه شده اند (منطقه مطالعاتی با بیضی سیاه رنگ مشخص شده است).

۳-۲- چینه شناسی

براساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته پیشین، به ویژه نقشه های زمین شناسی شاهرود و نقشه زمین شناسی بسطام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۸۰) و چهارگوش گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (شهرابی و همکاران، ۱۳۶۹) و همینطور مطالعات صحرایی نگارنده، می توان رخنمون هایی از سازندهای دلیچای و لار متعلق به مزوزوئیک را در منطقه مورد مطالعه دید که در دامنه جنوبی آن مخروط افکنه های کواترنری تشکیل شده اند.

۳-۲-۱- سازند دلیچای

طبقات رسوبی متعلق به این سازند را در حاشیه رودخانه دلیچای در جاده تهران - فیروزکوه مورد

مطالعه قرار داده اند. این مقطع از سازند دلیچای که به عنوان مقطع تیپ نهشته های ژوراسیک معرفی شده است، توالی از طبقات آهکی مارنی نازک لایه به رنگ خاکستری متمایل به سبز و غنی از فسیل های آمونیت را شامل می شود که به طور متناوب با شیل های آهکی قرار دارند.

این سازند معرف نخستین واحدهای سنگی از رسوبات دریایی ژوراسیک میانی البرز است. در بخش قاعده سازند آللیت های آهکی با قلوه های آمونیتی و گاهی ترک های گلی مشاهده می شود. سازند دلیچای با سطح تماس هم شیب و ناگهانی بر روی سازند شمشک جای گرفته است و سطح فوقانی این سازند نیز به صورت همشیب و تدریجی به آهک های لار به رنگ روشن ختم می گردد. (آقنابتی، ۱۳۸۳)

سازند دلیچای در محدوده مطالعاتی (شکل ۲-۳-الف) از تناوب مارن نازک لایه به رنگ سبز رنگ تا خاکستری روشن و سنگ آهک های سخت به رنگ خاکستری روشن و گاهی چرت دار تشکیل شده است. فسیل های آمونیت نیز به فراوانی در این سازند قابل مشاهده است (شکل ۲-۳-ب).

وجود مارن در سازند دلیچای سبب شده است که این سازند نسبت به فرسایش مقاومت کمتری داشته باشد و توپوگرافی ملایم تری نسبت به سازند لار از خود نشان دهد.

۲-۳-۲- سازند لار

وجه تسمیه سازند لار در البرز مرکزی به سنگ آهک های کوه ساز با سن ژوراسیک پسین نسبت داده شده است که در بخش های گسترده ای از البرز بر روی نهشته های فرسایش پذیر ژوراسیک میانی (سازند دلیچای) و یارسوبات زغال دار گروه شمشک جای گرفته است. (آقنابتی، ۱۳۸۳).

این سازند در محدوده مطالعاتی (شکل ۲-۴-الف) بخش های مرتفع را به خود اختصاص داده و از سنگ آهک های خاکستری روشن که در قسمت های فوقانی خود دارای ندول های چرت فراوان هستند، تشکیل شده است (شکل ۲-۴-ب). این سنگ آهک ها ابتدا ضخیم لایه بوده که تدریجا به سنگ آهک های توده ای و دیواره ساز تبدیل می شوند. این آهک ها در برابر فرسایش مقاوم هستند و به همین دلیل صخره ساز بوده و توپوگرافی تند و ظاهر خشنی دارند.



الف



ب

شکل ۲-۳- الف: رخنمونی از واحد سنگی دلیچای در کوه های شمال خاوری شاهرود (نگاه به سمت خاور)

ب: تصویری از فسیل آمونیت در سازند دلیچای



الف



ب

شکل ۲-۴- الف: نمایی از رخنمون ضخیم لایه سازند لار را نشان می دهد. ب: تصویری از وجود ندول های چرت در سازند لار (نگاه به سمت شمال)

۳-۳-۲- نهشته های کواترنری

رسوبات کواترنری، تنها واحدهای رسوبی سنوزوئیک این ناحیه را تشکیل می دهند. این نهشته ها که چین خورده نبوده و جوانترین رسوبات در محدوده مطالعاتی هستند به شرح زیر می باشند:

الف- پادگانه های آبرفتی قدیمی Qt_1

پادگانه های آبرفتی قدیمی از مارن های ماسه ای تشکیل شده اند. قسمتی از بخش شرقی و گستره وسیعی از بخش غربی منطقه مطالعاتی توسط این نهشته ها پوشیده شده است (شکل ۲-۵- الف) این نهشته ها در نقشه های زمین شناسی تهیه شده در (شکل ۲-۷) با کوتاه نوشت Qt_1 نشان داده شده اند.

ب- پادگانه های آبرفتی جوان Qt_2

پادگانه های آبرفتی جوان در بخش غربی منطقه مطالعاتی قابل مشاهده است. این واحدها که شامل پادگانه های آبرفتی جوان و رسوبات کوهپایه ای است (شکل ۲-۵ - ب). ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته دوران مزوزوئیک در شکل ۲-۶ و نقشه زمین شناسی در شکل ۲-۷ آورده شده است.



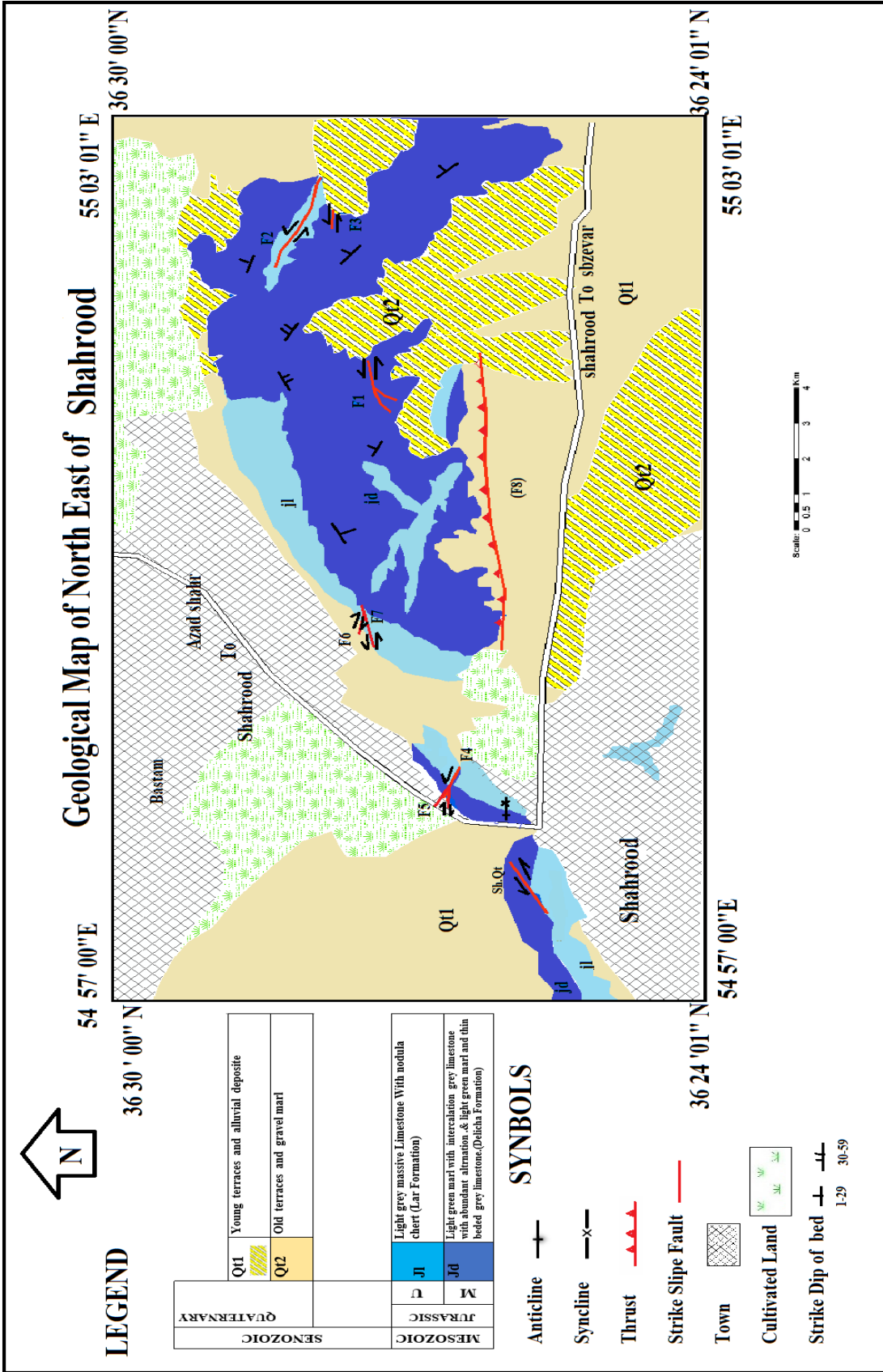
ب

الف

شکل ۲-۵ - الف: نهشته های آبرفتی کهن (Qt₁). ب: نهشته های آبرفتی جوان (Qt₂). (نگاه به سمت شمال خاور)

Eratem System	Seri Formation	Lithology	Description
Mesozoic	Upper Lar		Light grey massive Limestone With nodula chert
	Middle Dalichay		Light green of with intercalation grey limestone with abundant Ammonite .& light green marly and thin beded grey limestone

شکل ۲-۶ - ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)



شکل ۲-۷- نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه

فصل ۳

زمین‌شناسی ساختمانی

در نتیجه عملکرد فرایندهای زمین ساختی ساختارهای مختلفی در پوسته زمین ایجاد می شوند که بسته به نیروی تغییر شکل دهنده و رفتار سنگ ها عناصر مختلفی به وجود می آید. به طوری که شکل و جهت یافتگی حاصل از ساختارها بازتابی از عملکرد بین نیروهای تغییر شکل دهنده و توده سنگ اولیه است. در واقع دگر ریختی نقطه شروع در بررسی های زمین شناسی ساختمانی می باشد. عناصر ساختاری برای شناخت دگر ریختی و دستیابی به الگوی آن در هر ناحیه مورد مطالعه دقیق قرار می گیرند. از مهمترین ساختارهای زمین شناسی می توان از چین ها و شکستگی ها نام برد. گسل ها، درزه ها و رگه ها از انواع مهم شکستگی ها در زمین شناسی ساختمانی هستند. در همین راستا به منظور بررسی منشأ درزه ها و ارتباط زایشی آنها با فرایند گسلش و چین خوردگی به شناسایی هندسه چین خوردگی در سازند دلیچای در این منطقه اقدام شده است. این سازند به دلیل برخورداری از لایه بندی به نسبت منظم نسبت به سازند توده ایی لار، چین خوردگی آن از نظم هندسی قابل توجهی برخوردار است و از این رو با مطالعه چین خوردگی در این سازند می توان به الگوی چین خوردگی در هر دو سازند آهکی دلیچای و لار دست یافت.

۱-۳- چین خوردگی در سازند دلیچای

چین ها، ساختارهای زیبای زمین شناسی هستند که نماینده فرایند دگر شکلی شکل پذیر واحدهای سنگی می باشند. چین ها ارزش کاربردی بسیاری دارند بگونه ای که هندسه و جهت گیری چین ها می تواند در تفسیر جهت گیری میدان تنش مورد استفاده قرار گیرد. مطالعه شکستگیها نشان داده است که بسیاری از آنها همراه با فرایندهای چین خوردگی در لایه های شکننده ایجاد شده اند.

آثار دگر ریختی پلاستیک را در منطقه به صورت وجود چین ها و لایه های شیب دار (خارج شده از حالت افقی و آثار باقیمانده از چین ها) در اندازه های متفاوت، در واحدهای سنگی مزوزوئیک منطقه مطالعاتی می توان مشاهده نمود. برای تحلیل هندسی چین، پارمترهایی همچون موقعیت خط لولا، سطح محوری

وزاویه بین یالی اندازه گیری ومحاسبه شده است. برای این منظور از روش های استریوگرافیک و نرم افزارهای مرتبط استفاده شده است. همچنین به منظور تحلیل شکستگی های منطقه، شکستگی های مرتبط با چین خوردگی نیز در چین های موجود در منطقه مورد اندازه گیری و بررسی تفصیلی قرار گرفت.

سازند دلیچای به سن ژوراسیک میانی عمدتاً از مارن و سنگ آهک مارنی تشکیل شده است. این مجموعه به صورت هم شیب و تدریجی به سنگ آهک های صخره ساز سازند لار تبدیل می شود. لایه های شیب دار این سازند در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 26' 76''$ شمالی و $54^{\circ} 58' 66''$ خاوری اندازه گیری شده است. در این رخنمون نمونه ای از چین خوردگی به صورت یک تاقدیس و یک ناودیس در کنار هم در سازند دلیچای قابل مشاهده است، می توان به عنوان الگویی از چین خوردگی در این سازند معرفی نمود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- تصویری از چین خوردگی در لایه های سازند دلیچای که به صورت یک تاقدیس و یک ناودیس در کنار

هم قابل مشاهده است (نگاه به سمت جنوب)

در این راستا داده های ساختاری شامل موقعیت لایه بندی در بخش های مختلف چین (یال ها و منطقه لولا)، به علاوه شکستگی ها در یک پیمایش عرضی به طول حدود ۲۰۰ متر برداشت شد. این داده ها در جدولی در پیوست ۱ درج شده است. با رسم تصاویر استریوگرافیک شامل نمودارهای β و π و همتراز خصوصیات هندسی چین از قبیل خط لولا، سطح محوری و زاویه بین یالی تعیین گردید که در جدول ۱-۳ نشان داده شده است. بر این اساس چین خوردگی روند شمالی- جنوبی و میل حدود ۱۰ درجه به سمت جنوب دارد و زاویه بین یالی آن ۹۷ درجه است.

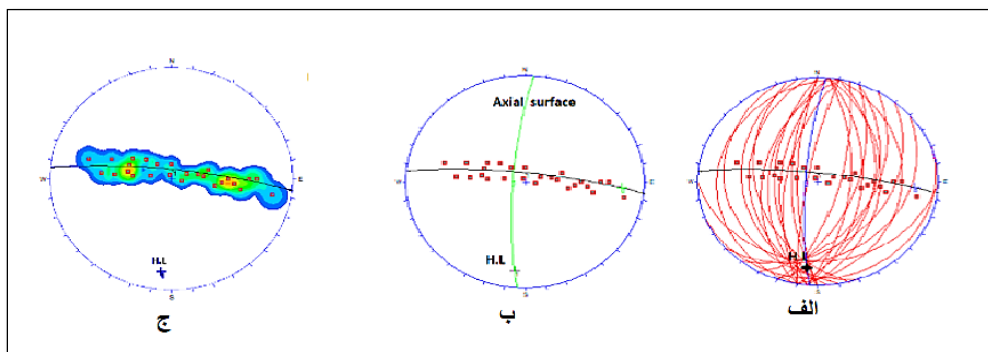


شکل ۳-۲- تصویر ماهواره ای لندست (برگرفته از Google earth 2019) و نمایش چین خوردگی در لایه های

سازند دلیچای

جدول ۱-۳ - خصوصیات هندسی چین خوردگی

میانگین یال شرقی	میانگین یال غربی	موقعیت سطح محوری	موقعیت خط لولا	زاویه بین دو یال
33/280	50/105	78/274	10/185	97



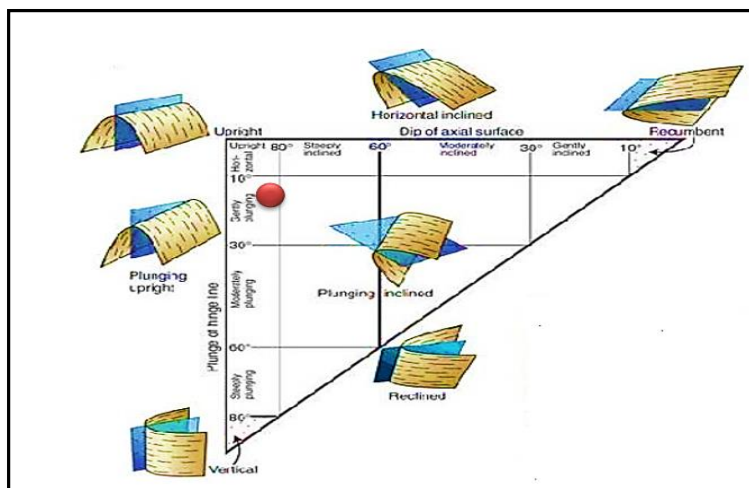
شکل ۳-۳- الف: نمودار β . ب: نمودار π و تعیین موقعیت خط لولا. ج: نمودار همتراز یال های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۹۷ درجه) و تعیین موقعیت سطح محوری با موقعیت (۷۸/۲۷۴)

طبق نمودار β و π (شکل ۳-۳ الف و ب) موقعیت خط لولا ۱۰/۱۸۵ می باشد و موقعیت سطح محوری ۷۸/۲۷۴ بدست آمده است. براساس نمودار کنوری (شکل ۳-۳ ج) زاویه بین دو یال ۹۷ درجه است و طبق تقسیم بندی چین ها براساس زاویه بین دو یال در رده چین های باز قرار می گیرد. در تقسیم بندی دیگر که براساس شیب سطح محوری و میل لولا (Fleuty, 1964) در رده چین های ایستاده و خط لولای کمی مایل قرار می گیرد. موقعیت چین در این رده بندی در نمودار مثلثی در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- توصیف چین بر اساس زاویه بین یالی (Fleuty, 1964) که وضعیت چین در آن با ★ علامت

تعیین شده است.

Inter limb anle	Descriptive term
180°-120°	Gentle
120°-70°	Open ★
70°-30°	Close
30°-0°	Tight
0°	Isoclinal
Negative angles	Mushroom



شکل ۳-۴- نمودار (Fleuty, 1964) برای توصیف چین‌ها بر اساس سطح محوری و میل لولا (نقل از Fossen)

2010، دایره قرمز رنگ جایگاه چین را در این رده بندی نشان می دهد.

۲-۳- شکستگی ها

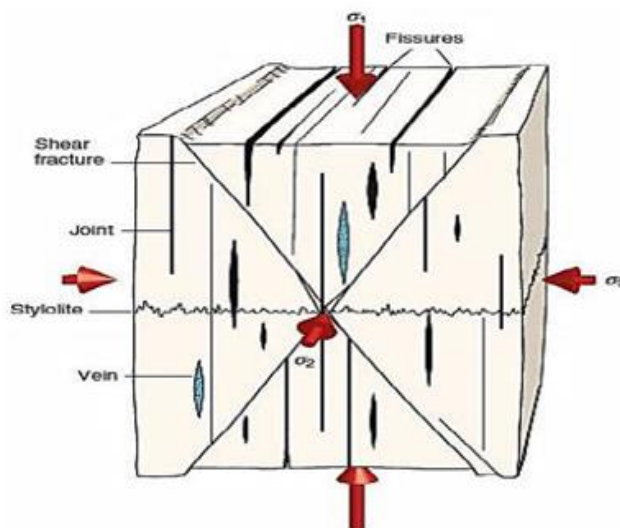
واژه شکستگی (Fracture) یک اصطلاح کلی است که همه سطوح انفصال ثانوی ایجاد شده در سنگ ها را در برمی گیرد و از اصطلاح لاتین Fractus به معنی شکسته شده (Broken) اقتباس شده است (Twiss&Moore, 1992). شکستگی از معمول ترین ساختارهای زمین شناسی هستند که بر اثر گسیختگی شکننده در سنگ ها ایجاد می شوند. بر روی سطوح شکستگی چسبندگی بین اجزاء تشکیل دهنده سنگ کاهش یافته یا از بین می رود (Twiss&Moore, 1992). شکستگی‌ها در سنگ ها طی فرایند دگر شکلی در سنگ صورت می گیرد که در سنگ های معمولی سه مرحله برگشت پذیر (Elastic) و برگشت ناپذیر (Plastic) و شکست (Rupture) دارد.

شکستگیها از نظر اندازه، تغییرات وسیعی دارند و از خطواره های بسیار بزرگ به طول صدها یا هزاران کیلومتر تا درزه های بسیار کوچک به طول یک میلی متر، تغییر می کنند. آنها با کنترل شکل سیستم آبراهه ها، دریاچه ها و خطواره های قاره ای به شدت بر مرفولوژی سطح زمین تاثیر می گذارند. بررسی ماهیت این شکستگی ها و ارتباط آنها با تنش های ایجادکننده، به منظور درک فعالیت های زمین ساختی گذشته و حال اهمیت دارد. همچنین مطالعه شکستگیها در راستای اجرای پروژه های مهندسی مانند ساخت سدها، سازه های زیر زمینی، جاده ها، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. امروزه نقش

شکستگیها در توسعه پدیده کارست در مطالعات آبهای زیر زمینی و در مخازن نفت و گاز به عنوان عامل موثر در افزایش تولید، بر زمین شناسان پوشیده نیست.

۱-۲-۳- منشا شکستگی ها

بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی که بر روی شکستگی ها صورت گرفته است. می توان آنها را به دو دسته شکستگی های ناشی از فرایندهای زمین ساختی و شکستگی های غیر زمین ساختی تقسیم نمود. از فرایندهای غیر زمین ساختی ایجاد شکستگی های می توان به عواملی مانند انقباض ناشی از سرد شدن یا خشک شدن سنگها، حرکات سطحی زمین، هوازگی و اثر متقابل جنس لایه ها اشاره کرد که در گسترش این نوع شکستگی ها موثر می باشند. شکستگی های زمین ساختی معمولاً در اثر تنش زمین ساختی به وجود می آیند. روند کلی این دسته شکستگی ها تابع جهت تنش های زمین ساختی است. شکستگی های زمین ساختی را می توان به شکستگی های برشی (Shear Fractures) شکستگی های کششی یا باز شدگی (درزه ها، شکاف ها و ورگه ها) و شکستگی های فشارشی یا انقباضی تفکیک کرد (Fossen, 2010). شکستگی های برشی یا سطح لغزشی، شکستگی هایی هستند که حرکت نسبی، موازی شکستگی است. واژه شکستگی برشی برای شکستگی هایی به کار برده می شود که جابجایی اندکی در حدود میلی متر یا کسری از میلی متر در راستای آن انجام شده باشند. در حالی که اگر طول شکستگی زیاد باشد و روی سطح شکستگی جابجایی و لغزش قابل ملاحظه ای صورت گرفته باشد. از واژه گسل برای شکستگی برشی استفاده می شود. اگر دو دسته شکستگی برشی به صورت مزدوج (Conjugate) تشکیل شده باشد، فصل مشترک معمولاً موقعیت تنش اصلی متوسط (δ_2) را نشان می دهد. این شکستگی ها نسبت به تنش اصلی بیشینه (δ_1) زاویه حاده (معمولاً ۳۰ درجه) می سازند و به عبارت دیگر محور (δ_1) نیم ساز زاویه حاده بین شکستگی های مزدوج است و تنش اصلی کمینه (δ_3) نیمساز زاویه باز بین آنها است. زاویه بین شکستگی های برشی حدود ۶۰ درجه است و زاویه مزدوج خوانده می شود (شکل ۳-۵).

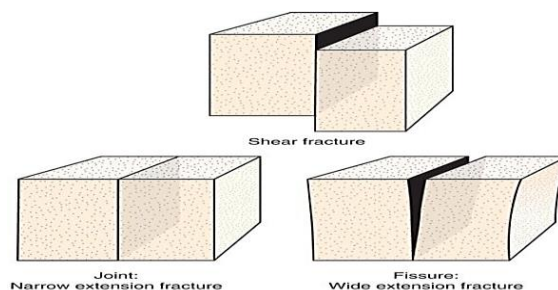


شکل ۳-۵- جهت گیری انواع شکستگی ها نسبت به تنش های اصلی (نقل از Fossen, 2010)

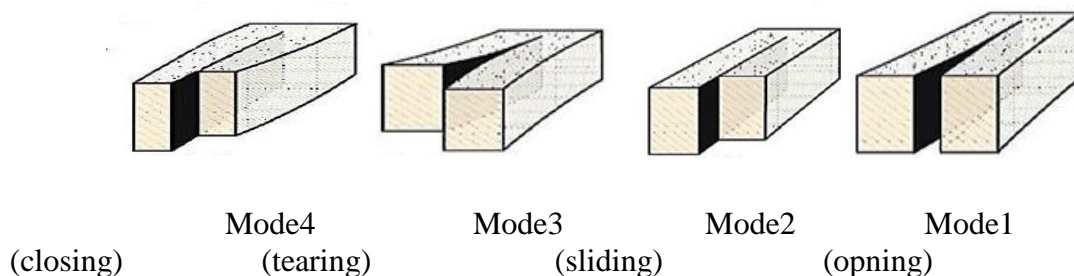
شکستگی های کششی، شکستگی های هستند که کشش عمود بر دیواره ها را نشان می دهند. درزه های کششی ایده ال به شمار می روند که جابجایی در راستای آنها اندک بوده و این جابه جایی به صورت ماکروسکوپی قابل شناسایی نباشد. شکاف ها، شکستگی های کششی هستند که توسط هوا یا سیالات پرمی شوند و شکستگی های کششی که توسط کانی های ثانویه پر می شوند، رگه نامیده می شوند (Fossen, 2010). در شکستگی های کششی، تنش اصلی بیشینه و متوسط (δ_1) و (δ_2) بر روی سطح شکستگی و تنش اصلی کمینه (δ_3) عمود بر آن است. تصاویر سه نوع شکستگی (کششی، شکاف و برشی) در نمودارهای سه بعدی (Block diagram) (شکل ۳-۶) نشان داده شده است.

در حوزه مکانیک شکستگی، شکستگی های زمین ساختی را بر اساس نحوه جابجایی در سه سبک (Mode) مختلف طبقه بندی می کنند (شکل ۳-۷)، سبک ۱، سبک بازشدگی (کششی) است که در این نوع از شکستگی ها، جابجایی عمود بر دیواره های آن صورت می گیرد. سبک ۲ (سبک لغزشی)، لغزش عمود بر لبه را نشان می دهد و سبک ۳ (سبک پارگی)، لغزش موازی با لبه ترک را نشان می دهد. ترکیبی از شکستگی های برشی (سبک ۲) و شکستگی های کششی (سبک ۱) تحت عنوان شکستگی های دو رگه یا هیبریدی نام گذاری می شوند. گاهی اوقات اصطلاح سبک ۴ برای شکستگی های تراکمی همچون استلولیت ها به کار می رود (Fossen, 2010). از لحاظ مکانیک شکستگی، درزه ها شکستگی های سبک ۱

هستند و شکستگی های سبک ۲ و سبک ۳ گسل نامیده می شوند.



شکل ۳-۶- نمایش سه نوع شکستگی (نقل از Fossen, 2010)



شکل ۳-۷- شکستگی های سبک ۱، سبک ۲، سبک ۳ و سبک ۴ (نقل از Fossen 2010)

۲-۲-۳- نحوه شناسایی و تفکیک شکستگی ها از یکدیگر

شناسایی شکستگی های برشی از گسیختگی های کششی در مطالعات صحرایی امری ضروری و مهم به شمار می آید. اگرچه تشخیص بین این دو دسته بخصوص در مناطقی که تاریخچه تغییر شکل پیچیده ای دارند کار دشواری است

برخی شواهد صحرایی مانند آنچه به آن اشاره می شود، می تواند به ما در تشخیص و تفکیک درزه های کششی و شکستگی های برشی از یکدیگر کمک کند (Singhal & Gupta, 2010).

۱- شکستگی های برشی ممکن است جابجایی اندکی به موازات سطح شکستگی از خود نشان دهد که این جابه جایی در گسیختگی کششی وجود ندارد.

۲- شکستگی های برشی عمدتاً در سیستم مزدوج (Conjugate) که توسط تحلیل های آماری

وجنبشی (Cinematic) مشخص می شوند اتفاق می افتند.

۳- معمولا شکستگی های کششی باز شدگی از خود نشان می دهند و این در حالی است که شکستگی های برشی فاقد بازشدگی هستند.

۴- در مطالعات صحرایی، خراش ها و دیگر شاخص های حرکتی ممکن است روی سطح شکستگی برشی مشاهده شوند.

۵- عموماً شکستگی های برشی به صورت دسته های مزدوج مورب و گسیختگی های کششی به صورت دسته های عمود برهم و متقاطع قابل مشاهده اند.

همچنین باید توجه داشت که از نظر دینامیکی بزرگ ترین استرس فشاری نیم ساز زاویه دووجهی بین شکستگی های برشی است.

۳-۲-۳- ارتباط شکستگی ها با پدیده های ساختمانی

اصولاً شکستگی ها با ساختارهای دیگر ایجاد می شوند و در صورتی که این ارتباط مستند شود، شکستگی ها می توانند اطلاعات با ارزشی در مورد ساختارهای مرتبط ارائه دهند. با توجه به اینکه نیروهای عمل کننده بر سنگ ها و لایه های زمین موجب شکل گیری شکستگی ها می شوند، بنابراین می توان نحوه ارتباط شکستگی ها را با دیگر ساختارهای زمین در طی فرایند دگر شکلی توده سنگ یا لایه، تعیین کرد و براساس روند گسترش، مرفولوژی و رژیم زمین ساختی آنها را به دو دسته زیر تقسیم کرد:

الف - شکستگی های وابسته به چین خوردگی

ب - شکستگی های وابسته به گسلش

الف - شکستگی های وابسته به چین خوردگی

تاریخچه تنش- کرنش در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه شکستگی ها در آن بسیار پیچیده است، اما الگوهای ساختاری حاکم بر هر منطقه و روابط حاکم بر این الگوها در شناخت و درک این عوامل بسیار سودمند هستند، بنابراین مادامی که وضعیت و شدت شکستگی ها با شکل و روند چین

همخوانی داشته باشد می توان آنها را در رده شکستگی های مرتبط با چین قرار داد. در بسیاری از حالات شکستگی های متعددی در حوالی چین مشاهده می شوند این شکستگی ها بر اثر نیروهایی که لایه ها را چین داده اند به وجود آمده اند.

Hancock (۱۹۸۸)، با روشی مشابه با تعیین اندیس میلر برای بلورها، شکستگی های موجود در چین ها را بر اساس محورهای تقارن تعریف نمود. سه جهت c, b, a جهات محوری بر اساس مفاهیم تقارن است که معمولا مرتبط با شکل های لایه بندی در چین ها است. محور a خطی است که بر هر نقطه از سطح لایه چین خورده عمود است. محور b منطبق بر سطح لایه چین خورده و موازی محور چین خوردگی است محور c نیز خطی است که بر هر دو محور a و b (صفحه ab) عمود است. موقعیت محورهای a و c بر خلاف محور b بر اساس شکل چین خوردگی در مکان های مختلف چین متفاوت است (شکل ۳-۸ الف). بنابراین می توان شکستگی های ایجاد شده در طی فرایند چین خوردگی را که در آغاز دگرشکلی یا در میانه راه تشکیل و تا آخرین مراحل دگرشکلی با آن همراه هستند را به سه گروه عمده تقسیم نمود:

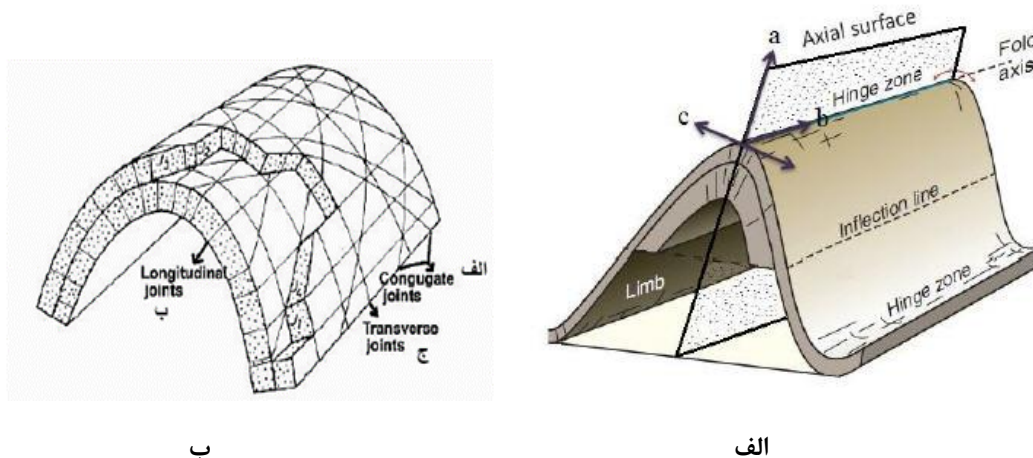
شکستگی های مزدوج (Conjugate) یا مایل که نسبت به جهت حداکثر کوتاه شدگی زاویه کمتر از 45° درجه و معمولا در حد 30° درجه می سازند و غالبا به صورت دو دسته شکستگی مزدوج تشکیل می شوند که به صورت قرینه نسبت به محور چین خوردگی قرار می گیرند

شکستگی های طولی (longitudinal) که روند آنها به موازات محور چین و عمود بر روند کوتاه شدگی است.

شکستگی های عرضی (Transverse) که روند آنها عمود بر محور چین و به موازات روند حداکثر کوتاه شدگی است. این شکستگی ها را می توان به عنوان شکستگی های کششی در نظر گرفت. زیرا هنگامی که طبقات، در امتداد عمود بر محور چین تحت فشارش قرار گرفته و چین ها را به وجود می آورند، در امتداد محور چین تحت کشش واقع می شوند، بنابراین در امتداد عمود بر محور چین، شکستگی های

کششی به وجود می آیند. (Ramsay & Huber, 1987). سه نوع شکستگی مرتبط با چین خوردگی در

یک تاقدیس نشان داده شده است (شکل ۳-۸)



شکل ۳-۸- الف: محورهای تقارن a, b, c در ارتباط با چین خوردگی (نقل از Fossen., 2010). ب: موقعیت هندسی انواع مختلف شکستگی ها در ارتباط با چین خوردگی (نقل از Ramsay & Huber, 1987).

ب- شکستگی های وابسته به گسلش

بعضی از شکستگی ها می توانند ناشی از فعالیت گسل ها باشند و در مناطق گسلی (Fault Zone) بر روی واحدهای سنگی قابل رویت هستند. تعدادی از این شکستگی ها بدون جابه جایی باقی مانده و برخی دیگر ممکن است به تبع فعالیت در منطقه گسل جابه جایی های نه چندان بزرگ را متحمل شوند و گسل های کوچک و فرعی نسبت به گسل اصلی بسازند. میدان های تنش مسبب گسلش اصلی می توانند عامل ایجاد کننده شکستگی های مرتبط با گسل ها نیز باشند از انواع شکستگی های مرتبط با گسل می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- در اکثر موارد شکستگی هایی که در اطراف گسل ها دیده می شوند بیشتر از انواع شکستگی های برشی هستند که سطوح آنها به موازات سطوح گسل ها می باشد.

- گاهی دو دسته شکستگی که با یکدیگر زاویه تقریباً ۶۰ درجه می سازند، همراه برخی از گسل ها

ایجاد می شوند، شکستگی های برشی مزدوج نامیده می شوند. شکستگی های R و R' (که معروف به برشی های ریدل می باشند) از این نوع هستند.

- شکستگی های کششی T از دیگر شکستگی هایی هستند که همراه گسل ها مشاهده می شوند، این دسته از شکستگی ها به صورت نیمساز زاویه حاده شکستگی های مزدوج عمل می نمایند.

از میان شکستگی های همراه با گسل، شکستگی هایی برشی یکی از مهم ترین عوارضی هستند که در مناطق شکننده حضور دارند این گروه از شکستگی ها نسبت به گسل اصلی معمولا در زوایای خاصی قرار گرفته و سازوکار حرکتی آنها با سازوکار گسل اصلی مرتبط است. این ارتباط را می توان در الگوهای مانند برشی های ریدل (Riddle.,1929) مشاهده کرد.

در شکل ۳-۹ چگونگی ارتباط میان شکستگی های فرعی همراه گسلش در یک گسل امتداد لغز راست بر (M) طبق الگوی ریدل نشان داده شده است. در این الگو، شکستگی های برشی عنوان های P, R, R' و شکستگی های کششی به نام T در این الگو نامگذاری شده است. شکل گیری شکستگی های برشی و کششی در مجاورت سطح گسل و نیز زاویه ای که این شکستگی ها با سطح گسل می سازند به خواص مکانیکی سنگ (زاویه اصطکاک داخلی و نیروی چسبندگی) و شرایط فیزیکی بستگی دارد. اصطکاک، مقاومت در برابر لغزش یک سطح شکستگی است. برای شروع لغزش بر روی یک سطح، باید مولفه تنش برشی موازی با سطح، از یک مقدار بحرانی که مقاومت اصطکاک نامیده می شود بیشتر شود. مقاومت اصطکاک معمولا به بزرگی تنش عمودی در سطح بستگی دارد و با افزایش تنش عمودی، لغزش مشکل تر می شود، بنابراین تنش برشی لازم برای شروع لغزش باید افزایش یابد تا بر مقاومت اصطکاک غلبه کرده و گسیختگی اتفاق بیفتد. از این رو در سنگ های با جنس های مختلف این برشی ها با زوایای خاصی نسبت به روند گسل اصلی قرار خواهند گرفت که این زاویه تابع زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ (Φ) می باشد. روابط $3-3$ ، $4-3$ و $5-3$ این زوایا را به ترتیب برای برشی های P, R, R' نشان می دهد. در هر سه رابطه، Φ زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ می باشد.

$$R = \Phi/2$$

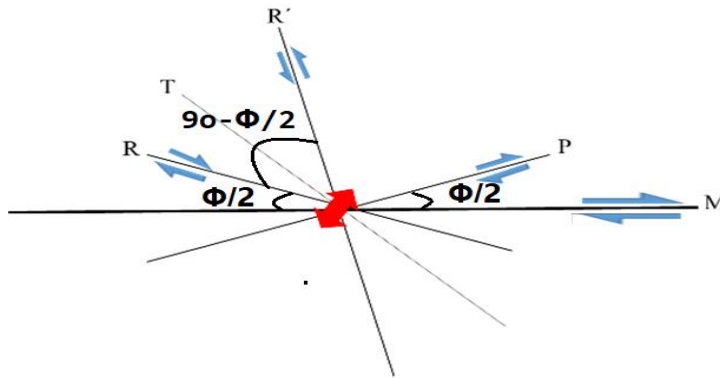
رابطه (۳-۳)

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

رابطه (۴-۳)

$$P = -\Phi/2$$

رابطه (۵-۳)



شکل ۳-۹- موقعیت شکستگی های برشی های ریدل نسبت به گسل اصلی امتداد لغز راست

بر (M)، (نقل از Fossen, 2010)

با قرار دادن مقدار بزرگی زاویه اصطکاک داخلی برای سنگ ها در روابط فوق، می توان زاویه ای که شکستگی ها با سطح گسل می سازند را به صورت تئوری محاسبه کرد. در الگوی کلی زاویه اصطکاک داخلی برای توده سنگ که می تواند مجموعه ای از انواع سنگ ها باشد، معمولا ۳۰ درجه در نظر گرفته می شود، بنابراین با قرار دادن زاویه ۳۰ درجه در روابط بالا، شکستگی های برشی R و P با زاویه ۱۵ درجه و شکستگی R' با زاویه ۷۵ درجه نسبت به گسل اصلی توسعه می یابند شکستگی های الگوی ریدل متاثر از میدان تنش مسبب گسلش اصلی از نظر سازوکار، برشی های R و P هم سو یا هم آوا (Synthetic) و R' ناهم سو یا ناهم آور (Antithetic) با گسلش اصلی هستند. در شکل ۳-۹ گسل امتداد لغز اصلی (M) راست بر است و به تبع آن برشی های R و P راست بر و R' چپ بر ایجاد شده اند.

۴-۲-۳- روش های تشخیص سازوکار گسل ها

برای تشخیص سازوکار گسل ها از روش هایی مانند چینه نگاری، عناصر ساختاری همچون چین های

کشیده سطح گسل (Fault drag fold) ، ریخت شناسی منطقه گسلی و... استفاده می شود. در شرایطی که این شواهد حضور نداشته باشند، به منظور تشخیص نحوه حرکت و سازوکار گسل ها از نشانگرهای جنبشی برداشت شده از سطح گسلی استفاده می شود. ریخت شناسی سطح گسل به ویژه در مکان هایی که طرفین سطح گسل، از یک جنس و سن باشند و روش های چینه نگاری و سایر ابزارهای تعیین سازوکار گسل مانند خمش های مجاور سطح گسل در دسترس نباشند، ابزار مناسبی در تعیین نحوه حرکت در سطح گسل می باشند.

این نشانگرها براساس تاثیر پذیری از عوامل عمده ای از جمله رفتار مکانیکی سنگ ها (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) و نوع سنگ قرار می گیرند و به انواع متنوعی از ساختارهای ثانویه همراه گسل نظیر شکستگی های ریدل (Riddle, 1929)، ریز چین ها و چین های کشیده، چین های مرتبط با گسلش ، عدسی های نامتقارن پهنه گسلی و ساختار (s-c) (Marshak & Mitra, 1988) ، خش خط های گسلی (Angelier, 1994) ، خطواره های رشته ای ناشی از رشد فیبرهای کانیایی و پله های گسلی (Dablas, 1998) اطلاق می شوند.

Petite (1987) به بررسی برخی از این عناصر ساختاری در برداشت های صحرایی رشته کوه Alpine High Atlas در موروکو پرداخته و معتبرترین معیارهای نحوه تشخیص حرکت را شکستگی های مرتبط با گسل معرفی می کند.

Doblas (1998) در حدود ۶۴ نوع نشانگرهای جنبشی سطح گسل به منظور شناسایی سازوکار گسل ها معرفی نمود که البته همه آنها از اعتبار یکسان برخوردار نیستند. به همین دلیل آن دسته از نشانگر هایی که در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته اند معرفی می شوند.

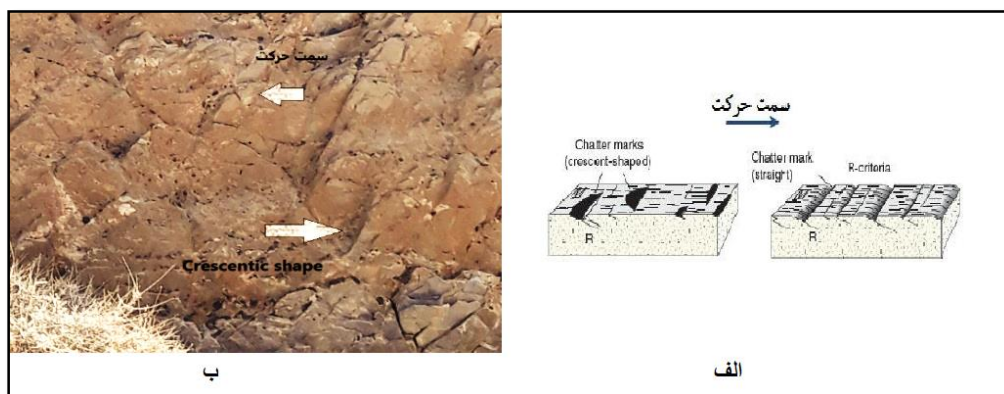
الف - خش خط های گسلی

حضور خش لغز ها به همراه پله های گسلی (Fault step) بر روی سطح گسل، یکی از بهتری شواهد برای تشخیص نوع حرکت خش خط ها و برجستگی های خطی کاملاً موازی هستند که در اثر لغزش و

اصطکاک بر سطح گسل تشکیل می شوند و مسیر حرکت اخیر گسل را نشان می دهند.

ب- اثر شکستگی برشی نوع R بر سطح گسل

شکستگی های R هم سو با حرکت گسل هستند و با زاویه ای به اندازه $\Phi/2$ نسبت به سطح گسل اصلی توسعه می یابند. اثر این برشی ها بر سطح گسل، بخش لغز عمود است. گاهی اوقات برشی های R یک انحناى مقعر مانند به سمت صفحه گسلی دارند که در نتیجه آن، اشکال هلالی یا حفره ای فرو رفته در سطح گسل ایجاد می شود (شکل ۳-۱۰). سمت تحدب این اشکال هلالی (Crescent-shaped) خلاف جهت بلوک گم شده را نشان می دهد (Petite, 1987)

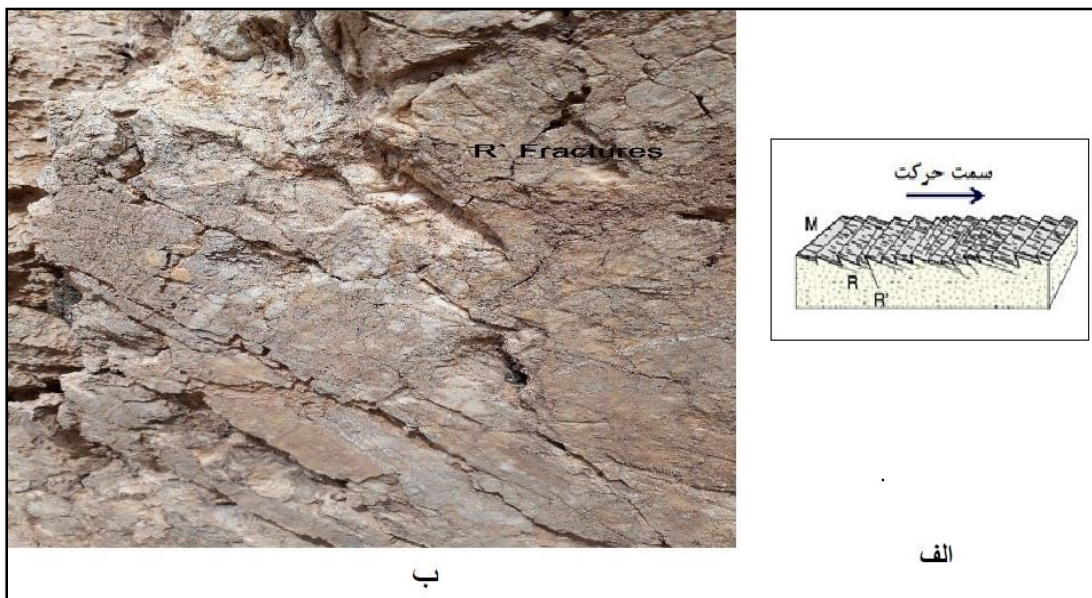


شکل ۳-۱۰- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی های برشی نوع R (نقل از Fossen, 2010). ب- تصویر صحرایی از این شکستگی ها بر روی سطح گسل در سازند لار (نگاه به سمت خاور)

ج- اثر شکستگی های برشی نوع R' بر سطح گسل

شکستگی های نوع R'، برشی های غیر هم سو با حرکت گسل هستند که با فراوانی کمتر در پهنه های هم پوشانی شکستگی های نوع ریدل به وجود می آیند. اثر این برشی ها در سطح گسل نیز به خش لغز عمود است. این برشی ها با زاویه ای به اندازه $90-\Phi/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می یابند. مرفولوژی مضرس و دندانهای بر روی سطح گسل، ناشی از حضور این برشی ها بر روی سطح گسل است. این برشی ها با برشی های نوع R زاویه ای حدود ۶۰ درجه می سازند و سیستم شکستگی های برشی مزدوج را تشکیل می دهند (شکل ۳-۱۱). در مواقعی که پیدا کردن شاخص های حرکت بر روی

R, R' غیر ممکن باشد، این شکستگی ها براساس زاویه ای که نسبت با سطح گسل می سازند تفسیر می شوند.



شکل ۳-۱۱- الف: نمایش بلوک دیاگرام شکستگی های برشی نوع R' (نقل از Fossen, 2010) ب: تصویر صحرایی از این شکستگی ها بر روی سطح گسل در سازند لار (نگاه به سمت خاور)

د- ساختارهای V شکل (Vmarkings)

ساختارهای V مانند یا هویجی شکل نیز از جمله ساختارهایی هستند که بر روی سطوح لغزش گسل ها قابل مشاهده می باشند و به عنوان یک ابزار و معیار قابل اعتماد برای تعیین سمت حرکت گسل ها مورد استفاده قرار می گیرند. Doblas این شاخص را به عنوان یکی از ۱۱ گروه بزرگ شاخص های ریخت شناسی معرفی کرد و ۱۴ شاخص از ۶۴ شاخص سینماتیکی سطح گسل را در این گروه جای داد. زاویه حاده یا نوک V شکل این ساختارها سمت حرکت بلوک گم شده را نشان می دهند (شکل ۳-۱۲). این ساختارها در نتیجه برشی شدن دانه ها در مناطق گسلی ایجاد می شود و به عنوان یک معیار با قابلیت بالا به منظور تعیین سمت حرکت گسل ها مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳-۱۲- تصویر صحرایی با نمونه ای از اشکال هویجی شکل بر روی سطح گسل در سازند لار ، نوک V شکل این اشکال سمت حرکت رانشان می دهد (نگاه به سمت خاور).

ه- اثرات خرده سنگ ها (Tool Marks)

اشیاء سخت و خرده سنگ ها، روی سطح گسل برجستگی های را ایجاد می کنند که در اثر حرکت گسل باعث ایجاد فرورفتگی قاشقی بر روی بلوک مقابل می شود. حضور این آثار فرو رفته و برجسته بر روی گسل سمت برش را نشان می دهد. این ویژگی بیشتر در سنگ هایی رایج است که خرده سنگ های آن بسیار سخت تر از ماتریکس باشد. (Allmendinger, 1989). هرچند برخی تلاش ها برای تفسیر این شیارها به یک تفسیر قابل اعتماد منجر می شود و این حالت در صورتی است که خرده ایجاد کننده این شیار در انتهای شیار مشاهده شود و در آن صورت سمت حرکت به سوی خرده سنگ است. ولی در صورت نبودن خرده، سمت حرکت قابل تشخیص نیست و نمی توان بیان داشت که قسمت عمیق تر شیار جایی است که حرکت خرده در آن جا به پایان رسیده است. در طی گسلش این خرده سنگها در سطح بلوک مقابل شیار هایی را ایجاد می کنند. در شکل ۳-۱۳ نمونه ای از این شیارها دیده می شود.



شکل ۳-۱۳- تصویر صحرایی از آثار تول مارک برروی سطوح گسل در سازند لار (نگاه به سمت جنوب)

ی - مناظر نامتقارن در سطح گسل (Asymmetric Plan-view features)

این شاخص از معیارهای با قابلیت بسیار بالا می باشد که به منظور تعیین سمت حرکت گسل ها مورد استفاده قرار می گیرد. این مناظر در سطح گسل به صورت حفراتی طویل در مقیاس های سانتی متر تا متر برروی سطوح گسلی قابل مشاهده می باشند. از ویژگی های مهم مناظر نامتقارن این است که بخشی از حفره که دیواره آزاد را تشکیل می دهد فاقد خراش گسلی است و قسمتی از حفره که دیواره در گیر را تشکیل می دهد دارای خراش گسلی است. خراش های گسلی تشکیل شده در این بخش در اثر حرکت دو بلوک گسلی در کنار هم ایجاد شده است. این مناظر در شکل ۳-۱۴ قابل مشاهده می باشند.



شکل ۳-۱۴- تصویر صحرایی از مناظر نامتقارن در سازند لار برروی سطح گسل

نکته ای که در استفاده از این شاخص ها باید مورد توجه قرار گیرد ، این است که در تعیین سوی برش با استفاده از شاخص های ریخت شناسی سطح گسل، تنها به یک شاهد نمی توان اکتفا کرد و به منظور مطمئن شدن در صحت و درستی سوی برش باید از شاخص های مختلف برای یک سطح گسل استفاده کرد تا نتیجه قابل اعتمادتری در مورد سمت حرکت گسل دست پیدا کرد.

۳-۳- شناسایی گسله ها در منطقه

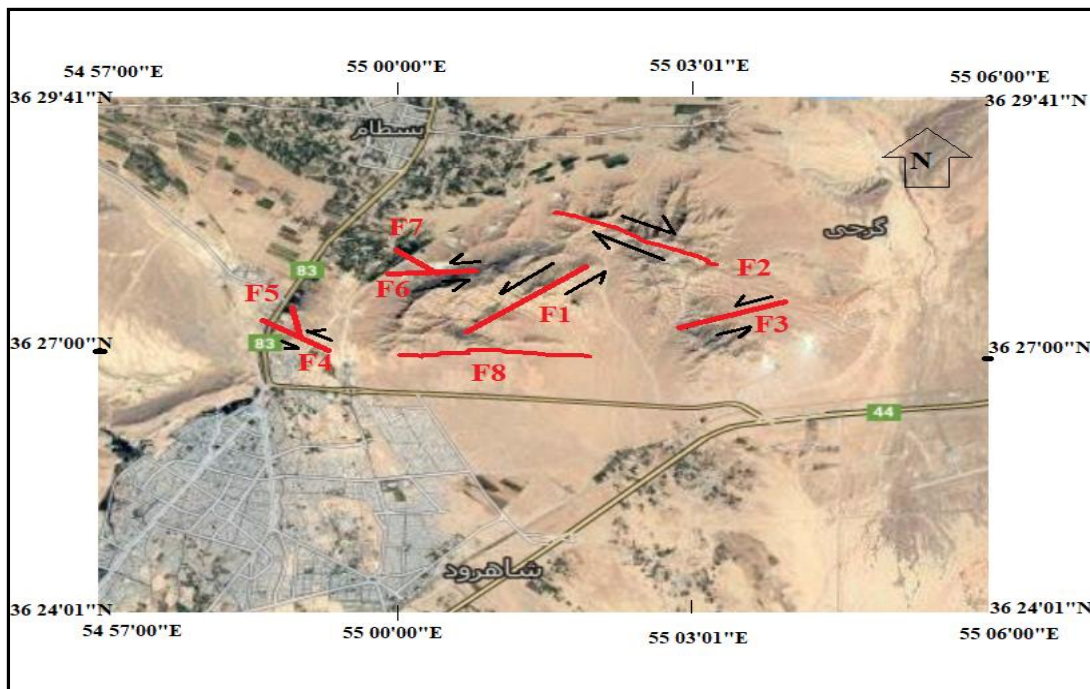
در منطقه مورد مطالعه شکستگیها را در دو گروه گسله ها و درزه ها می توان مشاهده نمود. دسته ای از شکستگی ها که دارای طولی بین ۱۱۰ متر تا ۲ کیلومتر و جابه جایی قابل توجه هستند، در ریخت شناسی منطقه و حریم تنش منطقه نقش تعیین کننده داشته و به عنوان گسله مورد بررسی قرار گرفته اند. با این نگرش تعداد ۸ گسله که با نام های F1 تا F8 شناسایی شدند.

شناسایی گسل های منطقه با نگاه ویژه بر ردیابی گسل هایی صورت گرفته است که تاکنون در بخش باختری و شمال باختری شاهرود شناسایی شده اند و برحسب اهمیت موضوع، اثر آنها در این منطقه ردیابی و شناسایی شده است. در معرفی گسله ها آن دسته از گسله ها با راستای شمال خاوری- جنوب باختری که از روند ساختاری البرز خاوری تبعیت می کنند با عنوان گسله های طولی و اصلی نام برده شده است. گسله هایی با سایر روندها که دارای درازای کمتری نسبت به گسله های اصلی هستند، به عنوان گسله های فرعی نام برده می شوند.

۳-۳-۱- گسل F1

خط اثر این گسل در سنگ آهک های شمال خاوری شاهرود با طول نزدیک به ۲ کیلومتر می توان مشاهده کرد. اثر این گسل در تصاویر ماهواره ایی برگرفته از Google Earth(2019) (شکل ۳-۱۵) و در مشاهدات صحرایی با روند شمال- شمال خاوری قابل بررسی می باشد. گسل F1 به دلیل روند ساختاری آن می تواند بخشی از گسل های اصلی البرز خاوری باشد. از ویژگی های بارز این گسل ایجاد پرتگاه

گسلی قائم با ارتفاع نزدیک به ۱۰ متر در منطقه است که خود بیانگر شیب حدود ۹۰ درجه گسل است. شکل ۳-۱۶ تصاویری از خط گسله و پرتگاه آن را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۵- تصویر ماهواره ایی لندست برگرفته از Google earth,(2019) و نمایش گسله های F₁ تا F₈



الف-تصویر صحرایی از گسل F₁ در سازند دلیچای (نگاه به سمت شمال باختر)



ب- نمای دور از پرتگاه گسلی ایجاد شده توسط گسل F_1 در سازند دلیچای (نگاه به سمت شمال)



ج- نمای نزدیک از پرتگاه گسلی ایجاد شده توسط گسل F_1 (سطح گسل نزدیک به قائم با ارتفاع بیش از ۱۰ متر)

شکل ۳-۱۶- تصاویر صحرایی از گسل F_1

سازوکار گسل F_1 :

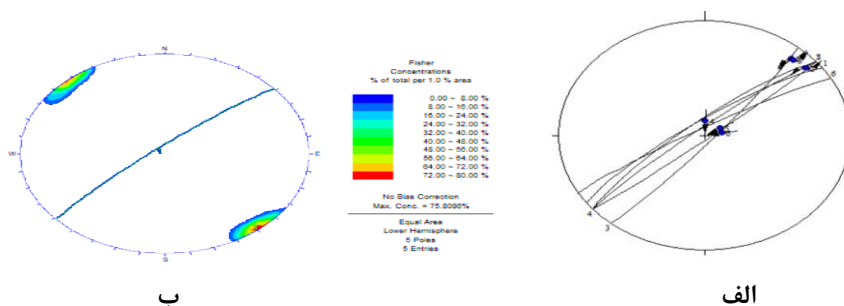
اندازه گیری های ساختاری انجام شده در برداشت های صحرایی شامل موقعیت سطح گسل و خراش های روی آن در جدول ۳-۳ درج شده و استریوگرام های رسم شده شامل تصاویر سیکلو گرافیک و نمودار همتراز آنها در شکل ۳-۱۷ رسم شده است. نمودارها موقعیت $N50E / 85 NW$ را برای این گسل نشان می دهد. همچنین برداشتهای روی زمین از خش لغزهای سطح گسل، خراش های گسلی با ریک ۸۵-۸۰ درجه و خش لغزهای با ریک تقریبا صفر درجه بروی این گسل را نشان می دهند این خراش های گسلی در شکل ۳-۱۸ قابل مشاهده می باشد. در تصویر ب، محل تلاقی دو دسته خش لغز با ریک حدود ۸۰ و ریک نزدیک به صفر قابل مشاهده است. طبق قاعده بریده شدن خش لغزهای قدیمی توسط

خش لغزهای جدیدتر (Cross-Cutting) حرکت امتداد لغز با ریک خش لغز نزدیک به صفر درجه، جوان ترین حرکت در سطح گسل مورد بحث بوده که سازوکار امتداد لغز نشان می دهد.

جدول ۳-۳ - داده های برداشت شده از سطح گسل F1

* جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا (معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
324	80	042	12	4
320	85	050	10	4
130	85	043	12	4
140	87	003	80	1
320	80	016	80	1
330	85	020	80	1



شکل ۳-۱۷- الف: استریوگرام ترسیم شده از برداشت های سطح گسل همراه با موقعیت خراش های آن ب: کنتور

دیگرام قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب N50E/85 NW برای گسل F1



ب

الف

شکل ۳-۱۸- خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F1 ، الف- خش لغزهای افقی ، ب- تلاقی خش لغزهای افقی بر روی خش لغزهای نزدیک به قائم. (نگاه به سمت خاور)

به منظور تعیین نحوه حرکت امتداد لغز راست بر یا چپ بر از شاخص های ریخت شناسی سطح گسل استفاده شد. بدین منظور از آثار شکستگی ها در سطح گسل برداشت شد. میانگین موقعیت این شکستگی های برشی از نوع R' و خش لغزهای روی آن در جدول ۳-۴ درج شده است. اثر این شکستگی ها که دارای موقعیت میانگین $N30W / 55NE$ هستند در سطح گسل تقریباً عمود بر خراش های افقی سطح گسل بوده و جابه جایی راست بر از خود نشان می دهند (شکل ۳-۱۹). میانگین زاویه بین این شکستگی ها با سطح گسل 79° درجه است. استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش ها بر روی صفحات شکستگی و نمایش زاویه بین میانگین صفحات شکستگی با سطح گسل F_1 در شکل ۳-۲۰ قابل مشاهده است. این شکستگی ها که برشی های ناهم سو با حرکت گسل (R') هستند با زاویه $90 - \Phi/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می یابند و در اینجا به دلیل اینکه شکستگی ها در واحدهای آهکی حضور دارند بر اساس محاسبه تئوریک و قرار دادن زاویه اصطکاک داخلی (Φ) سنگ آهک ($\Phi=34^\circ$) در فرمول $R'=90 - \Phi/2$ زاویه 74° درجه برای شکستگی های نوع R' بدست آمد که این زاویه با نتایج داده های صحرایی (زاویه 78° درجه) هم خوانی و قرابت نزدیکی دارد. بنابراین می توان این شکستگی ها را برشی های ریدل نوع R' نام گذاری کرد و با توجه به اینکه این شکستگی ها حرکت راست بر از خود نشان می دهند حرکت گسل F_1 در جدیدترین فاز خود از نوع چپ بر معرفی کرد.

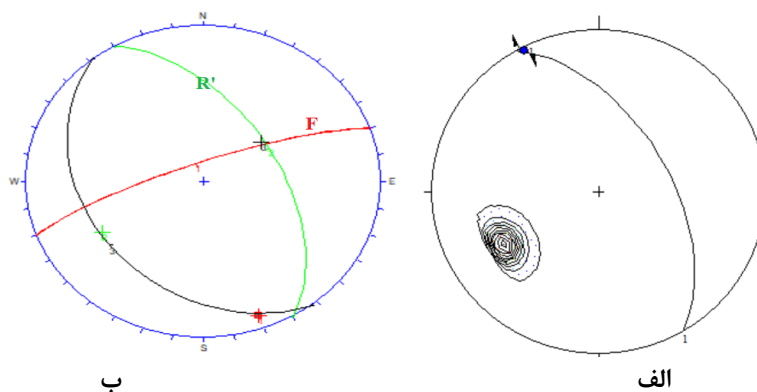


شکل ۳-۱۹- نمایش شکستگی های برشی R' بر روی سطح گسل F_1 و نمایش حرکت راست بر این شکستگیها در

سازند لار (نگاه به سمت جنوب)

جدول ۳-۴- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های برشی R' از سطح گسل F_1
 *جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا (معکوس) ، ۲: روبه پایین (نرمال) ، ۳: راست بر ، ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
060	55	331	03	3



شکل ۳-۲۰- الف: تصویر سیکلوگرافیک صفحه میانگین برشی های R' (بدست آمده از نمودار کنتوری)، ب: استریوگرام زاویه سنجی بین برشی R' و سطح گسل اصلی F_1

از دیگر شاخص های مرفولوژیک بر روی سطح گسل می توان به اشکال هویجی شکل و پله های گسلی بر روی سطح گسل اشاره نمود. قابل ذکر است که نوک V شکل این علائم هویجی شکل سمت حرکت بلوک گم شده را نشان می دهد و در مورد پله های گسلی حرکت دست بر روی سطح گسل در راستای بلوک گم شده آسان است و احساس نرمی می شود. (شکل ۳-۲۱)

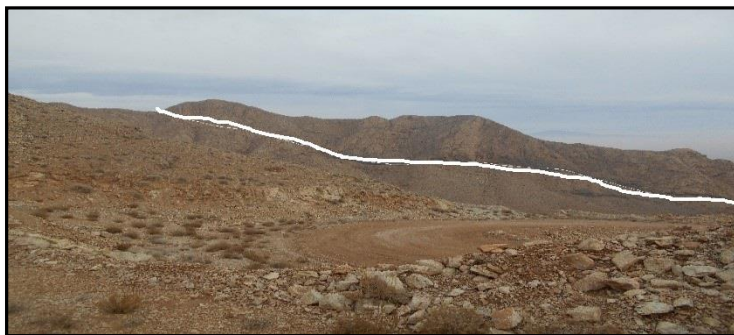
به استناد شواهد فوق، گسل F_1 در جدیدترین فاز به صورت چپ بر حرکت داشته است. شیب زیاد گسل نیز حکم می کند که این گسل یک گسل امتداد لغز باشد. با تلفیق مرفولوژی و خش لغزها می توان به این نتیجه رسید که در گسل F_1 یک جابه جایی معکوس به صورت حرکت روبه بالای بلوک شمالی (فرا دیواره) و روبه پایین بلوک جنوبی (فرو دیواره) رخ داده است که در میدان تنش نو زمین ساختی کواترنری، حرکت آن به صورت امتداد لغز (چپ بر) تداوم یافته است.



شکل ۳-۲۱- نمایش پله های گسلی و اشکال هویچی شکل بر روی سطح گسل F₁ در سازند لار (نگاه به سمت شمال)

۲-۳-۳- گسل F₂

اثر گسل F₂ را با طولی حدود ۲ کیلومتر در محدوده ای با موقعیت "۳۶° ۲۷'۳۶" تا "۳۶° ۲۷'۵۴" شمالی و "۵۵° ۰۳' ۱۰" تا "۵۵° ۰۲' ۰۵" شرقی با روند شمال باختری- جنوب خاوری قابل ردیابی است. در تصاویر ماهواره ای برگرفته از Google Earth (2019) (شکل ۳-۱۵) و خطواره آن در روی زمین در تصویر صحرایی شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲- تصویر صحرایی گسل F₂ (نگاه به سمت شمال)

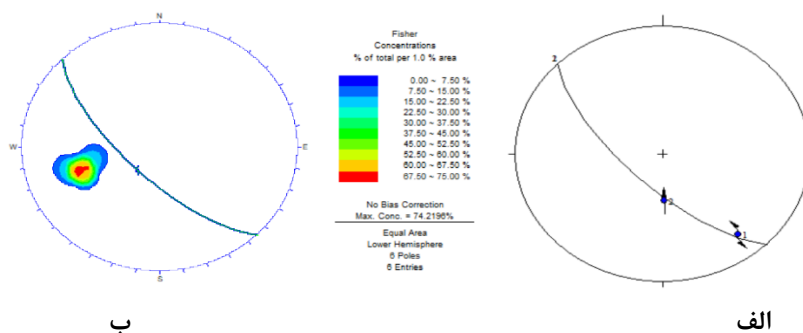
جدول ۳-۵ - میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F₂

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا (معکوس) ، ۲: روبه پایین (نرمال) ، ۳: راست بر ، ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
225	70	178	60	1
225	70	141	20	3

سازوکار گسل F₂ :

مشاهدات صحرایی و اندازه گیری های ساختاری بر روی این گسل در جدول ۳-۵ نشان داده شده است استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی و نمودار هم تراز قطب آنها موقعیت غالب N45W/70 SW را برای این گسل نشان می دهد. (شکل ۳-۲۳) بنابراین گسل F₂ یک گسل شمال باختری - جنوب خاوری است که شیب نزدیک به قائم به سمت جنوب باختر دارد .

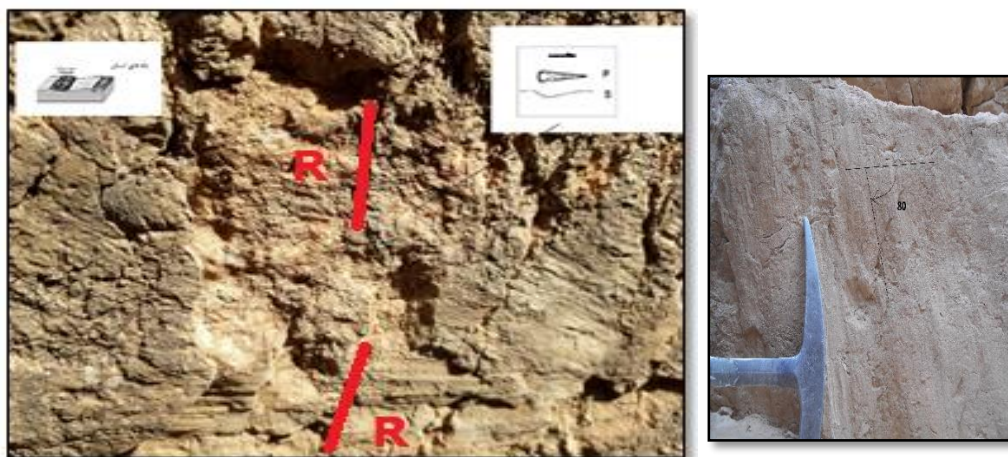


شکل ۳-۲۳- الف: استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل ب: کنتور دیاگرام قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب N45W/70 SW برای گسل F₂

در نتیجه رسم نمودار هم تراز برای قطب صفحات اندازه گیری شده در طول گسل F₂ مشخص شد که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت غالب N45W/70 SW است.

برداشتهای روی زمین از خش لغزهای سطح گسل، دو نسل خراش گسلی را بر روی سطح گسل به اثبات رسانید. خراش های مورب لغز با زاویه ریک ۶۰ درجه پات ساعت گرد قدیمی ترین فاز و

خش لغزهای با زاویه ریک تقریباً صفر درجه جوان ترین فاز حرکت بر روی این گسل را نشان می دهند این خراش های گسلی در شکل ۳-۲۴ قابل مشاهده می باشد.



ب

الف

شکل ۳-۲۴- الف: نمایش خراش گسلی (S₁) نزدیک به شیب لغز محض بر روی سطح گسل F₂ ب: نمایش دسته دوم خراش گسلی بر روی سطح گسل (S₂) که دارای ریک تقریباً صفر درجه (امتداد لغز محض) می باشند و حضور پله های گسلی بر روی سطح گسل F₂ (نگاه به سمت شمال)

از شاخص های مرفولوژیک بر روی سطح گسل می توان به پله های گسلی بر روی سطح گسل اشاره نمود (شکل ۳-۲۴) اگرچه نشانگرهای متعدد برای تشخیص سازوکار امتداد لغز راست بر یا چپ بر، گسله وجود ندارد، ولی می توان از شکستگی های برشی نوع R بر روی سطح گسله نام برد. این برشی ها بر خش لغزهای افقی عمود هستند و جابه جایی راست بر را بر روی سطح گسل نمایان می سازند. بنابراین می توان گفت که در گسل F₂ یک جنبش قدیمی معکوس با جنبش نو زمین ساختی راستالغز راست بر به دنبال داشته است. شواهد روی زمین نشان می دهد که میزان جابه جایی امتداد لغز چندان پررنگ نیست.

۳-۳-۳- گسل F₃

گسل F₃ با طول ۷۰۰ متر یکی دیگر از گسل های شمال خاوری شاهرود است. بهترین رخنمون از این گسل در محدوده "۳۶° ۲۷'۳۳" شمالی و "۵۵° ۰۳'۳۲" خاوری قابل مطالعه و بررسی است.

اثر این گسل در تصویر ماهواره ای برگرفته از (20019) Google earth (شکل ۳-۱۵) قابل مشاهده است. شکل ۳-۲۵ تصویر روی زمین گسله F3 که علاوه بر خطواره آن برشی شدن سنگ های حریم گسل را نشان می دهد.



شکل ۳-۲۵- تصویر صحرایی گسل F3 (نگاه به سوی شرق)

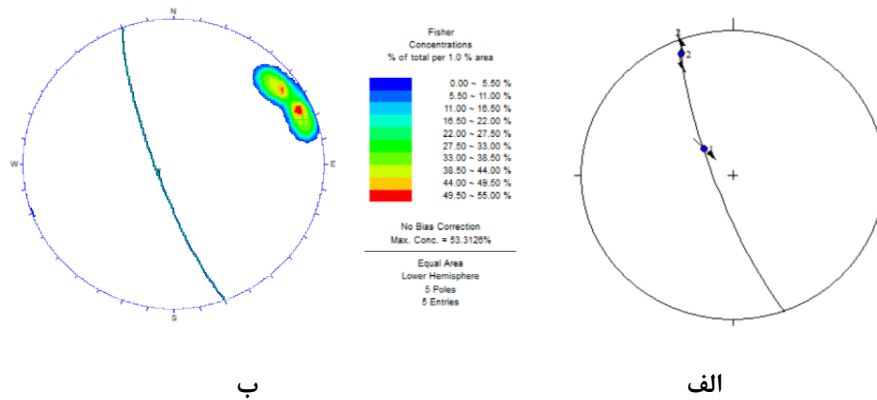
سازوکار گسل F3 :

مشاهدات صحرایی و اندازه گیری های ساختاری بر روی این گسل در جدول ۳-۶ نشان داده شده است استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده های سطح گسله همراه باموقعیت خراش های گسلی ونمودار هم تراز قطب آنها موقعیت غالب N20W/ 80 SW را برای این گسل نشان می دهد. (شکل ۳-۲۶).

جدول ۳-۶- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F3

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
250	80	314	70	1
250	80	338	12	4



شکل ۳-۲۶- الف : استریوگرام های ترسیم شده از صفحه گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F3 ب : کنتور دیاگرام قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب N20W / 80 SW برای گسل F3

برداشت‌های روی زمین از خش لغزهای سطح گسل، دو نسل خراش گسلی را بر روی سطح گسل به اثبات رسانید. خراش های مورب لغز با ریک ۷۰ درجه پات ساعت گرد قدیمی ترین فاز و خش لغزهای با ریک تقریبا ۱۰ درجه جوان ترین فاز حرکت روی این گسل را نشان می دهند این خراش های گسلی در شکل ۳-۲۷ قابل مشاهده می باشد.



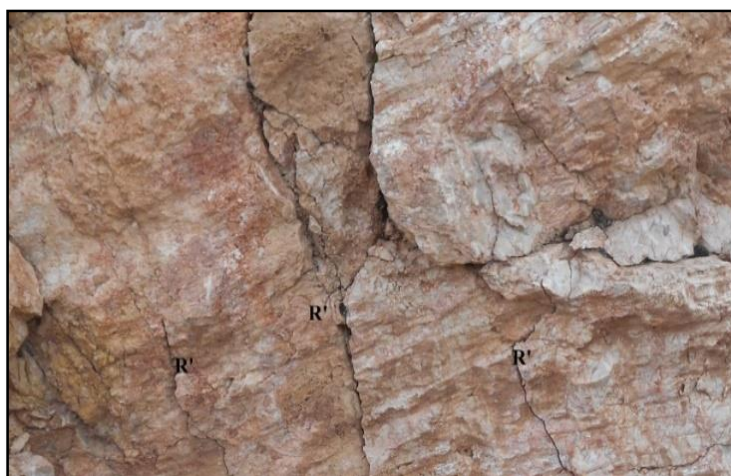
شکل ۳-۲۷- الف: نمایش خراش گسلی (S1) شیب لغز با ریک حدود ۸۰ درجه بر روی سطح گسل F3 ب: نمایش دسته دوم خراش گسلی بر روی سطح گسل (S2) که دارای ریک ۲۵ درجه می باشند (نگاه به سمت شمال خاور)

به منظور تعیین جهت و سوی حرکت بر روی سطح گسل از شاخص های ریخت شناسی سطح گسل استفاده شد. در سطح گسل پله های گسلی و اثرات خرده سنگ ها (Tool Marks)

قابل مشاهده است که بیانگر سازوکار چپ بر گسله می باشد. (شکل ۳-۲۸). از اثر شکستگی ها در سطح گسل نیز سازوکار چپ بر تایید شد. این شکستگی ها با موقعیت N60E / 69NW بر روی سطح گسل قابل مشاهده هستند. این شکستگی ها با سطح گسل زاویه ای حدود ۸۰ درجه می سازند و جابه جایی راست بر از خود نشان می دهند، بنابراین می توان آنها را به عنوان برشی های R' برای گسل F3 در نظر گرفت. از آنجایی که این شکستگی ها جابه جایی راست بر بردارند و به عنوان برشی های ناهم سو با سطح گسل محسوب می شوند پس می توان گفت گسل F3 در جدیدترین فاز حرکت خود حرکت چپ بر داشته است. میانگین شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F3 در جدول ۳-۷ و تصاویر سیکلوگرافیک این شکستگی ها در شکل ۳-۲۹ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۲۸ - تصویری از آثار خرده سنگها و پله های گسلی بر روی سطح گسل F3 و تشخیص حرکت چپ بر گسله (گاه به سمت خاور)

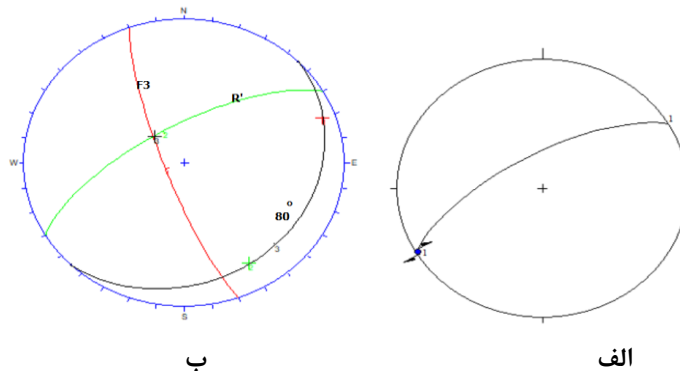


شکل ۳-۲۹ - تصویر صحرایی از شکستگی های R' در سطح گسل F3 (نگاه به سمت خاور)

جدول ۳-۷- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های سطح گسل F_3

* جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
330	69	240	02	3



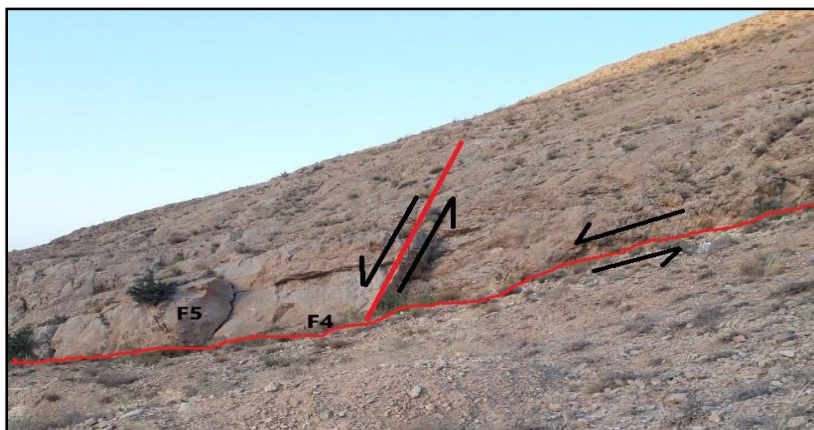
شکل ۳-۳۰-الف: تصویرسیکلوگرافیک میانگین برای برشی های R' (بدست آمده از نمودار کنتوری)، ب:

استریوگرام زاویه سنجی بین برشی R' و سطح گسل اصلی F_3

بنابراین با استناد بر شواهد فوق می توان گفت گسل F_3 یک گسل معکوس است که در جدید ترین فاز خود به صورت به امتداد لغز چپ بر عمل کرده است.

۴-۳-۳- گسل F_4

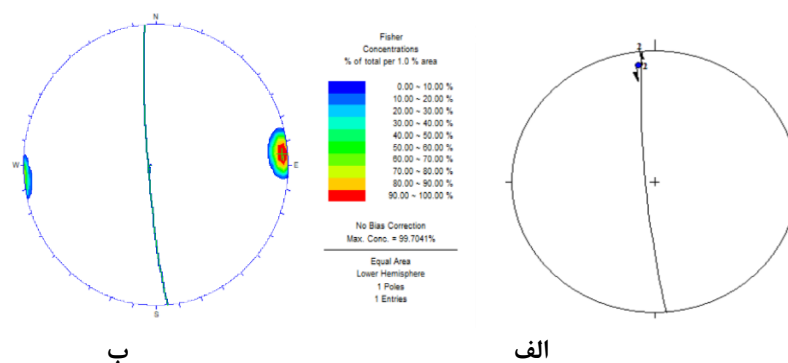
گسل F_4 یکی دیگر از گسل های منطقه است بهترین رخنمون این گسل در آهک های سازند لار در موقعیت $۳۶^{\circ} ۲۶' ۴۳''$ شمالی و $۵۴^{\circ} ۵۸' ۴۳''$ خاوری و در قسمت شمالی شهر بازی شاهرود قابل مشاهده است. اثر این گسل در تصاویر ماهواره ای بر گرفته از Google earth (شکل ۳-۱۵) و مشاهدات صحرائی قابل مشاهده است. در بررسی روی زمین مشاهده شد که گسل F_4 به وسیله گسل F_5 که از نظر زمین ساختی جوان تر می باشد قطع شده است. (شکل ۳-۳۱)



شکل ۳-۳۱ - تصویر صحرایی از گسل F4 و F5 در سنگ آهک های سازند لار (نگاه به سمت خاور)

سازوکار گسل F4 :

در پیمایش بر روی این گسل، سطح گسل در چند ایستگاه قابل برداشت است. برداشت های صحرایی مربوط به وضعیت هندسی گسل F4 در جدول (۳-۸) نشان داده شده است. شکل ۳-۳۲ استریوگرام میانگین مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلوگراف داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش گسلی و نمودار هم تراز قطب آنها را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۲-الف: استریوگرام ترسیم شده از میانگین صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش گسلی برداشت شده از سطح گسل F4 ب: کنتور دیاگرام قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب N5W/ 85W برای گسل F4

جدول ۳-۸ - میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F4

* جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken lines		
Dip.Dir	Dip	Azimuth	Plunge	Sense*
265	85	354	10	4

در نتیجه رسم نمودار هم تراز برای قطب صفحات اندازه گیری شده در طول گسل F4 مشخص شده که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت غالب N5 W/85 SW است. مشاهدات صحرایی یک دسته خراش گسلی را بر روی سطح گسل را به اثبات رسانید که این خراش ها به صورت افقی با ریک بسیار کم قابل مشاهده هستند. این خراش ها در شکل ۳-۳۳ قابل مشاهده هستند.



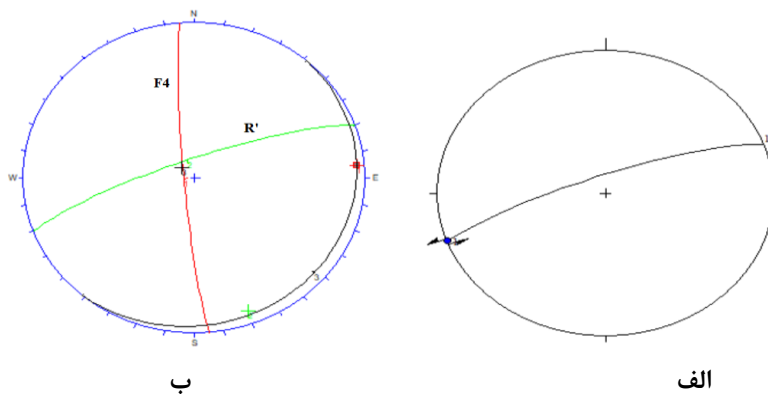
شکل ۳-۳۳- نمایش خراش های گسلی افقی با زاویه ریک تقریباً صفر درجه بر روی سطح گسل F4 (نگاه به سمت خاور)

به منظور تعیین جهت و سوی برش بر روی سطح گسل از شاخص های ریخت شناسی سطح گسل استفاده شد. در بازدیدهای صحرایی بر روی گسل F4 و مشاهده مستقیم سطح گسل این شاخص ها قابل مشاهده هستند. بدین منظور شکستگی های روی سطح گسل برداشت شد (جدول ۳-۹) استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلو گرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی بر روی صفحات شکستگی و نمایش زاویه بین میانگین صفحات شکستگی با سطح گسل اصلی در شکل ۳-۳۴ قابل مشاهده می باشد. اثر این شکستگی ها که دارای موقعیت میانگین N70E/80NW دارند در سطح گسل تقریباً عمود بر خراش های افقی سطح گسل بوده و جابه جایی راست بر از خود نشان می دهند میانگین زاویه بین این شکستگی ها با سطح گسل ۷۸ درجه است. این شکستگی ها که برشی های ناهم سو با حرکت گسل هستند با زاویه $90-\Phi/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می یابند

ودراینجا به دلیل اینکه شکستگی ها در واحدهای آهکی حضور دارند براساس محاسبه تئوریک و قرار دادن زاویه اصطکاک داخلی سنگ آهک ($\Phi=34$) در فرمول $R'=90-\Phi/2$ زاویه ۷۴ درجه برای شکستگی های نوع R' بدست آمد که این زاویه با نتایج داده های صحرایی (زاویه ۷۸ درجه) هم خوانی و قرابت نزدیکی دارد. بنابراین می توان این شکستگی ها را برشی های ریدل نوع R' نام گذاری کرد و با توجه به اینکه این شکستگی ها حرکت راست بر از خود نشان می دهند می توان حرکت گسل F4 را در جدیدترین فاز خود از نوع چپ بر معرفی کرد. تصویر صحرایی این شکستگی ها در شکل ۳-۳۵ قابل مشاهده است.

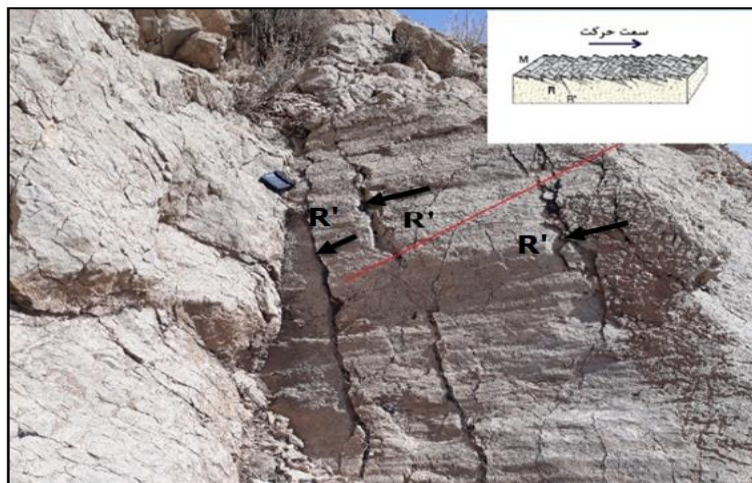
جدول ۳-۹- میانگین داده های برداشت شده از شکستگی های سطح گسل F4
 *جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا (معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken lines		
Dip.Dir	Dip	Azimuth	Plunge	Sense*
340	80	250	01	3



شکل ۳-۳۴- الف: تصویر سیکلوگرافیک میانگین برای برشی های R' (بدست آمده از نمودار کنتوری)، ب:

استریوگرام زاویه سنجی بین برشی R' و سطح گسل اصلی F4



شکل ۳-۳۵- اثر شکستگی های برشی نوع R' بر روی سطح گسل F4 در سازند لار (نگاه به سمت خاور)

باتوجه به نتایج حاصل از خش لغزها و بررسی های مرفولوژیک می توان گفت که گسل F4 یک گسل امتداد لغز چپ بر می باشد.

۵-۳-۳- گسل F5

گسل F5 در ارتفاعات شمال خاوری شاهرود در محدوده "۴۳' ۲۶° شمالی و "۴۲' ۵۸' ۵۴° خاوری تا "۴۷' ۲۶° شمالی و "۴۲' ۵۸' ۵۴° خاوری قابل مشاهده است. رخنمون این گسل را می توان در ارتفاعات شمال شهر شاهرود مشاهده نمود.

اثر این گسل در تصاویر ماهواره ای برگرفته از Google earth (شکل ۳-۱۵) و مشاهدات روی زمین در (شکل ۳-۳۱) قابل مشاهده می باشد. همانطور که قبلا ذکر شد از شواهد بارز این گسل می توان اشاره نمود که گسل F5 که در بازه جدیدتری واقع شده است باعث قطع شدگی در گسل F4 شده است و به صورت متقاطع در چند ایستگاه قابل مشاهده و بررسی است (شکل ۳-۳۱)

سازوکار گسل F5

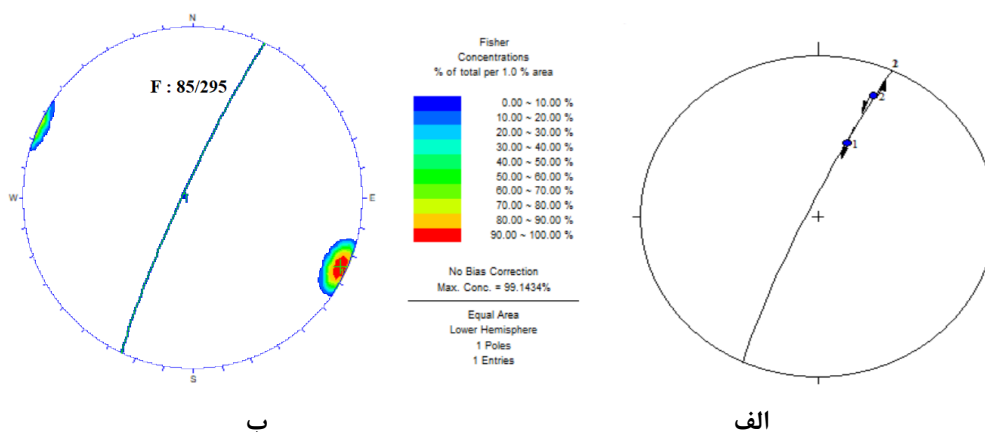
مشاهدات صحرائی و اندازه گیری های ساختاری بر روی این گسل در جدول ۳-۱۰ نشان داده

شده است میانگین استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی و نمودار هم تراز قطب آنها را برای این گسل نشان می دهد. (شکل ۳-۳۶)

جدول ۳-۱۰- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F₅

* جهت حرکت فرا دیواره : ۱ : روبه بالا (معکوس) : ۲ : روبه پایین (نرمال) : ۳ : راست بر : ۴ : چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
295	85	020	50	1
295	85	023	15	4



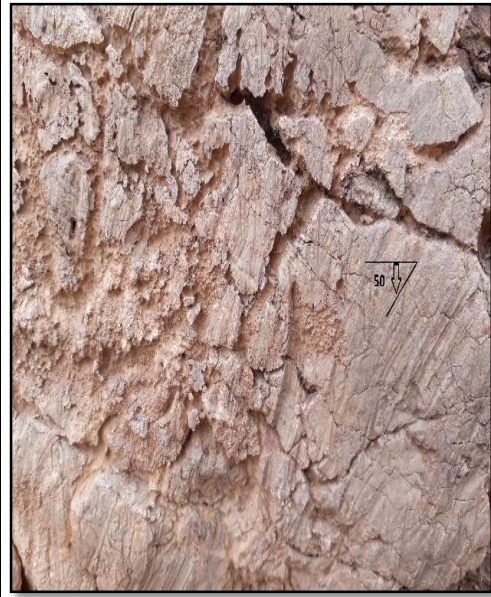
شکل ۳-۲۶-الف: استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F₅ ب: کنتور دیاگرام قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب N25E/85NW برای گسل F₅

در نتیجه رسم نمودار هم تراز برای قطب صفحات اندازه گیری شده در طول گسل F₅ مشخص شد که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت غالب N25 E/85 NW است.

هم چنین برداشت های روی زمین از خش لغزهای سطح گسل، دو نسل خراش گسلی را بر روی سطح گسل به اثبات رسانید. خراش های مورب لغز با ریک ۵۰ درجه پات گرد قدیمی ترین فاز و خش لغزهای با ریک صفر درجه جوان ترین فاز حرکت روی این گسل را نشان می دهند این خراش های گسلی در شکل ۳-۳۷ قابل مشاهده می باشد.



ب



الف

شکل ۳-۳۷-الف: نمایش خراش گسلی بر روی سطح گسل F_5 ب: نمایش دو دسته خراش گسلی بر روی سطح گسل، نسل اول خراش ها (S_1) مورب لغز با ریک ۵۰ درجه و دسته دوم خراش ها (S_2) دارای ریک صفر درجه می باشند (نگاه به سمت خاور)

با استناد بر شواهد فوق و با توجه به اینکه گسل F_5 باعث جابه جایی گسل F_4 به صورت چپ بر شده است. می توان گفت که گسل F_5 یک گسل معکوس یا مولفه امتداد لغز چپ بر است

۳-۴-۶- گسل F_6

گسل F_6 به طول ۱۱۰ متر یکی دیگر از گسل های منطقه است بهترین رخنمون این گسل در آهک های سازند دلیچای در موقعیت " ۵۷ ' ۵۹ ° ۵۴ خاوری و " ۲ ' ۲۷ ° ۳۶ شمالی قابل مشاهده است. اثر این گسل در تصاویر ماهواره ای بر گرفته از Google earth (2019) (شکل ۳-۱۵) و مشاهدات صحرایی قابل مشاهده است (شکل ۳-۳۸).



الف- نمای نزدیک از سطح گسل F₆ ب- نمایی دور از سطح گسل F₆
 شکل ۳-۳۸- تصویر روی زمین از گسل F₆ (نگاه به سمت خاور)

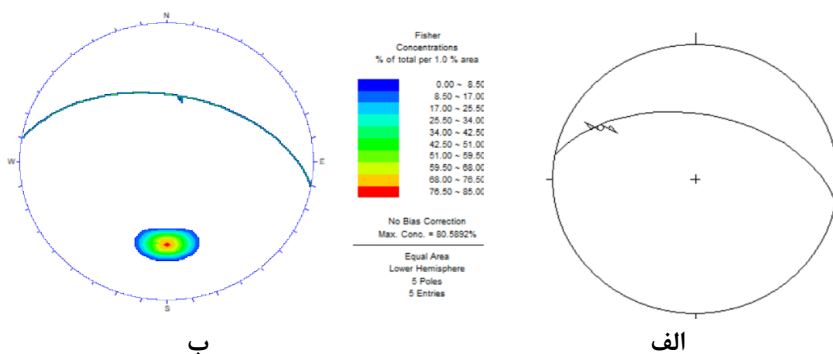
سازوکار گسل F₆

مشاهدات صحرایی و اندازه گیری های ساختاری بر روی این گسل در جدول ۳-۱۱ نشان داده شده است. استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلو گرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی و نمودار هم تراز قطب آنها برای گسل F₆ در شکل ۳-۳۹ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۱- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F₆

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
010	50	295	20	3



شکل ۳-۳۹- الف: استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F₆ ، ب- کنتور داگرام قطب صفحات گسلی

در نتیجه رسم نمودار همتراز برای قطب صفحات اندازه گیری شده در طول گسل F₆ مشخص شد که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت N80W/ 50NE می باشد.

در برداشت های روی زمین یک دسته خش لغز با ریک ۲۰ درجه جدیدترین فاز حرکت برروی این گسل را نشان می دهد. از شاخص های مرفولوژیک برروی سطح گسل می توان به پله های گسلی برروی سطح گسل اشاره نمود (شکل ۳-۴۰).



شکل ۳-۴۰- تصویر روی زمین از سطح گسل F₆ همراه با موقعیت خراش های گسلی و پله های گسلی ایجاد شده در سطح گسل (نگاه به سمت خاور)

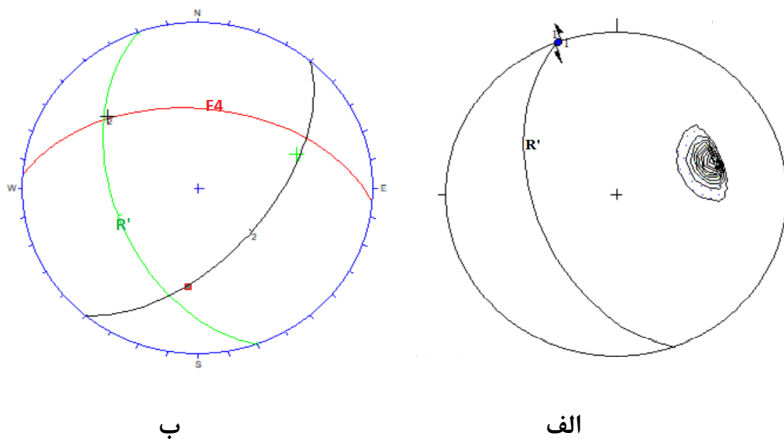
همچنین به منظور بررسی سمت حرکت شکستگی های سطح گسل برداشت شد (جدول ۳-۱۲)

استریوگرام های مربوط به این برداشت ها ، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی برروی صفحات شکستگی و نمایش زاویه بین میانگین صفحات شکستگی و سطح گسل در شکل ۳-۴۱ قابل مشاهده می باشد. این شکستگی ها که دارای موقعیت غالب N20W/50SW هستند. میانگین زاویه بین این شکستگی ها با سطح گسل ۷۸ درجه است. این برشی ها را می توان به عنوان برشی های ناهم سو با حرکت گسل در نظر گرفت که با زاویه $90-\Phi/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می یابند. تصویر صحرایی این شکستگی ها در شکل ۳-۴۲ قابل مشاهده است.

جدول ۳-۱۲- میانگین شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F_6

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

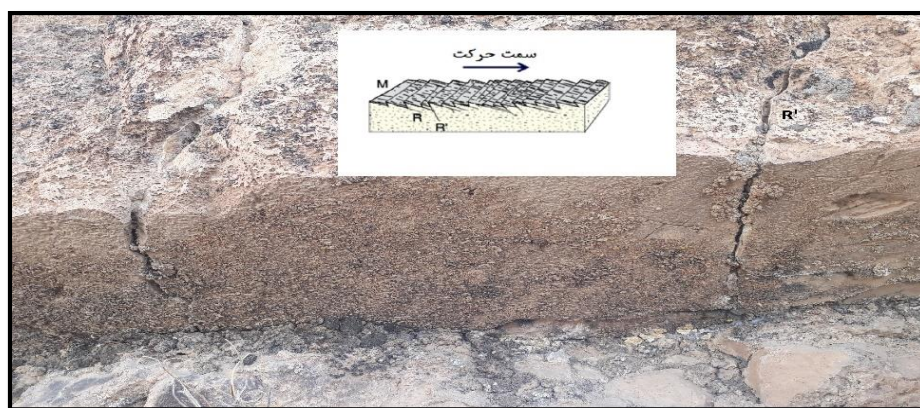
Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
250	50	340	01	4



شکل ۳-۴۱- الف: تصویر سیکلوگرافیک میانگین برشی های R' (بدست آمده از نمودار کنتوری) ، ب: استریوگرم

زاویه سنجی بین برشی ها R' و سطح گسل F_6

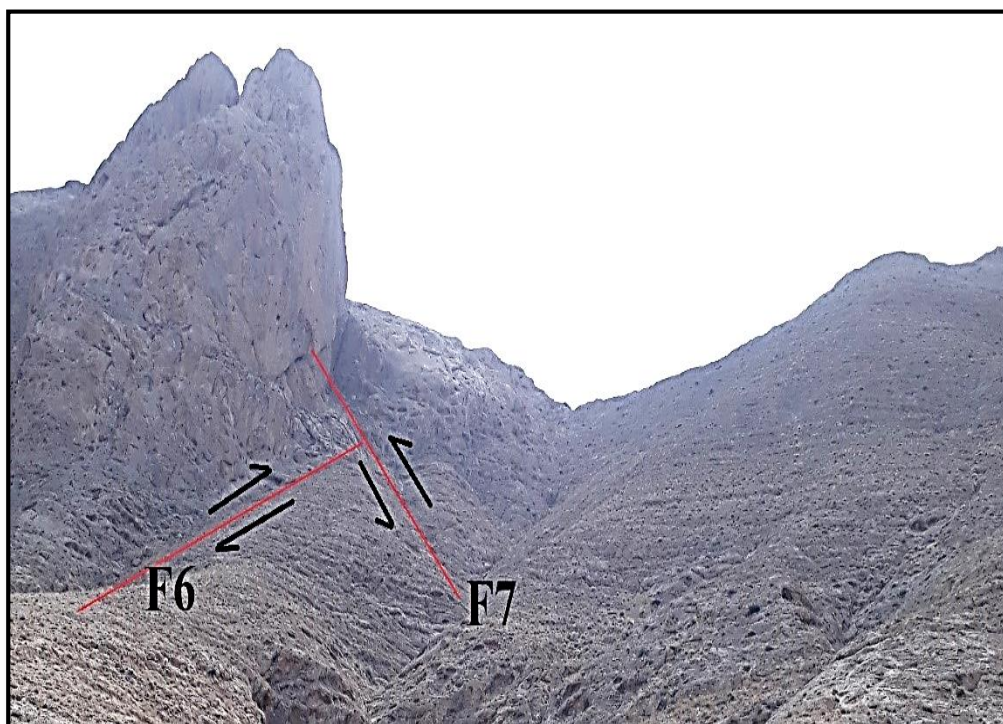
بنابراین با استناد بر موارد فوق می توان گفت که گسل F_6 در جدیدترین فاز خود به صورت راست بر عمل کرده است.



شکل ۳-۴۲- تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از سطح گسل F_6 (نگاه به سمت خاور)

۷-۳-۳- گسل F_7

گسل F7 به طول حدود ۲۰۰ متر یکی دیگر از گسل های منطقه است بهترین رخنمون این گسل در آهک های سازند دلیچای در موقعیت " ۵۷ ' ۵۹ ° ۵۴ خاوری و " ۲ ' ۲۷ ° ۳۶ شمالی قابل مشاهده است. اثر این گسل در تصاویر ماهواره ای بر گرفته از Google earth(2019) (شکل ۳-۱۵) و مشاهدات صحرائی قابل مشاهده است در بررسی روی زمین مشاهده شد که گسل F7 گسل F6 را که در بازه قدیمی تری قرار دارد را قطع نموده است (شکل ۳-۴۳).



شکل ۳-۴۳- تصاویر روی زمین از موقعیت گسل F6, F7 در سازند دلیچای (نگاه به سمت خاور)

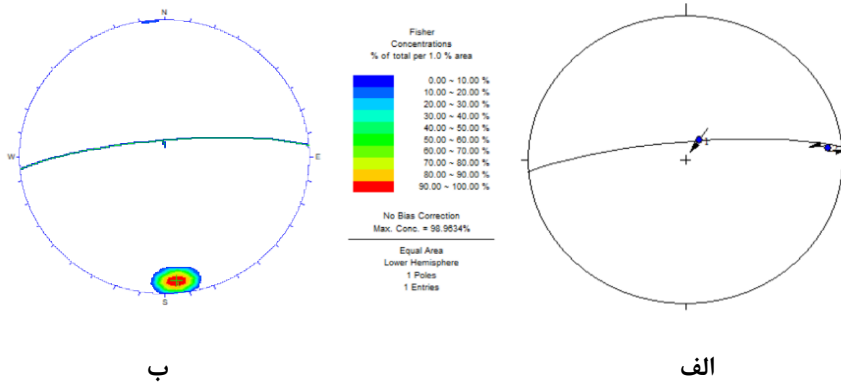
سازوکار گسل F7

مشاهدات صحرائی و اندازه گیری های ساختاری بر روی این گسل در جدول ۳-۱۳ نشان داده شده است. استریوگرام های مربوط به این برداشت ها، شامل تصاویر سیکلو گرافیک داده های صفحه ای همراه با موقعیت خراش های گسلی و نمودار هم تراز قطب آنها برای گسل F7 در شکل ۳-۴۴ نشان داده شده است .

جدول ۳-۱۳- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F7

* جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
355	80	358	77	1
355	80	084	10	4

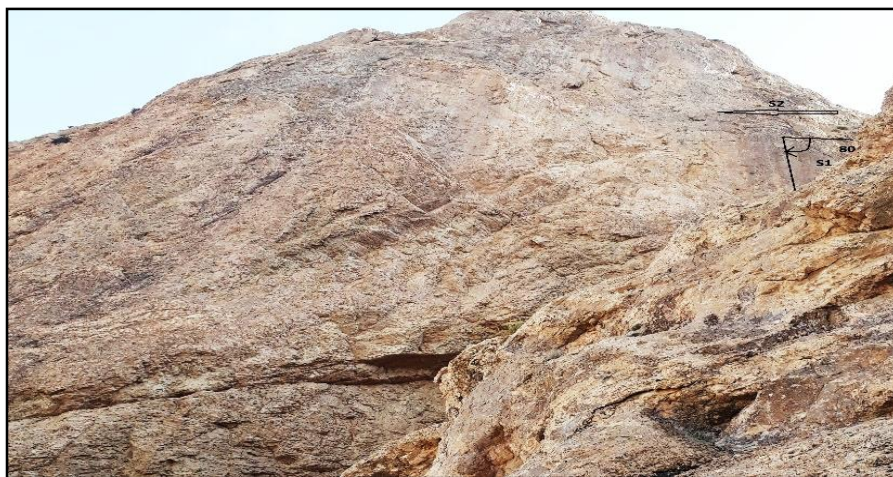


شکل ۳-۴۴- الف: استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل F7 ، ب: کنتور داگرام قطب صفحات گسلی

در نتیجه رسم نمودار همتراز برای قطب صفحات اندازه گیری شده در طول گسل F7 مشخص شد که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت N85E/ 80NW می باشد.

در برداشت های روی زمین دو دسته خش لغز را بر روی سطح گسل F7 به اثبات رسانیده است. خراش های مورب لغز با ریک ۷۰ تا ۸۰ درجه پات ساعت گرد و خش لغزهای با ریک حدود صفر درجه، جدیدترین فاز حرکت روی این گسل را نشان می دهد. این خراش های گسلی در شکل ۳-۴۵ قابل مشاهده است. در مشاهدات صحرائی همچنین مشاهده شد که گسل F7 گسل F6 را قطع نموده است و باعث جابه جایی گسل F6 به صورت چپ بر شده است .

بنابراین با تلفیق شواهد فوق می توان بیان نمود که گسل F7 در جدیدترین فاز حرکت به صورت چپ بر عمل نموده است.



شکل ۳-۴۵- نمایش دو دسته خراش گسلی برداشت شده از سطح گسل F₇ در سازند لار (نگاه به سمت شمال

خاور)

۸-۳-۳- گسل F₈

خطواره گسله F₈ با درازای حدود ۳ کیلومتر با روند خاوری- باختری در مرز بین کوه و دشت در تصویر ماهواره ای شکل ۳-۱۵ قابل ردیابی است. به گونه ای که مرز بین آهک های دلیچای و لار در شمال و نهشته های کوهپایه ای کواترنری را در جنوب می سازد. مشاهدات روی زمین نشان می دهد شیب گسله به سوی شمال و فرا دیواره و فرو دیواره شامل سنگ آهک های سازند لار می باشند. اندازه گیری های هندسه سطح گسله و خش لغزهای روی آن در دو نقطه انجام گرفته است. (شکل ۳-۴۶)



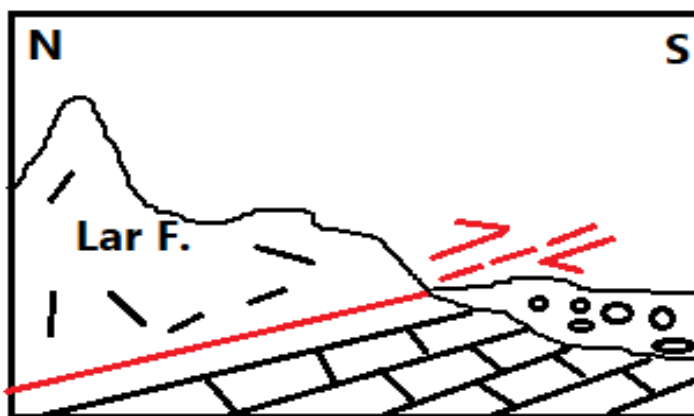
ب

الف

شکل ۳-۴۶- شامل دو عکس روی زمین : الف- تصویر صحرایی از سطح گسل F₈ و خراش های روی آن
ب: تصویر دیگری از خط گسله F₈ در سنگ آهک های لار

سازوکار گسل F8

برای تشخیص سازوکار گسل از چینه نگاری نمی توان بهره گرفت زیرا در هر دو نقطه فرا دیواره و فرو دیواره آن یک سازند (سازند لار) مستقر می باشد. از این رو از سایر روش ها مانند ریخت شناسی حریم گسل (Fault Zone) و نیز شواهد حرکتی سطح گسل استفاده شده است. در شکل ۳-۴۷ مقطع نمادین از ریخت شناسی و زمین شناسی حریم گسل رسم شده است. ارتفاع زیاد فرادیواره نسبت به فرو دیواره که هر دو از یک جنس و سن بوده و مقاومت یکسان در برابر فرسایش دارند دلالت از حرکت لایه بالای قطعه فرا دیواره دارد. که بازایه ریک نزدیک به ۹۰ درجه خش لغزهای سطح گسل هماهنگی دارد. این شواهد در کنار شیب حدود ۲۰ درجه سطح گسله نشانه سازوکار گسلش معکوس (راندگی) است.



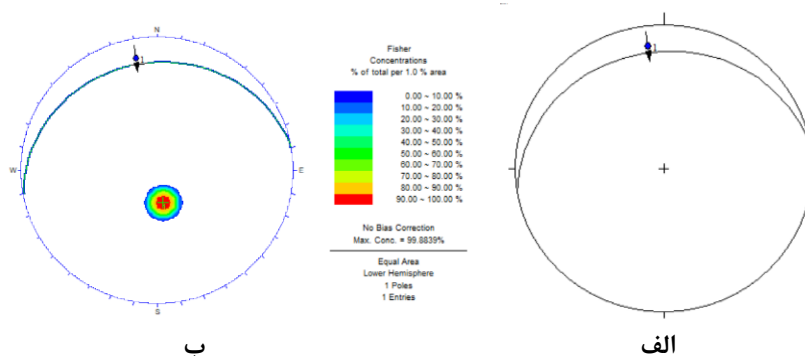
شکل ۳-۴۷- مقطع نمادین از ریخت شناسی حریم گسل F8 در سازند لار

استریوگرام داده های سطح گسل F8 در شکل ۳-۴۸ شامل هندسه گسله و موقعیت خش لغزهای روی آن نشان داده شده است و یافته های آن در جدول شماره ۳-۱۴ درج گردیده است. داده های هندسی روی زمین موقعیت چیره N80E / 20 NW همراه با خش لغزهایی با موقعیت ۱۶ / ۳۵۳ برای گسله بیان می کند. همچنین زاویه ریک نزدیک به ۹۰ درجه خش لغزها از گسلش شیب لغز حکایت می کند.

جدول ۳-۱۴- میانگین داده های برداشت شده از سطح گسل F8

جهت حرکت فرا دیواره : ۱ : روبه بالا(معکوس) ۲ : روبه پایین (نرمال) ۳ : راست بر ۴ : چپ بر

Fault plane		Slicken- Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plunge	sense
350	20	353	16	1



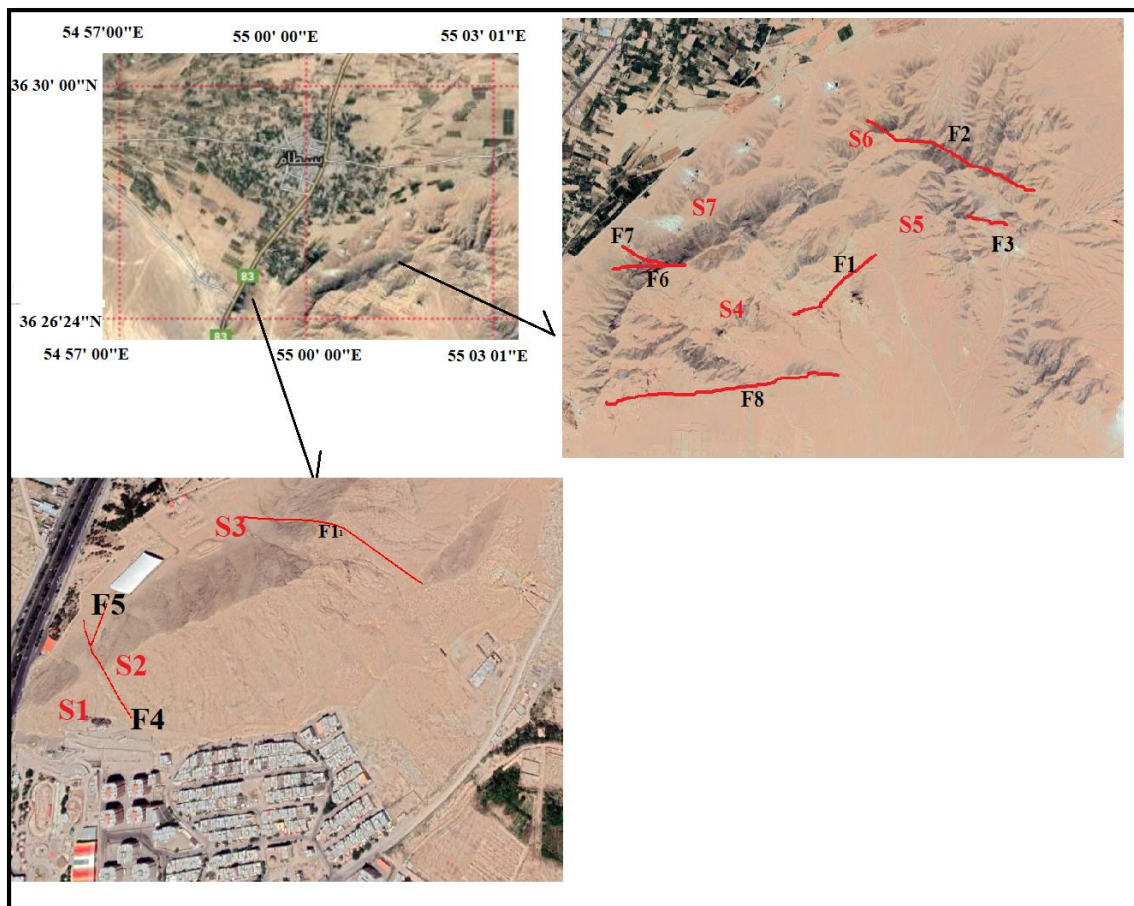
شکل ۳-۴۸- الف: استریوگرام ترسیم شده از میانگین صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت

شده از سطح گسل F8 ، ب: نمودار هم تراز قطب صفحات گسلی و به دست آوردن موقعیت غالب

N80E, 20 NW برای گسل F8

۴-۳- بررسی شکستگی ها (درزه ها) در منطقه

به منظور بررسی درزه ها در سنگهای آهکی سازندهای دلیچای و لار در منطقه، از منظر چگونگی توزیع در مکان های مختلف، فراوانی و آرایش هندسی آنها، همچنین ارتباط زایشی آنها با سایر ساختارهای منطقه مانند چین خوردگی و گسلش، درزه های منطقه در ۷ ایستگاه برداشت شد. محل ایستگاه های برداشت در تصویر ماهواره ای برگرفته از Google earth (2019) در شکل ۳-۴۹ به ترتیب S₁ تا S₇ نامگذاری شده است.



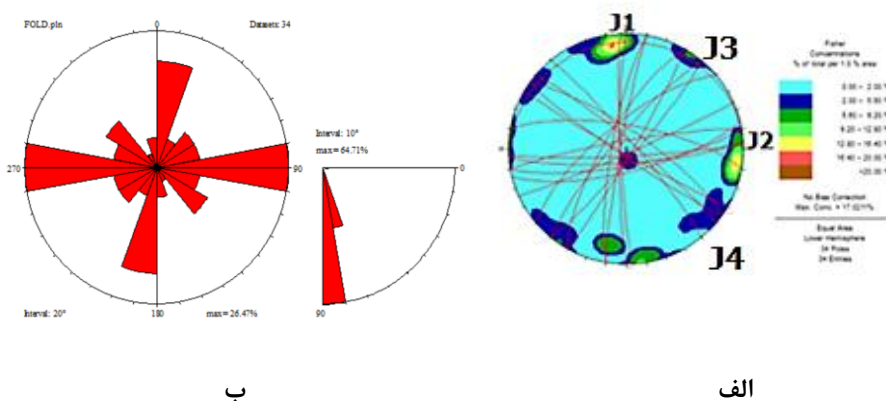
شکل ۳-۴۹- تصویر ماهواره ای برگرفته از Google earth از منطقه مطالعاتی و نمایش موقعیت ایستگاه های برداشت شکستگی بر روی آن که گسل های مهم منطقه با رنگ قرمز در تصویر نشان داده شده است.

ایستگاه ۱

این ایستگاه در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 26' 76''$ شمالی و $54^{\circ} 58' 66''$ خاوری در تصویر ماهواره ای (برگرفته از Google earth 2019) در شکل ۳-۴۹ با عنوان S1 تعیین مکان شده است. در این ایستگاه چین خوردگی به صورت یک تاقدیس و ناودیس در مجاورت هم (شکل ۱-۳) در سنگ آهکهای سازند دلیچای قابل مشاهده است. آثار شکستگی ها در چین خوردگی سازند دلیچای قابل برداشت و بررسی ساختاری می باشد. شکستگی های برداشت شده در این ایستگاه در پیوست ۲ درج شده است. نمودار گل سرخی و هم مساحت این شکستگی ها در شکل ۳-۵۱ قابل مشاهده می باشد.



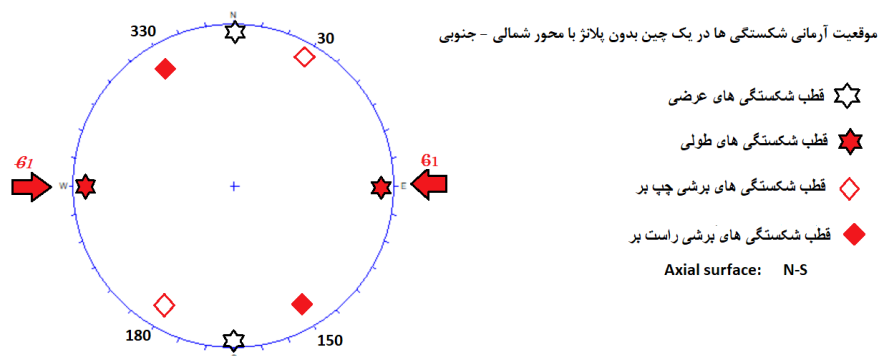
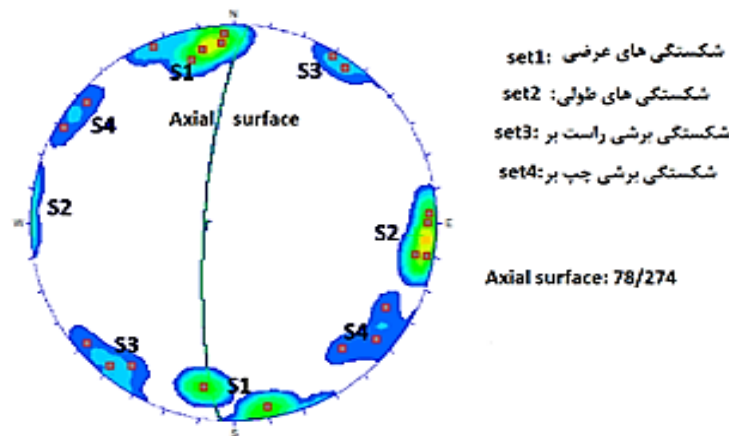
شکل ۳-۵۰- تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۱ بر روی چین خوردگی سازند دلیچای



شکل ۳-۵۱- الف: تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار همتر از قطب درزه ها در ایستگاه ۱ که روند چیره شکستگی ها را

نشان می دهد. ب: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی در ایستگاه ۱

باترسیم رزیدیاگرام داده های بدست آمده از ایستگاه ۱ و بررسی آنها مشخص شد که چهار دسته شکستگی با سه روند متفاوت قابل بررسی است. این چهار دسته شکستگی با نام J_1, J_2, J_3, J_4 در نمودار کنتموری نامگذاری شده اند. به منظور بررسی این چهار دسته شکستگی و ارتباط آنها با محور چین خوردگی ایجاد شده در سازند دلیچای مدل آرمانی شکستگی ها در یک چین بدون پلانژ با محور شمالی- جنوبی (شکل ۳-۵۲ الف) و سطح محوری چین به همراه پل صفحات شکستگی های برداشت شده در ایستگاه ۱ (شکل ۳-۵۲ ب) ترسیم شد.



شکل ۳-۵۲- الف: مدل آرمانی شکستگی ها در یک چین بدون پلانژ با محور شمالی- جنوبی ب: سطح محوری چین به همراه قطب صفحات شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۱

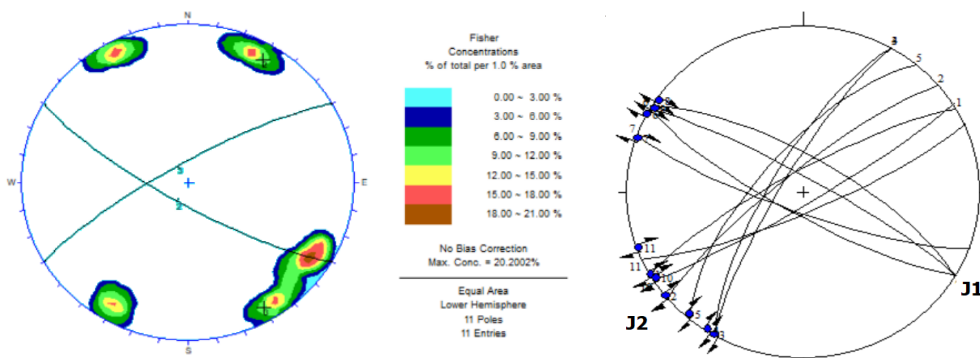
بامقایسه مدل آرمانی شکستگی ها (شکل ۳-۵۲) با شکستگی های برداشت شده مشاهده می شود که قطب شکستگی های دسته ۱ (S_1) نشان دهنده موقعیت خط لولای چین می باشد پس می توان گفت که شکستگی های این دسته جزء شکستگی های عرضی برای این چین هستند و پل شکستگی های دسته ۲ (S_2) بر روی قطب سطح محوری چین منطبق هستند یعنی قطب این دسته از شکستگی ها حول قطب سطح محوری چین تجمع می یابند. بنابراین این دسته از شکستگی ها را می توان به عنوان شکستگی های طولی برای چین در نظر گرفت. قطب شکستگی های دسته ۳ (S_3) برشی های راست بر و دسته ۴ (S_4) قطب برشی های چپ بر هستند که به صورت اریب با زاویه حدود ۶۰ درجه نسبت به خط لولا چین قرار گرفته اند.

با استناد بر موارد و شواهد فوق می توان به این نتیجه رسید که شکستگی های دسته ۱ شکستگی های عرضی، شکستگی های دسته ۲ شکستگی های طولی، دسته ۳ شکستگی برشی راست بر و دسته

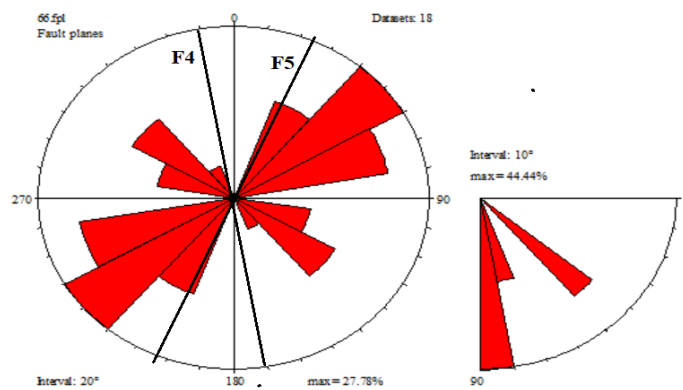
۴ شکستگی برشی چپ برهستند و می توان آنها را مرتبط با چین خوردگی دانست و در رده شکستگی های مرتبط با چین رده بندی نمود.

ایستگاه ۲

این ایستگاه نیز در موقعیت " ۴۶' ۲۶° ۳۶ شمالی و " ۴۲' ۵۸' ۵۴° خاوری در تصویر ماهواره ای شکل ۳-۴۹ با عنوان S2 نامگذاری و تعیین مکان شده است. شکل ۳-۵۳ تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده در این ایستگاه را نمایش می دهد. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۳ درج شده است. نمودار گل سرخی و استریوگرام های این شکستگی ها در شکل ۳-۵۳ قابل مشاهده می باشد. با توجه به خش لغزهای مشاهده شده بر روی این شکستگی ها که زاویه ریک نزدیک به صفر درجه دارند، می توان گفت درزه های برداشت شده در این ایستگاه همگی از نوع برشی هستند و در دو دسته ۱ و ۲ طبقه بندی می شوند. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای شکستگی ها در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب آنها مشخص شد که، شکستگی های دسته اول (J1) با موقعیت میانگین NW / SE حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از شکستگی ها در این ایستگاه را به خود اختصاص می دهند. این دسته از شکستگی ها با گسل F5 زاویه ای حدود ۷۸ درجه می سازند و جابه جایی راست بر از خود نشان می دهند. (شکل ۳-۵۴) بنابراین می توان این دسته از شکستگی ها را برشی های ریدل R' نسبت داد که حرکتی ناهمسو نسبت به گسل F5 از خود شان می دهند. دسته دوم شکستگی ها (J2) با موقعیت NE/ NW نیز نیمی دیگر از شکستگی های برداشت شده از این ایستگاه را به خود اختصاص می دهند. این دسته از شکستگی ها نیز با سطح گسل F4 زاویه ای حدود ۷۶ تا ۷۸ درجه می سازند و جابه جایی راست بری دارند. بنابراین می توان دسته دوم شکستگی ها را برشی های نوع R' برای گسل F4 در نظر گرفت. شکل گیری حرکت راست بر این دو دسته از شکستگی ها و زاویه ای که با سطح گسل F4, F5 می سازند نشان می دهد که این شکستگی ها در نتیجه گسلش ایجاد شده اند. تصاویر ۳-۵۵ تصویر صحرایی از برشی های R' بر روی سطح گسل F4, F5 را نشان می دهد.

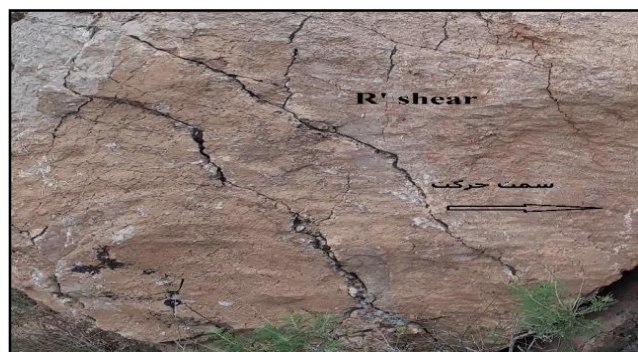


الف: تصاویر سیکلو گرافیک درزه های برشی همراه با سازوکار حرکتی ب: نمودار هم تراز قطب درزه ها

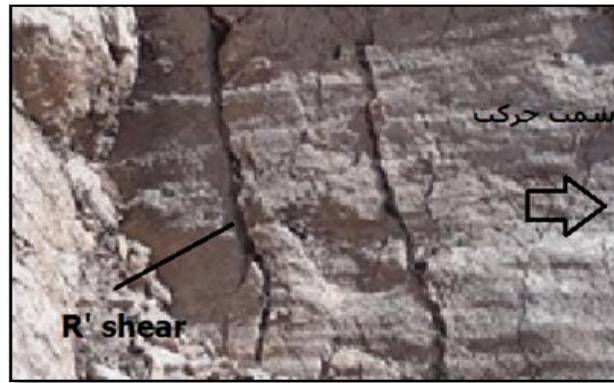


ج- نمودار گل سرخی شییبی و امتدادی درزه ها

شکل ۳-۵۳- استریوگرام ها و نمودار گل سرخی شییبی و امتدادی درزه های برداشت شده از ایستگاه ۲



الف- اثر شکستگی های برشی R' بر روی سطح گسل F5



ب- حضور شکستگی های برشی R' بر روی سطح گسل F₄

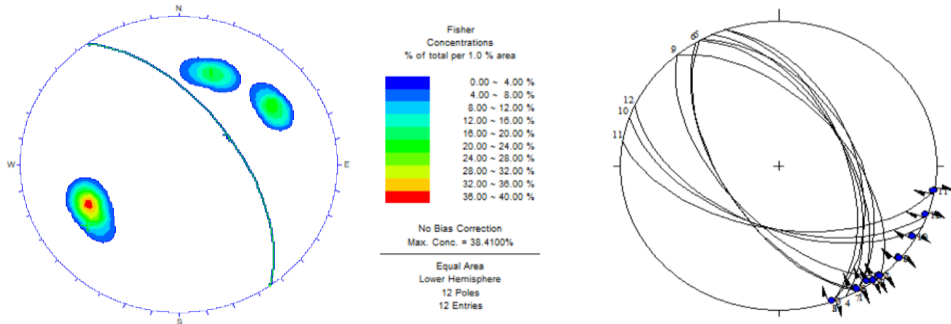
شکل ۳-۵۴- تصاویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۲

ایستگاه ۳

این ایستگاه در موقعیت " ۲۷' ۰۷" شمالی و " ۵۴° ۰۱' ۰۵" خاوری در تصویر ماهواره ای شکل ۳-۳-۴۹ با عنوان S₃ تعیین مکان شده است. منطقه مطالعاتی قرار گرفته است. شکل ۳-۵۵ تصویر صحرایی از شکستگی های این ایستگاه را نمایش می دهد. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۴ درج شده است. نمودار گل سرخی و استریوگرام های آنها در شکل ۳-۵۵ رسم شده است. با توجه به خش لغزهای شکستگی های برداشت شده می توان نتیجه گرفت که بسیاری از درزه های این ایستگاه نوع برشی هستند. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای شکستگی ها در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب شکستگی ها مشخص شد که حدود ۶۰ درصد داده ها در بازه امتدادی شمال باختری- جنوب خاوری قرار گرفته اند این شکستگی ها با موقعیت میانگین N30W/45SW زاویه ای حدود ۷۸ درجه با گسل F₁ که در این ایستگاه قرار دارد می سازند بنابراین می توان این دسته از شکستگی ها را به عنوان نوع R' برای گسل F₁ در نظر گرفت. با توجه به نزدیکی این ایستگاه به گسل F₁ می توان به این نتیجه رسید که این دسته از برشی ها مرتبط با گسل F₁ هستند و می توان آنها را در رده شکستگی های مرتبط با گسلش رده بندی نمود.

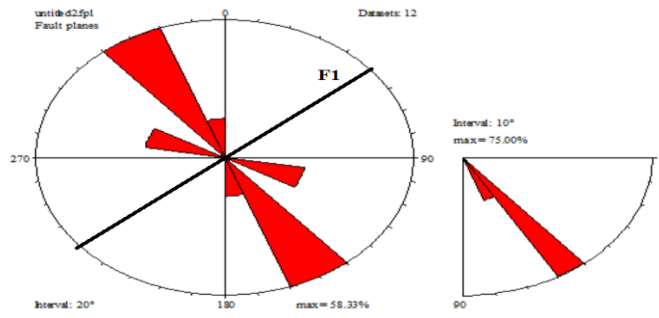


شکل ۳-۵۵- اثر شکستگی های برشی R' بر روی سطح گسل F₁ (نگاه به سمت جنوب)



ب- نمودار هم تراز قطب شکستگی ها

الف- استریوگرام های داده های برداشت شده



ج- نمودار گل سرخی درزه ها

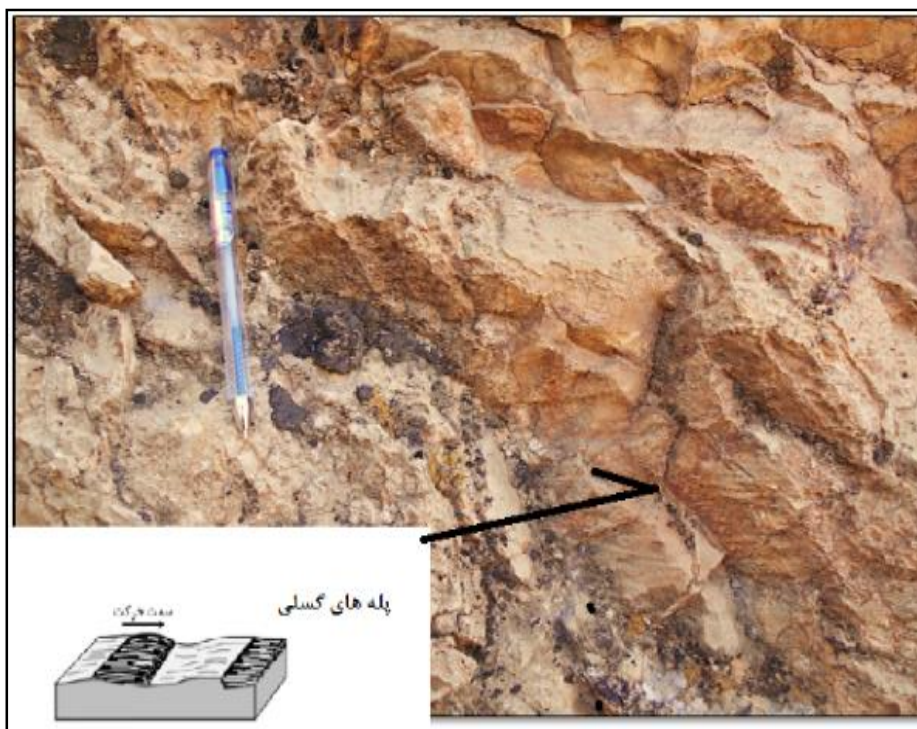
شکل ۳-۵۶- استریوگرام ها و نمودار گل سرخی و امتدادی داده های برداشت شده از ایستگاه ۳

ایستگاه ۴

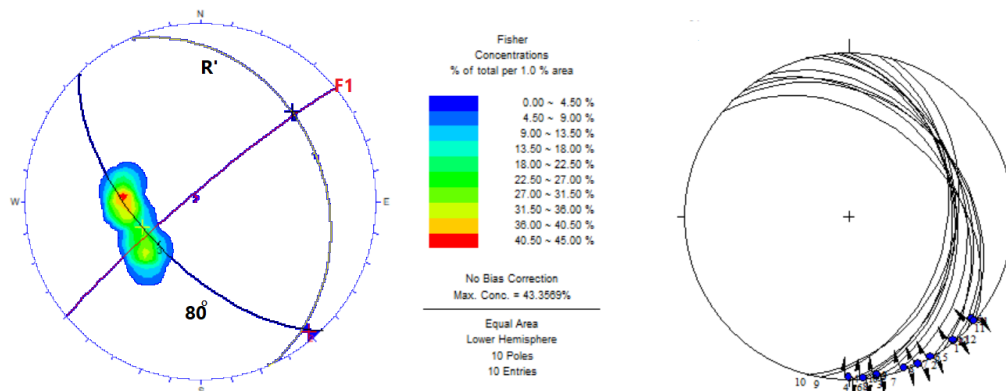
این ایستگاه در موقعیت " ۳۶° ۲۷' ۷۹" شمالی و " ۵۵° ۰۱' ۰۲" خاوری در تصویر ماهواره ای

شکل ۳-۴۹ با عنوان S₄ تعیین مکان شده است. شکل ۳-۵۷ تصویر صحرایی این شکستگی ها را

نمایش می دهد. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۵ درج شده است و نمودار گل سرخی و استریوگرام این شکستگی ها در شکل ۳-۵۸ رسم شده است. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای شکستگی ها در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب شکستگی ها مشخص شد که قسمت عمده شکستگی ها در راستای شمال باختری- جنوب خاوری قرار گرفته اند و زاویه ای حدود ۸۰ درجه با گسل F_1 که در این ایستگاه قرار دارد می سازند بنابراین می توان این دسته از شکستگی ها را به عنوان نوع R' برای گسل در نظر گرفت و تشکیل آنها را به فعالیت گسله F_1 نسبت داد. لازم به یاد آوری است که گسله F_1 در جنبش نو زمین ساختی-کواترنری سازوکار امتداد لغز چپ بر داشته و شکستگی هایی که برشی های نوع R' در حریم گسله شناسایی شده اند و جابه جایی اندک راست بر نشان داده اند.

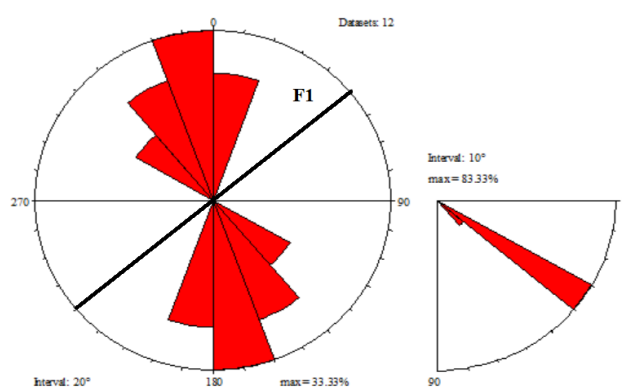


شکل ۳-۵۷- تصویر صحرایی از پله های گسلی از شکستگی های ایستگاه ۴ (نگاه به سمت خاور)



ب- نمودار هم تراز قطب شکستگی ها

الف- استریوگرام های شکستگیهای برداشت شده

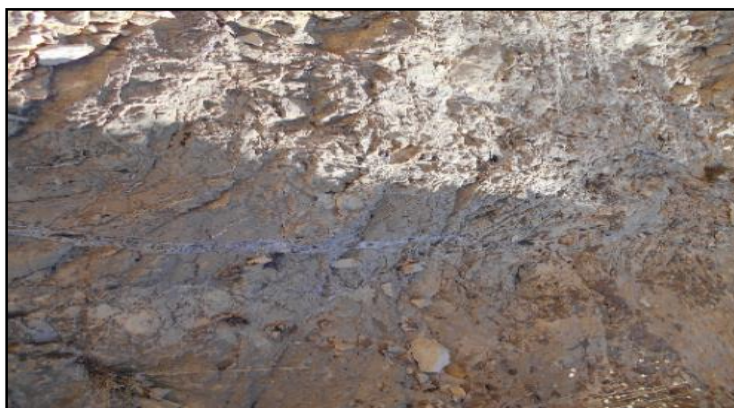


ج- نمودار گل سرخی شکستگی ها

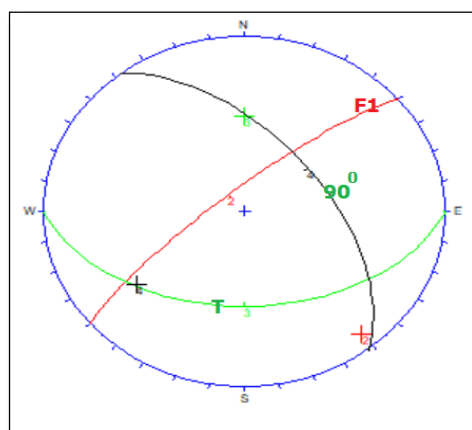
شکل ۳-۵۸- استریوگرام ها و نمودار کنتوری و نمودارهای گل سرخی شیبی و امتدادی داده های ایستگاه ۴

در تصاویر صحرایی و بررسی آثار مرفولوژیک حضور پله های گسلی که حرکت راست بری از خود نشان می دهند، نمایانگر حرکت چپ بر گسل F_1 هستند و با بررسی داده های بدست آمده از شکستگی ها و خوش لغزهای برداشت شده نیز می توان حرکت راست بر شکستگی های این ایستگاه را تایید نمود. در این ایستگاه علاوه بر شکستگی های برشی رگه های متعددی با پرشدگی کلسیت با روند تقریباً خاوری-باختری دیده می شود. شکل ۳-۵۹ رگه های پرشده با کلسیت در این ایستگاه را نشان می دهد. به منظور مشخص کردن ارتباط این شکستگی ها با گسل F_1 زاویه بین میانگین این شکستگی ها با گسل F_1 سنجیده شد. همانطور که در شکل ۳-۶۰ دیده می شود این شکستگی ها با زاویه حدود ۹۰ درجه نسبت به گسل F_1 قرار گرفته اند. کششی هایی با این موقعیت همبستگی با فاز امتداد لغز F_1 نشان نمی

دهند زیرا اثر آنها در سطح گسله بر خش لغزهای امتداد لغز عمود نیست و زاویه آنها با سطح گسله از ۴۵ درجه بسیار بیشتر است. بنابراین این شکستگی های کششی مربوط به مراحل دگربرختی قبل از فاز امتداد لغز می باشد.



شکل ۳-۵۹-رگه های پر شده از کلسیت در ایستگاه ۴ در سازند لار (نگاه به سمت خاور)



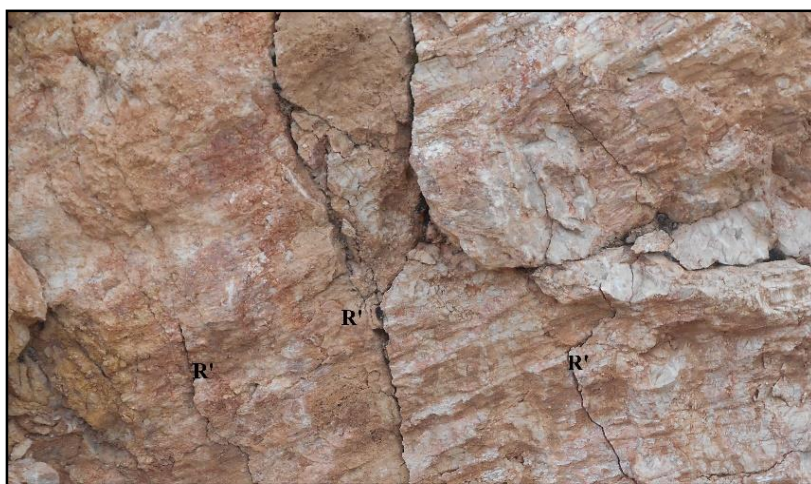
شکل ۳-۶۰- تصویر سیکلو گرافیک میانگین شکستگی T و گسل F₁ به منظور نمایش زاویه بین آنها

ایستگاه ۵

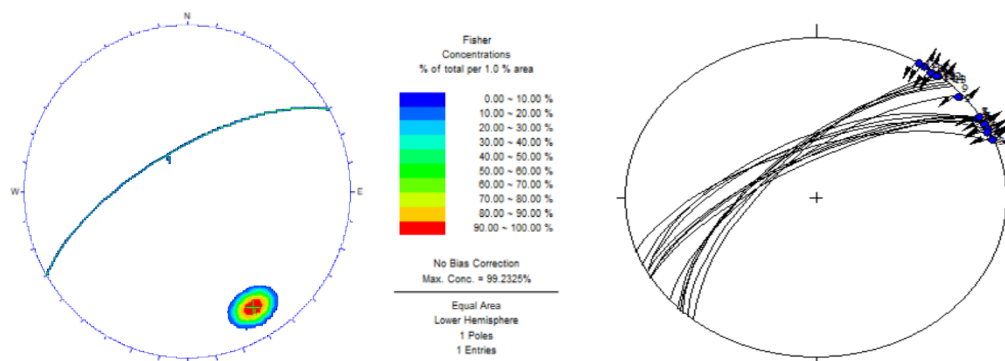
این ایستگاه در موقعیت " ۳۶° ۲۷' ۴۰ شمالی و " ۵۵° ۰۲' ۰۷ در تصویر ماهواره ای ۳-۴۹ با عنوان S5 نامگذاری و تعیین مکان شده است. تصویر صحرایی این شکستگی ها در شکل ۳-۶۱ نمایش داده شده است. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۶ درج شده است و نمودار گل سرخی و استریوگرام های این شکستگی ها در شکل ۳-۶۲ ترسیم شده است. رزدیگرام ها نشان می دهد که حدود ۱۰۰ درصد داده ها در بازه NE /SW هستند و میانگین آنها روند چیره غالب N60E/69 SE

است. این دسته از شکستگی ها را می توان به عنوان نوع برشی های نوع R' برای این گسل در نظر گرفت و به این نتیجه رسید که این شکستگیها مرتبط با F3 هستند.

نمایی نزدیک از این شکستگی ها را می توان در شکل ۳-۶۱ مشاهده نمود. حرکت راست بر این شکستگی جهت حرکت شکستگی را تعیین می کند.

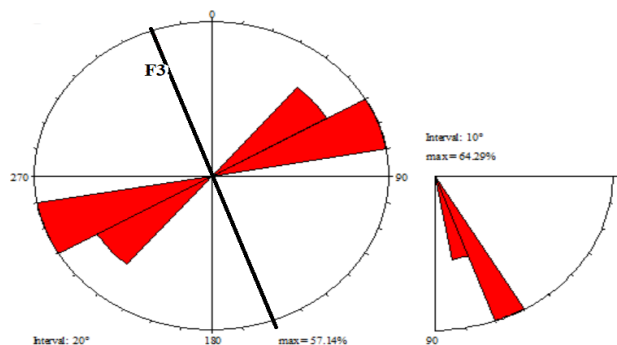


شکل ۳-۶۱ - نمایی نزدیک از شکستگی برداشت شده در ایستگاه ۵



ب- نمودار هم تراز قطب شکستگی ها

الف- استریوگرام های داده های برداشت شده

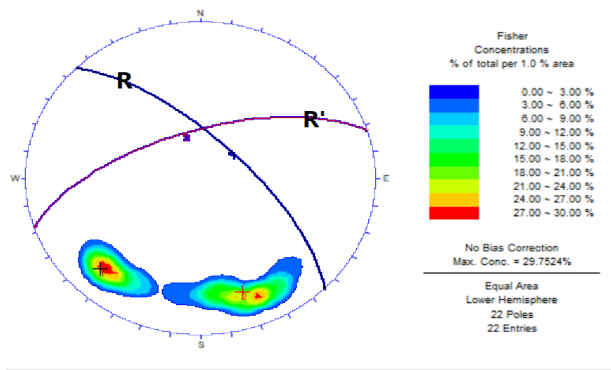


ج- نمودار گل سرخی شکستگی ها در ایستگاه ۵

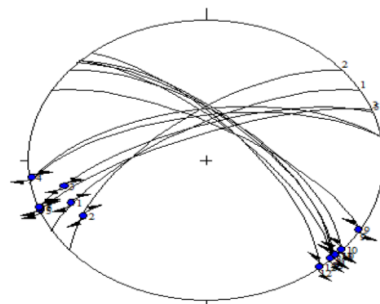
شکل ۳-۶۲- استریوگرام ها و نمودار کنتوری و نمودارهای گل سرخی شیبی و امتدادی داده های ایستگاه ۵

ایستگاه ۶

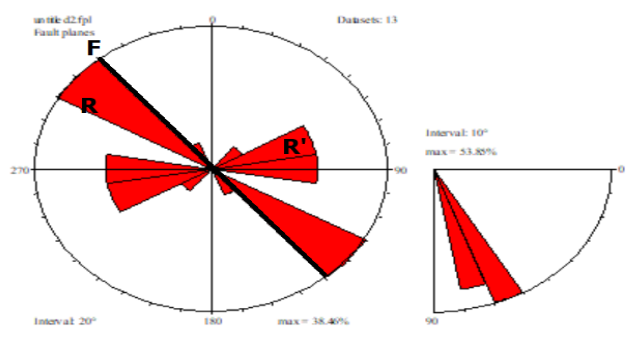
این ایستگاه در موقعیت " ۰۶' ۲۸" ۳۶° شمالی و " ۰۱' ۶۰" ۵۴° در تصویر ماهواره ای ۳-۴۹ با عنوان S6 نامگذاری و تعیین مکان شده است. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۷ درج شده است و نمودار گل سرخی و استریوگرام های این شکستگی ها در شکل ۳-۶۳ ترسیم شده است. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای شکستگی های برداشت شده در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب شکستگی ها مشخص شد که دودسته شکستگی بادو روند متفاوت وجود دارد. شکستگی های دسته اول با موقعیت غالب N75E/65NW قرار داشته و زاویه ای حدود ۸۲ درجه با گسل F2 که در محدوده این ایستگاه قرار دارد می سازند بنابراین می توان این دسته از شکستگی ها را به عنوان نوع برشی های نوع R' برای این گسل در نظر گرفت. دسته دوم دارای روند غالب N45W/70NE هستند و زاویه ای حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه با سطح گسل F2 می سازند و می توان این دسته از شکستگی ها را به عنوان برشی های نوع R در نظر گرفت. تصویر صحرایی از این شکستگی ها را می توان در شکل ۳-۶۴ مشاهده نمود.



ب- نمودار هم تراز قطب شکستگی ها

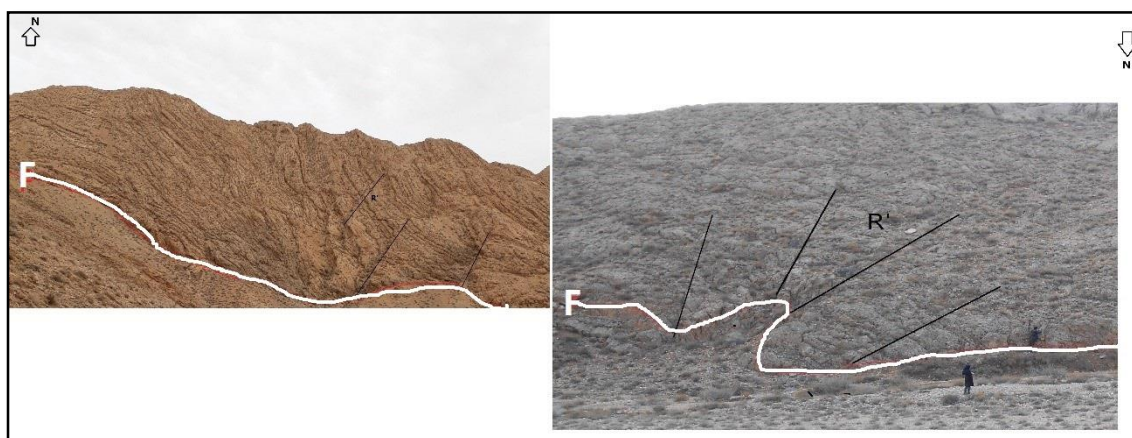


الف- استریوگرام های داده های برداشت شده



ج- نمودار گل سرخی شکستگی ها و موقعیت آنها نسبت به سطح گسل F_2

شکل ۳-۶۳- استریوگرام ها و نمودار کنتوری و نمودارهای گل سرخی شیبی و امتدادی داده های ایستگاه ۶



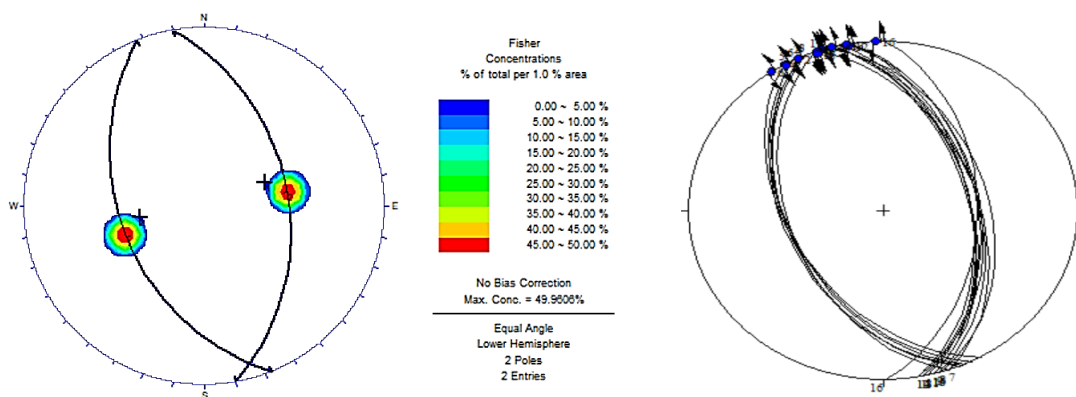
شکل ۳-۶۴- تصویر روی زمین از موقعیت گسل F_2 و شکستگی های برداشت شده در ایستگاه ۶ در سازند دلیچای (نگاه به سمت شمال خاور)

ایستگاه ۷

این ایستگاه در موقعیت " ۳۴' ۲۷" ۳۶° شمالی و " ۴۶' ۰۰" ۵۵° در تصویر ماهواره ای ۳-۴۹ با عنوان S7 نامگذاری و تعیین مکان شده است. تصویر صحرایی این شکستگی ها در شکل ۳-۶۵ نمایش داده شده است. داده های برداشت شده از این ایستگاه در پیوست ۸ درج شده است. نمودار گل سرخی و استریوگرام های این شکستگی ها در شکل ۳-۶۶ ترسیم شده است. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای شکستگی ها در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب شکستگی ها مشخص شد که دودسته شکستگی بادو روند متفاوت متفاوت وجود دارد. شکستگی های دسته اول دارای موقعیت غالب N20W/50SW قرار دارند. در طی زاویه سنجی این دسته از شکستگی ها با سطح گسل های موجود در این ایستگاه مشخص شد که این شکستگی ها زاویه ای حدود ۷۸ درجه با گسل F₆ می سازند بنابراین می توان این شکستگی ها را به عنوان برشی های ناهم سو با گسل F₆ در نظر گرفت. دسته دوم شکستگی ها در موقعیت غالب N10W/50NE قرار دارند. این دسته از شکستگی ها با سطح گسل F₇ زاویه ای حدود ۸۰ درجه می سازند که می توان آنها را نیز به عنوان برش های نوع R' برای گسل F₇ که در این ایستگاه رخنمون دارد در نظر گرفت.

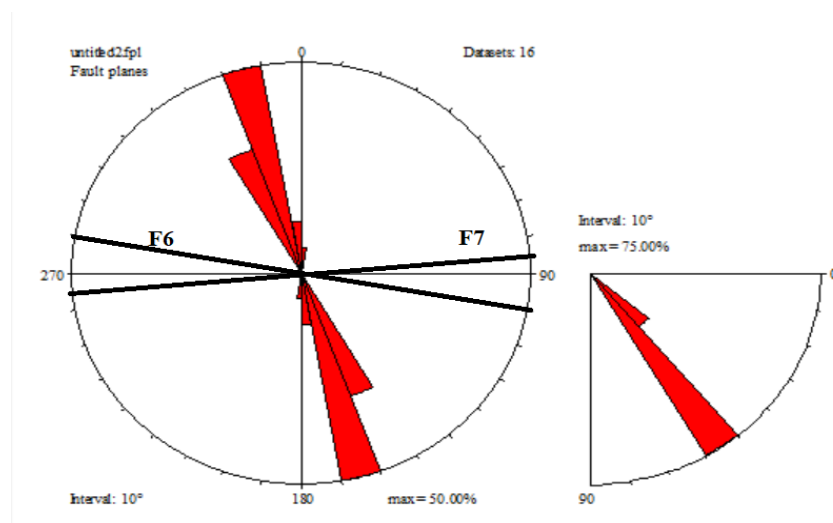


شکل ۳-۶۵- تصویر صحرایی از شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۷ (نگاه به سمت خاور)



ب- نمودار همتراز قطب شکستگی ها

الف- استریوگرام داده های برداشت شده



ج- نمودار گل سرخی شکستگی ها و موقعیت آنها نسبت به گسل F_6 , F_7

شکل ۳-۶۶- استریوگرام ها و نمودارهای گل سرخی شیئی و امتدادی داده های برداشت شده در ایستگاه ۷

فصل ۲۰

بحث و نتیجه گیری

چین خوردگی و گسستگی واحدهای سنگی مزوزوئیک (سازندهای دلیچای و لار) در منطقه و طرح فیزیوگرافیک ناشی از آن، پیامد چندین مرحله دگرریختی است. وجود چین ها با روندهایی خارج از روند ساختاری البرز خاوری به علاوه درزه ها و گسله های با موقعیت هندسی متفاوت و جنبش هایی با سازوکار های متفاوت بر روی برخی از گسل ها، نشانه رویداد چند مرحله دگرریختی با الگوی تنش متفاوت است.

۱-۴- چین خوردگی

سنگ های آهکی منطقه شامل سازندهای دلیچای و لار می باشند. به دلیل وجود لایه بندی به نسبت نازک و منظم در سازند دلیچای اندازه گیری و برداشت چین در این سازند انجام گرفت. لازم به توضیح است که قطعه های بزرگ چین خورده مرزهای گسلی دارند. برداشت های ساختاری و تحلیل آنها به روش استریو گرافیک (شکل ۴-۱ الف) موقعیت محور و سطح محوری چین خوردگی به ترتیب ۱۰/۱۸۵ و ۷۸/۲۷۴ و زاویه بین یالی برابر ۹۵ درجه ارزیابی گردید. از این رو براساس رده بندی فلوتی (۱۹۶۴) تاقدیس و ناودیس ایجاد شده در سازند دلیچای در رده چین های ایستاده با سطح محوری کمی مایل (up right-gontypelongingle) و بر اساس زاویه بین یالی در رده چین های باز (open) قرار می گیرد. نکته قابل توجه این است که روند چین خوردگی در سازند دلیچای، شمالی- جنوبی است در حالی که انتظار می رود با پیروی از روند ساختاری چیره در البرز خاوری، روند چین خوردگی شمال خاوری- جنوب باختری یا خاوری- باختری باشد. همانگونه که واحدهای سنگی باختر شاهرود (مانند کوه های تپال) چین خوردگی در سازندهای مزوزوئیک همین روند را دارد. با توجه به اینکه کل توده آهک های مزوزوئیک (دلیچای و لار) در منطقه مورد مطالعه به صورت ایزوله و جدا شده از بخش باختر و شمال باختری شاهرود هستند و وجود چندین گسله در پیرامون آن، به نظر می رسد در فرایند دگر شکلی و جابه جایی حجم عظیم سنگها توسط گسله ها همراه با درجاتی از دوران پات ساعت گرد بوده اند. مسئله ای که می تواند موضوع پژوهشی با مقیاس بزرگتر در پهنه وسیعتر باشد.

۲-۴- شکستگیها

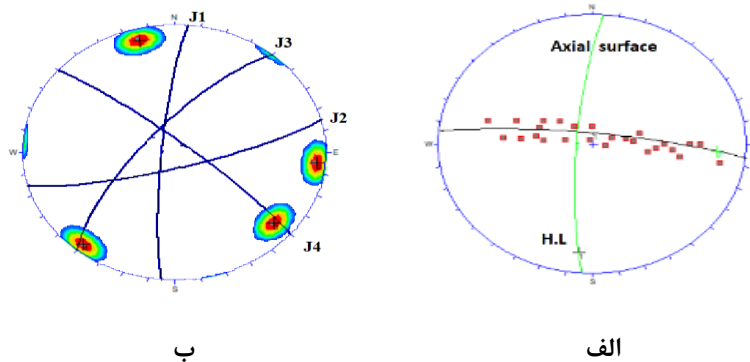
در بررسی های آماری شکستگیها از نمودارهای گل سرخی امتدادی (Strike Rose Diagram) و شیبی (Dip Rose Diagram) و همچنین استریوگرام های همتراز کنتوری (Contour-Diagram) استفاده شد. این بررسی ها نشان داد که توزیع شکستگیها در منطقه اعم از درزه ها و گسله ها دو روند چیره و اصلی شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری را نشان می دهد. اگر چه بررسی شکستگیها در پیرامون چین خوردگی برداشت شده در سازند دلیچای روندهای دیگری را نشان می دهد که بررسی ها نشان داد که آنها از نظر منشا در رده همراه با چین خوردگی قرار می گیرند.

۱-۲-۴- درزه های همزاد با چین خوردگی

شکستگی های اندازه گیری شده در لایه های چین خورده سازند دلیچای با دو عنصر مهم چین (خط لولا و سطح محوری) مقایسه گردید. در این مقایسه زاویه بین دسته های درزه با این عناصر با روش استریوگرافیک اندازه گیری و همچنین تا حد امکان سازوکار و نوع دسته درزه ها تعیین و در این مقایسه مورد توجه قرار گرفت. درزه های برداشت شده در محدوده چین در چهار دسته J_1 تا J_4 به ترتیب با موقعیت

$(j_4) N50^{\circ}W, 83^{\circ}SW$ و $(j_3) N40^{\circ} E, 74^{\circ}NW$ ، $(J_2) N75^{\circ}E, 80^{\circ}SE$ ، $(J_1) N5^{\circ}E, 83^{\circ} NW$

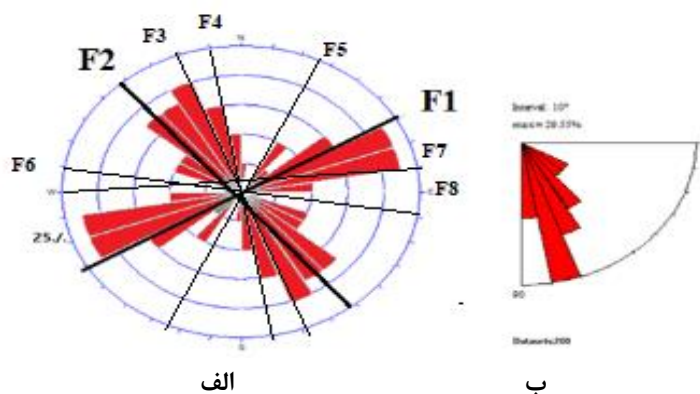
طبقه بندی شدند (شکل ۴-۱). دسته J_1 طولی، دسته J_2 عرضی، دسته های J_3 و J_4 شامل برشی های راست بر و چپ بر مرتبط با چین خوردگی قرار می گیرند.



شکل ۴-۱ - الف : نمودار π و تعیین موقعیت خط لولا، ب : استریوگرام میانگین چهار دسته شکستگی برداشت شده از چین خوردگی سازند دلیچای.

۲-۲-۴ - درزه های همزاد با گسلش

نمودار گل سرخی امتدادی رسم شده برای کل شکستگیها (شکل ۴-۲) نشان داد که تمامی شکستگی های برداشت شده در منطقه در دو روند شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری - جنوب خاوری قرار می گیرند که بخش اندکی از آنها همزاد با چین خوردگی است و درزه های همزاد با گسلش سهم بالایی دارند. نکته قابل توجه در خصوص درزه های مرتبط با گسلش این است که درزه های برشی سهم بیشتری از درزه های کششی دارند. به ویژه درزه های برشی که در حریم گسله ها برداشت شده اند، نشانه های بهتری از ارتباط زایشی با گسله ها دارند. گسله هایی که خود حاصل فازهای دگرریختی در زمان های مزوزوئیک بالایی و پس از آن هستند. درزه های برشی از دیدگاه سازوکار حرکتی مانند گسله هادر دو دسته چیره شیب لغز و امتداد لغز قابل تفکیک می باشند. درزه های برشی با سازوکار امتداد لغز در بازه نو زمین ساخت - کواترنری همزاد بوده اند و برخی از آنها در جایگاه برشی های ریدل و مرتبط با گسله های امتداد لغز قرار می گیرند.



شکل ۴-۲ - الف: نمودار گل سرخی امتدادی شکستگی ها در منطقه مطالعاتی، ب- نمودار گل سرخی زاویه شیب شکستگی ها.

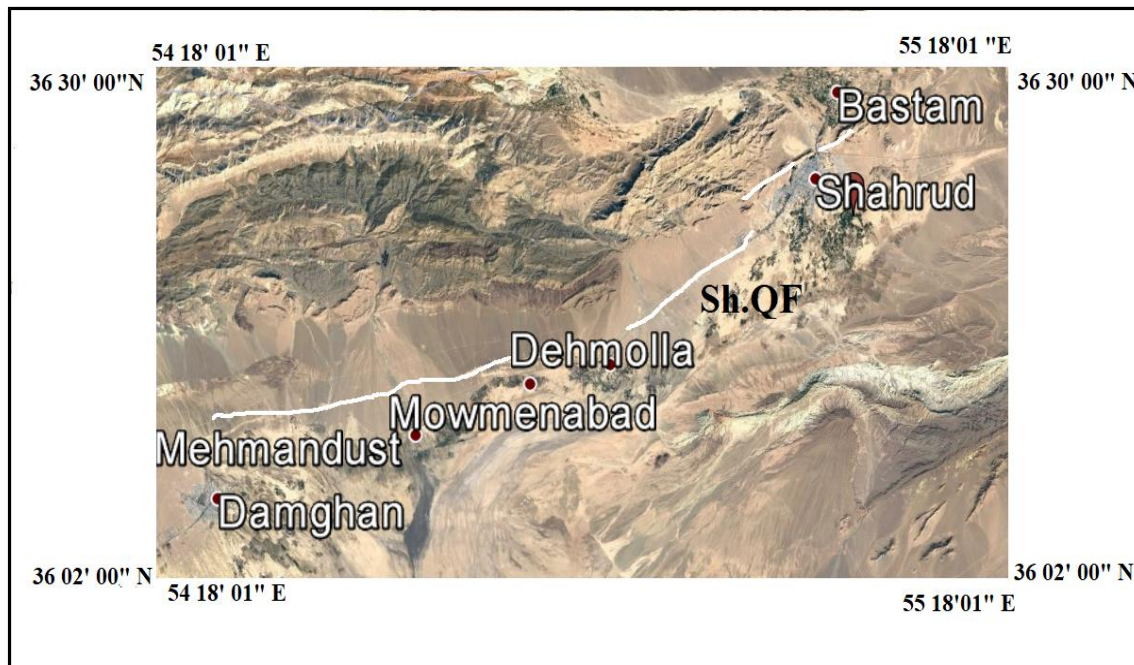
۳-۴- گسله ها

۸ گسله شناسایی شده در این پژوهش (F₁ تا F₈) درازای بین ۱۱۰ تا ۲۰۰۰ متر دارند و از نظرویزگی های هندسی در دو روند اساسی شمال خاوری- جنوب باختری (همروند با البرز خاوری) و شمال باختری و جنوب خاوری قرار می گیرند. گسله های F₁ و F₂ به عنوان نمونه هایی از گسل های مورد مطالعه از نظر درازا، دگرریختی سطحی، میزان جابه جایی و ایجاد زمین ریخت شاخص، از اهمیت ویژه برخوردار هستند. بر روی هر دو گسله آثار دو مرحله حرکت قدیمی (معکوس) و جدید (امتداد لغز) مشاهده شده است. معتبرترین نشانه های این دو حرکت، ریخت شناسی حریم گسله (Fault Zone) به صورت برخاستگی بلوک فرا دیواره در حرکت معکوس و آثار خش لغز های به نسبت افقی جوان و آشکار بر سطح گسله که خش لغز های با ریک نزدیک به ۹۰ درجه و فرسوده مربوط به فاز معکوس را قطع نموده اند. وجود آثار دگرریختی فشارشی بر روی هر دو گسله با هندسه متفاوت و تحمیل دگرریختی راستالغز جوان بر روی آنها نشان از جنبش راستالغز بر روی گسله های ایجاد شده در فاز های زمین ساختی قدیمی است که متناسب با وضعیت هندسی در مواجهه با میدان تنش در بازه نو زمین ساختی-کواترنری جنبش های امتداد لغز راست بر یا چپ بر بروز داده اند.

معیار شناسایی جنبش کواترنری بر روی آنها برگرفته از نشانه های آشکار جنبشی کواترنری در مناطق

مختلف ایران زمین از جمله البرزخاوری است که به عنوان نمونه برروی گسله های همروند با ساختار البرز خاوری مانند گسله کواترنری آستانه و گسله کواترنری شاهرود رخ داده است.

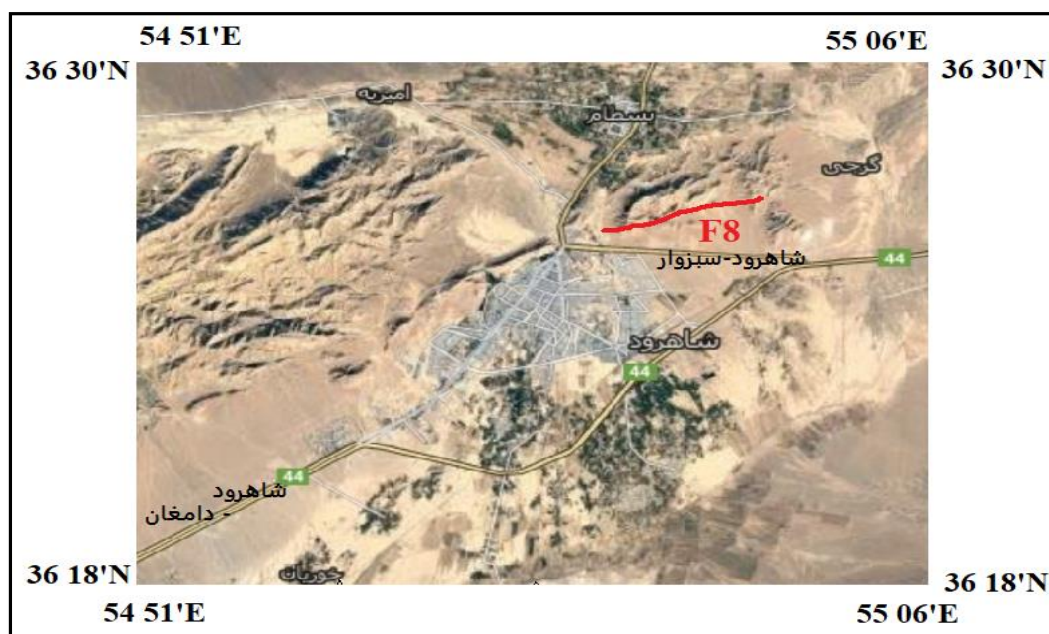
نکته قابل توجه چیرگی و بزرگی جنبش امتداد لغز برروی گسله F_1 نسبت به F_2 می باشد. دلیل این تفاوت را می توان در هماهنگی هندسه گسله F_1 با روند ساختاری البرز خاوری دانست. مقایسه گسله F_1 با گسله های پیرامون منطقه مورد مطالعه شباهت هندسی و ریخت شناسی حریم آن را با گسله کواترنری شاهرود (حسینی، ۱۳۹۳) آشکار می سازد. گسله ای که به صورت برش در نهشته های کواترنری از حاشیه باختری شاهرود (باختر دانشگاه آزاد شاهرود) تا نوار شمالی شهر دامغان به طول نزدیک به ۶۰ کیلومتر قابل ردیابی است. از این رو می توان گسله F_1 را قطعه ای از گسله کواترنری شاهرود دانست که از نوار شمالی دامغان تا شهر شاهرود و پس از آن در واحدهای کربناته سازند های دلیچای و لار در شمال باختر در محل آرامگاه شهدای گمنام و شمال خاوری شاهرود قابل ردیابی است (شکل ۳-۴)



شکل ۳-۴- موقعیت گسله F_1 و گسله کواترنری شاهرود (Shahrood Quaternary Fault) در تصویر ماهواره ای لندست (برگرفته 2019 Google earth)

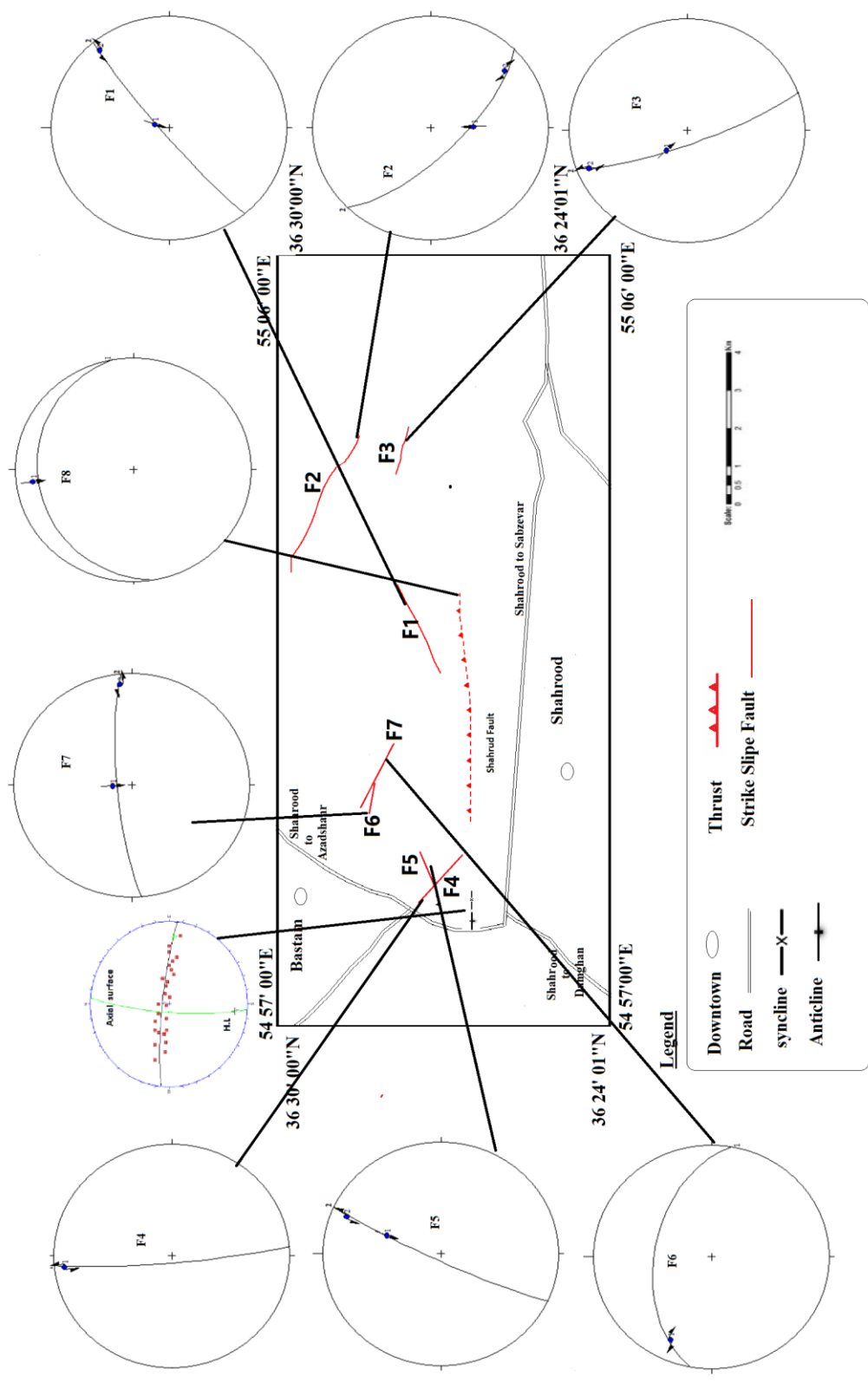
گسل F_8 از گسل های دیگر منطقه است. مشاهدات روی زمین نشان داد که شیب گسله به سوی شمال

و فرا دیواره و فرو دیواره شامل سنگ آهک های سازند لار است. برای تشخیص سازوکار گسل از چینه نگاری نمی توان بهره گرفت زیرا در هر دو نقطه برداشت فرا دیواره و فرو دیواره آن شامل یک سازند (سازند لار) مستقر می باشد. از این رو از سایر روش ها مانند ریخت شناسی حریم گسل (Fault Zone) و نیز شواهد حرکتی سطح گسل استفاده شد. ارتفاع زیاد فرادیواره نسبت به فرو دیواره که هر دو از یک جنس و سن بوده و مقاومت یکسان در برابر فرسایش دارند دلالت از حرکت رو به بالای قطعه فرا دیواره دارد. که بازوویه ریک نزدیک به ۹۰ درجه خش لغزهای سطح گسل هماهنگی دارد. این شواهد در کنار شیب حدود ۲۰ درجه سطح گسله نشانه سازوکار گسلش معکوس (راندگی) است. مقایسه گسله F8 با گسله های پیرامون منطقه مورد مطالعه شباهت هندسی و ریخت شناسی حریم آن را با گسل راندگی شاهرود آشکار می سازد. گسل راندگی شاهرود در پژوهش های گذشته شناسایی و در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۸۰) معرفی شده است. از این رو می توان گسله F8 را قطعه ای از گسل راندگی شاهرود دانست که به صورت خاوری - باختری در واحدهای کربناته سازند لار در شمال خاوری شاهرود قابل ردیابی است (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴- موقعیت گسله F8 در تصویر ماهواره ای لندست (برگرفته 2019 Google earth)

Structural Map of North East Shahrood



شکل ۴-۵- نقشه ساختاری منطقه مطالعاتی همراه با استریوگرام ساختارهای اصلی

۴-۳- پیشنهادها

الف- انجام مطالعات دیرینه لرزه شناسی بر روی گسل کواترنری شاهرود

ب- مطالعه زمین شناسی شهری شاهرود با نگاه ویژه به ردیابی گسله های کواترنری در محدوده شهر

سوت

پیوست ۱- داده های مربوط به برداشت لایه بندی سازند دلیچای و چین برداشت شده در این سازند

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	30	275	14	01	90	27	50	100
2	20	270	15	01	87	28	55	102
3	10	267	16	02	96	29	54	100
4	45	275	17	02	100	30	52	102
5	35	280	18	50	110	31	45	95
6	40	280	19	55	100	32	44	95
7	30	270	20	54	100	33	45	100
8	40	275	21	53	102	34	70	100
9	60	273	22	52	100	35	20	110
10	70	275	23	56	105	36	16	90
11	30	274	24	60	102	37	10	90
12	24	273	25	75	100	38	30	95
13	25	270	26	78	100	39	40	100

پیوست ۲- داده های مربوط به شکستگی های برداشت شده از لایه بندی سازند دلیچای در ایستگاه ۱

N	Dip	Dip Dir	N	Dip	Dip Dir
1	84	350	16	84	350
2	80	176	17	80	280
3	85	177	18	86	280
4	78	170	19	80	280
5	74	166	20	85	270
6	87	156	21	86	267
7	73	10	22	86	280
8	84	350	23	81	310
9	85	270	24	75	300
10	84	350	25	72	320
11	80	176	26	84	50
12	85	177	27	85	215
13	78	170	28	84	120
14	74	166	29	84	130
15	87	156	30	87	210

پیوست ۳- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۲

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
340	80	240	01	3
330	80	231	01	3
310	75	210	01	3
300	80	213	02	3
320	70	221	03	3
210	45	298	01	3
200	45	289	02	3
220	45	304	03	3
230	45	301	03	3
148	84	238	03	3
156	80	250	02	3
340	80	240	01	3
320	80	231	01	3
300	75	210	01	3
300	80	213	02	3
310	70	221	03	3
210	45	298	01	3
200	45	289	02	3

پیوست ۴- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۳

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
060	55	145	03	3
050	55	140	02	3
070	50	160	01	3
065	55	143	01	3
240	60	150	03	3
239	60	150	02	3
061	50	140	01	3
070	55	130	02	3
230	60	130	01	3
200	55	120	03	3
190	54	100	01	3
205	55	110	02	3
060	55	145	03	3
050	55	140	02	3
070	50	160	01	3
065	55	143	01	3
240	60	150	03	3
239	60	150	02	3

پیوست ۵- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۴

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
055	35	130	03	3
087	37	150	01	3
075	30	155	01	3
085	36	160	02	3
100	40	170	02	3
105	35	175	01	3
040	40	130	01	3
045	30	140	02	3
055	35	130	03	3
087	37	150	01	3

پیوست ۶- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۵

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
330	69	060	03	4
332	70	060	02	4
340	65	069	01	4
335	63	065	01	4
332	60	063	01	4
340	64			
330	73	065	01	4
330	70			
320	70	050	03	4
310	70	038	02	4
312	68	035	01	4
314	65	033	01	4
316	66	040	01	4
320	66			
330	60			
315	66	040	02	4
313	60			
330	70	066	02	4
332	63	060	01	4

پیوست ۷- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۶

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
330	70	248	20	3
320	65	240	22	3
340	70			
351	60	263	02	3
340	70			
351	64	250	02	3
351	64	250	01	3
330	72			
340	70	249	01	3
355	64	253	02	3
369	63	249	01	3
333	72			
342	71	248	01	3
045	70	135		4
030	65	120	01	4
040	66	130		4
044	70	133	01	4
050	65	140	01	4
045	70	133		4
045	65	135	01	4
030	66	120		4
040	70	130	01	4

پیوست ۸- شکستگی های برداشت شده از ایستگاه ۷

*جهت حرکت فرا دیواره : ۱: روبه بالا(معکوس) ۲: روبه پایین (نرمال) ۳: راست بر ۴: چپ بر

Fault plane		Slicken Lines		
Dip . Dir.	Dip	Azimuth	plung	Sense
250	50	340	01	4
245	50	334	01	4
247	49	330	02	4
246	48	330	01	4
240	50	330	02	4
243	50	325	01	4
070	50	342	01	4
073	45	340	01	4
074	50	341	02	4
075	53	340	01	4
077	53	340	01	4
080	50	350	02	4
079	49	349	01	4
080	53	345	01	4
075	54	340	03	4
090	50	358	01	4
250	50	340	01	4
245	50	334	01	4
247	49	330	02	4
246	48	330	01	4
240	50	330	02	4
243	50	325	01	4

منابع

- آقائباتی ع.، (۱۳۷۷)، "چینه شناسی ژوراسیک ایران-۱" انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، شماره ۶۵ ، ۳۵۵ صفحه.
- آقائباتی ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۴۰ صفحه.
- اعراب ف.، (۱۳۸۸)، "تحلیل ساختاری چین خوردگی و گسلش در باختر شاهرود"، دانشکده علوم، دانشگاه دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- اعراب ف.، امیددی پ.، طاهری ع.، (۱۳۸۸) "دگریختی کواترنری در باختر شاهرود (البرز خاوری) مجله علوم زمین ، شماره ۸۰، صفحات ۹۴-۸۹.
- امیددی پ.، نوگل سادات م.ع.، قرشی م.، (۱۳۸۱) "بازسازی تنش کواترنری بر اساس تحلیل لغزش گسل در نیمه جنوبی البرز خاوری، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴۵ و ۴۶ صفحات ۶۳-۴۸
- بربریان م.، (۱۳۶۳) "بررسی و پژوهش نو زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در ناحیه باختر دامغان" مهندسین مشاور کویانکو ، سازمان آب منطقه ای سمنان.
- بربریان م.، قرشی م.، طالبیان م.، وشجاع طاهری ج.، (۱۳۷۵)، پژوهش و بررسی نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلشدر گستره سمنان، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۶۳ ، ۲۶۶ صفحه.
- حیدری ک.، (۱۳۸۸) "پهنه بندی خطرریزش سنگی در شمال شهر شاهرود"، دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد

- حسینی م.، (۱۳۹۳) "تحلیل جنبشی و دینامیکی شکستگی هادر واحد های سنگی مزوزوئیک (شمال شاهرود)" دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد
- درویش زاده ع.، (۱۳۷۰) "زمین شناسی ایران" موسسه انتشارات امیر کبیر، ۹۰۱ صفحه .
- رادفر ع.، رحیمی چاکدل ع.، (۱۳۹۱) "تحلیل هندسی چین خوردگی تپال در حاشیه جنوبی البرز خاوری-شاهرود" فصلنامه زمین شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۲، صفحات ۹۹-۱۰۸
- رحیمی ب.، (۱۳۸۱)، پایان نامه دکترا "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان" دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۸ صفحه.
- شفیع زاده م.، سید امامی ک.، (۱۳۸۵) "سنگ شناسی چینه ای و زیست چینه شناسی سازند دلیچای در باختر شاهرود (البرز خاوری) مجله علوم زمین، شماره ۵۷، صفحات ۹۸-۱۱۳
- شهرابی، م.، (۱۳۸) "تریاس در ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۹ صفحه.
- شهرابی م.، صالحی راد ر.، علوی م.، ژنی ژ.، استامفیلی ژ.، (۱۳۶۹) "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ گرگان" سازمان زمین شناسی کشور.
- شهیدی ع.، بایر ا.، فرانسو برون م.، سعیدی ع.، (۱۳۸۸) "فروگشت ساختاری البرز در میان زیستی و نوزیسی" مجله علوم زمین، شماره ۸۱، صفحات ۲۱۶-۲۰۱.
- گیاهی یزدی ح. ر.، (۱۳۷۸) "مطالعه سنگ شناسی و محیط رسوبی سازند های دلیچای و لار در ناحیه البرز خاوری (غرب شاهرود)" دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- نبوی م ح.، (۱۳۵۵) "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- وزیر ی س. ح.، مجیدی فر م. ر.، (۱۳۸۰) "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود" سازمان زمین شناسی کشور.

- وزیرى س.ح.، مجیدی فر م.ر.، (۱۳۸۰) "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بسطام" سازمان زمین شناسی کشور

- **Alavi M(1996)**"Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in Northern Iran"Journal of Geodynamics, Vol.21(1) ,p. 1-33.

-**Alavi Naini M .,(1972)**"Etude geologique de la region de Djam" Geological Survey of Iran, Tehran,288 P.

-**Allen M.B, Ghassemi M. R, Shahrabi M., Qorashi M,(2003)** "Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range,Northern Iran"Journal of Structural Geology,Vol.25,P.627-659.

-**Allmendinger R.W.,With Contributions by Gephart J.W.,Marrett R.A.,(1989)**"Notes on fault slip analysis prepared for the geological society of America short course on((Quantitative interpretation of joints and faults))"Department of Geological Sciences,Cornell University,New York.

-**Anderson E. M.,(1942)**"The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Application to Britain"Oliver and Boyd,Edinburgh,206 P.

-Angelier J.,(1975)"Sur l' analyse de mesures recueillies dans sites failles:l'utilite d' uneconfrontation entre les methods dynamiques et cinematiques". CompteRendus del'Academie des Sciences de Paris D 281,PM1805-1808.

- Angelier J., (1990)" Inversion of field data tectonics to obtain the regional stress – III. A new rapid direct inversion method by analytical means” Journal of Geophysics, P 363-376.

-Angelier J.,(1994)"Fault slip analysis and paleostress reconstruction. Continental deformation"Edition by Hancock P. L., pergamon prees,P53-100.

-Angelier J., Melcher P., (1977)"Surum methode graphique et en seismologie: ladescontraintes prinnciples egalemeut utisiabile en tectonique et en seismologie: la.

-Assereto R.,(1966)"The Jurassic shemshak Formation in central Elburz(Iran)"Rivista Italinana di Paleontologia e stratigraphia ,vol,72,P,1133-1182.

-Berberian,M.king,G.C.P.(1981)" Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian journal of Earth Scienceec.NRC Research Press Ottawa, Canada,18(2),pp.210-265.doi:10.1139/e81-019.

- Bott M,H,P.,(1959):**The mechanisms of oblique slip faulting" Geological Magazine,96,P 109-117.
- Brace W,F.Kohlstedt D,L.,(1980)"**Lithospheric stress imposed by laboratory experiments " Journal of Geophysics,P 6248-6252.
- Bull W,B.,(2007)"**Tectonic Geomorphology of mountains: A new Approach to paleoseismology" Oxford: BLACKWELL.
- Carey E., Brunner M. B., (1974)** "Analyse theorique et numerique d.un modele mecanique elementaire applique. l. etude d.une population de failles" C.R. Acad. Sci. Paris D 279,891
- Chen W,P., Molnar P.,(1983)"**Focal depths of intracontinental and interplate earthquakes and their implications for the thermal and mechanical properties of the lithosphere" Journal of Geophysics, P 4183-4214 .
- Coelho S., Passchier C.,(2006)"**Ridge-shear control on the development of peninsular field example and analogue modelling" Journal of structural geology 28,P 1625-1669.
- Doblas M.,(1998)"** Slickenside kinematic indicators" Tectonophysics, P 187-197.
- Fleuty M.J, (1964),** "The description of fold, Proceedings of the Geologist Association",vol ,pp -492.

-Fossen H., (2010)"Structural geology" Cmbirdag University Press, New York,463 P.

-Gansser A ., Huber, H.,(1962)"Geological observatins in Central Alburz, Iran.Schweizerische Mineralogische und petrographische Mitteilungen' PP 63-583.

-Goodman R,E.,(1989)"Introduction to rock mechanice" Second Edition by John Wiley& Sons, Published in Canda, 562 p.

-Griffit A,A.,(1921):The phenomena of rupture and flow in solids" Royal Society of London Transactions, P,163-198.

-Hancock P,L.,(1988)"Neo tectonics: Geology Today" Vol, 4, P57-61.

-Hippolyte J, C., Bergreat F . Gordon M, B., Bellier O., Espurt N.,(2012)"Keys and pitfalls in measoscale fault analysis and paleostress reconstructions, the use of Angelier ' s method" Tectonophysis, Vol, 581, p 144-162.

-Jackson J., Priestly K., Allen M., Berberian M., (2002)"Active tectonics of the South Caspian Basin" Journal of Geophysice, P 214-245.

-Look B,G.,(2007)"Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tabkes"Published by Taylir & Francis / Balkema, London, 331 P.

-Marrett R, Allmendinger R,W., (1990)"Kinematic analysis of fault-slipe data"Journal of structural geology, V, 12, P 973-986.

-Marshake S,T., Mitra G.,(1998)"Basic Methode of structural geology"
Prentic Hall Englewood Cliffs, New jersey, 446 P.

Nazari H.,(2006)Analyse" de la tectonique recente et active dans l' Alborze Central et la region de Teheram: ((Approche mophotetonique et paleoseismologique))" These, Universite Montpellier II, Montpellier, 247P.

-Nelson R,A.,(1985) Geologic analysis of naturally fractured reservoirs"
Gulf Professional Publications, Boston, Texas, USA, 332P.

-Petite J,P.,(1987)"Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rockes" Journal of Structural Geology, P 597-608 608.

-Riedel, W., 1929" Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. Z.
Mineral. Geol. Palaeontol. Vol. 1929 B, pp. 354-368.

-Rmsay J, G., Huber M,L.,(1987)"The Tecniques of modern structural geology" Academic Press Limited, Vol. 2 (folds and fractures), P. 391.

-Rmsay J, G., Lisle R, J.,(2002) " The Techniques of Modern Structural Geology" Vol, 3: Fault skip Analysis ind Stress Tensor Calculation, Academic press, P 758-810.

-Shahidi A., Brunet M,F., Saidi A.,(2008) "Tectonic evolution and late Triassic- middle Eocene extension in central Alborze, Iran Scientific Quaterly Journal (GSI), Vol, 17 ,No,1,P 4-25.

-Stocklin J .,(1974)"Northen Iran: Albrze mountaions, mezozoic-cenozoice orogenic belt, data for orogenic studies"Geological Society ,Special Publicaions , London, Vol,4,P213-234.

-Twiss R,J., Moores E,M., (2007)" Structural geology" W,H.Freeman and Company, NewYork, 532p

-Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli F. and Che´ry, J., 2004b- Present-day crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophys. J. Int. v. 157, 381-398.

-Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M. R. and Sabouri, J., 2006- Inversion tectonics in central Alborz, Iran. Journal of Structural Geology, 28, 11, 2023-2037.

Abstract

In this research, fractures in the limestones of the Delichy and Lar formations in north-east of Shahrood city have been investigated. According to the obtained results these fractures can be classified into two categories with northeast – southwest and northwest –southeast trends which both formed due to deformation phases at different geological times. Some of these fractures have been formed during folding and others formed due to faulting. In addition, eight faults (F_1 to F_8) which identified in this research have geometrically the mentioned trends. Moreover, the effects of old and new slickenlines of paleotectonics and neotectonics-quaternary have been identified on these fault planes. The Quaternary movement may be identified with horizontal and young slickenlines that printed on slickenlines with rack of about 90 degrees. The evidences for identifying the Quaternary movement on faults is derived from the obvious signs of the Quaternary movement in the sedimentary –tectonics units in various regions of Iran including eastern Alborz. For example, faults with similar trend to east Alborz may be mentioned such as Astanceh and Shahrood Quaternary Faults which include strike-slip mechanism. The effect of the Shahrood Quaternary fault from the west of Shahrood to the northern part of Damghan with an approximate length of 60 km can be traced. Based on similarity in geometry of F_1 fault with Shahrood Quaternary fault and its young strike-slip mechanism, it may be argued that F_1 fault is a part of Shahrood Quaternary fault which extends from north of Damghan to carbonate formations Delichy and Lar in west of Shahrood.

Key words: Shahrood Quaternary fault, Neotectonics Faults, Strike Slip Fault, fractures



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Earth Sciences

M.Sc.Thesis in Tectonic

Geometric and statistical analysis of Mesozoic limestones' fractures in NE of Shahrood

By: Masoomeh.Hasani

Supervisor:
Dr. P.Omidi

February.2020