





دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک

تحلیل ساختاری تاقدیس زوباران در شمال قوچان

نگارنده: فهیمه خالقی خسرویه

استاد راهنما:

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور:

دکتر غلامحسین کرمی

دی ماه ۱۳۹۷

شماره: ۹۷-۱۱-۱۴
تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فهیمه خالقی خسرویه با شماره دانشجویی ۹۴۰۶۵۵۴ رشته زمین شناسی گرایش تکتونیک تحت عنوان تحلیل ساختاری تاقدیس زوباران در شمال قوجان که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه:)			
<input type="checkbox"/> مردود			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	آقای دکتر پرویز امیدی	استادیار	
۲- استاد مشاور	آقای دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر عزیزالله طاهری	استاد	
۴- استاد ممتحن اول	آقای دکتر رمضان رضانی اومالی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن دوم	آقای دکتر ناصر حافظی مقدس	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: آقای دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

مادر م

از تمام رنگ های جهان و امدار هیچ رنگی نیستم جز نگاه تو که مادر تمام رنگ هست

پدر م

خورشید شدی و از روشنایت جان گرفتم

تقدیم به پدر، مادر و دو خواهر

عزیزتر از جانم پرنیا و آنوشتا

پاسکزاری

شکریان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.
از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر پرویز امیدی به عنوان استاد راهنما که همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند کمال
تشکر را دارم.

بعین از استاد گرامیم جناب آقای دکتر غلامحسین کریمی بسیار سپاسگزارم که بدون مشاوره ایشان تا این پایان نامه بسیار مشکل
بود.

سپاس بیکران از محضر ارزشمنند پدر و مادر عزیزم به خاطر تمام تلاش‌های محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام دادند.
از همسر مهربانم مهندس بابک عبدی اورنگ که در طول تحصیل اینجانب همراه و یارم من بوده است کمال تشکر را دارم.
تشکر ویژه می‌کنم از دوستان عزیزم، مهندس مطهره خانلری، مهندس حسین ابراهیمی و مهندس سعید اسلامی فارسانی و کلیه عزیزانی که
در طول انجام این پژوهش در کنار من بودند.

از تمام اساتید و پرسنل دانشکده علوم زمین مخصوصاً آقای مهندس میرباقری به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشم داشت ایشان
سپاسگزارم.

نهمه خالقی خسروی

بهمن ماه ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب **فهیمة خالقی خسرویه** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع تحلیل ساختاری تاقدیس زوباران در شمال قوچان، تحت راهنمایی دکتر پرویز امیدی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

محدوده مورد مطالعه در شمال شهر قوچان و در ایالت ساختاری کپه‌داغ خاوری قرار دارد. مطالعات چینه‌نگاری در این منطقه، وجود واحدهای سنگی کرتاسه و شوریجه را تأیید می‌کند. ساختارهای تکتونیکی مهمی همچون گسل‌ها و چین‌ها در این محدوده قرار دارند. گسل‌های اصلی این منطقه از نوع امتدادلغز راست‌بر و همچنین معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌بر تعیین شدند که دارای روند عمومی شمال باختر-جنوب خاور (مشابه گسل‌های NW-SE کپه‌داغی) هستند. بررسی‌های صحرایی در ایستگاه‌های مجزا بر روی تاق‌دیس زوباران شرقی و غربی انجام شده است. دو بخش شرقی و غربی توسط گسل قوچان-زوباران از هم جدا شده‌اند. براساس هندسه به دست آمده برای هر تاق‌دیس مشخص شد که سطح محوری در تاق‌دیس زوباران شرقی در حدود ۲۳ درجه دوران پادساعتگرد داشته و این تأییدی بر حرکت امتدادلغز راست‌بر گسل قوچان-زوباران می‌باشد. همچنین چین مطالعه شده طبق رده‌بندی فلوتی بر مبنای زاویه بین یالی در رده ملایم (Gentle) قرار می‌گیرد. بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا جایگاه تاق‌دیس‌ها در رده ایستاده با لولای افقی (Upright-horizontal) قرار دارد. بررسی شکستگی‌ها در منطقه در ۱۹ ایستگاه انجام شد و در نهایت ارتباط این شکستگی‌ها با ساختارهای اصلی منطقه (چین‌ها و گسل‌ها) تعیین شد. بیشترین تراکم شکستگی‌ها در منطقه مربوط به دو روند NE-SW و NW-SE است. به طور کلی چهار دسته شکستگی در منطقه قابل تشخیص است که به ترتیب شکستگی‌های دسته ۱ با موقعیت میانگین ۸۱/۲۵۸، شکستگی‌های دسته ۲ با موقعیت میانگین ۶۹/۱۳۸، شکستگی‌های دسته ۳ با موقعیت میانگین ۷۴/۱۳۷ و شکستگی‌های دسته ۴ با موقعیت میانگین ۶۸/۲۲۶ می‌باشند. دسته ۱ و ۳ از نوع کششی و دسته ۲ و ۴ از نوع برشی تعیین شدند. بر اساس موقعیت درزه‌ها نسبت به محور چین‌ها شکستگی‌های طولی، عرضی و برشی (مزدوج) در این ۱۹ ایستگاه قابل تشخیص است. بررسی میانگین شکستگی‌ها نسبت به محور چین در هر تاق‌دیس، حاکی از دوران پادساعتگرد شکستگی‌ها در تاق‌دیس زوباران شرقی به میزان تقریبی ۲۳ درجه نسبت به شکستگی‌ها در تاق‌دیس زوباران غربی است. پس از حذف دوران، شکستگی‌های موجود در زوباران شرقی

هندسه یکسانی با شکستگی‌های تاقدیس زوباران غربی نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان تاقدیس زوباران شرقی را ادامه تاقدیس زوباران غربی در نظر گرفت و تفاوت در روند را به جنبش راست‌گرد گسل نسبت داد. همچنین بر اساس توزیع درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی بیشترین سطوح درزه‌ها در رده‌ی درزه‌های شیئی و مایل تقسیم می‌شوند. بعلاوه دسته درزه‌های J1، J2، J3 و J4 که به طور کلی در حالت‌های همسو (R)، ناهمسو (R') و امتدادی (P) نسبت به گسل‌های منطقه قرار دارند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر این اساس دسته درزه J1 نسبت به گسل قوچان-زوباران و سالانقوچ به ترتیب در حالت ناهمسو و همسو قرار دارد، دسته درزه J2 نسبت به هر دو گسل در حالت ناهمسو قرار دارد، دسته درزه J3 به ترتیب در حالت‌های امتدادی و ناهمسو و دسته درزه J4 نسبت به گسل‌های مذکور به ترتیب در حالت‌های همسو و امتدادی قرار دارد.

کلیدواژه: گسل قوچان-زوباران، گسل سالانقوچ، تاقدیس زوباران شرقی، تاقدیس زوباران غربی، تحلیل ساختاری.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

خالقی، ف.، امیدی، پ.، کرمی، غ.، (۱۳۹۷)، تحلیل هندسی تاقدیس زوباران و شکستگی‌های مرتبط با

آن، بیست و یکمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

فهرست

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی	۳
۱-۲- وضعیت آب و هوایی	۴
۱-۳- تاریخچه مطالعات پیشین	۴
۴-۱- ضرورت انجام تحقیق	۵
۵-۱- اهداف تحقیق	۶
۱-۶- مراحل انجام پژوهش	۶
فصل دوم: زمین‌شناسی	۹
۱-۲- جایگاه زمین‌ساختی	۱۰
۲-۲- چینه‌شناسی	۱۳
۱-۲-۲- سازند شوربجه	۱۳
۲-۲-۲- سازند آهکی تیرگان	۱۴
۲-۲-۳- سنگهای نئوژن	۱۷
۴-۲-۲- نهشته‌های کواترنری	۱۷
فصل سوم: تحلیل هندسی	۱۹
۳-۱- چین خوردگی	۲۰
۱-۱-۳- تاقدیس زوباران غربی	۲۲
الف- توصیف هندسی تاقدیس زوباران غربی	۲۴

- الف_۱_ پیمایش A-A' ۲۵
- الف_۲_ پیمایش B-B' ۲۶
- ب- فشردگی چین ۲۸
- ج- جهت‌گیری چین ۳۰
- ۳-۱-۲- تاقدیس زوباران شرقی ۳۱
- ۳-۲- گسل‌ها ۳۴
- ۳-۲-۱- گسل سالانقوچ ۴۰
- ۳-۲-۲- گسل‌های فرعی منطقه ۴۴
- الف- گسل F1 ۴۵
- ب- گسل F2 ۴۵
- پ- گسل F3 ۴۷
- ت- گسل F4 ۴۷
- ث- گسل F5 ۴۸
- ج- گسل F6 ۴۹
- چ- گسل F7 ۴۹
- ح- گسل F8 ۵۱
- ۳-۳- شکستگی‌ها ۵۱
- ۳-۳-۱- شکستگی‌های همراه با گسل‌ها و مناطق برشی ۵۶
- ۳-۳-۲- شکستگی‌های همراه با چین‌ها ۵۷

- الف- درزه‌های طولی ۵۷
- ب- درزه‌های عرضی ۵۷
- پ- درزه‌های برشی مزدوج ۵۸
- ۳-۳-۳- بررسی درزه‌ها و شکستگی‌های منطقه ۵۹
- ۳-۳-۴- نمودار گل سرخی کل درزه‌های منطقه ۸۲
- ۳-۳-۵- منشأ شکستگی‌ها ۸۳
- الف- شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی ۸۳
- الف-۱- شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران غربی ۸۳
- الف-۲- شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران شرقی ۸۵
- ب- شکستگی‌های مرتبط با گسلش ۸۷
- فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۹۳**
- ۴-۱- بررسی چین خوردگی منطقه ۹۴
- ۴-۱-۱- تاقدیس زوباران غربی ۹۴
- ۴-۱-۲- تاقدیس زوباران شرقی ۹۵
- ۴-۲- مطالعه گسل‌ها ۹۷
- ۴-۲-۱- گسل قوچان-زوباران ۹۷
- ۴-۲-۲- گسل سالانقوچ ۹۸
- ۴-۳- مطالعه درزه‌ها و الگوی پراکنش ۱۰۰
- ۴-۴- ارتباط درزه‌ها با ساختارهای منطقه ۱۰۱

- ۱-۴-۴-۱- ارتباط درزه‌ها با لایه‌بندی ۱۰۱
- ۲-۴-۴-۴- توصیف درزه نسبت به چین‌خوردگی ۱۰۲
- ۴-۴-۳- توصیف درزه نسبت به گسلش ۱۰۴
- الف- ارتباط درزه‌ها با گسل قوچان-زوباران ۱۰۴
- ب- ارتباط درزه‌ها با گسل سالانقوچ ۱۰۵
- ۵-۴-۴- ارتباط الگوی شکستگی‌ها و انتقال آب ۱۰۶
- ۶-۴-۴- پیشنهاد ۱۰۷
- ۵- منابع ۱۰۸
- ۶- پیوست ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن. ۳
- شکل ۱-۲- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه. ۱۲
- شکل ۲-۲- نقشه توپوگرافی از حوضه‌ی کپه‌داغ و محدوده‌ی شرق ایران. ۱۳
- شکل ۳-۲- رخنمونی از سازند شوربچه در ترانشه جاده قوچان-باجگیران. ۱۵
- شکل ۴-۲- تصویری از فسیل‌های دریایی موجود در سازند شوربچه. ۱۶
- شکل ۵-۲- نمایی از رخنمون آهک‌های تیرگان در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی. ۱۶
- شکل ۶-۲- نمایی از فسیل‌های اُربیتولین و اُلیت در سازند تیرگان. ۱۷
- شکل ۷-۲- نمایی از سنگ‌های نئوژن. ۱۷
- شکل ۸-۲- نهشته‌های کواترنری در منطقه. ۱۸
- شکل ۱-۳- نمایش عناصر هندسی چین. ۲۱
- شکل ۲-۳- مدل ارتفاعی از چین. ۲۲
- شکل ۳-۳- تصویر ماهواره‌ای از تاقدیس زوباران غربی. ۲۳
- شکل ۴-۳- نمایی از رخنمون آهک‌های تیرگان در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی. ۲۴
- شکل ۵-۳- استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای پیمایش A-A'. ۲۵
- شکل ۶-۳- نمایی کلی از تاقدیس زوباران غربی در پیمایش B-B'. ۲۷
- شکل ۷-۳- نیمرخ زمین‌شناسی تهیه شده برای تاقدیس زوباران غربی در پیمایش B-B'. ۲۷
- شکل ۸-۳- الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای پیمایش B-B'. ۲۸
- شکل ۹-۳- زاویه بین یالی θ بین صفحات مماس بر سطوح چین‌خورده در محل خطوط عطف. ۲۹
- شکل ۱۰-۳- مقادیر زاویه بین یالی و سطح محوری در تاقدیس زوباران غربی. ۲۹
- شکل ۱۱-۳- مقادیر زاویه بین یالی در تاقدیس زوباران غربی در روش استریوگرافیک. ۳۰
- شکل ۱۲-۳- رده‌بندی چین‌ها بر اساس میزان میل محور و شیب سطح محوری. ۳۱

- شکل ۳-۱۳- تصویر ماهواره‌ای از تاق‌دیس زوباران شرقی ۳۲
- شکل ۳-۱۴- نمایی از تاق‌دیس زوباران شرقی. ۳۲
- شکل ۳-۱۵- استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده در تاق‌دیس زوباران شرقی ۳۳
- شکل ۳-۱۶- تصویر SRTM تهیه شده از منطقه مورد مطالعه ۳۴
- شکل ۳-۱۷- تصویر توپوگرافی SRTM از گسل قوچان- زوباران (Q.ZF) ۳۶
- شکل ۳-۱۸- تصویر ماهواره‌ای لندست و نمایش گسل قوچان-زوباران ۳۷
- شکل ۳-۱۹- نمایی کلی از گسل قوچان-زوباران. ۳۸
- شکل ۳-۲۰- رخنمون گسل قوچان-زوباران در مقطع ۱ ۳۹
- شکل ۳-۲۱- رخنمون گسل قوچان-زوباران در مقطع ۲ ۳۹
- شکل ۳-۲۲- تصویر ماهواره‌ای لندست و نمایش دره گسلی سالانقوچ ۴۱
- شکل ۳-۲۳- رخنمون صفحه گسل سالانقوچ در ایستگاه اول ۴۱
- شکل ۳-۲۴- سطح گسلی بر روی آهک تیرگان ۴۲
- شکل ۳-۲۵- رخنمون صفحه گسل سالانقوچ در ایستگاه دوم ۴۳
- شکل ۳-۲۶- سطح گسلی بر روی آهک تیرگان. ۴۳
- شکل ۳-۲۷- نمای شماتیک از گسل‌های قوچان-زوباران و سالانقوچ بر روی تصویر گوگل ارث ۴۴
- شکل ۳-۲۸- رخنمون گسل F1 ۴۶
- شکل ۳-۲۹- رخنمون گسل F2 ۴۶
- شکل ۳-۳۰- رخنمون گسل F3 ۴۷
- شکل ۳-۳۱- رخنمون گسل F4 ۴۸
- شکل ۳-۳۲- رخنمون گسل F5 ۴۹
- شکل ۳-۳۳- رخنمون گسل F6 ۵۰
- شکل ۳-۳۴- رخنمون گسل F7 ۵۰

- شکل ۳-۳۵- رخنمون گسل F8 ۵۱
- شکل ۳-۳۶- نمایش بلوک دیاگرام‌هایی از مجموعه شکستگی و سیستم درزها ۵۴
- شکل ۳-۳۷- جهت‌گیری فضایی انواع شکستگی نسبت به تنش‌های اصلی وارده به توده سنگ ۵۵
- شکل ۳-۳۸- انواع شکستگی بر اساس خصوصیات ژنتیکی ۵۵
- شکل ۳-۳۹- ارتباط درزها با لایه‌بندی ۵۶
- شکل ۳-۴۰- موقعیت شکستگی‌های سیستماتیک همراه شده با پهنه برشی راستگرد ۵۷
- شکل ۳-۴۱- دسته درزهای مرتبط با چین‌خوردگی ۵۸
- شکل ۳-۴۲- روابط ایده‌آل بین درزهای اصلی در یک لایه‌ی چین‌خورده ۵۸
- شکل ۳-۴۳- درزهای ایستگاه J1 ۶۰
- شکل ۳-۴۴- درزهای ایستگاه J2 ۶۱
- شکل ۳-۴۵- درزهای ایستگاه J3 ۶۲
- شکل ۳-۴۶- درزهای ایستگاه J4 ۶۳
- شکل ۳-۴۷- درزهای ایستگاه J5 ۶۴
- شکل ۳-۴۸- درزهای ایستگاه J6 ۶۵
- شکل ۳-۴۹- درزهای ایستگاه J7 ۶۶
- شکل ۳-۵۰- درزهای ایستگاه J8 ۶۷
- شکل ۳-۵۱- درزهای ایستگاه J9 ۶۸
- شکل ۳-۵۲- درزهای ایستگاه J10 ۷۰
- شکل ۳-۵۳- درزهای ایستگاه J11 ۷۱
- شکل ۳-۵۴- درزهای ایستگاه J12 ۷۲
- شکل ۳-۵۵- درزهای ایستگاه J13 ۷۳
- شکل ۳-۵۶- درزهای ایستگاه J14 ۷۴

- شکل ۳-۵۷- درزه‌های ایستگاه J15 ۷۵
- شکل ۳-۵۸- درزه‌های ایستگاه J16 ۷۶
- شکل ۳-۵۹- درزه‌های ایستگاه J17 ۷۸
- شکل ۳-۶۰- درزه‌های ایستگاه J18 ۷۹
- شکل ۳-۶۱- درزه‌های ایستگاه J19 ۸۰
- شکل ۳-۶۲- موقعیت شکستگی‌های برداشت شده در ایستگاه‌های منطقه ۸۱
- شکل ۳-۶۳- استریوپلات کل شکستگی‌های برداشت شده از منطقه ۸۲
- شکل ۳-۶۴- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی مربوط به کل درزه‌های برداشت شده ۸۲
- شکل ۳-۶۵- تصاویر استریوگرافیک درزه‌های برداشت شده بر روی تاقدیس زوباران غربی ۸۴
- شکل ۳-۶۶- نمودارهای گل سرخی امتداد شکستگی‌های برداشت شده در تاقدیس زوباران غربی ۸۴
- شکل ۳-۶۷- انواع شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران غربی ۸۵
- شکل ۳-۶۸- تصاویر استریوگرافیک درزه‌های برداشت شده بر روی تاقدیس زوباران شرقی ۸۶
- شکل ۳-۶۹- نمودارهای گل سرخی شکستگی‌های برداشت شده در تاقدیس زوباران شرقی ۸۶
- شکل ۳-۷۰- انواع شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران شرقی ۸۷
- شکل ۳-۷۱- تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J1 و نمودار گل سرخی آن ۸۸
- شکل ۳-۷۲- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسل قوچان-زوباران ۸۹
- شکل ۳-۷۳- تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J1، J2، J3 و J4 ۹۰
- شکل ۳-۷۴- استریوگرام میانگین شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسل سالانقوج ۹۰
- شکل ۳-۷۵- نقشه ساختاری منطقه ۹۱
- شکل ۴-۱- استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای تاقدیس زوباران غربی ۹۵
- شکل ۴-۲- استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای تاقدیس زوباران شرقی ۹۶
- شکل ۴-۳- تصویر استریوگرافیک روند کلی سطح محوری، محور و تنش‌ها در تاقدیس زوباران ۹۷

- شکل ۴-۴- تصویر سیکلوگرافیک نشان دهنده گسل سالانقوچ و گسل قوچان-زوباران..... ۹۹
- شکل ۴-۵- استریوگرام ترسیم شده از گسل‌های فرعی منطقه ۹۹
- شکل ۴-۶- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها ۱۰۱
- شکل ۴-۷- استریوگرام تمرکز قطب صفحات شکستگی بر روی تاقدیس زوباران غربی ۱۰۳
- شکل ۴-۸- استریوگرام تمرکز قطب صفحات شکستگی بر روی تاقدیس زوباران شرقی ۱۰۳
- شکل ۴-۹- موقعیت سطوح محوری دو تاقدیس زوباران شرقی و غربی ۱۰۴
- شکل ۴-۱۰- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسل قوچان-زوباران ۱۰۵
- شکل ۴-۱۱- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسل سالانقوچ ۱۰۶
- شکل ۴-۱۲- استریوگرام ترسیم شده از میانگین درزه‌های موجود در منطقه مطالعاتی ۱۰۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۳ - خصوصیات هندسی پیمایش A-A' ۲۶
- جدول ۲-۳ - خصوصیات هندسی پیمایش B-B' ۲۸
- جدول ۳-۳ - اصطلاحات به کار گرفته شده جهت توصیف فشردگی چین. ۳۰
- جدول ۴-۳ - میانگین برداشتهای انجام شده از مقاطع ۱ و ۲ بر روی گسل قوچان-زوباران. ۴۰
- جدول ۵-۳ - میانگین برداشتهای انجام شده از مقاطع ۳ و ۴ بر روی گسل سالانقوچ. ۴۴
- جدول ۱-۴ - زاویه گسلهای فرعی منطقه با گسل قوچان-زوباران (Q-Z) به همراه روند گسلها.. ۱۰۰

فصل اول

مقدمه

مقدمه

پوسته‌ی زمین تحت تاثیر نیروهای مختلف که حاصل از حرکت صفحات لیتوسفری می‌باشد، دچار دگرشکلی می‌شود. در نهایت بر اثر اختلاف تنش حاصل از نیروها، ساختارهایی در ابعاد مختلف از قبیل چین خوردگی‌ها و شکستگی‌ها (گسل خوردگی و درزه‌ها) در نتیجه‌ی به تعادل رسیدن تنش وارده و کرنش ایجاد شده به وجود می‌آیند (Nelson, 2001).

چین ایجاد انحنای در سنگ‌هاست که به دلیل دگرشکلی و خمیدگی سنگ‌ها ایجاد می‌گردد و در واقع چین خوردگی و کوتاه شدگی از اولین پیامدهای تنش فشارشی است. پیامدی که آثار آن در راستایی عمود بر تنش بیشینه‌ی حاکم نمود پیدا می‌کند. می‌توان چین‌ها را به عنوان فراوان‌ترین ساختار تکتونیکی رایج در سنگ‌های دگرشکل شده نام برد. به طور کلی چین‌ها از دگرریختی نرم یا ترد سطوح مستوی سنگ‌ها و تبدیل آن‌ها به سطح‌های خمیده پدید می‌آید (قاسمی، ۱۳۸۷).

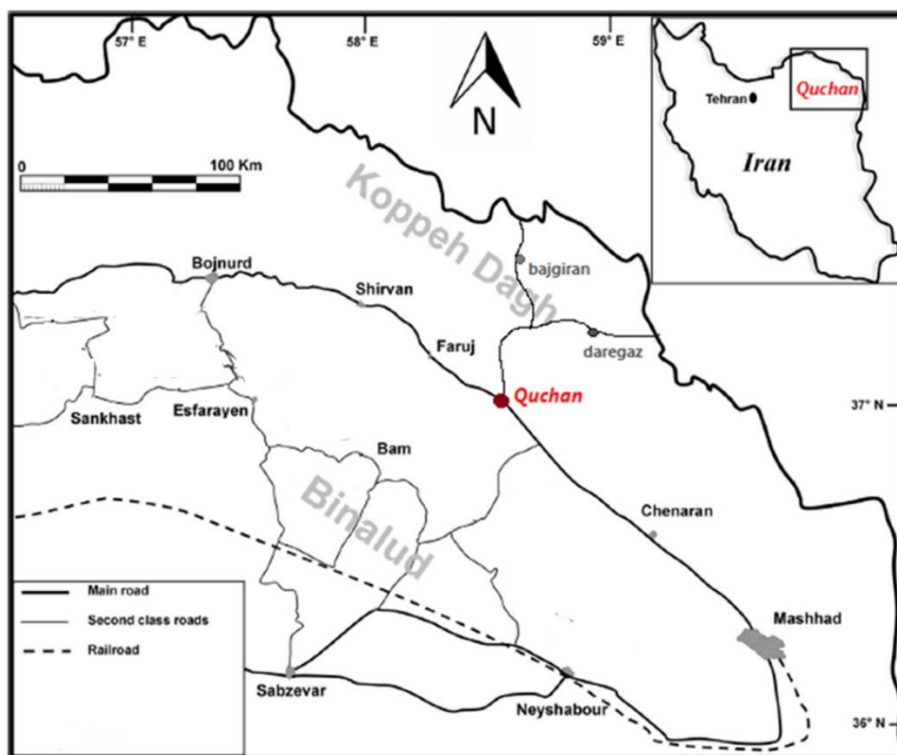
یک شکستگی در سنگ، سطحی است که در آن چسبندگی از بین رفته است. اگر لغزش قابل مشاهده‌ای در شکستگی وجود نداشته باشد، درزه و در غیر اینصورت گسل نامیده می‌شود. شکستگی‌ها عمدتاً به صورت دسته‌های متشکل از اعضای نیمه موازی به وجود می‌آیند. یک منطقه‌ی واحد ممکن است با چند دسته شکستگی قطع شود. گروهی از دسته‌های شکستگی، سیستم یا آرایه‌ی شکستگی را تشکیل می‌دهند. آگاهی از آرایه‌ی شکستگی‌ها به تعیین تاریخچه‌ی تنش و واتنش یک منطقه کمک می‌کند و از اینرو در تحلیل‌های تکتونیکی منطقه‌ای، از اهمیت به سزایی برخوردار است. علاوه بر این، شکستگی‌ها بر پدیده‌هایی چون نفوذپذیری و زهکشی نیز موثر هستند (Marshak and Mitra, 1988).

این پژوهش در نظر دارد با انجام عملیات صحرایی در منطقه مورد نظر به تحلیل هندسی ساختارهای تکتونیکی موجود در آن بپردازد. تحلیل تاقدیس زو باران به عنوان نمونه‌ای از چین‌های نوار کپه‌داغ با روند شمال باختری-جنوب خاوری از اهداف اصلی پژوهش حاضر است. همچنین بررسی گسلش و شکستگی‌ها و در نهایت بررسی ارتباط منشأ شکستگی‌ها با پدیده چین خوردگی و گسلش ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از این تحقیق پردازش و تحلیل داده در مدل کردن چین خوردگی، گسلش و شکستگی‌ها با استفاده از روش‌های متداول زمین‌شناسی ساختاری است. افزودن اطلاعات حاصل از این تحقیق به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بحث و کامل تر کردن نقشه مذکور از دیگر اهداف این تحقیق است. همچنین داشتن اطلاعات از شکستگی‌های گسترده موجود در منطقه کمک شایانی به شناخت منابع زیرزمینی آب و متخصصان مربوطه خواهد کرد.

۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه مورد تحقیق بخشی از کپه‌داغ خاوری در شمال خاوری ایران می‌باشد که در استان خراسان رضوی و شمال شهر قوچان و در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه الی ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۲۲ دقیقه الی ۳۲ درجه طول شرقی کشور واقع شده است. راه‌های دسترسی به منطقه جاده اصلی مشهد-قوچان می‌باشد که پس از رسیدن به شهرستان قوچان وارد جاده‌ی قوچان باجگیران می‌شویم و پس از ورود به این جاده و طی تقریباً ۲۰ کیلومتر به منطقه‌ی مورد نظر میرسیم (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.

۲-۱- وضعیت آب و هوایی

این ناحیه از نظر پهنه‌بندی اقلیمی در ناحیه نیمه خشک سرد جای گرفته است و با قرار گرفتن در بین ارتفاعات هزار مسجد و آلاداغ دارای آب و هوای معتدل و سرد می باشد. میانگین سالیانه دما در این منطقه در حدود ۱۲ درجه سانتی گراد است. کمینه‌ی مطلق دمای استان خراسان رضوی مربوط به شهرستان قوچان با ۲۵/۴- درجه سانتی گراد می باشد و با میانگین سالانه ۹۷ روز بیشترین تعداد روزهای یخبندان استان را داراست. میانگین بارندگی سالیانه نیز به حدود ۳۱۲،۸ میلی متر می رسد که بیشترین بارش متوسط سالانه در استان خراسان رضوی را به خود اختصاص داده است (گزارش آمار هواشناسی استان خراسان رضوی).

۳-۱- تاریخچه مطالعات پیشین

بربریان و کینگ با مطالعه بر حوضه کپه‌داغ بیان کردند که این پهنه پس از حرکات کوه‌زایی تریاس میانی (پایان فرآیند برخورد ایران و توران) تشکیل شده است که شامل یک توالی ضخیم از رسوبات ژوراسیک-میوسن است (Berberian and King, 1981).

حیدرزاده (۱۳۷۴)، دگرشکلی فشارشی در راستای شمالی- جنوبی را باعث چین خوردگی و گسلش کپه‌داغ می‌داند.

لیبریس و همکاران با محاسبه ۷۵ کیلومتر کوتاه‌شدگی، خاور کپه‌داغ را به ۷۰ کیلومتر مؤلفه فشارشی محض در راستای N030 و ۳۵ کیلومتر مؤلفه راستگرد محض در راستای N120 تقسیم می‌کنند. همچنین بیان می‌کنند که ارتفاع ۱۱۰۰ متری حال حاضر رسوبات پلیوسن در جنوب باختر کپه‌داغ نیز بیانگر نرخ بالا آمدگی است که نشان‌دهنده ضخیم‌شدگی پوسته در اثر همگرایی بلوک‌های ایران-توران می‌باشد. نرخ همگرایی برای دوره ۵/۵ میلیون ساله (مرز میوسن- پلیوسن) در این تحقیق حدود ۱/۳ تا ۱/۵ میلی‌متر در سال بیان شده است. این نرخ همگرایی با حرکت نسبی ۱/۳ میلی‌متر در سال ایران-توران برابر است (Lyberis et al., 1998).

آقا نباتی (۱۳۸۳) ادامه حرکت فشارشی ورق ایران به سمت کپه‌داغ را مسبب تغییر سازوکار گسل‌های

پی‌سنگ از نرمال به راندگی، با شیب به سمت شمال، و همچنین زایش گسل‌های امتداد لغز می‌داند که این گسل‌ها ممکن است امتداد لغز راستگرد، با روند شمال غربی، و یا امتداد لغز چپگرد، با روند شمال شرقی، باشند.

هالینگورث و همکاران سیستم گسلش امتدادلغز، چرخش و کشش در کوه‌های کپه‌داغ را مورد بررسی قرار دادند. مهمترین نتیجه این مطالعه شناسایی مجموعه‌ای از گسل‌های فعال امتدادلغز راست‌بر است که به طور مایل کپه‌داغ را قطع می‌کنند و به طور قطع مسئول زمین‌لرزه‌های بزرگ و مخرب در هر دو دوره مدرن و تاریخی هستند (Hollingsworth *et al.*, 2006).

شبانیان معتقد است که تغییر شکل‌های شکننده همراه با گسلش امتدادلغز به طور یکنواخت در کپه‌داغ پراکنده نشده است. به علاوه هیچ جزءبندی استرس و یا استرین یا چرخش سیستماتیک بلوکی در حوضه‌های تغییر ساختاری کپه‌داغ رخ نداده است. همچنین اعتقاد به یکسان بودن میزان کوتاه‌شدگی در طول سنوزوئیک دارند (Shabanian, 2012).

قائمی و قائمی (۱۳۸۹) با بررسی سامانه شکستگی‌ها در کمر بند چین‌خورده کپه‌داغ، ویژگی‌های ساختاری و فعالیت هر یک از گسل‌ها را به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که گسل‌های این ناحیه در سه رده‌ی گسل‌های راندگی، گسل‌های راستالغز و گسل‌های معکوس جوان تقسیم‌بندی می‌شوند. گسل‌های راستالغز و معکوس جوان از نوع فعال بوده و نشانه‌های فعالیت بر روی آن‌ها دیده می‌شود.

۴-۱- ضرورت انجام تحقیق

در این پژوهش، مدل کردن چین خوردگی به عنوان نمونه‌ای از چین‌های کپه‌داغ و بررسی ارتباط منشأ شکستگی‌ها با پدیده چین خوردگی و گسلش که اساساً در مطالعات زمین شناسی ساختمانی مورد توجه می‌باشد، ضروری به نظر می‌رسد. انجام این پژوهش ضمن افزایش داده‌های ساختاری مربوط به چین‌ها، زمینه مطالعات بعدی را در این راستا فراهم خواهد آورد. همچنین با توجه به ضرورت شناخت

شکستگی‌ها در مطالعات هیدروژئولوژی و به طور خاص مطالعات مربوط به توسعه کارست، نتایج این تحقیق در راستای مطالعات مربوط به آب شناسی، مورد توجه متخصصان مربوطه خواهد بود.

۵-۱- اهداف تحقیق

آنچه که در این پژوهش، مورد توجه نگارنده قرار گرفته است در درجه اول تحلیل تفصیلی چین خوردگی و گسلش است. تاقدیس زوباران نمونه‌ای از چین خوردگی کپه‌داغ است که گاهی با راندگی‌های هم‌رند چین خوردگی در کپه‌داغ خاوری همراه می‌شود که توسط گسل‌های عرضی با روند چیره‌ی شمال باختری جنوب خاوری با مؤلفه‌ی امتداد لغز راست بر قطع و جابه‌جا شده است.

در بررسی‌های ساختاری در گام نخست مطالعه‌ی میدانی تاقدیس مورد توجه است تا با برداشت چین در پیمایش‌های عرضی، ویژگی‌های هندسی آن مانند موقعیت خط لولا، سطح محوری، زاویه‌ی میان یالی و غیره تعیین شود.

در گام دوم مطالعه و برداشت گسل‌های طولی و عرضی انجام می‌شود تا موقعیت هندسی دقیق آن‌ها، سازوکار و سن رویداد و در نهایت ارتباط هندسی و جنبشی بین آن‌ها و ارتباط احتمالی آن‌ها با چین-خوردگی آشکار شود.

مطالعه‌ی شکستگی‌های فراوان بر روی واحدهای سنگی مختلف گام دیگری از این پژوهش است که دستاورد آن می‌تواند شناسایی الگوی شکستگی‌ها در سازندهای مختلف و تعیین ارتباط منشأ آن با پدیده چین خوردگی و یا گسل‌های طولی و عرضی منطقه باشد.

۶-۱- مراحل انجام پژوهش

روش کار در این مطالعه به ترتیب شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- مطالعات کتابخانه‌ای اعم از مقالات، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و کلیه منابع مرتبط از طریق جستجو در

سایت‌های معتبر علمی و کتابخانه‌ها

۲- بررسی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای منطقه به منظور شناخت پدیده‌های ساختاری و تهیه نقشه

۳- انجام مطالعات صحرایی و اجرای پیمایش‌های عرضی جهت بررسی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه از قبیل مشخصات لایه‌بندی، گسل‌ها، چین‌ها و شکستگی‌ها با روش‌های معمول که طی تقریباً ۶۸ روز انجام گرفت.

۴- پردازش و تحلیل داده‌ها و مدل کردن چین‌خوردگی و شکستگی‌ها با استفاده از روش‌های متداول زمین‌شناسی ساختاری، در این راستا از نرم‌افزارهای تخصصی از قبیل Win-Tensor، Tectonics FP و Dips استفاده شده است.

۵- تدوین پایان‌نامه‌ای بر اساس دستاوردهای جدید و پیاده کردن آن‌ها بر روی یک نقشه زمین‌شناسی با مقیاس مناسب با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط مانند Arc Gis و Global Mapper به طور کلی در این تحقیق از نرم‌افزارهای زیر استفاده شده است:

- ArcGIS 10.2
- Global Mapper
- Win_Tensor 5.8.5
- StereoNett
- Dips
- Tectonics FP
- Google Earth Pro
- CorelDRAW Graphics Suite 12

فصل دوم

زمین شناسی

۱-۲- جایگاه زمین ساختی

تاقدیس زوباران یکی از چین‌های پهنه‌ی رسوبی_ساختاری کپه‌داغ است. این تاقدیس که به دو قسمت شرقی و غربی تفکیک شده است، نمونه‌ای از چین‌خوردگی کپه‌داغ است که در فاصله‌ی حدود ۲۰ کیلومتری شهر قوچان قرار دارد و نتیجه‌ی چین‌خوردگی سازند آهکی تیرگان (کرتاسه پایینی) می‌باشد (شکل ۱-۲).

همانطور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، کپه‌داغ بخش زیادی از شمال شرق ایران و همچنین بخش‌های وسیعی از ترکمنستان و شمال افغانستان را در بر می‌گیرد. کپه‌داغ به عنوان یک میدان گازی بزرگ بین سه کشور ایران، ترکمنستان و افغانستان مشترک است.

مطالعات بسیاری در رابطه با موقعیت ساختاری کپه‌داغ انجام شده است. در غالب گزارش‌ها، محققان کپه‌داغ را لبه جنوبی توران و بخشی از اوراسیا دانسته‌اند. امروزه ایران شامل موزایک پیچیده‌ای از صفحات تکتونیکی است که در طی مزوزوئیک و سنوزوئیک در کنار هم قرار گرفته‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۱). اصلی‌ترین اجزاء ساختاری زمین‌درز پالئوتتیس در شمال و زمین‌درز نئوتتیس در جنوب غربی تعیین کننده حرکت (از شمال به جنوب) اوراسیا، ایران و پلیت عربی می‌باشد. زمین‌درز پالئوتتیس در اواخر تریاس طی برخورد پلیت ایران با حاشیه جنوبی اوراسیا تشکیل شد (Alavi, 1991). این زمین‌درز در اواسط ژوراسیک مجدداً باز شد و در حوضه فرونشست گسترش یافت (Brunet et al., 2003; Taheri et al., 2009). امروزه درباره جایگاه این پهنه و موقعیت آن دو دیدگاه عمده (نظریه اوراسیایی و نظریه گندوانایی) وجود دارد. جدا از این دو نظریه، وجود تورییدایت‌های دانه‌ریز و سنگ‌های اولترامافیک خاور روستای سفیدسنگ واقع در جنوب خاوری مشهد، به سن پرمین پسین و گاهی میانی، نشان می‌دهد که در اواخر کربونیفر و اوایل پرمین، در بخش شمال خاوری ایران، یک کافت درون قاره‌ای به وجود آمده و دست‌کم از آن زمان به بعد، کپه‌داغ به عنوان یک حوضه رسوبی مستقل، شرایط رسوبی و زمین ساختی ناهمسانی با ایران مرکزی و البرز خاوری داشته است.

از نگاه جغرافیایی و کوه‌نگاری، کپه‌داغ بخشی از ادامه‌ی خاوری کوه‌های البرز است، ولی ویژگی‌های

زمین شناختی و ساختاری آن نسبت به نواحی مجاور متفاوت است. این حوضه از شمال به گسل عشق آباد (طول ۳۸۰ کیلومتر و روند شمال باختری-جنوب خاوری)، از شرق به گسل هریرود (طول ۸۲۵ کیلومتر و روند شمالی-جنوبی) منتهی می‌شود و از سمت غرب و جنوب به تدریج با کوه‌های البرز و بینالود هم‌ارز است (نبوی، ۱۳۵۵).

از نقطه نظر ریخت‌شناسی، کپه‌داغ منطقه‌ای کوهستانی است که فازهای آلپ پایانی در شکل‌گیری سیمای امروزی آن نقش اساسی داشته‌اند. ریخت‌شناسی منطقه جوان است و توپوگرافی ناحیه رابطه‌ای مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد. در این حوضه به طور معمول، تاقدیس‌ها ارتفاعات و ناودیس‌ها دشت‌های میان‌کوهی را می‌سازند و سازندهای کربناتی مزدوران (ژوراسیک بالایی) و تیرگان (کرتاسه‌ی پایینی) واحدهای سیماساز منطقه هستند. دشت‌های سرخس، گرگان، مشهد_قوچان، شیروان_بجنورد از نواحی فروافتاده‌ی کپه‌داغ هستند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

Legend

Quaternary	Qt	Qt : Older terrace deposits
NEOGENE	Ms	Ms : Red siltstone and gypsiferous marl with interbedded sandstone and conglomerate.
CRETACEOUS	Kt	Kt : Gray, thick to medium bedded oolitic limestone, interbedded with marly limestone and calcareous shale (TIRGAN Fm.) Ksh : Red to gray, medium to thick bedded sandy spartic to micritic limestone with sandstone (SHURJIEH Fm.)
	Ksh	

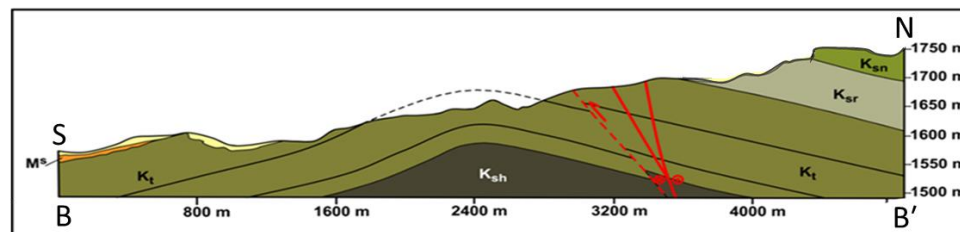
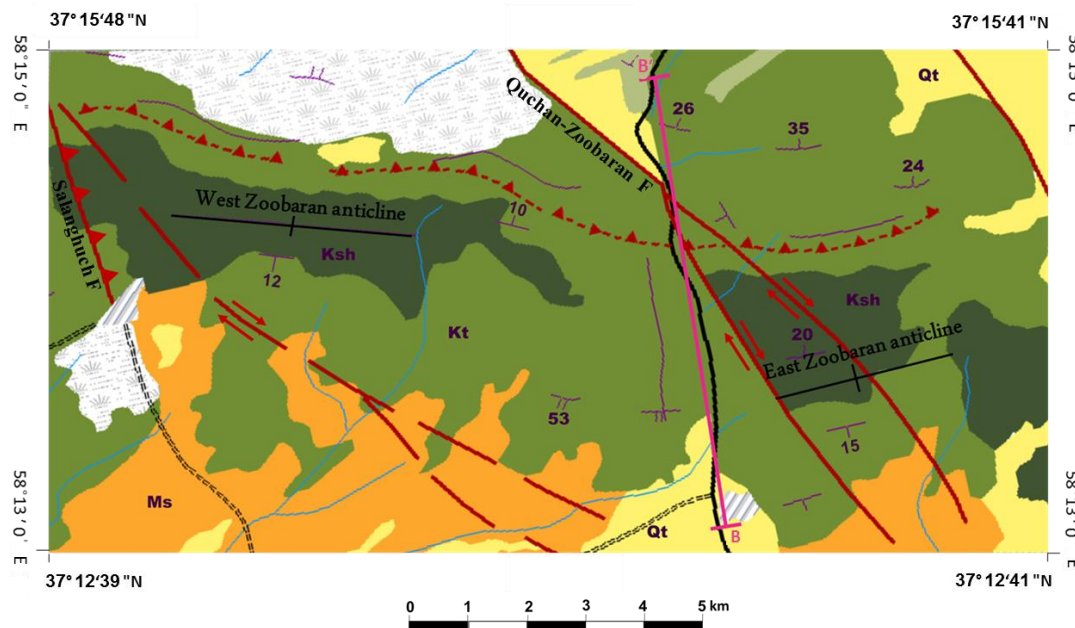
Symbols

	Strike slip fault
	Thrust fault
	Inferred thrust fault
	Inferred fault
	Anticline axial trace
	Structural section
	Asphalted road
	Non asphalted road
	River
	Cultivated area

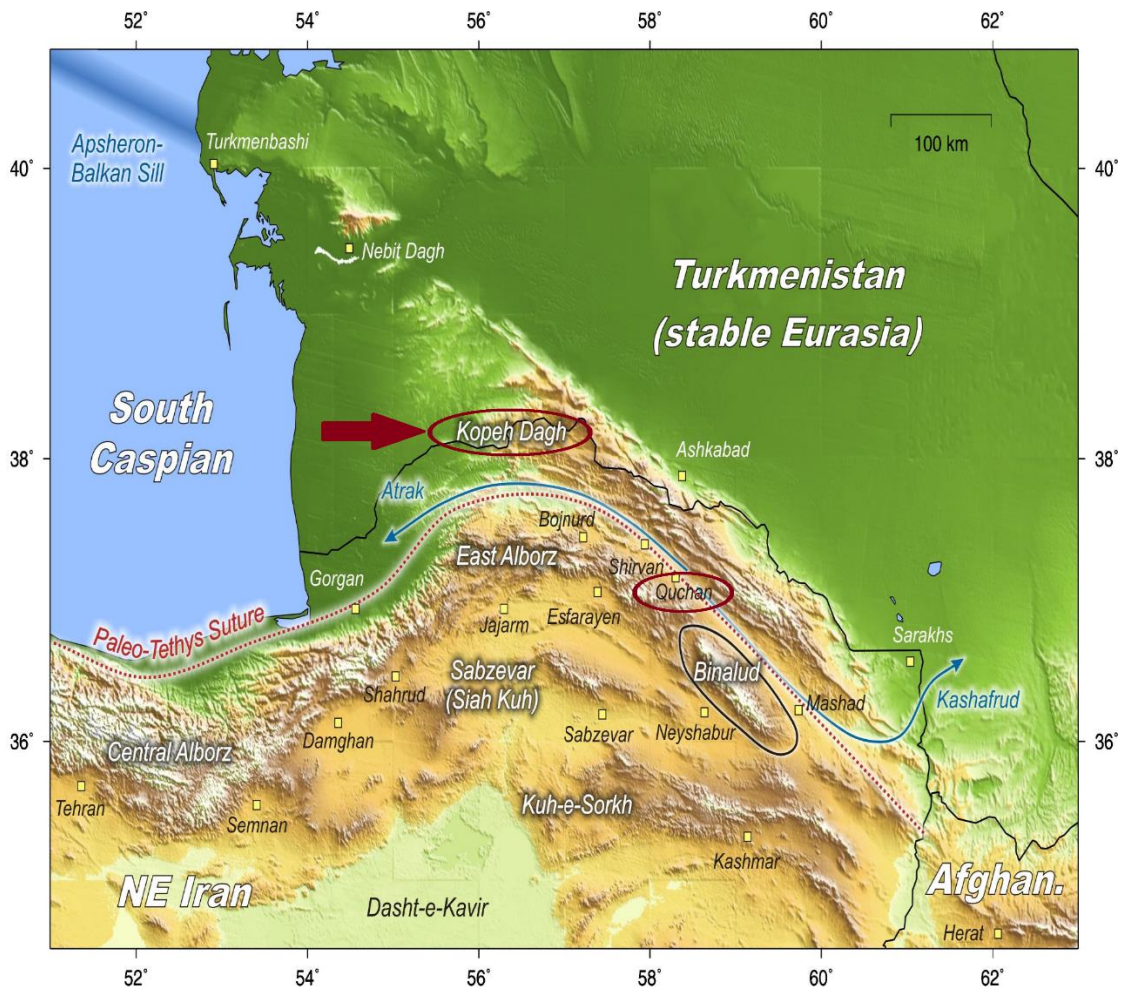
Dips

	1°-29°	Estimated
	30°-59°	
	60°-89°	Measured dip
	64°	

Geological Map of North Quchan



شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، با تغییرات از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فاروج (نادری میقان، ۱۳۸۵) و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قوچان (قائمی، ۱۳۸۳) به همراه مقطع تهیه شده از تاقدیس زو باران غربی.



شکل ۲-۲- نقشه توپوگرافی از حوضه‌ی کپه‌داغ و محدوده‌ی شمال شرق ایران (Hollingsworth, 2007).

۲-۲- چینه‌شناسی

بر اساس آنچه که در ورقه‌های زمین‌شناسی قوچان (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) و فاروج (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵) آمده است و همچنین بر اساس مشاهدات صحرایی نگارنده، واحدهای سنگ چینه‌ای درگیر در چین‌خوردگی زوباران سازندهای شوريجه و تیرگان (کرتاسه زیرین) ونهشته‌های نئوژن است. نهشته‌های کواترنری نیز در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات زوباران حضور دارند.

۲-۲-۱- سازند شوريجه

نام این سازند از دهکده شوريجه در انتهای شرقی کپه‌داغ گرفته شده است (افشار حرب، ۱۳۸۰). این سازند از شیل و رس سنگ به رنگ قهوه‌ای قرمز مایل به خاکستری، لایه‌های نازک آهک ماسه‌ای الییتی

و گچ تشکیل شده است. ستبرای آن در خاور و شمال خاور قوچان به حدود ۵۶۰ متر می‌رسد. مرز زیرین سازند شوربجه با سازند مزدوران در شمال و خاور قوچان به گونه تند و مرز بالایی آن با سازند تیرگان به طور کامل تدریجی است (قائمی، ۱۳۸۳). وجود رخساره‌های شیل و سنگ ماسه به همراه رخساره‌های کربناته، نشانگر رسوبگذاری این مجموعه در محیط دریایی کم ژرفای مردابی است. در منطقه‌ی مورد مطالعه، گسترش این واحد در هسته تاقدیس زوباران، در بخش‌هایی از ترانشه قوچان- باجگیران در زیر لایه‌های سازند تیرگان و در قسمت‌های جنوبی‌تر در محدوده‌های فرسایش یافته رودخانه‌ها و دره‌ها برونزد دارد (شکل ۲-۳). بر پایه‌ی شواهد چینه‌نگاری و سنگواره‌های یافت شده، شوربجه را به سن کیمریجین_نئوکومین (ژوراسیک بالایی_کرتاسه پایینی) می‌دانند. این سازند اغلب از رسوب‌های قاره‌ای-مردابی تشکیل شده ولی زبانه‌هایی از رسوب‌های دریایی حاوی سنگواره دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). شکل ۲-۴ تصویری از فسیل‌های دریایی موجود در این سازند را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۲-۲-۲- سازند آهکی تیرگان

سازند تیرگان در مقطع تیپ از سنگ آهک‌های ستبر لایه تا توده‌ای الییتی و زیست‌آواری با میان‌لایه‌های ناچیزی از سنگ‌آهک‌های مارنی، مارن و شیل آهکی است. ستبرای زیاد لایه‌ها و به ویژه تراکم و سختی سنگ‌آهک‌ها سبب شده تا این سازند از واحدهای چهره‌ساز بین ردیف‌های آواری سُرخ‌رنگ سازند شوربجه و نهشته‌های شیلی - مارنی سرچشمه باشد. به همین دلیل یکی از واحدهای فیزیوگرافیک کپه‌داغ را می‌سازد. اربیتولین شاخص‌ترین سنگواره‌ی سازند تیرگان است که اغلب هسته‌ی الییت‌های آهکی را تشکیل می‌دهد و اصلی‌ترین مشخصه در تشخیص این سازند می‌باشد. با توجه به وجود رخساره‌ی الییتی فراوان و سیمان آهک اسپاری در سنگ کربناته این سازند و همچنین وجود سنگواره‌های فراوان، محیط رسوبگذاری آن، محیط کم ژرفا و پر انرژی دریایی بوده است. بر پایه‌ی سنگواره‌های موجود، سن سازند تیرگان نئوکومین (بارمین) تا آپتین است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در محدوده مورد مطالعه، بیشترین گسترش سطحی مربوط به این واحد است و به تناوب در همه منطقه دیده می‌شود. بخش زیرین سازند تیرگان، گذری تدریجی از سازند شوربجه به تیرگان را در ناحیه مشخص می‌سازد. قسمت زیرین سازند در منطقه شامل تناوبی از آهک آلیتی بیوکلستی و اینتراکلستی ضخیم تا متوسط لایه، واجد فسیل شاخص اوربیتولین می‌باشد. ستبرای این سازند در محدوده‌ی مورد مطالعه بسیار زیاد بوده (شکل ۲-۵) و در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی به حدود ۷۰۰ متر می‌رسد (نادری میقان، ۱۳۸۴). همچنین تصویری از فسیل‌های شاخص در این سازند و مقطع میکروسکوپی تهیه شده از آن، قابل مشاهده است (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۳- رخنمونی از سازند شوربجه در ترانشه جاده قوچان-باجگیران (دید به سمت شرق).



شکل ۲-۴- تصویری از فسیل‌های دریایی موجود در سازند شوربجه.



شکل ۲-۵- نمایی از رخنمون آهک‌های تیرگان در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی (دید به شمال غرب).



شکل ۶-۲- الف: نمایی از فسیل‌های اُربیتولین و اَلیت در سازند تیرگان، ب: مقطع میکروسکوپی تهیه شده از آن.

۳-۲-۲- سنگ‌های نئوژن

این مجموعه چینه‌ای شامل سنگ سیلت و مارن به همراه میان‌لایه‌هایی از سنگ ماسه و کنگلومرا است که به رنگ قرمز روشن برونزد دارند. تعیین ستبرای دقیق این واحد به دلیل فرسایش میسر نیست. گسترش بیشتر این واحد در شرق و جنوب منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۲-۷).



شکل ۷-۲- نمایی از سنگ‌های نئوژن (دید به سمت شرق).

۴-۲-۲- نهشته‌های کواترنری

کواترنری یکی از دوره‌های سنوزوئیک است که خود به دو دور (سری) تقسیم می‌شود "پلئستوسن و هولوسن". در طی کواترنری گسترده‌ترین رسوبات پوششی که عمدتاً از تخریب و فرسایش ارتفاعات به

وجود آمده‌اند به وسیله‌ی جریان آب یا باد جا به جا شده و در محیط‌های خشکی، دریاچه‌ای، مردابی و ساحلی ته نشین شدند. در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های کواترنری جوان‌ترین رسوبات موجود را تشکیل می‌دهند که به صورت رسوبات سخت نشده و یا با فشردگی اندک در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه قابل مشاهده هستند. بادبزن‌های آبرفتی در این محدوده قدیمی‌تر از بقیه رسوبات آبرفتی می‌باشند که در اکثر بخش‌های منطقه به ویژه بخش‌های جنوبی مشاهده می‌شود. رسوبات آبرفتی دشت‌ها به طور معمول زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند و ریزدانه و تقریباً فاقد سیمان می‌باشند. این رسوبات در حد فاصل قوچان تا روستای زوباران (جنوب محدوده مورد مطالعه)، بیشترین پراکندگی را دارند. آبرفت‌های رودخانه‌ای نیز جدیدترین رسوبات آبرفتی منطقه هستند. این واحد شامل نهشته‌های رودخانه‌ای و رسوبات آبراهه‌ها می‌باشد که مجموعه‌ای از قلوه‌سنگ‌های ریز و درشت به هم ناپیوسته را شامل می‌شود و به طور پراکنده در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه مشاهده می‌شوند. شکل ۲-۸- نهشته‌های کواترنری موجود در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸- نهشته‌های کواترنری در منطقه، الف- بادبزن‌های آبرفتی (Alluvium Fan)، ب- رسوبات آبرفتی ریزدانه، ج- رسوبات آبرفتی قدیمی در بستر رودخانه‌ها د- آبرفت‌های رودخانه‌ای.

فصل سوم

تخلیسات ساختاری

ابزار اساسی جهت شناخت دگرریختی‌ها و دستیابی به الگوی دگرشکلی در هر ناحیه، عناصر ساختاری آن ناحیه (چون گسل‌ها، چین‌ها، درزه‌ها) می‌باشد. نیروهای ناشی از حرکات قطعات لیتوسفری در زمان‌های مختلف در بخش‌های مختلف پوسته، موجب ایجاد میدان‌های مختلف تنش گردیده و باعث رخداد دگرریختی در سنگ‌ها می‌شود. بر حسب شرایطی که سنگ‌ها قرار دارند و تنش‌های وارده، دگرریختی‌های مختلفی حاصل می‌شود و در نتیجه ساختارها و یا اشکال ساختمانی مختلفی شکل می‌گیرند. بنابراین، بررسی ساختارها و سیمای زمین، نحوه دگرریختی و تنش‌های وارده را نمایان می‌سازد.

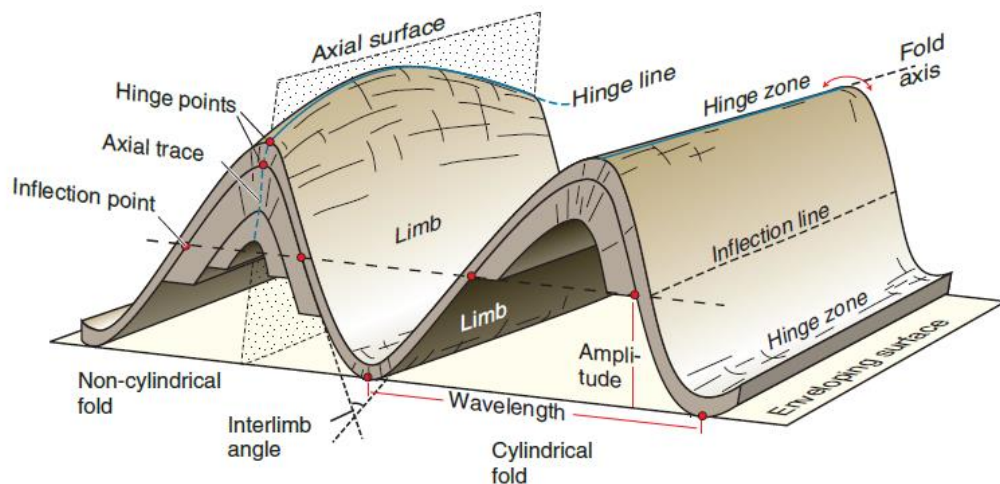
در محدوده‌ی کپه‌داغ خاوری گسل‌های طولی و عرضی، درزه‌ها و چین‌خوردگی واحدهای سنگی کرتاسه از مهم‌ترین عناصر ساختاری موجود هستند. امتداد کلی چین‌های موجود در بخش خاوری کپه‌داغ دارای روند شمال باختری-جنوب خاوری می‌باشد که شامل یک توالی ضخیم از رسوبات ژوراسیک تا میوسن است (Berberian and King, 1981). چین مورد بحث در محدوده مورد مطالعه تاقدیس زوباران است که در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ فاروج به اعتبار مجاورت با روستای زوباران بدین نام معرفی شده است. در بخش شمالی و باختری تاقدیس، به ترتیب یک گسل راندگی هم‌روند با تاقدیس و یک گسل امتدادلغز با راستای تقریبی شمال باختری-جنوب خاوری دیده می‌شود. در بخش خاوری تاقدیس نیز دو خط گسل امتداد لغز با روند تقریبی شمال باختری-جنوب خاوری قرار دارد.

آنچه که در این فصل، مورد توجه نگارنده قرار گرفته است در درجه اول تحلیل تفصیلی چین‌خوردگی و گسلش است. مطالعه‌ی شکستگی‌های فراوان بر روی واحدهای سنگی مختلف گام دیگری از این پژوهش است که دستاورد آن شناسایی الگوی شکستگی‌ها در سازندهای مختلف و تعیین ارتباط منشأ آن با پدیده چین‌خوردگی و یا گسل‌های طولی و عرضی منطقه می‌باشد. نقشه ساختاری ترسیم شده از منطقه مطالعاتی در شکل ۳-۷۵ عوارض ساختاری موجود در منطقه را نمایش می‌دهد.

۳-۱- چین‌خوردگی

چین ایجاد انحنای در سنگ‌هاست که به دلیل دگرشکلی و خمیدگی سنگ‌ها ایجاد می‌گردد و در واقع

چین خوردگی و کوتاه شدگی از اولین پیامدهای تنش فشارشی است. پیامدی که آثار آن در راستایی عمود بر تنش بیشینه‌ی حاکم نمود پیدا می‌کند. می‌توان چین‌ها را به عنوان فراوان‌ترین ساختار تکتونیکی رایج در سنگ‌های دگرشکل شده نام برد. به طور کلی چین‌ها از دگرریختی نرم یا ترد سطوح مستوی سنگ‌ها و تبدیل آن‌ها به سطح‌های خمیده پدید می‌آید (قاسمی، ۱۳۸۷). این پدیده بیشتر در طبقات رسوبی، سنگ‌های آذرین و دگرگونی لایه لایه قابل مشاهده است. شکل ۳-۱ اجزاء هندسی و سیمای مختلف را در چین نشان می‌دهد.

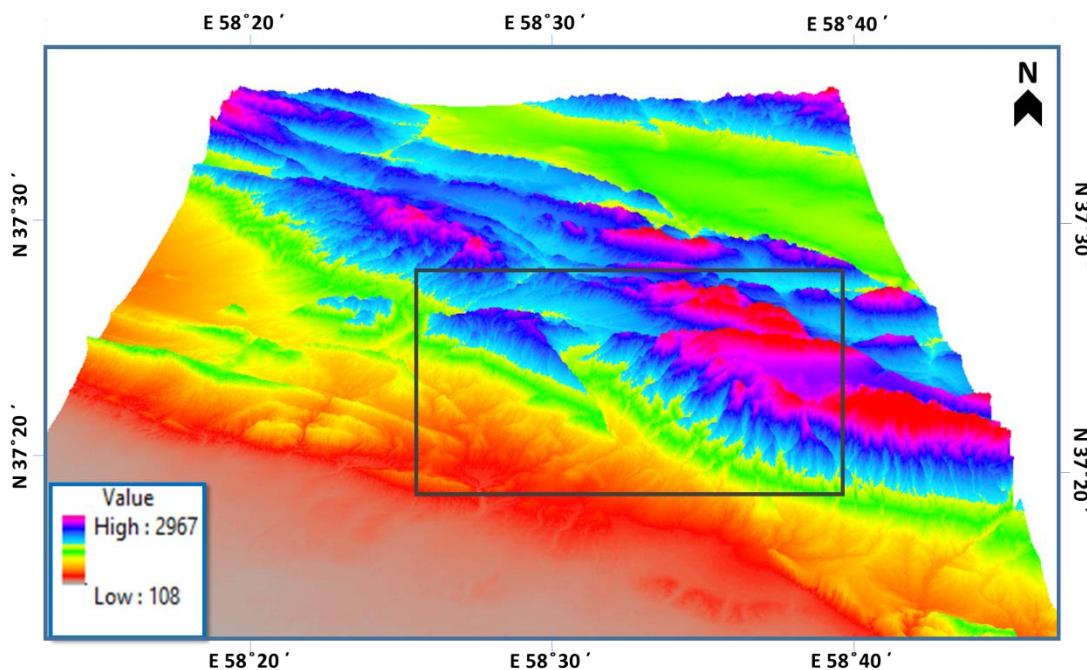


شکل ۳-۱- نمایش عناصر هندسی چین (Fossen, 2010).

در بسیاری از گزارش‌های زمین‌شناسی الگوی چین خوردگی کپه‌داغ با پهنه زاگرس مقایسه شده است چرا که بیشتر چین‌ها نامتقارن، ممتد و کم و بیش با یکدیگر موازی هستند و در یک روند شمال باختر- جنوب خاور آرایش یافته‌اند.

با استناد به اطلاعات دور سنجی همچون تصاویر ماهواره‌ای که اساساً برگرفته از google earth می‌باشد و همچنین مشاهدات صحرایی نگارنده، چین خوردگی نسبتاً بزرگی به صورت تاقدیس، در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این چین خوردگی در شمال روستای زوباران در دو بخش تاقدیس زوباران غربی و تاقدیس زوباران شرقی قابل مشاهده است که توسط گسل عرضی قوچان-زوباران از هم جدا شده‌اند. شکل ۳-۱۶ تصویر SRTM تهیه شده از منطقه مورد مطالعه و برش‌های توپوگرافی عرضی مربوط به

هر پیمایش در تاقدیس مورد بحث را نشان می‌دهد. مورفولوژی و مدل ارتفاعی چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲-۳ قابل مشاهده است. این شکل که از تصاویر DEM و با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شده است، چین‌خوردگی زوباران را در نگاهی سه بعدی ارائه می‌کند. مرتفع‌ترین قسمت چین‌خوردگی مربوط به سازند تیرگان می‌باشد که نسبت به مناطق اطراف اختلاف ارتفاع ناگهانی ایجاد می‌کند. در ادامه به بررسی دو تاقدیس مذکور به تفصیل بررسی خواهد شد. همچنین نحوه عملکرد گسل عرضی قوچان-زوباران و ویژگی‌های آن در بخش مربوط به گسل‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



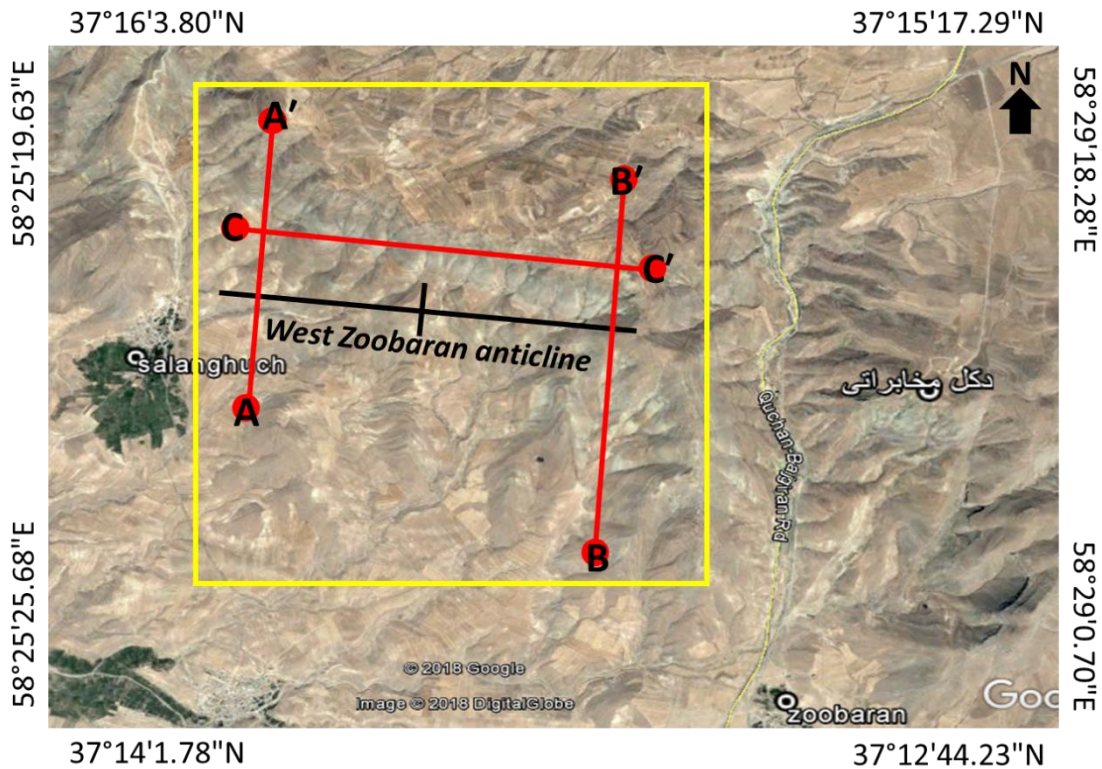
شکل ۲-۳- مدل ارتفاعی از چین مورد نظر (مستطیل سیاه رنگ) با استفاده از تصاویر DEM 30، نمایش داده شده با نرم‌افزار

.GIS (ARCScene)

۱-۱-۳- تاقدیس زوباران غربی

تاقدیس زوباران غربی در شمال قوچان و در مجاورت روستای زوباران با روند تقریبی شرقی-غربی، بخشی از نوار چین‌خورده کپه‌داغ است. بر اساس نقشه‌های موجود و مشاهدات میدانی نگارنده، در این تاقدیس، در بخش هسته سازند شوربجه و در یال‌های طرفین واحد آهکی تیرگان به سن کرتاسه رخنمون دارند. این تاقدیس با طول تقریبی ۵ کیلومتر، از شمال روستای سالانقوچ تا شمال غرب روستای زوباران رخنمون دارد (شکل ۳-۳). ستبرای زیاد لایه‌ها و به ویژه تراکم و سختی سنگ‌آهک

سازند تیرگان، سبب شده تا این سازند از واحدهای چهره‌ساز منطقه مورد مطالعه باشد. بیشترین رخنمون سطحی در منطقه مربوط به این واحد است (شکل ۳-۴) به طوریکه ستبرای آن در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی به حدود ۷۰۰ متر می‌رسد (نادری میقان و همکاران، ۱۳۸۵). در ادامه نمایی کلی از تاقدیس زوباران غربی در شکل ۳-۶ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۳- تصویر ماهواره‌ای از تاقدیس زوباران غربی (کادر زرد رنگ) و محل سه پیمایش انجام شده بر روی این تاقدیس (خطوط قرمز رنگ).



شکل ۳-۴- نمایی از رخنمون آهک‌های تیرگان در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی (دید به سمت شرق).

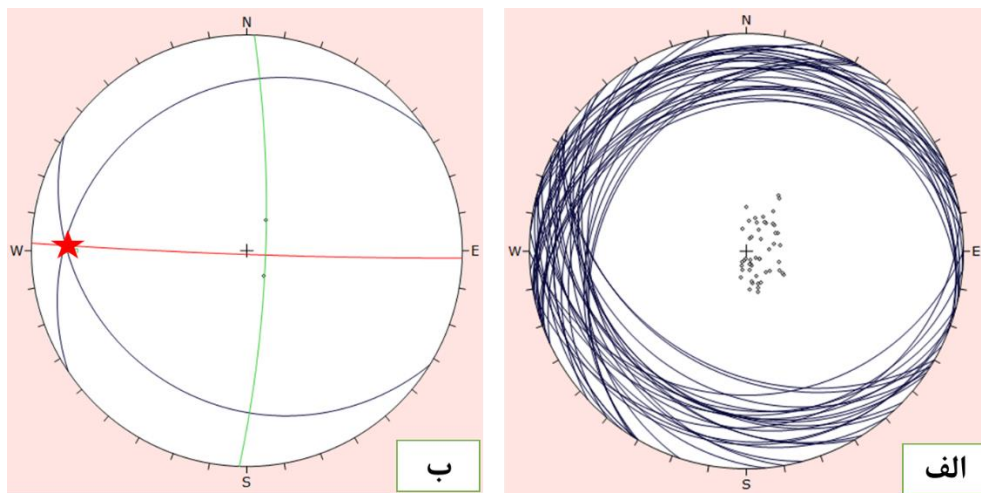
الف- توصیف هندسی تاقدیس زوباران غربی

به منظور شناسایی و دستیابی به هندسه این تاقدیس در منطقه‌ی مورد مطالعه، ۳ پیمایش انجام شد که این پیمایش‌ها شامل یک پیمایش طولی (C-C') به موازات اثر سطح محوری بر روی یال شمالی تاقدیس و دو پیمایش A-A' و B-B' به صورت عرضی عمود بر روند تاقدیس می‌باشد (شکل ۳-۳). پیمایش طولی C-C' بر روی یال شمالی تاقدیس زوباران غربی صرفاً جهت تکمیل و تأیید هندسه‌ی چین و همچنین به منظور برداشت‌های مربوط به شکستگی صورت گرفت که در بخش مربوط به شکستگی‌ها به آن پرداخته خواهد شد. موقعیت سطح لایه‌بندی با روش شیبی در هر ایستگاه برداشت شد (برداشت‌ها در پیوست آمده است). در نهایت نیز با استفاده از داده‌های برداشت شده در پیمایش‌ها و با کمک نرم‌افزارهای استریوگرافیک، خصوصیات هندسی چین از قبیل موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه‌ی بین یالی مشخص شد. میانگین یال شمالی ۱۰/۳۲۳ و یال جنوبی ۱۲/۲۲۷ به دست آمد. همچنین بر اساس برداشت‌های صحرائی این تاقدیس بر اساس زاویه بین یالی یک چین ملایم دارای موقعیت محور ۷/۲۷۵ و سطح محوری ۸۸/۱۸۵ می‌باشد که از لحاظ میزان میل محور و شیب سطح محوری طبق رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) در رده چین‌های ایستاده با لولای افقی قرار می‌گیرد. در ادامه به

توضیحاتی از روند دستیابی به این مشخصات می‌پردازیم. قابل ذکر است که مشخصات چین برداشت شده با استفاده از نرم افزارهای Dips و Georient و Stereonet مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

الف_۱_ پیمایش A-A'

این پیمایش به صورت عرضی صورت گرفته و حدود ۲ کیلومتر طول دارد. مختصات ابتدای آن ($37^{\circ} E$) و $58^{\circ} 25' N$ و $58^{\circ} 26' 17/55^{\circ} E$ و انتهای آن ($37^{\circ} 15' 36/30^{\circ} N$) است. راه دسترسی به ابتدای پیمایش، جاده خاکی موجود در شمال روستای سالانقوچ می‌باشد. مشخصات میانگین یال شمالی تاقدیس زوباران غربی در این پیمایش $16/326$ و یال جنوبی $19/212$ برآورد شد. اطلاعات مربوط به لایه‌بندی در یال‌های شمالی و جنوبی به منظور دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۵). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش $10/272$ و موقعیت سطح محوری $88/181$ اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۵- الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای پیمایش A-A'، ب) میانگین یال‌های تاقدیس (محورهای آبی رنگ)، موقعیت سطح محوری (محور قرمز رنگ) و لولای چین.

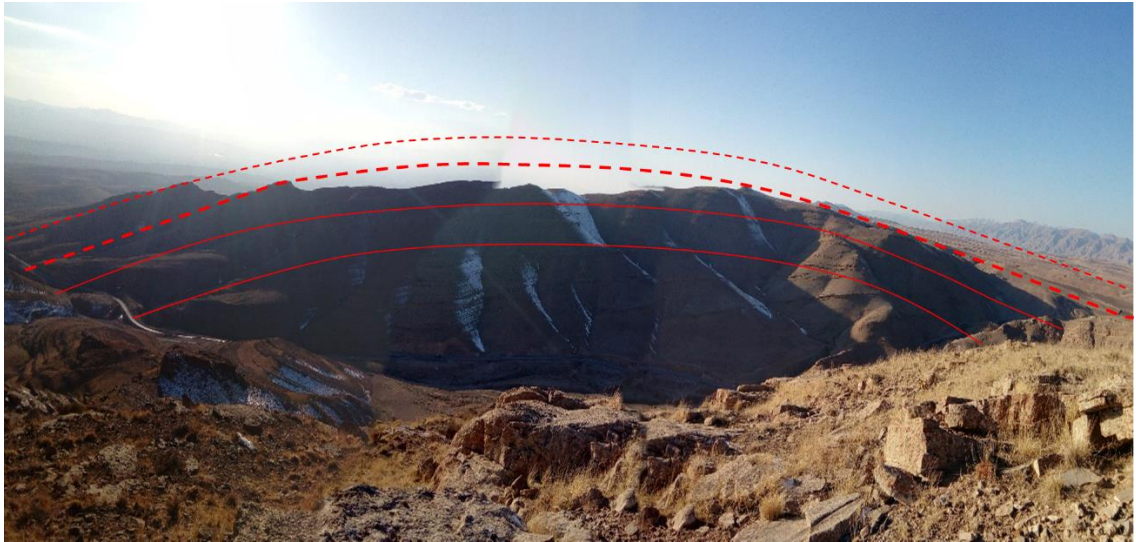
جدول ۱-۳- خصوصیات هندسی پیمایش A-A'

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال (درجه)
A-A'	۱۶/۳۲۶	۱۹/۲۱۲	۸۸/۱۸۱	۱۰/۲۷۲	۱۵۱

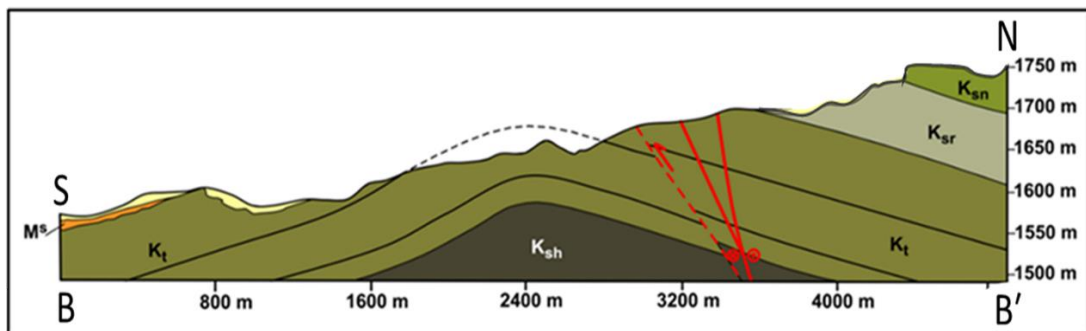
الف_۲_ پیمایش B-B'

این پیمایش به موازات جاده قوچان- باجگیران و به صورت عرضی بر روی تاقدیس زوباران غربی، به طول تقریبی ۳ کیلومتر صورت گرفت. مختصات ابتدای این پیمایش ($58^{\circ} 28' 04'' E$ و $54'' N$) و مختصات انتهای آن ($58^{\circ} 28' 22'' E$ و $13' 37'' N$) می باشد. در این پیمایش مقطع کاملی از تاقدیس قابل مشاهده و برداشت است (شکل ۳-۶). بنابراین، به منظور تفسیر و بررسی ساختار در تاقدیس زوباران یک برش عرضی ساختاری در این پیمایش از این تاقدیس ترسیم شد (شکل ۳-۷). این برش عرضی برای بررسی تغییرات هندسی ساختار تاقدیس زوباران غربی و پیش‌بینی هندسه آن، در بخش‌های عمیق‌تر این تاقدیس و تعیین سبک چین‌خوردگی تاقدیس مورد استفاده قرار گرفته است. این برش عرضی با طول تقریبی ۵ کیلومتر، و روند شمالی-جنوبی، تقریباً عمود بر امتداد عمومی لایه‌ها، و همچنین محور چین، رسم شده است. در رسم این برش عرضی، به اطلاعاتی از قبیل مشاهدات صحرایی و داده‌های برداشت شده از نقشه زمین‌شناسی فاروج با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵) مراجعه شده که در نتیجه رسم بهترین برش بر اساس شواهد زمین‌ساختی حاکم بر منطقه مطالعاتی را موجب شده است.

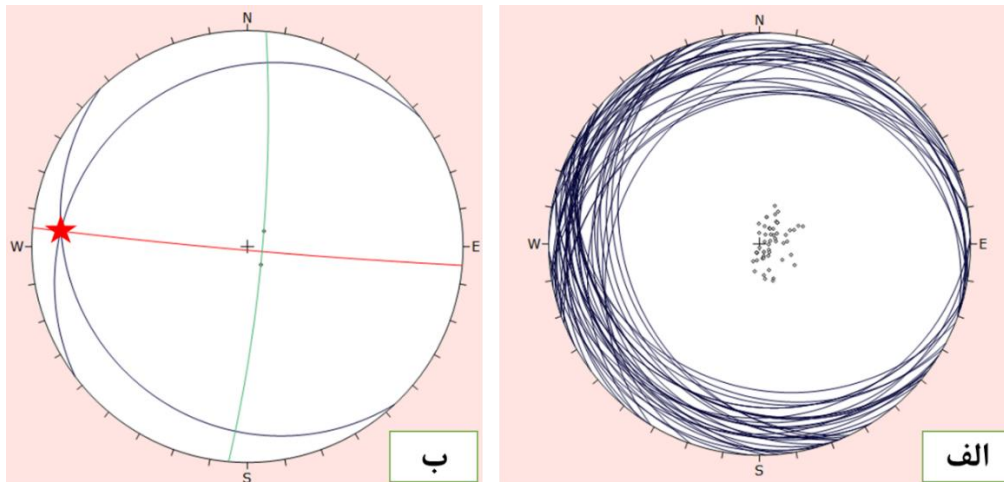
استریوگرام‌های مربوط به داده‌های این پیمایش در شکل ۳-۸ مشاهده می‌شود. بر اساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این پیمایش، مشخصات میانگین یال شمالی تاقدیس زوباران غربی در این پیمایش ۱۰/۳۲۳ و یال جنوبی ۱۲/۲۲۷ برآورد شد. همچنین خط لولای این چین دارای موقعیت ۷/۲۷۵ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۸/۱۸۵ می باشد (جدول ۳-۲).



شکل ۳-۶- نمایی کلی از تاقدیس زوباران غربی در پیمایش B-B' (دید به سمت غرب).



شکل ۳-۷- نیمرخ زمین‌شناسی تهیه شده برای تاقدیس زوباران غربی در پیمایش B-B'. موقعیت این برش در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



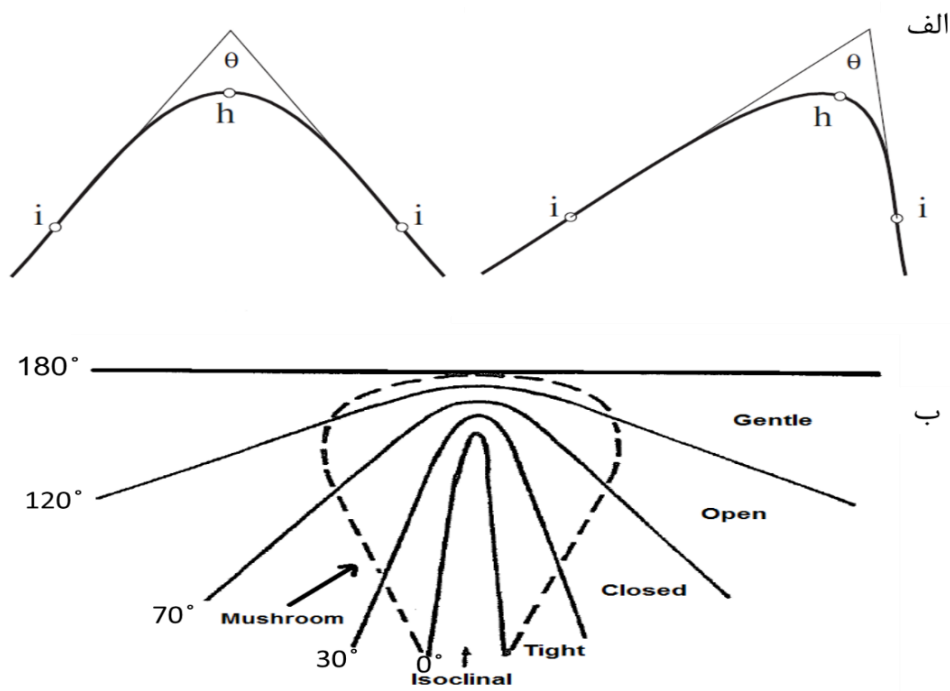
شکل ۳-۸- الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای پیمایش B-B'، ب) میانگین یال‌های تاکدیس (محورهای آبی رنگ)، موقعیت سطح محوری (محور قرمز رنگ) و لولای چین.

جدول ۳-۲- خصوصیات هندسی پیمایش B-B'

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
B-B'	۱۰/۳۲۳	۱۲/۲۲۷	۸۸/۱۸۵	۷/۲۷۵	۱۶۱

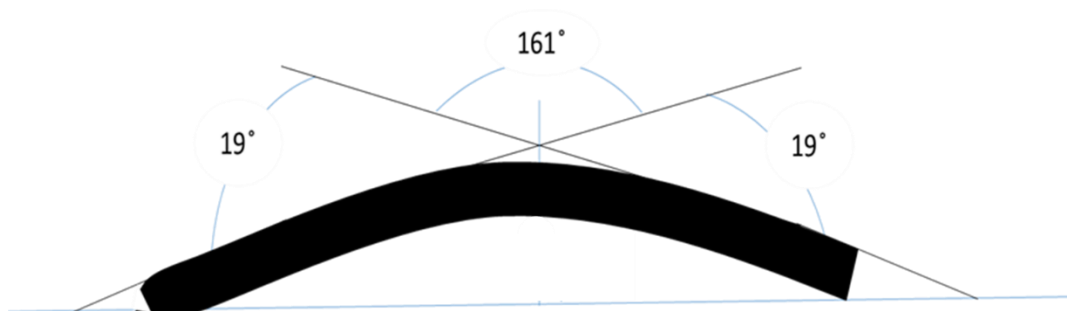
ب- فشردگی چین

فشردگی یک چین عبارت است از اندازه زاویه بین یال‌های چین (زاویه θ) که در شکل ۳-۹ الف مشخص شده است. زاویه θ ، زاویه بین صفحاتی است که در خطوط عطف بر سطح چین خورده مماس است (Marshak and Mitra, 1988). در واقع یک مشخصه مهم از شکل چین، زاویه بین‌یالی θ است که به عنوان زاویه حداقل بین یال‌هایی که در صفحه پروفیل اندازه‌گیری شده‌اند، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان این مؤلفه را زاویه بین خطوط مماس بر پروفیل چین در نقاط عطف بیان کرد. اصطلاحات اصلی مورد استفاده برای توصیف فشردگی و همچنین موقعیت تاکدیس زوباران غربی در این طبقه‌بندی، در جدول ۳-۳ (اقتباس از فلوتی، ۱۹۶۴) و در شکل ۳-۹ ب ارائه شده است.

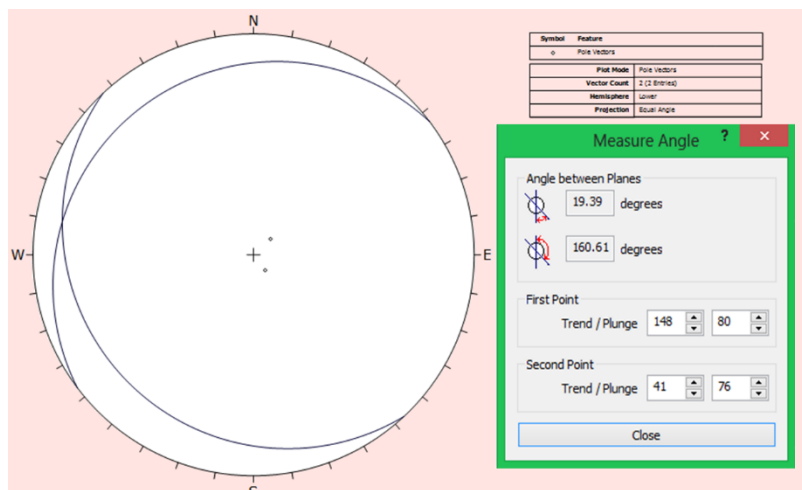


شکل ۳-۹- زاویه بین یالی θ بین صفحات مماس بر سطوح چین خورده در محل خطوط عطف (Ragan, 2009).

زاویه بین یالی برای برش انجام شده از تاقدیس ترسیم شده است. در شکل ۳-۱۰ برش عرضی تاقدیس به همراه زاویه بین دو یال و شیب سطح محوری مشاهده می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که علاوه بر اندازه‌گیری زاویه بین یالی به روش ترسیمی، به روش استریوگرافیک و در محیط نرم‌افزار Dips و در قسمت Measure Angle نیز زاویه بین یالی اندازه‌گیری و صحت کار سنجیده شده است (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۰- مقادیر زاویه بین یالی و سطح محوری در تاقدیس زو باران غربی.



شکل ۳-۱۱- مقادیر زاویه بین یالی در تاقدیس زوباران غربی در روش استریوگرافیک.

جدول ۳-۳- اصطلاحات به کار گرفته شده جهت توصیف فشردگی چین بر اساس زاویه بین یالی (Fleuty, 1964) و موقعیت تاقدیس زوباران غربی در این طبقه‌بندی که با ستاره مشخص شده است.

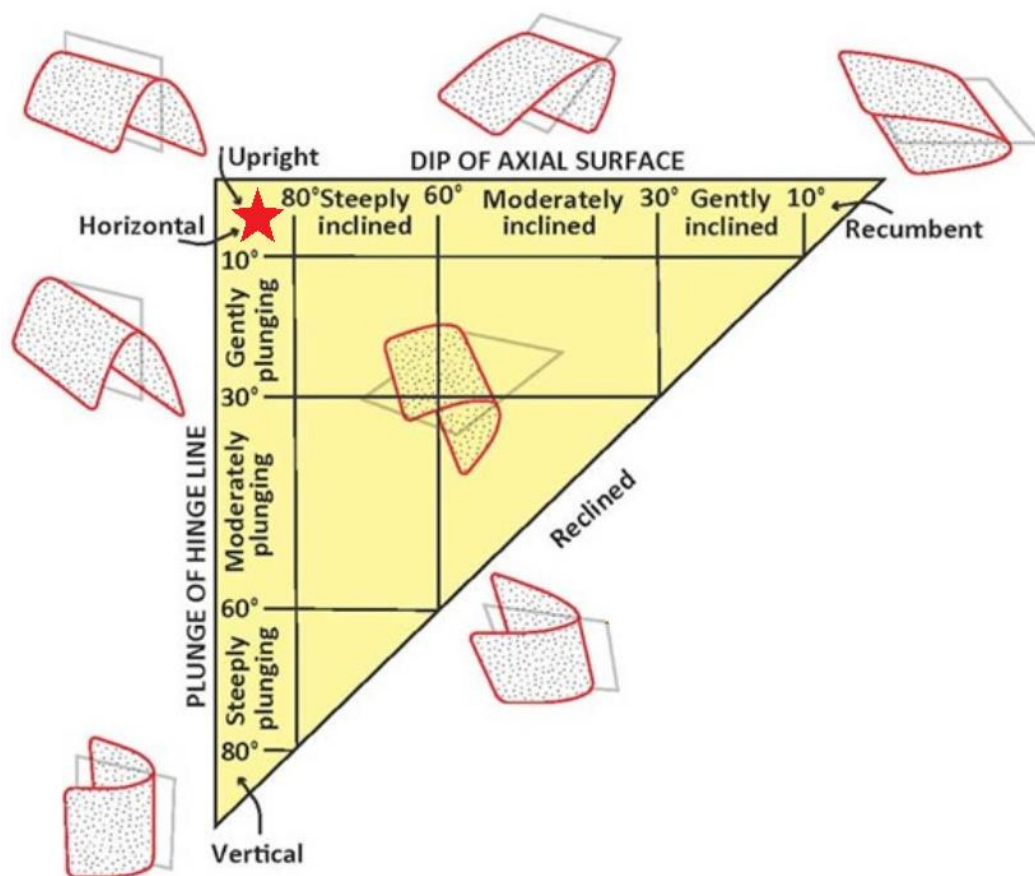
Interlimb angle	Descriptive term
180°–120°	Gentle ★
120°–70°	Open
70°–30°	Close
30°–0°	Tight
0°	Isoclinal
Negative angles	Mushroom

بر اساس زاویه بین یالی به دست آمده برای تاقدیس زوباران غربی که در حدود ۱۶۱ درجه است، این تاقدیس در رده‌ی ملایم (Gentle) و همچنین از نقطه نظر تقارن، این چین در رده‌ی چین‌های متقارن قرار می‌گیرد.

ج- جهت‌گیری چین

به منظور توصیف کمی جهت‌گیری یک چین، باید آن را به بخش‌هایی با خطوط لولای مستقیم و سطوح محوری مستوی تقسیم کنیم. جهت‌گیری چینی با خط لولای مستقیم و سطح محوری مستوی، می‌تواند بر حسب موقعیت خط لولا و صفحه محوری بیان شود (Marshak and Mitra, 1988). بر اساس جهت‌گیری این سیمها چین می‌تواند در یکی از گروه‌هایی که در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است،

قرار گیرد. بر این اساس تاقدیس زوباران غربی با موقعیت محور ۷/۲۷۵ و سطح محوری ۸۸/۱۸۵ در رده بندی فلوتی (۱۹۶۴)، در رده چین‌های ایستاده با لولای افقی (Upright Horizontal) قرار می‌گیرد.

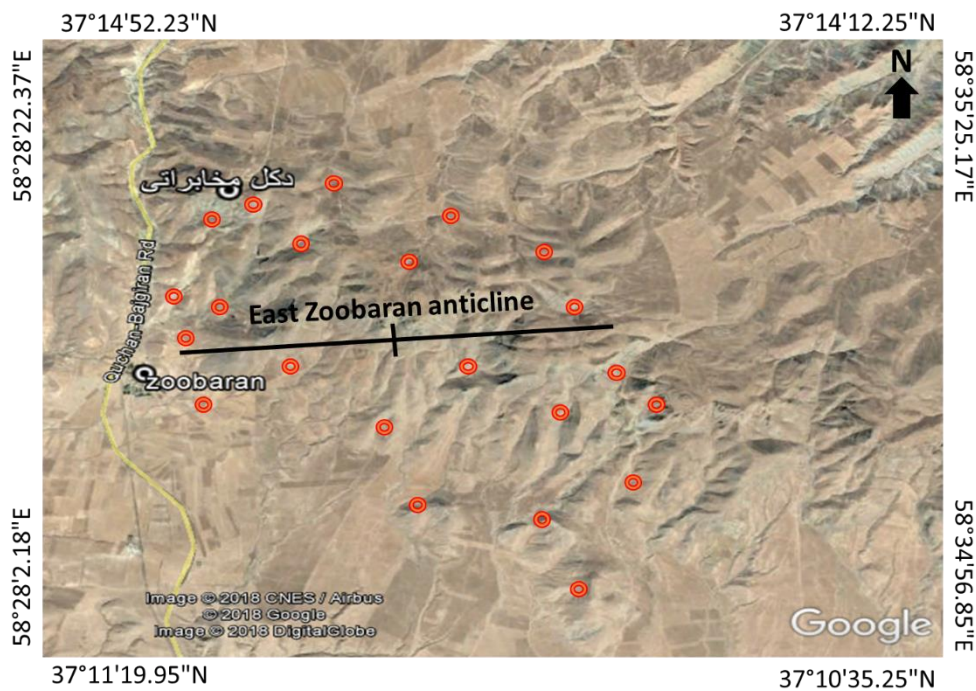


شکل ۳-۱۲- رده‌بندی چین‌ها بر اساس میزان میل محور و شیب سطح محوری (Fleuty, 1964) و جایگاه تاقدیس زوباران در این طبقه‌بندی که با ستاره مشخص شده است.

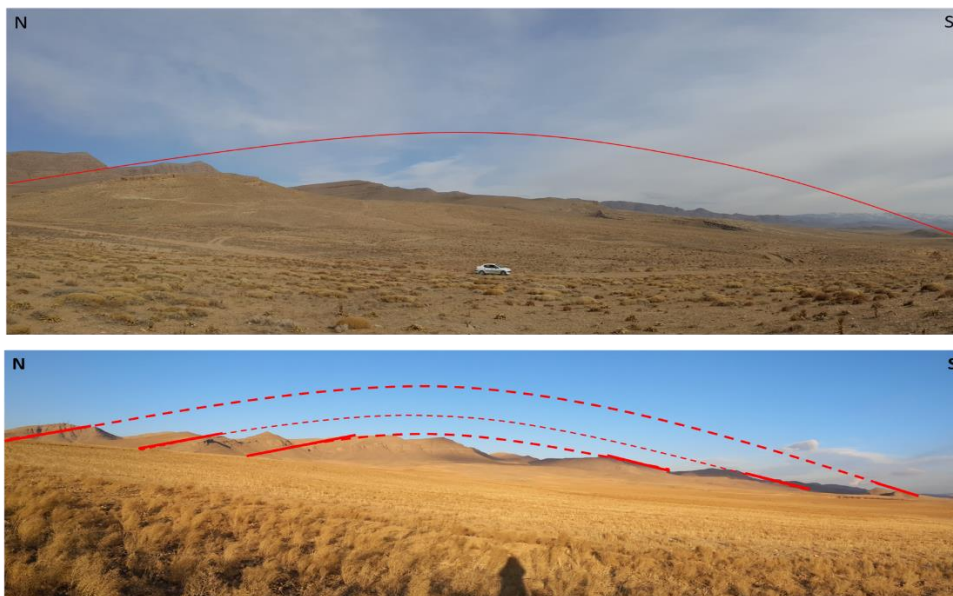
۳-۱-۲- تاقدیس زوباران شرقی

پیمایش‌های صحرائی انجام شده در ادامه‌ی پیمایش‌های پیشین، مستندات را دال بر ادامه دار بودن تاقدیس زوباران در سمت شرقی جاده قوچان-باجگیران و در محدوده‌ی شرقی روستای زوباران ارائه داد. این مستندات در ادامه به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به عدم ثبت این تاقدیس در مطالعات و ارزیابی‌های پیشین این تاقدیس، تاقدیس زوباران شرقی نامیده شد. بر اساس مشاهدات صحرائی نگارنده، این تاقدیس نتیجه‌ی چین خوردگی سازند تیرگان و شوريجه است. تصویر ماهواره‌ای

از تاقدیس و همچنین تصویر صحرایی آن در شکل ۳-۱۳ و شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳- تصویر ماهواره‌ای از تاقدیس زوباران شرقی برگرفته از Google earth pro به همراه موقعیت ایستگاه‌های برداشت که با دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده است.

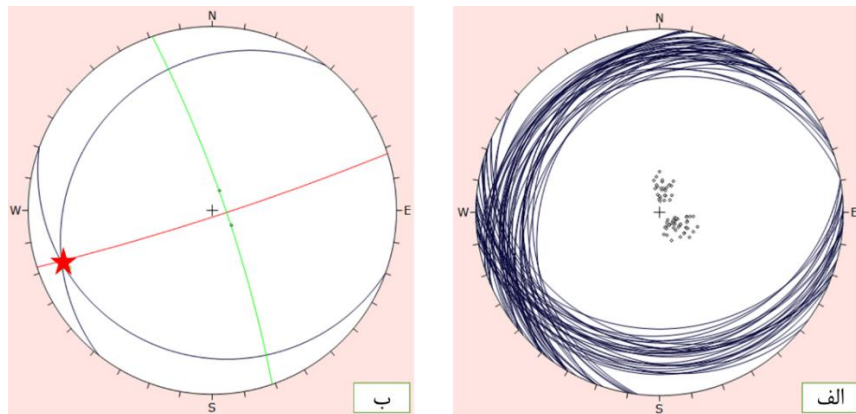


شکل ۳-۱۴- نمایی از تاقدیس زوباران شرقی (دید به سمت شرق).

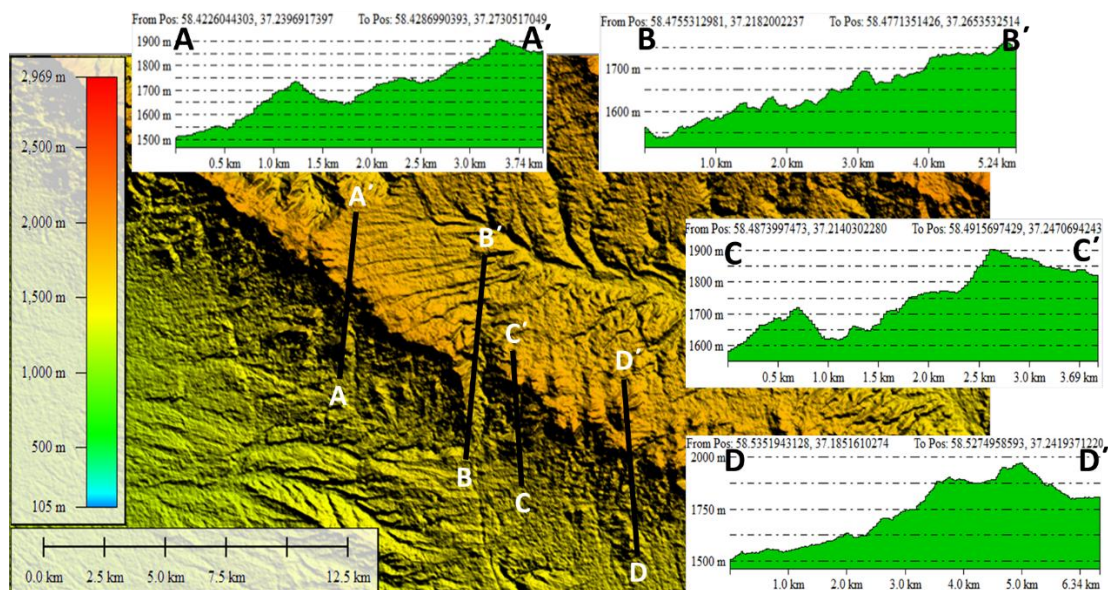
-توصیف هندسی تاقدیس زوباران شرقی

پیمایش‌هایی به منظور شناسایی و دستیابی به هندسه تاقدیس زوباران شرقی انجام شد. پیمایش‌ها در

ابتدا به طور گسترده بر روی یال شمالی در محدوده‌ی دکل مخابراتی با موقعیت $E 15/21'' 29' 58^\circ$ و $N 19/75'' 14' 37^\circ$ و در محدوده‌ی شمال روستای زوباران صورت گرفت. با توجه به فرسایش گسترده در یال جنوبی این تاقدیس، پیمایش‌ها بر روی این یال محدود به چند نقطه‌ی خاص در قسمت‌های باقی مانده شد. از طرفی مقطع کاملی از چین با کمترین فرسایش در محدوده‌ی نزدیک ترانسه جاده قوچان-باجگیران و در حدفاصل بین روستای سالانقوچ و دکل مخابراتی نیز قابل برداشت بود. در نهایت با استفاده از داده‌های برداشت شده در پیمایش‌ها و با کمک نرم‌افزارهای استریوگرافیک، خصوصیات هندسی چین از قبیل موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه‌ی بین یالی مشخص شد. میانگین یال شمالی $15/308$ و یال جنوبی $13/200$ به دست آمد. همچنین بر اساس برداشت‌های صحرائی این تاقدیس بر اساس زاویه بین یالی (157°) یک چین ملایم دارای موقعیت محور $8/252$ و سطح محوری $86/162$ می‌باشد که از لحاظ میزان میل محور و شیب سطح محوری طبق رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) در رده چین‌های ایستاده با لولای افقی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج حاصل شده از ارزیابی چین زوباران شرقی و مقایسه‌ی آن با هندسه‌ی تاقدیس زوباران غربی و دیگر شواهد موجود (گسل قوچان-زوباران) این چین ادامه‌ی تاقدیس زوباران غربی که در نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ فاروج معرفی شده است، در نظر گرفته شد و از نظر هندسی به طور کامل با تاقدیس زوباران غربی مطابقت دارد. شکل ۳-۱۵ استریوگرام‌های مربوط به این چین و عناصر هندسی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۵- الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده در تاقدیس زوباران شرقی (ب) میانگین یال‌های تاقدیس (محورهای آبی رنگ)، موقعیت سطح محوری (محور قرمز رنگ) و لولای چین که با ستاره مشخص شده است.



شکل ۳-۱۶- تصویر SRTM تهیه شده از منطقه مورد مطالعه در نرم افزار Global mapper و برش های توپوگرافی عرضی مربوط به هر پیمایش.

۲-۳- گسل ها

گسل، به نوعی شکستگی در سنگ ها اطلاق می شود که با توجه به مقیاس مطالعه، دو سمت شکستگی نسبت به هم دچار جابجایی و لغزش شده اند. این جابجایی باید به گونه ای باشد که، (۱) کل جابجایی ایجاد شده توسط آن را بتوان با چشم غیر مسلح مشاهده کرد، (۲) عمده این جابجایی به موازات سطح گسل رخ دهد (Hancock, 1988). این عناصر ساختاری در مطالعات زمین شناسی کاربرد ویژه ای دارند. به کارگیری روش های تجزیه و تحلیل داده های این عناصر به محققین زمین شناسی کمک مؤثری در استنباط فرآیندهای حرکتی می نماید. در این بخش گسل های برداشت شده از منطقه مورد پژوهش معرفی شده و ویژگی های هندسی - جنبشی آنها تحلیل گردیده است. در بررسی هندسی گسل ها طول موقعیت شیب و امتداد صفحه گسلی، طول اثر سطحی گسل، عرض پهنه برشی، جنس واحدهای فرادیواره ای و فرودیواره ای و وضعیت محدوده ابتدایی و انتهایی گسل مطالعه می گردند. تحلیل جنبشی مهم ترین بخش در تحلیل گسل ها است. هدف از این تحلیل در نهایت رسیدن به نوع و جهت جابجایی و مشخص کردن سازوکار گسل می باشد. بنابراین، در ابتدا پیش از معرفی گسل های منطقه، به اصول تئوری که در خصوص چگونگی تشخیص سازوکار گسل های منطقه از آنها استفاده شده است، پرداخته

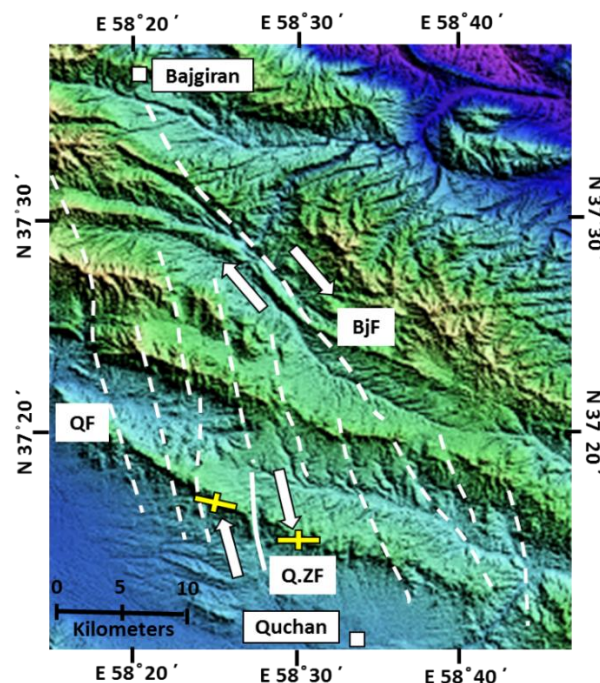
می‌شود. ضرورت پرداختن به این مبحث در آن است که در مکان‌ها و پهنه‌های محدود که روش‌های تشخیص سازوکار گسل‌ها مانند چینه‌نگاری، عناصر ساختاری همچون چین‌های کشیده سطح گسل (Fault drage fold) و ... حضور ندارند، شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل می‌تواند به تشخیص نحوه‌ی حرکت و سازوکار آن‌ها کمک نماید. دابلاس ۱۹۹۸، ۶۱ معیار ریخت‌شناسی سطح گسل را برای تشخیص چگونگی حرکت در سطح گسل معرفی نمود که البته دارای درجه اعتبار متفاوتی هستند (Doblas et al., 1998). انواع متنوعی از این ساختارهای ثانوی همراه با گسل از قبیل پله‌های گسلی، شکستگی‌های ریدل، اشکال هلالی، خراش‌های گسلی، خطواره ناشی از رشد فیبر کانیایی و... در تعیین سازوکار گسل کاربرد دارند. شایان ذکر است که در این پژوهش ابزار اصلی مورد استفاده به منظور تعیین سازوکار گسل‌های منطقه، خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی می‌باشند. پله‌ها معمولاً در مقطعی عمود بر سطح گسل به خوبی قابل مشاهده هستند و یکی از بهترین نشانگرهای جنبشی در گسل‌ها محسوب می‌شوند. در این موارد می‌توان به دقت صفحه‌ی گسلی را اندازه‌گیری و بر روی استریونت پیاده کرد. در مجاورت پله‌ها با اندازه‌گیری موقعیت خطوط لغزشی و پیاده کردن آن روی صفحه گسل (در تصویر استریوگرافیک) نوع حرکت مشخص می‌شود. در این مورد نیز تنها به یک داده اکتفا نشده و معمولاً چندین داده پلات می‌شوند که از آن میانگین گرفته و جهت تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گسل قوچان-زوباران و گسل سالانقوچ، به عنوان بخشی از گسل‌های کپه‌داغ، دو گسل اصلی در محدوده مورد مطالعه هستند که هر دو تقریباً به صورت عرضی و با روند شمال باختر- جنوب خاور محور تاقدیس زوباران را قطع کرده‌اند. در ادامه‌ی این مبحث به بررسی این گسل‌ها که در عکس‌های ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی قابل شناسایی بوده، پرداخته شده است، سپس مشخصات مربوط به هر گسل با استفاده از نرم افزار Win tensor مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سازوکار مربوط به آن‌ها بدست آمد. نتایج حاصله و استریوگرام‌های مربوطه در ادامه‌ی مشخصات هر گسل آمده است. همچنین مقاطعی از گسل‌های قوچان-زوباران و سالانقوچ که برداشت خصوصیات هندسی و جنبشی گسل در آن‌ها صورت گرفته است در شکل ۳-۲۷ قابل مشاهده است. بعلاوه گسل‌های فرعی دیگری نیز در منطقه شناخته

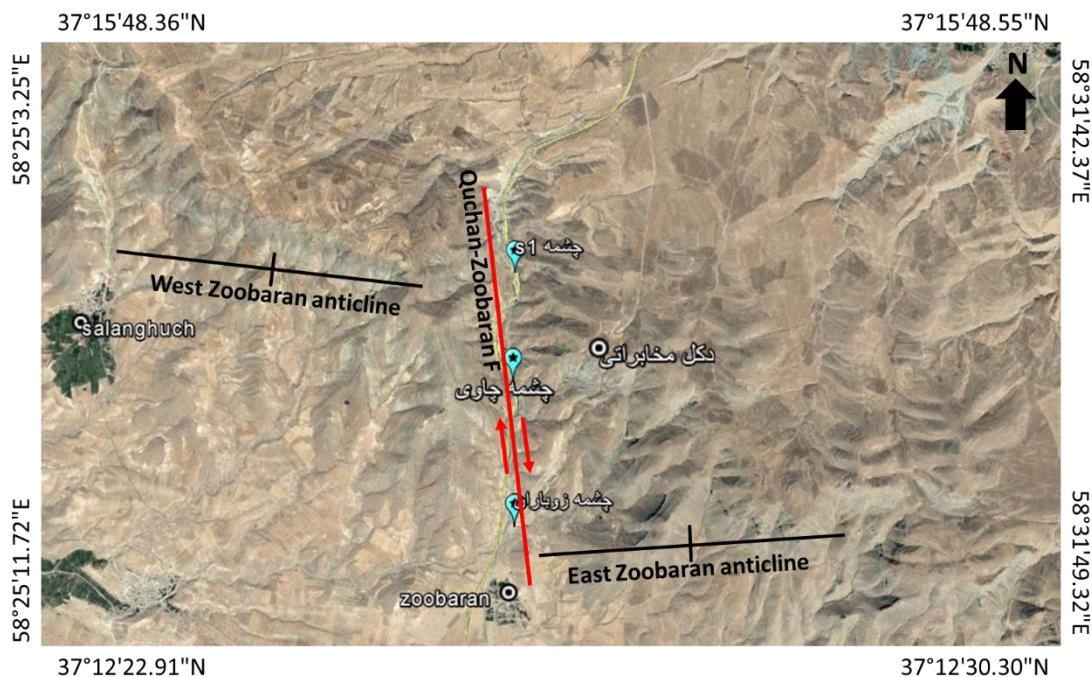
شده است که با بررسی آن‌ها، شناخت بهتری نسبت به الگوی دگرشکلی ناحیه پیدا می‌شود.

۱-۲-۳- گسل قوچان-زوباران

این گسل با روند شمال باختر - جنوب خاور، با طول تقریبی ۵ کیلومتر، اصلی‌ترین گسل در محدوده‌ی مورد مطالعه، شناخته شده است که امتداد آن به موازات جاده‌ی قوچان-باجگیران بوده و همچنین موجب برش عرضی تاقدیس زوباران شده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های صحرائی صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که این گسل تاقدیس زوباران را در حدود ۲ کیلومتر در طرفین جاده به صورت راست‌بر جابه‌جا کرده و این تاقدیس را به دو قسمت تاقدیس زوباران غربی و تاقدیس زوباران شرقی تقسیم کرده است که این امر دلیلی محکم بر حرکت امتدادلغز راست‌بر گسل مذکور می‌باشد. از طرفی تعدادی چشمه نیز در امتداد این دره و در پای همین گسل ظهور پیدا کرده است. شکل ۳-۱۷ و شکل ۳-۱۸ موقعیت گسل قوچان-زوباران و جابجایی راست‌بر تاقدیس زوباران را در تصویر SRTM و تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth نشان می‌دهند.



شکل ۳-۱۷- تصویر توپوگرافی SRTM از گسل قوچان-زوباران (Q.ZF) و نمایش جابه‌جایی راست‌بر تاقدیس زوباران در اثر عملکرد این گسل که با علامت‌های زرد رنگ مشخص شده است.



شکل ۳-۱۸- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth و نمایش گسل قوچان-زوباران و چشمه‌های اطراف آن همراه با جابجایی تاقدیس زوباران در محدوده‌ی روستای زوباران در شمال قوچان.

مهم‌ترین رخنمون عملکرد گسل قوچان-زوباران را در حاشیه جاده اصلی قوچان-باجگیران و در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 14' 59/4'' N$ و $58^{\circ} 28' 38/7'' E$ می‌توان مشاهده کرد (مقطع شماره ۱) (شکل ۳-۲۷). در این محدوده رخنمون سازند شوربجه قابل مشاهده است. شواهدی از آثار خراش‌های گسلی بر روی واحدهای سنگی موجود است. در این محدوده پهنه گسلی با پهنای حدود ۳۰ متر به صورت خرد شده توسط عملکرد این گسل ایجاد شده و قابل رویت می‌باشد. برداشت‌های انجام شده از این منطقه شامل پله‌های گسلی، اشکال هلالی شکل و خش لغز می‌باشد. موقعیت هندسی این صفحه گسل $73/043^{\circ}$ و با توجه به خش‌لغزهای موجود روی آئینه گسل (برداشت شده از فرادیواره)، مقدار ریک اندازه‌گیری شده حدود ۱۰ درجه پاد ساعتگرد می‌باشد. سازوکار گسل با توجه به برداشت‌های صورت گرفته و شواهد ریخت‌شناسی سطح گسل نظیر پله‌های گسلی و خش‌لغزهای موجود، امتداد لغز راستگرد تشخیص داده شد (شکل ۳-۲۰).

شواهد دیگری از تأثیر این گسل در منطقه دیده می‌شود. در بخش باختری جاده قوچان-باجگیران و در حاشیه جاده فرعی منتهی به آن، خردشدگی شدید واحدهای آهکی سازند تیرگان و به هم ریختگی

لايه مشاهده مي‌شود. اين رخنمون در موقعيت جغرافيايي $37^{\circ} 14' 16/25'' N$ و $58^{\circ} 28' 34/01'' E$ قرار دارد (مقطع شماره ۲) (شکل ۳-۲۷). هندسه صفحه گسل در اين مقطع $84/052$ اندازه‌گيري شد. برداشت‌هاي انجام شده در اين مقطع شامل پله‌هاي گسلي و خش لغز مي‌باشد. در اين ناحيه نيز طبق تحليل‌هاي صورت گرفته اين گسل داراي سازوکار امتدادلغز راستگرد مي‌باشد (شکل ۳-۲۱).

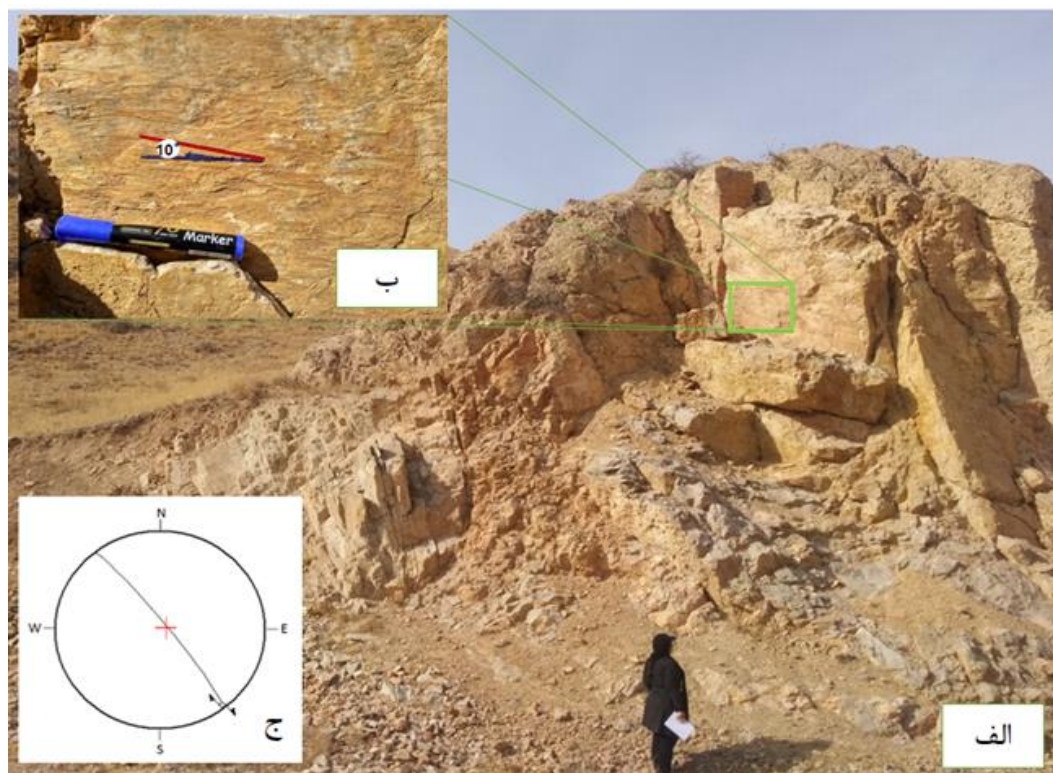
همان طور که در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است، ستاره‌هاي قرمز رنگ مقاطعي از گسل قوچان-زوباران هستند که برداشت از آنها صورت گرفته است. رخنمون گسل در دو مقطع برداشت و همچنين استريوگرام مربوط به آن در هر دو مقطع نيز در شکل ۳-۲۰ و شکل ۳-۲۱ آمده است. همچنين ميانگين برداشت‌هاي انجام شده از مقاطع ۱ و ۲ به طور خلاصه در جدول ۳-۴ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۹- نمایی کلی از گسل قوچان-زوباران که از سازندهای تیرگان و شوربجه به موازات جاده عبور کرده و مقاطع برداشت که با ستاره قرمز رنگ مشخص شده است (دید به سمت شمال).



شکل ۳-۲۰- رخنمون گسل قوچان-زوباران در مقطع ۱، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شمال شرق). ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل با موقعیت ۷۳/۰۴۳ و خش لغزهای روی آن. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می دهد (برداشت از فرادیواره ج) استریوگرام مربوط به گسل.



شکل ۳-۲۱- رخنمون گسل قوچان-زوباران در مقطع ۲، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شمال غرب). ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل با موقعیت ۸۴/۰۵۲ و خش لغزهای روی آن. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می دهد (برداشت از فرادیواره ج) استریوگرام مربوط به گسل.

جدول ۳-۴- میانگین برداشت‌های انجام شده از مقاطع ۱ و ۲ بر روی گسل قوچان-زوباران.

Quchan-Zoobaran Fault						
	Fault plane		Slip line		Rake Angle	Fault mechanism
	Dip	Dip-Dir	Plunge	Azimuth		
1	73	43	10	130	10 Anticlockwise	Right lateral strike slip
2	84	52	8	141	10 Anticlockwise	Right lateral strike slip

۳-۲-۲- گسل سالانقوچ

در شمال روستای سالانقوچ و در بخش باختری تاقدیس زوباران غربی، دره‌ای شکل گرفته و موجب برش عرضی تاقدیس زوباران غربی شده است. پس از مشاهدات صحرایی مشخص شد که این دره بر اثر عملکرد یک گسل معکوس با مؤلفه‌ی امتداد لغز راست بر ایجاد شده است که دقیقاً هم راستا با گسل قوچان-زوباران می‌باشد. در ادامه به تحلیل هندسی این گسل در دو ایستگاه برداشت پرداخته می‌شود. از طرفی دو چشمه نیز در امتداد این دره و در پای همین گسل ظهور پیدا کرده است. موقعیت دره و چشمه‌ها در شکل ۳-۲۲ مشخص شده است. همچنین موقعیت مقاطعی از گسل سالانقوچ که برداشت خصوصیات هندسی و جنبشی گسل در آن‌ها صورت گرفته است در شکل ۳-۲۷ قابل مشاهده است. رخنمون عملکرد این گسل در ایستگاه اول و در ابتدای مسیر دره گسلی ایجاد شده در موقعیت جغرافیایی $58^{\circ} 24' 18'' E$ و $37^{\circ} 14' 23'' N$ قابل برداشت بود (مقطع شماره ۳) (شکل ۳-۲۷). موقعیت هندسی صفحه گسل در این ایستگاه $71/080$ اندازه‌گیری شد. در این محدوده رخنمون سازند تیرگان قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۳). شواهدی از آثار خراش‌های گسلی بر روی واحدهای سنگی موجود است. برداشت‌های صحرایی بر روی ریخت شناسی سطح این گسل از جمله خراش‌های سطح گسل، حاکی از وجود دو دسته خش‌لغز با ریک ۱۶ درجه پادساعتگرد و خش‌لغزهایی با ریک ۴۸ درجه پادساعتگرد می‌باشد (شکل ۳-۲۴). خراش‌های گسلی با ریک ۱۶ درجه پادساعتگرد نشان دهنده‌ی مؤلفه‌ی امتداد لغز برای گسل مورد بحث است. بعلاوه حضور خراش‌هایی با ریک ۴۸ درجه تأیید کننده‌ی معکوس بودن مؤلفه‌ی مورب لغز است. با توجه به شواهد ریخت شناسی سطح گسل مانند خراش‌های

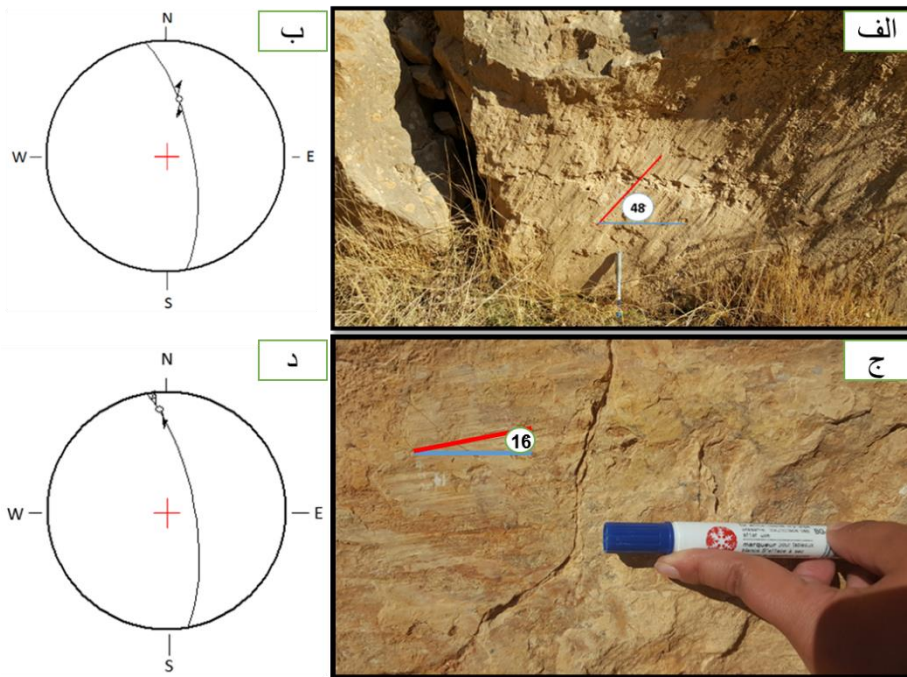
گسلی و پله‌های گسلی می‌توان حرکت امتدادلغز گسل را به صورت راست‌بر تعیین کرد. در نتیجه این گسل دارای سازوکار معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز راست‌بر می‌باشد.



شکل ۳-۲۲- تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth و نمایش دره گسلی سالانقوچ به همراه چشمه‌های مورد نظر در محدوده‌ی روستای سالانقوچ در شمال قوچان.



شکل ۳-۲۳- رخنمون صفحه گسل سالانقوچ در ایستگاه اول (دید به سمت شرق).

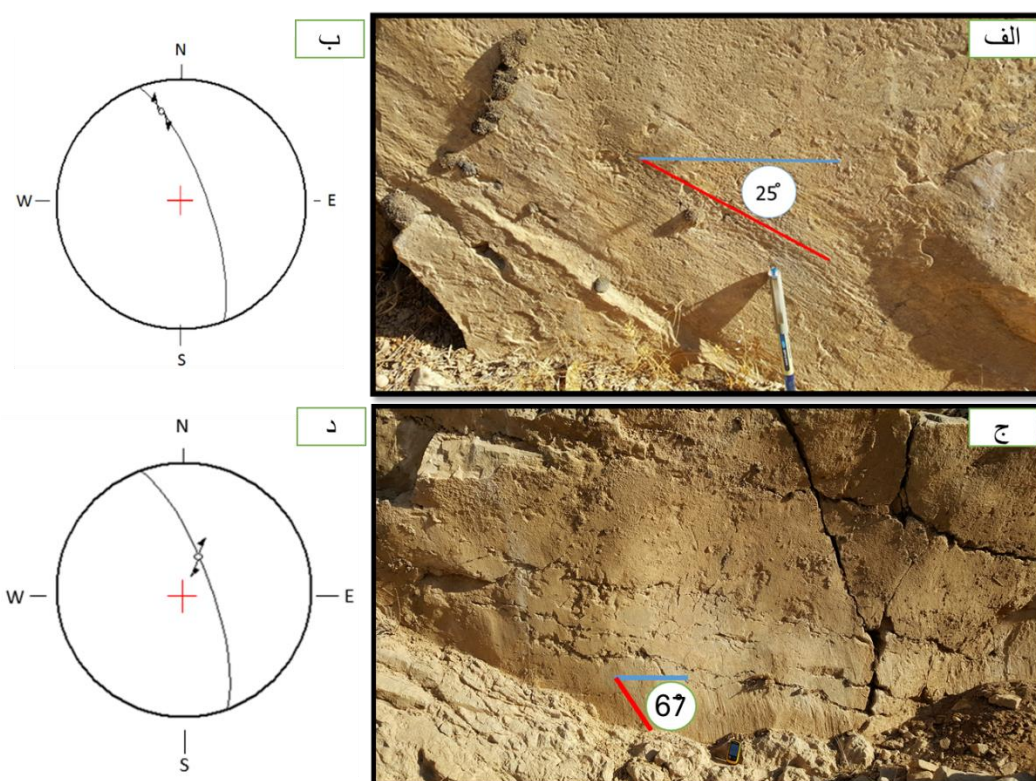


شکل ۳-۲۴- الف: سطح گسلی با خش‌لغزهایی با ریک ۴۸ درجه پادساعتگرد بر روی آهک تیرگان. ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۰۸۰ و خش‌لغز با ریک ۴۸ درجه پادساعتگرد با موقعیت ۴۸/۰۱۳. ج: سطح گسلی با خش‌لغزهایی با ریک ۱۶ درجه پادساعتگرد بر روی آهک تیرگان. د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۱/۰۸۰ و خش‌لغز با ریک ۱۶ درجه پادساعتگرد با موقعیت ۱۶/۳۵۶ (برداشت‌ها از فرادیواره انجام شده است).

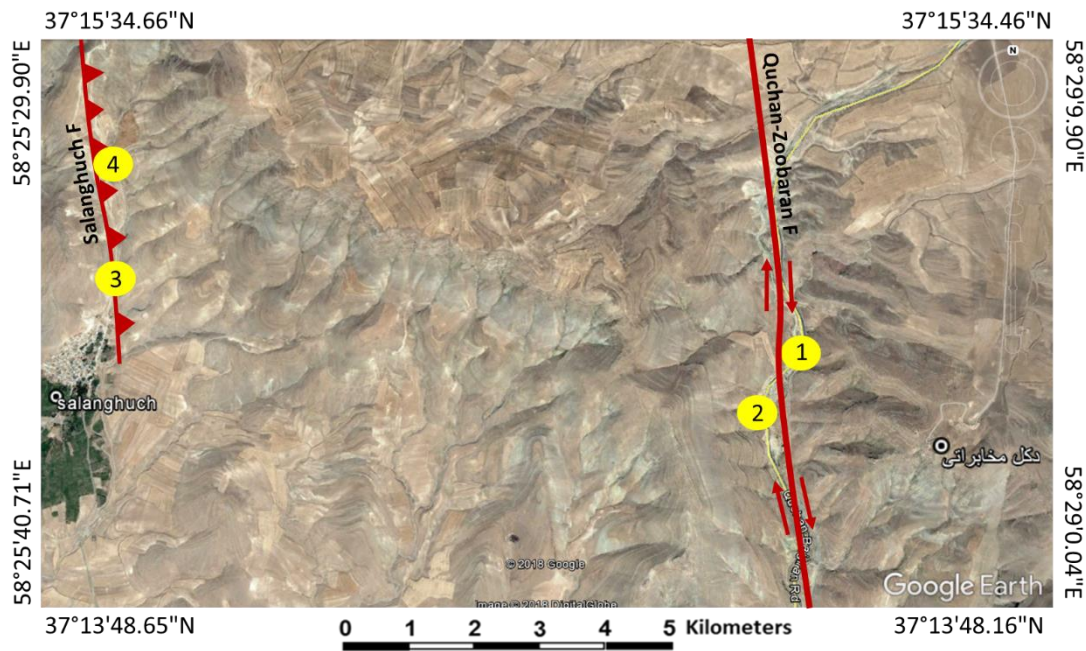
ایستگاه دوم برداشت (مقطع شماره ۴) در نزدیکی همین صفحه گسل و در موقعیتی نزدیک به آن در طول دره گسلی مورد نظر برداشت شد (شکل ۳-۲۷). موقعیت هندسی صفحه گسل در این ایستگاه ۷۳/۰۷۰ اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۲۵). برداشت‌های صحرائی بر روی ریخت‌شناسی سطح این گسل از جمله خراش‌های سطح گسل، حاکی از وجود دو دسته خش‌لغز با ریک ۲۵ درجه ساعتگرد و خش‌لغزهایی با ریک ۶۷ درجه ساعتگرد می‌باشد (شکل ۳-۲۶). خراش‌های گسلی با ریک ۲۵ درجه ساعتگرد نشان‌دهنده‌ی مؤلفه‌ی شیب‌لغز برای گسل مورد بحث است. بعلاوه حضور خراش‌هایی با ریک ۶۷ درجه نیز تأیید‌کننده‌ی مؤلفه‌ی شیب‌لغز است. با توجه به شواهد ریخت‌شناسی سطح گسل مانند خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی، حرکت گسل معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌بر تشخیص داده شد. در نتیجه این گسل از لحاظ سازوکار با برداشت‌های قبلی در این محدوده کاملاً مطابقت دارد. میانگین برداشت‌های انجام شده از مقاطع ۳ و ۴ به طور خلاصه در جدول ۳-۵ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲۵- رخنمون صفحه گسل سالانقوچ در ایستگاه دوم (دید به سمت شمال شرق).



شکل ۳-۲۶- الف: سطح گسلی با خش لغزهایی با ریک ۲۵ درجه ساعتگرد بر روی آهک تیرگان. ب: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۳/۰۷۰ و خش لغز با ریک ۲۵ درجه ساعتگرد با موقعیت ۲۵/۳۴۸. ج: سطح گسلی با خش لغزهایی با ریک ۶۷ درجه ساعتگرد بر روی آهک تیرگان. د: استریوگرام سطح گسل با موقعیت ۷۳/۰۷۰ و خش لغز با ریک ۶۷ درجه ساعتگرد با موقعیت ۶۷/۰۲۳ (برداشتها از فرود یواره انجام شده است).



شکل ۳-۲۷- نمای شماتیک از گسل‌های قوچان-زوباران و سالانقوچ بر روی تصویر گوگل ارث. دایره‌های زرد رنگ مقطع‌هایی از این دو گسل هستند که برداشت از آن‌ها صورت گرفته است.

جدول ۳-۵- میانگین برداشت‌های انجام شده از مقاطع ۳ و ۴ بر روی گسل سالانقوچ.

Salanghuch Fault						
	Fault plane		Slip line		Rake Angle	Fault mechanism
	Dip	Dip-Dir	Plunge	Azimuth		
3	71	080	16	356	16 Anticlockwise	Right lateral strike slip with reverse component
			48	13	48 Anticlockwise	
4	73	070	25	348	25 clockwise	Right lateral strike slip with reverse component
			67	23	67 clockwise	

۳-۲-۳- گسل‌های فرعی منطقه

در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه سطوحی گسلی قابل مشاهده است که دارای طول کم و میزان جابجایی اندک می‌باشند و در رده گسل‌های فرعی معرفی می‌شوند. بطور کلی میانگین طول این گسل‌ها بین ۰/۵ متر تا ۴۰ متر است و منجر به به هم ریختگی چینه‌شناسی نشده‌اند. آثار و شواهد این گسل‌ها از جمله سطوح گسلی و خردشدگی قابل مشاهده است. بیشترین شواهد رخنمون این گسل‌ها در بخش شرقی جاده قوچان به سمت باجگیران و در سازند تیرگان قابل مشاهده است.

به دلیل طول کم و جابجایی اندک این گسل‌ها هیچگونه به هم ریختگی چینه‌شناسی در منطقه ایجاد نکرده‌اند. از این رو به منظور بررسی سازوکار آن‌ها باید از شواهد دیگری از جمله خراش‌های گسلی،

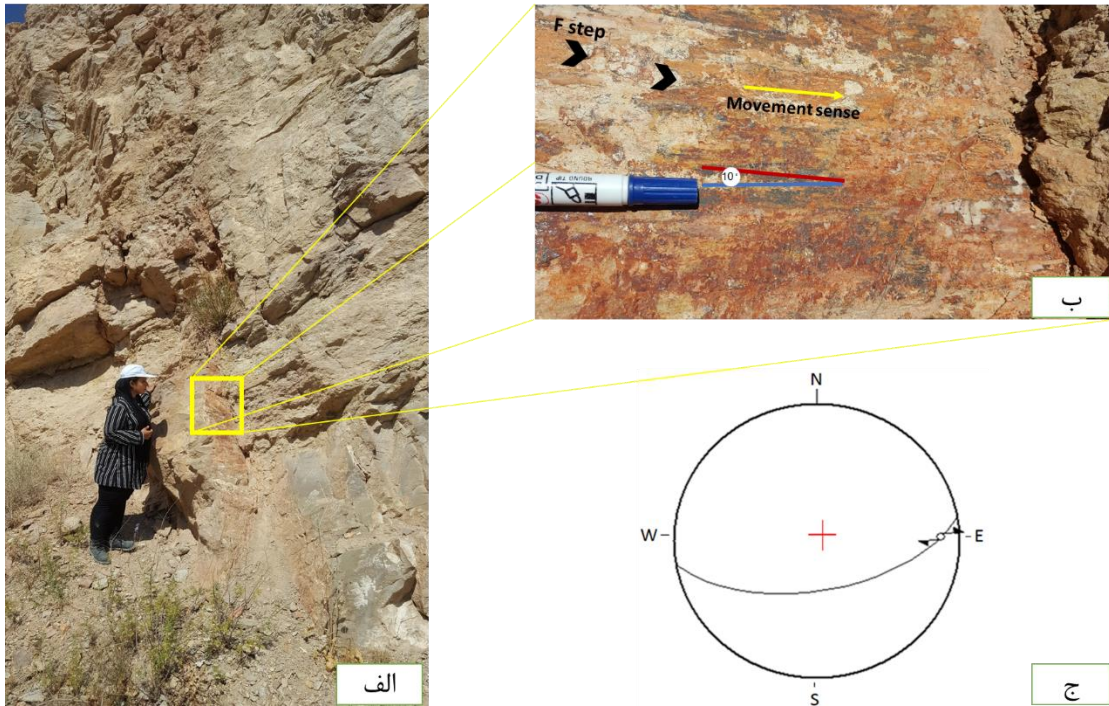
پله‌های گسلی، سطوح لغزش و شکستگی‌های فرعی در سطح گسل استفاده کرد. بررسی‌های صحرایی بر روی ریخت‌شناسی سطح این گسل‌ها عموماً خراش‌هایی با ریک ۱۰ تا ۱۵ درجه را نشان می‌دهد که می‌تواند شاهدهی بر مؤلفه امتدادلغز گسل‌های منطقه مذکور باشد. با توجه به اینکه طول این گسل‌های فرعی کم می‌باشد، و با توجه به موقعیت این گسل‌ها که در محدوده گسل قوچان-زوباران برداشت شده‌اند، می‌توان آن‌ها را به صورت شکستگی‌های برشی مرتبط با این گسل در نظر گرفت. در ادامه به بررسی گسل‌های فرعی موجود در منطقه پرداخته خواهد شد.

الف- گسل F1

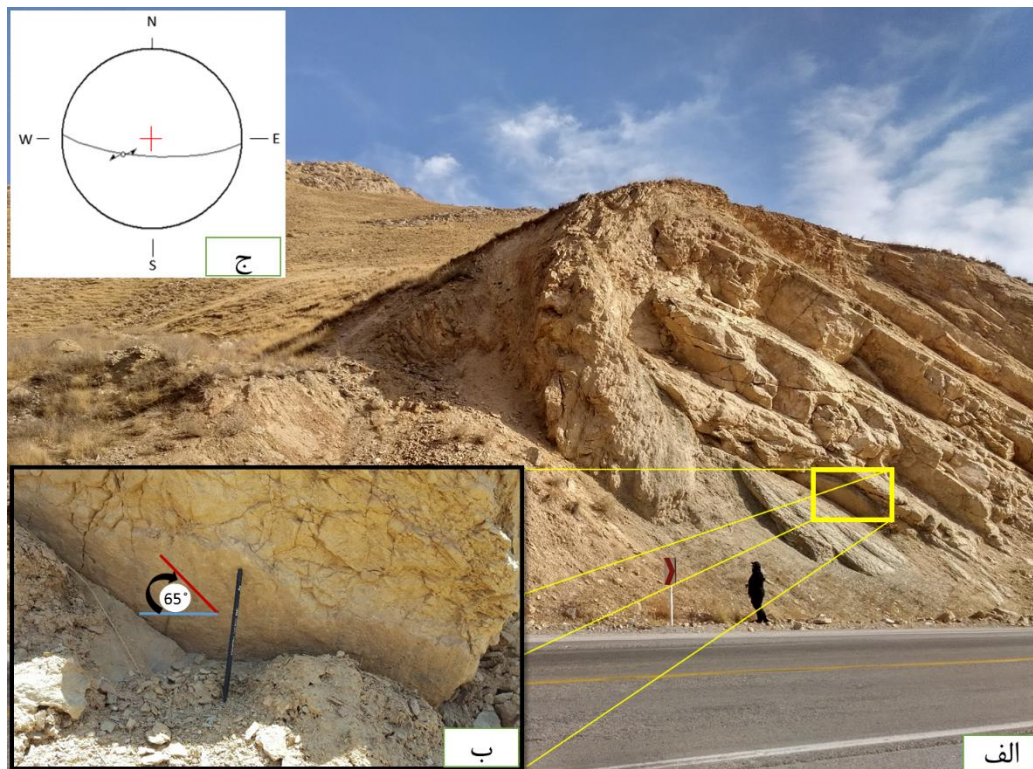
موقعیت جغرافیایی این صفحه گسل در نقطه‌ی $E 43/5' 28''$ و $N 43' 14'' 37^\circ$ با روند تقریبی شرقی-غربی قابل مشاهده است. آثار خراش‌های گسلی بر روی سطح گسل به وضوح مشخص است. میانگین برداشت‌های صحرایی از سطح گسل، موقعیت هندسی $60/170$ را برای این گسل نشان می‌دهد. بر مبنای مشاهدات سطح گسل، خراش‌هایی با ریک حدود ۱۰ درجه ساعتگرد بر روی سطح گسل اندازه‌گیری شد. در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک پایین سازوکار راستالغز را در نظر گرفت. با توجه به زبری سطح گسل و خش‌لغزها و همچنین پله‌های گسلی، جهت حرکت راستگرد برای گسل مربوطه تشخیص داده شد. رخنمون گسل و همچنین استریوگرام مربوط به آن نیز در شکل ۳-۲۸ آمده است.

ب- گسل F2

رخنمونی از سطح این گسل در ایستگاهی با مختصات $E 43' 28''$ و $N 41/1' 14'' 37^\circ$ قابل مشاهده است. میانگین برداشت‌های صحرایی از سطح این گسل، موقعیت هندسی $74/183$ را نشان می‌دهد. بر مبنای مشاهدات سطح گسل، خراش‌هایی با ریک خش‌لغز ۶۵ درجه ساعتگرد اندازه‌گیری شد (برداشت از فرادیواره). در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک بالا سازوکار مورب لغز را در نظر گرفت. سازوکار گسل با توجه به مورفولوژی سطح گسل (خراش‌ها و پله‌های گسلی)، معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز چپ‌بر تشخیص داده شد (شکل ۳-۲۹).



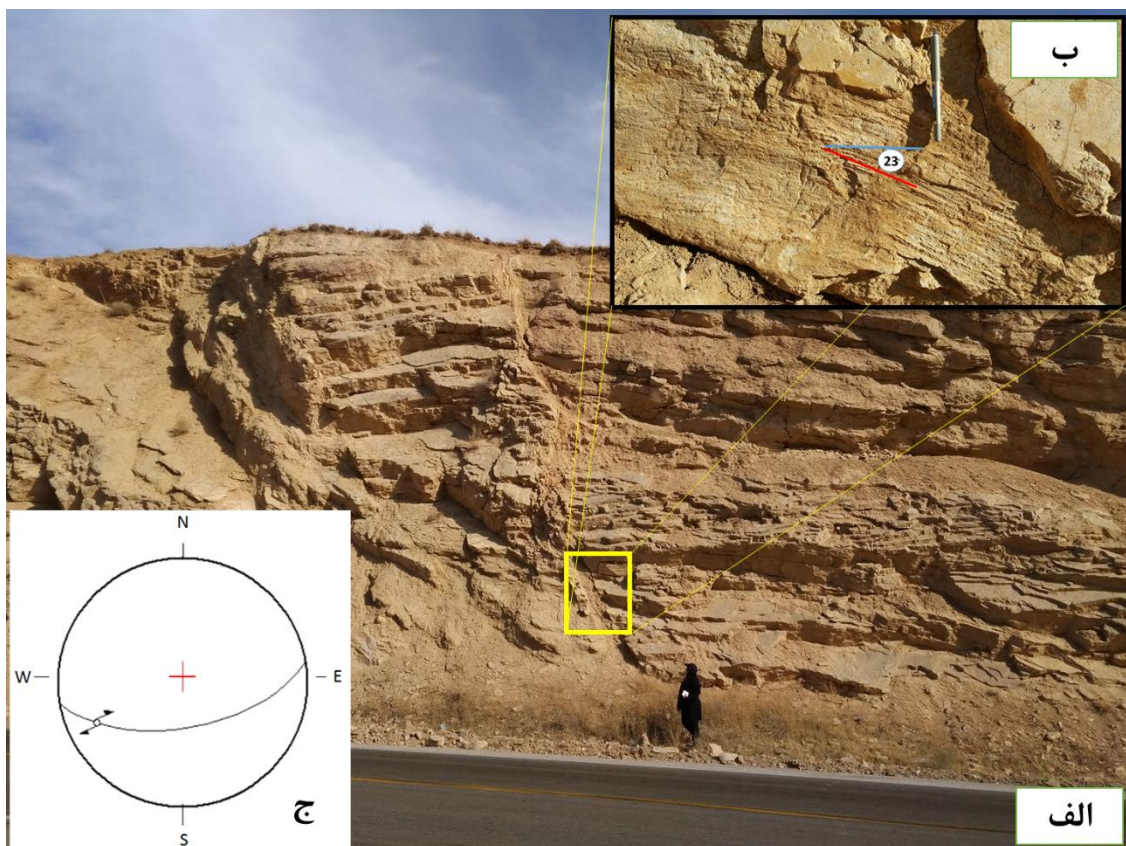
شکل ۳-۲۸- رخنمون گسل F1، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شمال). ب) صفحه گسل با موقعیت ۶۰/۱۷۰ و خش لغز با موقعیت ۱۰/۰۸۶ در نمایی نزدیک (خط آبی رنگ امتداد و خط قرمز رنگ خش لغز را نشان می دهند). ج) استریوگرام مربوط به گسل.



شکل ۳-۲۹- رخنمون گسل F2، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت جنوب شرق). ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل با موقعیت ۷۴/۱۸۳ و خش لغزهای مورب لغز روی آن با موقعیت ۶۵/۲۳۶. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می دهد (برداشت از فرادیواره) ج) استریوگرام مربوط به گسل.

پ- گسل F3

سطح این گسل در نزدیکی گسل F2 برداشت شد و دارای موقعیت هندسی ۶۰/۱۷۴ و خش لغزهایی با ریک تقریبی ۲۳ درجه ساعتگرد (برداشت از فرادیواره) می باشد (شکل ۳-۳۰). سازوکار گسل با توجه به مورفولوژی سطح گسل (خرایش ها و پله های گسلی)، نرمال با مؤلفه‌ی امتدادلغز راست بر تشخیص داده شد که با گسل F2 در این محدوده کاملاً مطابقت دارد.

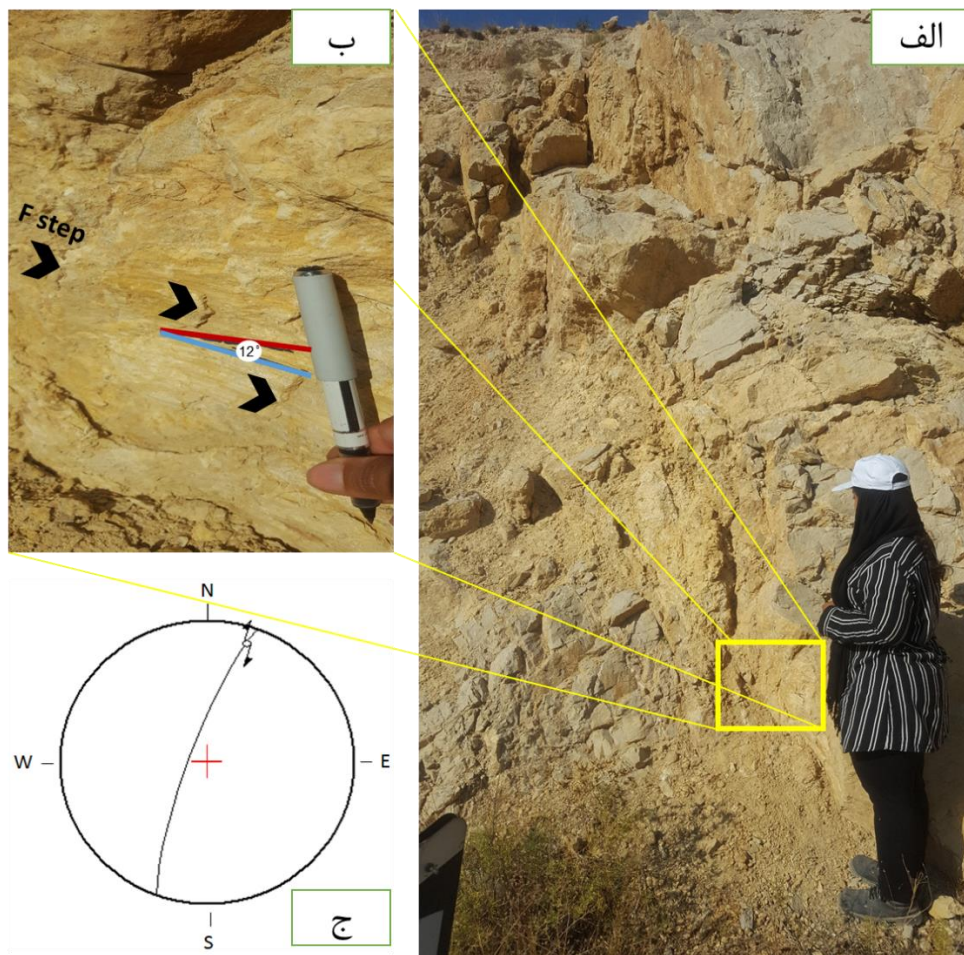


شکل ۳-۳۰- رخنمون گسل F3 (الف)، رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شرق). (ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل و خش لغزهای مورب لغز روی آن با ریک ۲۳ درجه. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می دهد (ج) استریوگرام مربوط به گسل.

ت- گسل F4

گسل F4 در ایستگاهی با مختصات $E 39/31'' 28' 58^{\circ}$ و $N 14' 50/28 37^{\circ}$ با روند شمال خاور- جنوب باختر قابل مشاهده است. موقعیت هندسی صفحه گسل ۸۰/۲۹۰ اندازه گیری شد. در بازدید صحرائی صورت گرفته در این ایستگاه می توان خراش هایی روی سطح گسل مشاهده نمود. زاویه ریک

خش لغز ۱۲ درجه ساعتگرد اندازه‌گیری گردید (برداشت از فرادیواره). در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک پایین سازوکار راستالغز را در نظر گرفت. با توجه به زبری سطح خش لغز و پله‌های گسلی، سازوکار گسل امدادلغز راست‌بر تشخیص داده شد (شکل ۳-۳۱).



شکل ۳-۳۱- رخنمون گسل F4، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شمال شرق). ب) نمایی از صفحه گسل با موقعیت هندسی ۸۰/۲۹۰ و خش لغزها با موقعیت هندسی ۱۲/۰۱۷ (خط قرمز امتداد و خط آبی خش لغز را نشان می‌دهد). ج) استریوگرام مربوط به گسل.

ث- گسل F5

موقعیت جغرافیایی این صفحه گسل در نقطه‌ی $E 44/31' 28''$ و $N 57/28' 14''$ با روند تقریبی شمال باختر-جنوب خاور قابل مشاهده است. آثار خراش‌های گسلی بر روی سطح گسل به وضوح مشخص است. میانگین برداشت‌های صحرایی از سطح این گسل، موقعیت هندسی ۷۵/۰۷۵ را برای این گسل نشان می‌دهد. بر مبنای مشاهدات سطح گسل، خراش‌هایی با ریک ۰ درجه و افقی بر روی سطح

گسل اندازه‌گیری شد که حاکی از حرکت راستالغز گسل مذکور می‌باشد. با توجه به زبری سطح گسل و خش‌لغزها، جهت حرکت راستگرد برای گسل مربوطه تشخیص داده شد. رخنمون گسل و همچنین استریوگرام مربوط به آن نیز در شکل ۳-۳۲ آمده است.



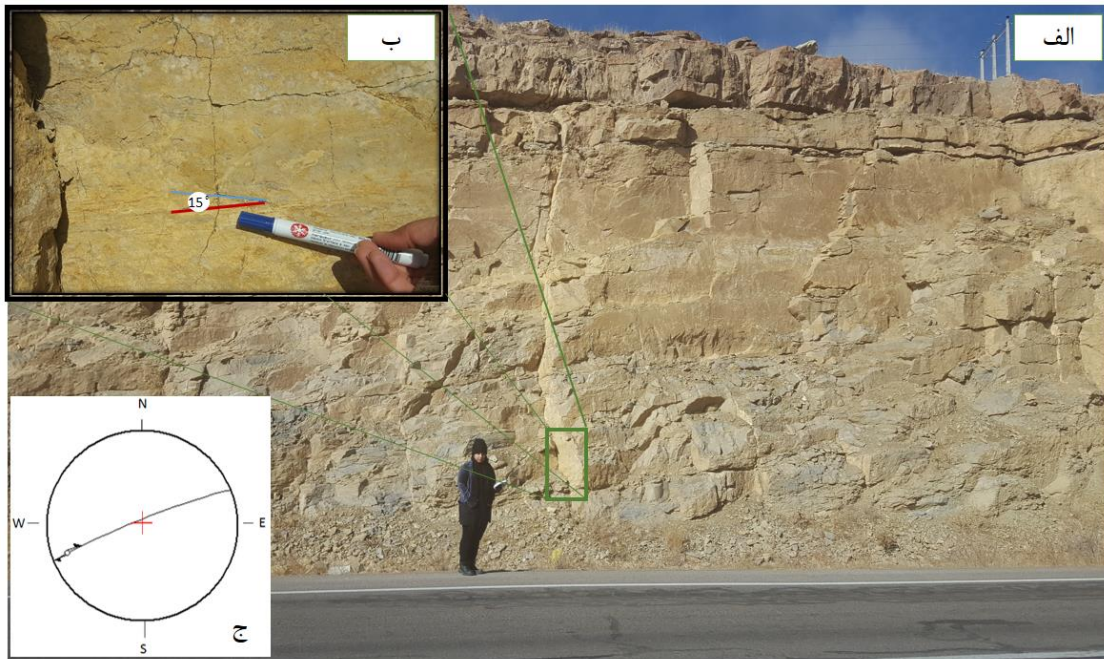
شکل ۳-۳۲- رخنمون گسل F5، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شرق) . ب) صفحه گسل و خش لغزها در نمایی نزدیک، ج) استریوگرام مربوط به گسل.

ج- گسل F6

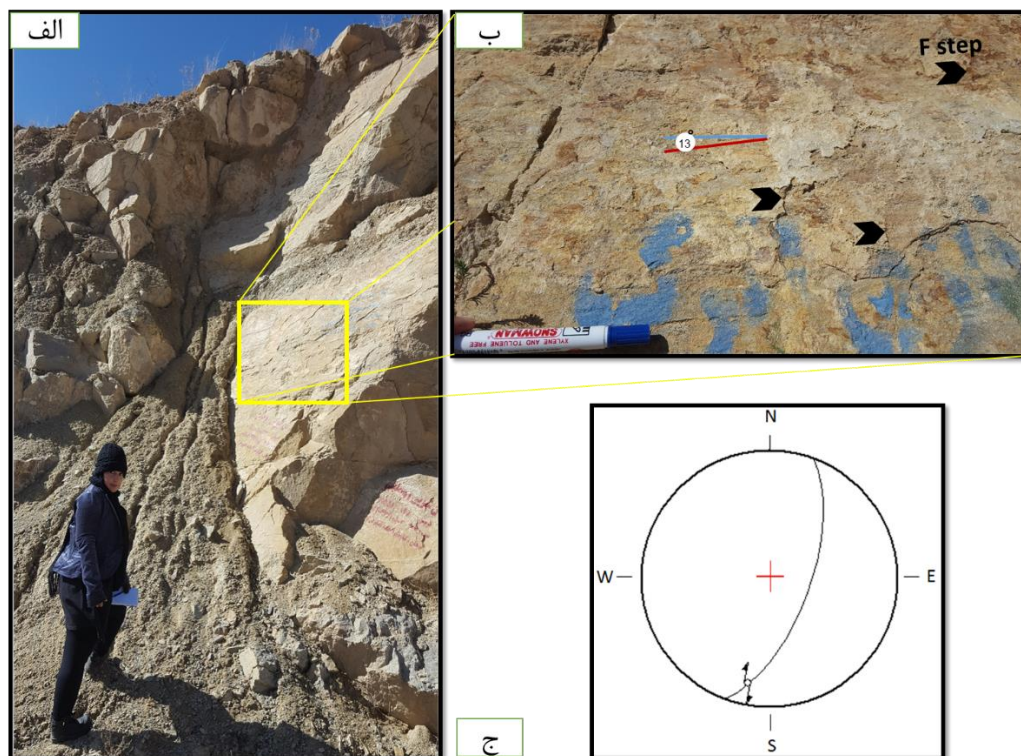
مشخصات صفحه این گسل در نقطه‌ی E $38^{\circ} 28' 38''$ و 58° و N $43^{\circ} 13' 37''$ ، $85/338$ و خش لغزهای روی آن، مقدار ریک ۱۵ درجه پادساعتگرد را نشان می‌دهد (برداشت از فرادیواره) که در شکل ۳-۳۳ نیز نشان داده شده است. سازوکار گسل با توجه به مورفولوژی سطح گسل (خراش‌ها و آثار حرکتی)، امتداد لغز راست بر تشخیص داده شد.

چ- گسل F7

موقعیت هندسی صفحه گسل در نقطه‌ی E $33^{\circ} 16' 28''$ و 58° و N $16^{\circ} 14' 37''$ ، $64/110$ و خش لغزهای روی صفحه گسل، ریک حدود ۱۳ درجه پادساعتگرد را نشان می‌دهند (شکل ۳-۳۴). با توجه به زبری خش‌لغزها جهت حرکت راستگرد برای گسل مربوطه تشخیص داده شد.



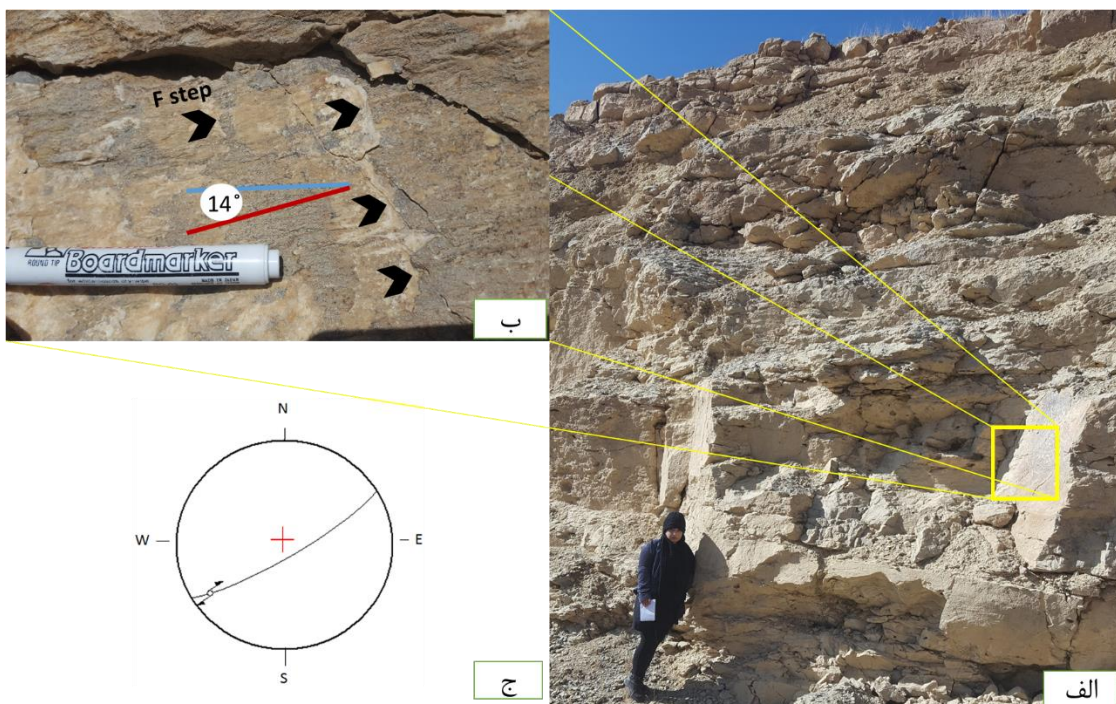
شکل ۳-۲۳- رخنمون گسل F6، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شرق). ب) صفحه گسل با موقعیت ۸۵/۳۳۸ و خش لغزها با موقعیت ۱۵/۲۵۰ در نمایی نزدیک (خط قرمز خش لغز و خط آبی رنگ امتداد را نشان می دهد). ج) استریوگرام مربوط به گسل.



شکل ۳-۲۴- رخنمون گسل F7، الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شمال غرب). ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل ۶۴/۱۱۰ و خش لغزهای روی آن با موقعیت هندسی ۱۳/۱۹۵. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می دهد. ج) استریوگرام مربوط به گسل.

ح- گسل F8

گسل F8، در نقطه‌ی $58^{\circ} 28' 38.2'' E$ و $37^{\circ} 13' 44.6'' N$ برداشت شده است. هندسه‌ی این گسل ۸۰/۱۴۹ بوده و بر روی این گسل خراش‌هایی با ریک تقریبی ۱۴ درجه پادساعتگرد مشاهده شد که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. استریوگرام مربوط به این برداشت نیز در شکل ۳-۳ج نمایش داده شده است. با توجه به برداشت‌های صحرایی و مورفولوژی سطح گسل، این گسل سازوکار امتداد لغز راست بر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳-۳- رخنمون گسل F8. الف) رخنمون صفحه گسل (دید به سمت شرق). ب) نمایی نزدیک از صفحه گسل با موقعیت هندسی ۸۰/۱۴۹ و خش لغزهای روی آن با موقعیت هندسی ۱۴/۲۳۶. خط قرمز رنگ جهت خش لغز و خط آبی جهت امتداد صفحه گسل را نشان می‌دهد. ج) استریوگرام مربوط به گسل.

۳-۳- شکستگی‌ها

واژه Fractus واژه‌های یونانی به معنای شکسته شده است که منشأ کلمه کلی Fracture (به معنای شکستگی) می‌باشد. در واقع شکستگی (Fracture) به تمام سطوح انفصال ثانوی ایجاد شده در سنگ‌ها اطلاق می‌شود (Twiss and Moores, 1992). بر اثر عملکرد فرایندهای تکتونیکی، درز و شکاف‌ها در جهت‌های عمودی، افقی و مایل در توده‌های سنگی ایجاد و گسترش می‌یابند. به طور کلی، اگر لغزش

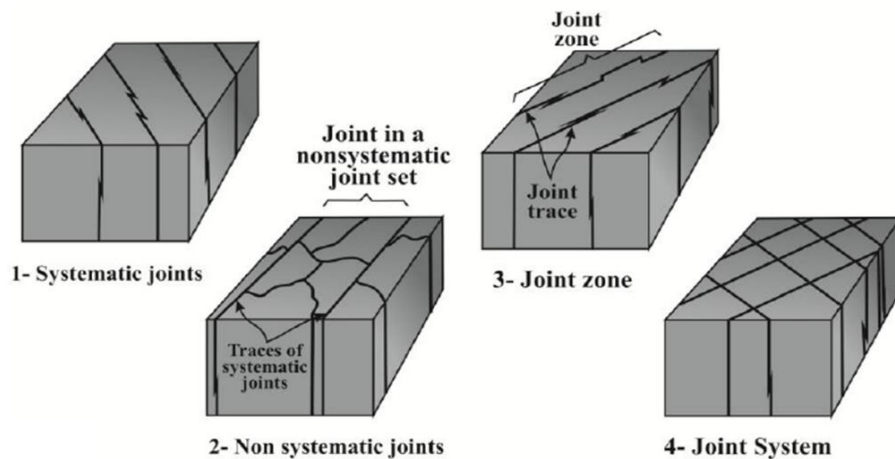
قابل مشاهده‌ای در شکستگی وجود نداشته باشد، درزه و درغیر اینصورت گسل نامیده می‌شود. شکستگی‌ها عمدتاً به صورت دسته‌های متشکل از اعضای نیمه موازی به وجود می‌آیند. در محل رخنمون، شکستگی‌ها دارای طول اثر و بازشدگی معین هستند. شکستگی‌ها حاصل تنش‌هایی با منشأ متفاوت می‌باشند، از قبیل؛ (۱) استرس‌های تکتونیکی مرتبط با دگرشکلی سنگ‌ها، (۲) تنش‌های باقی مانده حاصل از رخداد‌های قبل از ایجاد شکستگی، (۳) انقباض ناشی از سرد شدن ماگما یا خشک شدن رسوبات، (۴) حرکات و جابجایی‌های سطحی از قبیل لنداسلایدها یا حرکت یخچال‌ها، (۵) کاهش بار در سنگ‌های عمقی ناشی از فرسایش طبقات رویی و (۶) هوازگی که در آن انبساط منجر به ایجاد شکاف‌های کششی نامنظم شده و انحلال باعث عریض شدن حفره‌ها، شکاف‌ها و غیره می‌شود (Singhal and Gupta, 2010). مساحت برخی از درزه‌ها یک تا چند سانتی‌متر مربع است، در حالیکه مساحت برخی دیگر چند صد یا چند هزار متر مربع است و با کنترل شکل خطواره‌ها به شدت بر مورفولوژی سطح زمین تأثیرگذارند. ارتباط هندسی این ساختارها با ساختمان‌های اصلی زمین شناسی مانند چین‌خوردگی و گسل و همچنین تنش مسبب آن‌ها موجب شده است مطالعه و شناخت این ساختارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. به طور کلی شکستگی‌ها را می‌توان به دو گروه گسترده تقسیم کرد: (الف) سیستماتیک، که بنا بر تعریف، صفحاتی صاف و بدون تقعرند و توزیع مرتب و قاعده‌مندی را از خود نشان می‌دهند؛ و (ب) غیر سیستماتیک، که بنا بر تعریف توزیع نامرتب دارند و به صورت منحنی‌اند. بعلاوه با دیگر درزه‌ها برخورد دارند اما از آن‌ها عبور نمی‌کنند (شکل ۳-۳۶). این درزه‌ها کمتر به صورت کششی دیده می‌شوند و تحت فرسایش گسترش می‌یابند (Twiss and Moores, 2007). از طرفی به لحاظ ژنتیکی نیز شکستگی‌های سیستماتیک را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. برشی‌ها که حرکتی نسبی در راستای سطح شکست متحمل می‌شوند. این شکستگی‌ها به صورت متقارن و با زاویه‌ای حاده در حدود ۳۰ درجه نسبت به محور تنش بیشینه (۱۵) دیده می‌شوند. فصل مشترک این دسته از شکستگی‌ها منطبق بر تنش میانه (۲۵) حاکم بر توده سنگ می‌باشد. زاویه بین شکستگی‌های برشی حدود ۶۰ درجه است و زاویه‌ی مزدوج خوانده می‌شود (شکل ۳-۳۷). کششی‌ها که عموماً جابجایی در

جهتی عمود بر امتداد صفحه‌ی شکست، تحت تأثیر عملکرد تنش بیشینه، از خود نشان می‌دهند و درزه‌های باز بدون حرکت برشی هستند. از طرفی فاصله ایجاد شده در این درزه‌ها ممکن است توسط کانی‌ها یا مواد مذاب اشغال شود که در این صورت به ترتیب، رگه و دایک نامیده می‌شوند (Fossen, 2010). هیبریدها که معرف هر دو نوع درزه‌های برشی و کششی بوده که ممکن است زاویه‌ی دو سطح مزدوج در آن‌ها 20° تا 45° باشد (شکل ۳-۳۸). طبقه‌بندی دقیقی برای تمایز شکستگی کششی و برشی وجود ندارد. در واقع، تشخیص بین این دو دسته به خصوص در مناطقی که تاریخچه‌ی تغییر شکل پیچیده‌ای دارند کار دشواری است. با این حال، ویژگی‌های زیر ممکن است در تشخیص و تبعیض این درزه‌ها از یکدیگر کمک کنند:

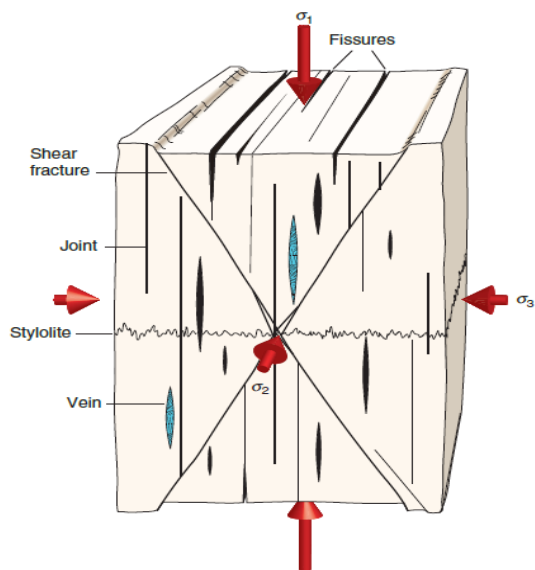
۱. درزه‌های برشی می‌توانند در بعضی موارد جابجایی‌هایی را به موازات صفحه‌ی درزه‌ها نشان دهند که در این صورت خش‌لغزها و معیارهای دیگر از حرکت نسبی ممکن است در آن‌ها مشاهده شود که در مورد درزه‌های کششی اینطور نیست.
 ۲. شکستگی‌های برشی عمدتاً در سیستم‌های مزدوج (Conjugate) که توسط تحلیل‌های آماری مشخص می‌شوند اتفاق می‌افتند.
 ۳. معمولاً شکستگی‌های کششی دارای بازشدگی هستند، این در حالیست که شکستگی‌های برشی فاقد بازشدگی‌اند.
 ۴. جهت‌گیری درزه‌ها با توجه به لایه‌بندی و یا محور چین می‌تواند اطلاعاتی درباره منشأ کششی یا برشی بودن شکستگی ارائه کند. به طوریکه عموماً شکستگی‌های برشی به صورت دسته‌های مزدوج مورب و گسیختگی‌های کششی به صورت دسته‌های عمود بر هم و متقاطع قابل مشاهده‌اند.
 ۵. همچنین بر اساس نمودار روند تجمعی شکستگی‌ها می‌توان دریافت که حداکثر تنش فشارشی اصلی، نیمساز زاویه حاده بین دو سطح شکستگی برشی مزدوج و به موازات صفحه‌ی شکست در شکستگی کششی است.
- سطوح لایه‌بندی یکی از مهم‌ترین سطوح ناپیوستگی در تمام سنگ‌های رسوبی از قبیل ماسه سنگ،

آهک و... (به استثنای ماسه سنگ‌ها و سنگ آهک‌های توده‌ای) می‌باشد. یکسری واژه‌های متنوع در خصوص ویژگی‌های درزه‌ها از قبیل ارتباط آن‌ها با لایه‌بندی تعریف شده است (ادیب، ۱۳۸۴). این واژه‌ها عبارتند از: درزه‌های امتدادی (درزه‌های موازی امتداد لایه‌بندی)، درزه‌های شیبی (موازی جهت شیب لایه‌بندی)، درزه‌های طبقه‌ای یا لایه‌بندی (موازی با سطوح لایه‌بندی)، درزه‌های مایل یا مورب و درزه‌های متقاطع (شکل ۳-۳۹).

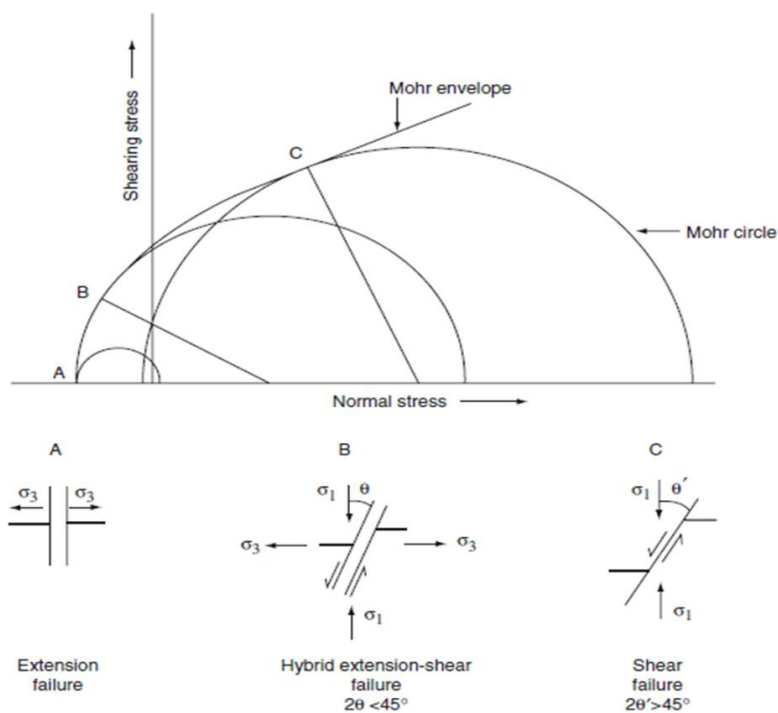
خصوصیات رخنمون حاوی درزه از قبیل لیتولوژی، ضخامت لایه‌بندی و حضور ساختارهای دیگر از قبیل چین‌ها، سبب ایجاد ریخت‌شناسی متفاوت در درزه‌ها است. در نتیجه برای انجام یک پایش تکتونیکی مناسب و ایجاد تحلیل‌های قابل اطمینان باید در استفاده از نتایج حاصل شده از آن‌ها دقت بیشتری اعمال کرد. باید در نظر داشت گاهی نتایج بدست آمده از این ساختارها کاملاً محلی بوده و برای یک ناحیه‌ی بزرگتر قابل تعمیم نیستند، در حالیکه در مواقعی کاملاً از وضعیت تکتونیکی منطقه تبعیت می‌کنند و می‌توان برای تأییدی بر نتایج، از آن‌ها استفاده نمود.



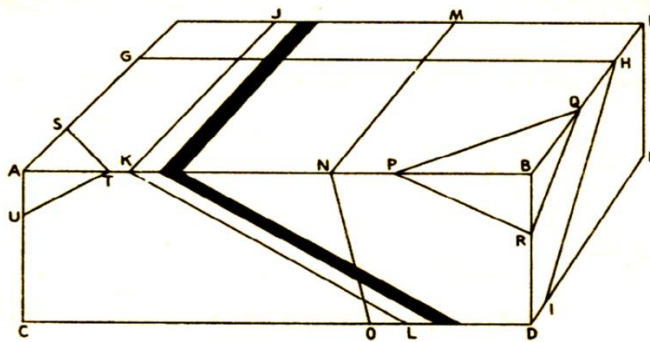
شکل ۳-۳۶- نمایش بلوک دیاگرام‌هایی از مجموعه شکستگی و سیستم درزه‌ای. (۱) هندسه یک مجموعه درزه سیستماتیک، (۲) الگوی شاخص از توسعه درزه‌های غیر سیستماتیک و پایان پذیری این شکستگی‌ها در مجاورت درزه‌های سیستماتیک، (۳) تشکیل زون‌های درزه‌ای با حالت تقریباً پوششی بین درزه‌ها، (۴) دو دسته درزه متقاطع.



شکل ۳-۳۷- جهت گیری فضایی انواع شکستگی نسبت به تنش‌های اصلی وارده به توده سنگ (Fossen, 2010).



شکل ۳-۳۸- انواع شکستگی بر اساس خصوصیات ژنتیکی. (A) شکستگی کششی، (B) شکستگی هیبریدی کشش-برش، (C) شکستگی برشی. دیاگرام موهر شرایط تنش را برای این شکستگی‌ها نشان می‌دهد. σ_1 و σ_3 تنش‌های حداکثر و حداقل می‌باشند (Singhal and Gupta, 2010).



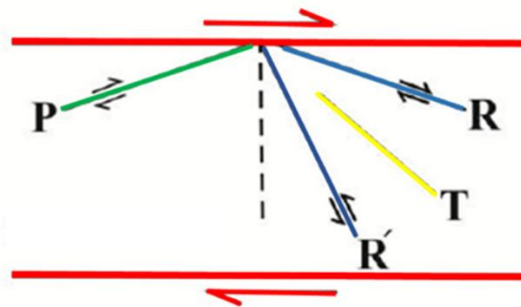
شکل ۳-۳۹- ارتباط درزه‌ها با لایه‌بندی. درزه‌های امتدادی (MNO)، درزه‌های شیبی (GHI)، درزه‌های لایه‌بندی (JKL)، مایل یا مورب (PQR, STU). لایه سیاه‌رنگ لایه‌بندی را نشان می‌دهد (Mikhailov, 1987).

درزه‌ها می‌توانند در هر زمانی از تاریخ سنگ تشکیل شوند چه زمان‌های اولیه هنگامی که رسوب هنوز سخت نشده یا در زمان‌های ثانویه هنگامی که درزه‌ها بعد از ساختارها در سنگ ایجاد می‌شوند. این موضوع نشان می‌دهد که بیش از یک مکانیسم باعث ایجاد درزه‌ها می‌شود. در موضوع ارتباط شکستگی به سایر ساختارها، ارتباط شکستگی‌ها با دو ساختار اصلی گسل و چین مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۳-۱- شکستگی‌های همراه با گسل‌ها و مناطق برشی

شکستگی‌ها اغلب بصورت سیماهای فرعی فضایی مرتبط با سایر ساختارها شکل می‌گیرند. اگر چنین ارتباطاتی ثابت شود شکستگی‌ها می‌توانند اطلاعاتی در خصوص منشأ ساختارهای همراه ارائه نمایند. در بعضی حالت‌ها گسل‌ها بوسیله دو دسته از شکستگی‌های کوچک مقیاس همراهی می‌شوند که در یک زاویه تقریباً ۶۰ درجه نسبت به هم و در جهت خلاف سوی برش قرار می‌گیرند. این شکستگی‌ها شکستگی‌های برشی مزدوج نامیده می‌شوند. شکستگی‌های کششی از دیگر شکستگی‌هایی هستند که همراه گسل‌ها مشاهده می‌شوند و نیمساز زاویه بین شکستگی‌های مزدوج می‌باشند. در بیشتر موارد اکثر شکستگی‌هایی که در اطراف گسل‌ها مشاهده می‌شود از نوع شکستگی‌های برشی هستند که سطوح آن‌ها به موازات سطوح گسل‌ها می‌باشد. به طور جامع‌تر می‌توان شکستگی‌های همراه شده با گسل‌ها را مطابق شکل ۳-۴۰ معرفی نمود (Fossen, 2010). همانطور که در شکل دیده می‌شود شکستگی‌های متنوعی در ارتباط با گسل‌ها ایجاد می‌شود. شکستگی‌های T با زاویه ۴۵ درجه نسبت به پهنه برشی

یک شکستگی کششی است. سایر شکستگی‌ها شامل P، R و R' شکستگی‌های برشی هستند (Petit, ۱۹۸۷). شکستگی‌های R و P با زاویه $\frac{\phi}{4}$ نسبت به راستای برش قرار دارند. دو شکستگی یاد شده همسو با برش هستند. شکستگی R' نسبت به خط عمود بر برش با زاویه $\frac{\phi}{4}$ تشکیل می‌شود که نسبت به جهت برش ناهمسو است. اگر منطقه برش را به عنوان شکستگی مرتبه اول در نظر بگیریم، کلیه شکستگی‌های شکل ۳-۴۰ مرتبه دوم خواهند بود (Doblas et al., 1997).



شکل ۳-۴۰- موقعیت شکستگی‌های سیستماتیک همراه شده با پهنه برشی راست‌گرد.

۳-۳-۲- شکستگی‌های همراه با چین‌ها

در اثر نیروهایی که سبب ایجاد چین در لایه‌ها می‌شوند، درزه‌هایی بر روی این چین‌ها بوجود می‌آید. البته ممکن است برخی درزه‌ها بعد از چین خوردگی بر ساختار ناحیه افزوده شوند. درزه‌های همراه چین (شکل ۳-۴۱) به سه دسته کلی درزه‌های طولی، درزه‌های عرضی و درزه‌های برشی مزدوج تقسیم‌بندی می‌شوند (Ramsay and Huber, 1987).

الف- درزه‌های طولی

درزه‌های طولی، درزه‌هایی هستند که به موازات سطح محوری چین و عمود بر روند کوتاه‌شدگی به وجود می‌آیند. این درزه‌ها از نوع کششی و رهایی می‌باشند.

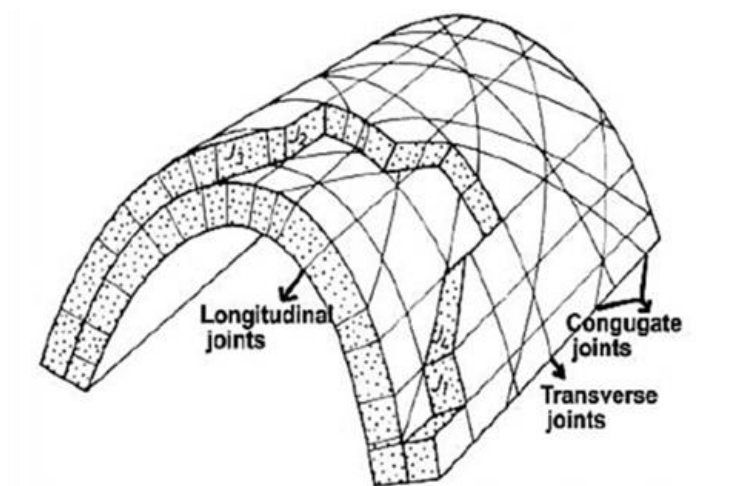
ب- درزه‌های عرضی

درزه‌های عرضی، درزه‌هایی به موازات روند حداکثر کوتاه‌شدگی و عمود بر سطح محوری چین هستند. هنگامی که طبقات، در امتداد عمود بر محور چین، تحت فشار قرار گرفته و چین‌ها را به وجود

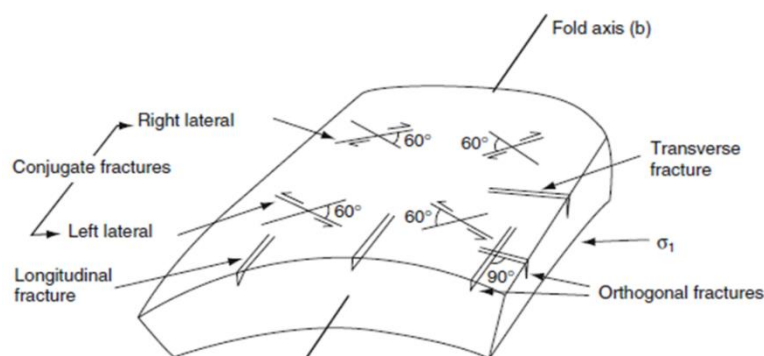
می‌آورند، در امتداد عمود بر محور چین تحت کشش قرار گرفته و بنابراین در این امتداد درزه‌هایی کششی به وجود می‌آید. از این رو، درزه‌های عرضی از نوع درزه‌های کششی در نظر گرفته می‌شوند.

پ- درزه‌های برشی مزدوج

درزه‌های برشی مزدوج در اعماق بیشتر جایی که ماهیت سنگ‌ها به صورت شکل‌پذیر است، تشکیل می‌شوند و در آن ۲۰ بزرگ و در حدود ۹۰ درجه است. درزه‌های برشی مزدوج شکننده در عمق کمتری تشکیل شده و در آن ۲۰ کوچکتر و در حدود ۶۰ درجه می‌باشد. درزه‌های برشی مزدوج با دو روند راستگرد و چپگرد تشکیل می‌شوند (شکل ۳-۴۲).



شکل ۳-۴۱- دسته درزه‌های مرتبط با چین خوردگی (Ramsay and Huber, 1987).



شکل ۳-۴۲- روابط ایده‌آل بین درزه‌های اصلی در یک لایه‌ی چین‌خورده. دو سری شکستگی‌های برشی مزدوج و دو سری شکستگی‌های کششی عمود بر هم در اینجا نشان داده شده که همگی قائم در نظر گرفته شده‌اند (Singhal and Gupta, ۲۰۱۰).

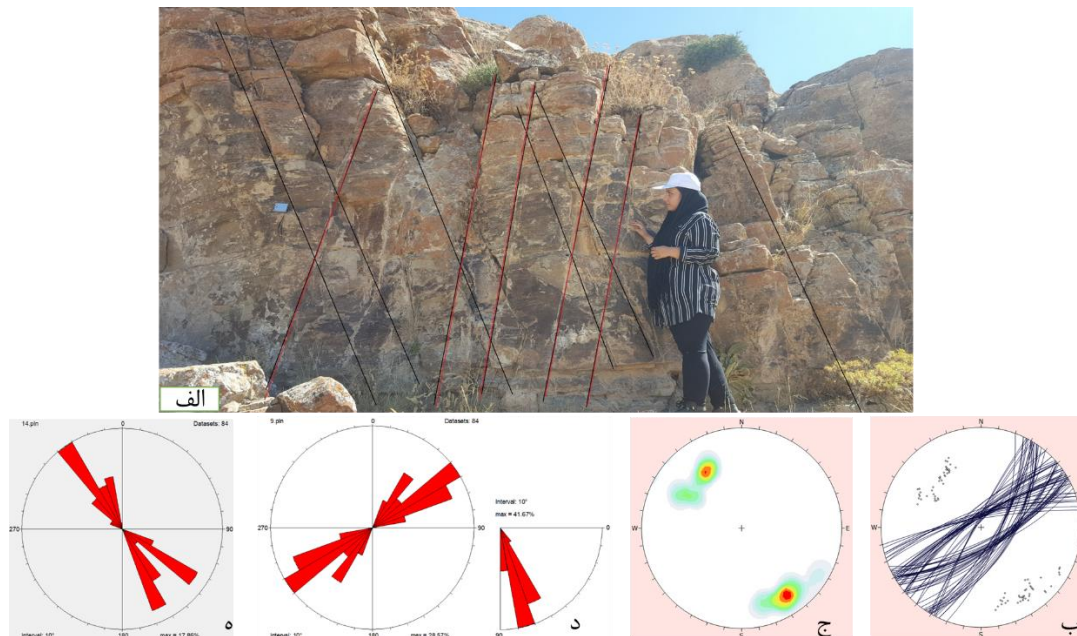
۳-۳-۳- بررسی درزه‌ها و شکستگی‌های منطقه

جهت انجام تحلیل مناسب و مدل‌سازی مورد اطمینان، استفاده از داده‌های صحرایی گسترده بسیار حائز اهمیت است. در پروژه‌ی تکتونیکی حاضر برداشت شکستگی‌ها (گسل‌ها، درزه‌ها) بخش اساسی کار را تشکیل می‌دهند. در بخش‌های قبل به تحلیل جامع چین‌خوردگی و گسل‌ها توسط نرم‌افزارهای استریوگرافیک موجود پرداخته شد. در این بخش برداشت‌های انجام شده با هدف تحلیل درزه و شکستگی ارائه شده و تحلیل‌های آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت. به دلیل فعالیت تکتونیکی شدید و ایجاد دگرشکلی، شکستگی‌ها و درزه‌های فراوانی در سطح سازندها دیده می‌شود که عموماً عمود بر امتداد لایه‌ها می‌باشند. جهت بررسی‌های هندسی و تعیین نوع درزه‌ها در ارتباط با لایه‌بندی، گسلش و نیز در ارتباط با روند کلی تاقدیس زوباران، همچنین ترسیم نمودارهای استریوگرافیک، گل سرخی و نمودار قطب درزه‌ها، داده‌های برداشت شده در مطالعات صحرایی، از نرم‌افزارهای مربوطه استفاده گردید. همچنین جهت انجام مطالعات آماری، داده‌های برداشت شده به محیط نرم‌افزار Excel وارد شدند. برداشت‌ها در ایستگاه‌های مجزا با شعاع برداشت ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر انجام شد که در ادامه به توصیف و تحلیل این شکستگی‌ها در ایستگاه‌های مختلف پرداخته می‌شود.

درزه‌های ایستگاه j1

این ایستگاه با موقعیت $E 1/68'' 26' 58^{\circ}$ و $N 20/07'' 15' 37^{\circ}$ در یال شمالی تاقدیس زوباران غربی و در رخنمون سازند آهکی تیرگان واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۸۴ درزه برداشت شده است. روند غالب شکستگی‌ها در این ایستگاه NE-SW مشخص شد. بر اساس آنچه از نمودار هم‌تراز قطبی به دست آمده است یک دسته شکستگی با روند عمومی NE-SW در این ایستگاه معرفی گردید. موقعیت میانگین لایه‌بندی ۶/۰۲۰ است. هیچ‌گونه آثاری از خراش در سطح شکستگی‌ها دیده نشد. عمده درزه‌ها بازشدگی اندک و طول حدود ۶ تا ۷ متر دارند. شکل ۳-۴۳ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان می‌دهد. براساس این نمودارها این دسته درزه در بازه امتدادی ۲۵ تا ۷۰ درجه قرار دارد. نمودار جهت شیب، بازه ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه و ۳۱۵ تا

۳۵۰ درجه را برای این دسته نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نمودار شیبی می‌توان نتیجه گرفت که ۴۲ درصد از کل داده‌ها در این ایستگاه دارای شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند.



شکل ۳-۴۳- درزه‌های ایستگاه J1، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی. ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J2

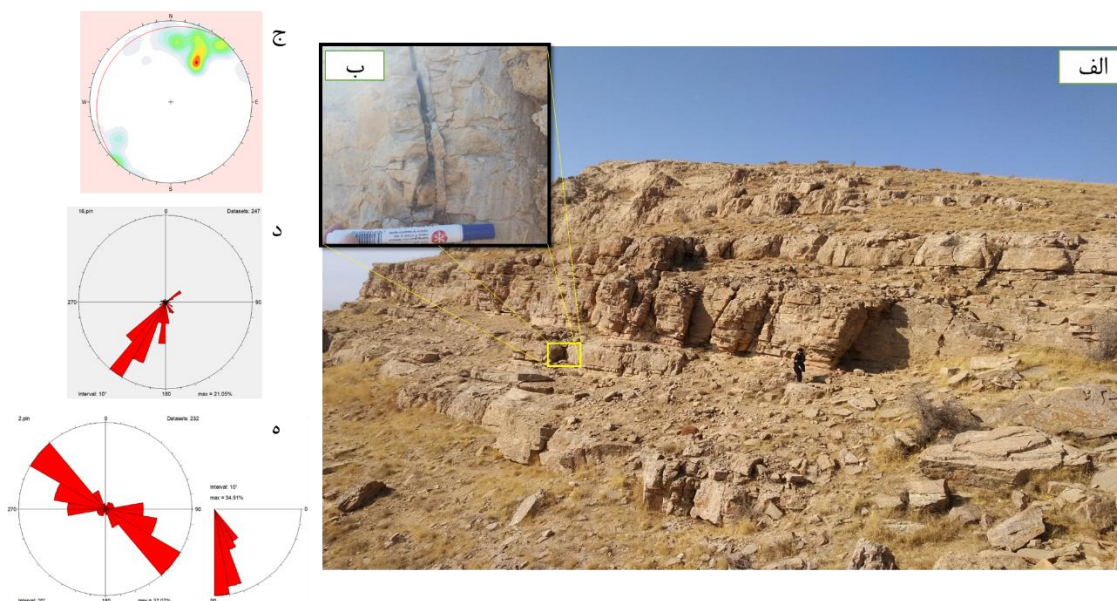
این ایستگاه با موقعیت $37^{\circ} 15' 18.18'' N$ و $58^{\circ} 26' 23.73'' E$ در یال شمالی چین خوردگی مذکور و در رخنمون آهکی سازند تیرگان واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۵۱ درزه برداشت شده است. روند غالب شکستگی‌ها در این ایستگاه NE-SW مشخص شد. شکل ۳-۴۴ نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای مربوطه در این ایستگاه، مشخص شد که این دسته درزه در بازه امتدادی ۲۵ تا ۷۰ درجه قرار دارد. همچنین نمودار جهت شیب بازه ۱۱۰ تا ۱۶۰ درجه را برای اکثریت داده‌ها و بازه ۲۷۰ تا ۳۰۰ درجه را برای درصد کمی از داده‌ها در این دسته نشان می‌دهد. براساس نمودار شیبی نیز می‌توان نتیجه گرفت که ۵۷ درصد درزه‌ها شیبی در بازه ۷۰ تا ۸۰ درجه دارند.



شکل ۳-۴۴- درزه‌های ایستگاه J2، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J3

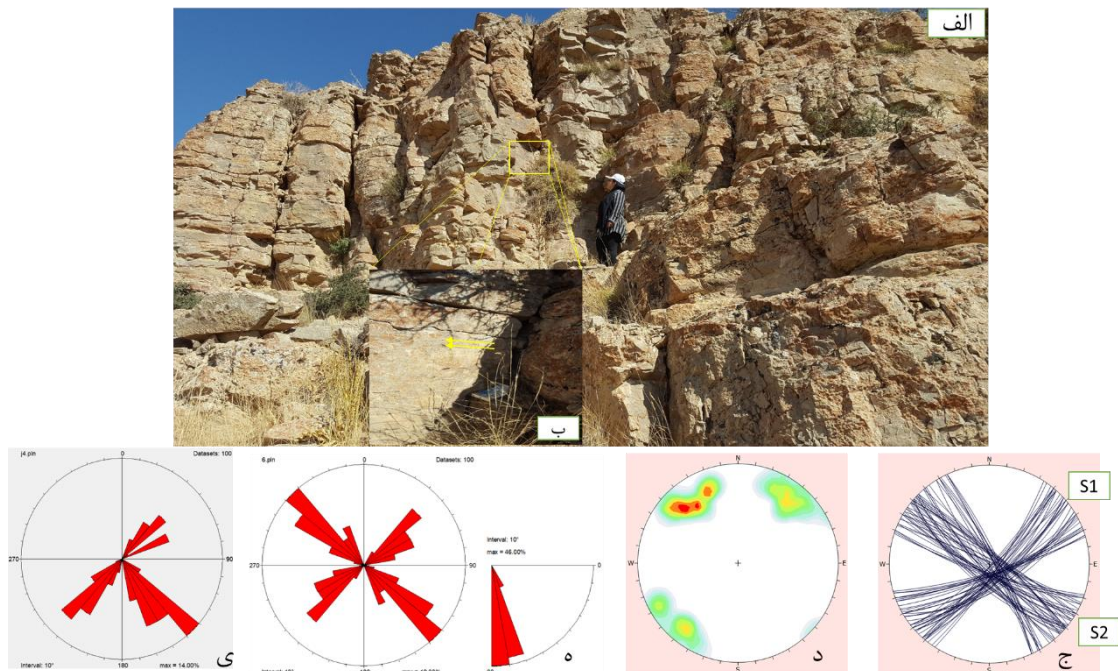
این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 26' 22/74'' E$ و $37^{\circ} 15' 10/07'' N$ در یال شمالی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۷/۰۱۵ واقع شده است. به دلیل تراکم و گستردگی زیاد شکستگی‌ها در این ایستگاه تعداد ۲۳۲ درزه برداشت شد. طول درزه‌ها در حدود ۷ تا ۱۲ متر بوده و بازشدگی در حدود ۲ تا ۱۰ سانتی متر قابل مشاهده است. با وجود مشاهده سه دسته شکستگی در این ایستگاه، روند غالبی که با توجه به نمودارهای گل سرخی به دست آمد در جهت NW-SE می‌باشد که در اینجا به صورت عرضی لایه‌بندی را قطع کرده و می‌توان آن‌ها را به عنوان درزه‌های شیبی در نظر گرفت. براساس نمودارهای ترسیم شده در این ایستگاه می‌توان نتیجه گرفت که این دسته از شکستگی‌ها که با روند غالب NW-SE قابل مشاهده هستند، در بازه امتدادی ۳۰ تا ۸۰ درجه قرار دارند. همچنین با توجه به نمودار جهت شیب در بازه ۱۸۰ تا ۲۳۰ درجه می‌باشند. بعلاوه مشخص شد که اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه شیبی در بازه ۷۰ تا ۹۰ درجه دارند (شکل ۳-۴۵).



شکل ۳-۴۵- درزه‌های ایستگاه J3، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت غرب)، ب) درزه‌های کششی پر شده با کلسیت، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی جهت شیب، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی.

درزه‌های ایستگاه J4

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 26' 22/74'' E$ و $37^{\circ} 15' 10/07'' N$ در یال شمالی این تاقدیس واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۱۰۰ درزه برداشت شده است. به طور کلی دو دسته شکستگی در این ایستگاه با روندهای S1: NE-SW و S2: NW-SE قابل مشاهده است. شکل ۳-۴۶ نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوط به این شکستگی‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای امتداد و جهت شیب شکستگی‌ها در این ایستگاه مشخص شد که دسته درزه S1 غالباً در بازه امتدادی ۴۰ تا ۷۵ درجه و همچنین در بازه جهت شیبی ۱۳۰ تا ۱۷۰ قرار دارند. بعلاوه دسته درزه S2 در بازه امتدادی ۲۰ تا ۷۰ درجه قرار دارند و با توجه به نمودار جهت شیب اکثراً در بازه ۲۰۰ تا ۲۴۰ می‌باشند. شکستگی‌های S1، ۴۵ درصد و شکستگی‌های S2، ۵۵ درصد از کل شکستگی‌ها در این ایستگاه را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ۴۶ درصد از کل شکستگی‌ها شیبی در بازه ۸۰ تا ۹۰ درجه دارند. آثار حرکتی مرتبط با این شکستگی‌ها نیز در این ایستگاه قابل مشاهده است که حاکی از برشی بودن این شکستگی‌هاست (شکل ۳-۴۶).

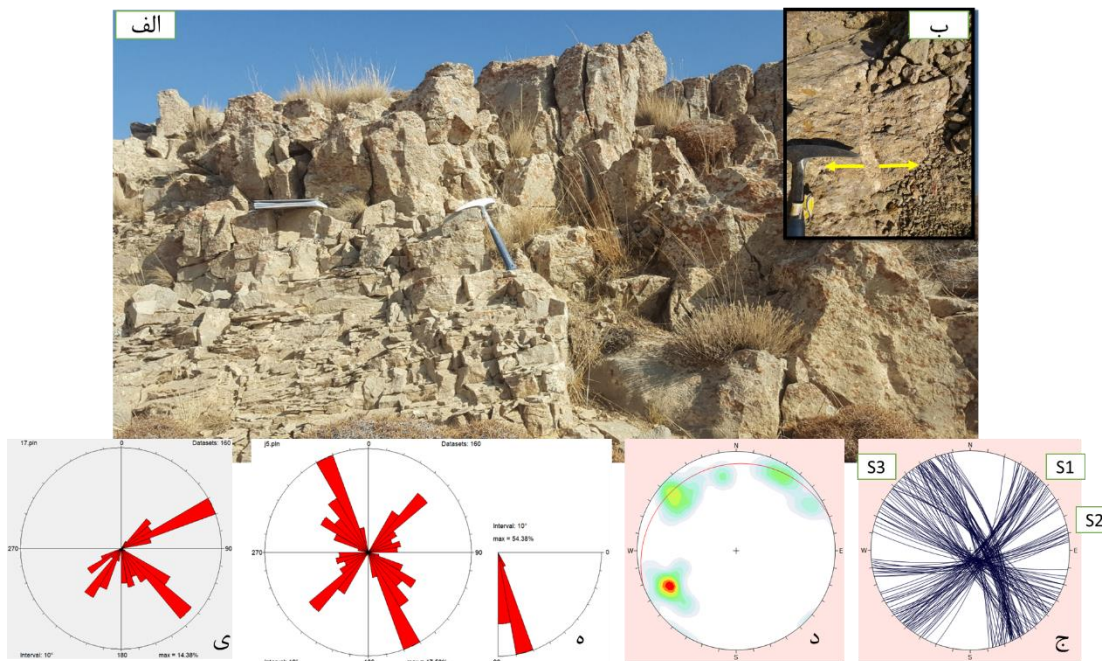


شکل ۳-۴۶- درزه‌های ایستگاه J4، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده‌ی وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین خوردگی (خط قرمز موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J5

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 27' 01'' E$ و $37^{\circ} 15' 02'' N$ در یال شمالی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۸/۳۴۰ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۶۰ درزه برداشت شده است. سه دسته درزه کلی با روندهای S3: NW-SE ، S2: N-W ، S1: NE-SW در این ایستگاه قابل مشاهده است. شکل ۳-۴۷ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده است. براساس این نمودارها دسته درزه S1 در بازه امتدادی ۳۰ تا ۶۵ درجه و بازه جهت شیب ۱۱۰ تا ۱۶۰ درجه می‌باشد. دسته درزه S2 در بازه امتدادی ۷۵ تا ۹۰ درجه و بازه جهت شیب ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه قرار دارد. دسته درزه S3 نیز در بازه امتدادی ۲۰ تا ۶۵ درجه و بازه جهت شیب ۳۰ تا ۷۰ و ۲۱۰ تا ۲۶۰ درجه می‌باشد. دو روند غالب شکستگی در این ایستگاه مربوط به دسته درزه S1 و S3 می‌باشد. دسته درزه S3 لایه‌بندی را به صورت عرضی قطع کرده و در رده‌ی شکستگی‌های شیبی نسبت به لایه‌بندی قرار می‌گیرند. همچنین شکستگی‌های S1 به عنوان

شکستگی‌های امتدادی و S2 به عنوان شکستگی‌های مایل مطرح می‌شوند. از طرفی با توجه به نمودار گل‌سرخ‌ی شییبی مشخص شد که ۵۴ درصد شکستگی‌ها در این ایستگاه شییبی در بازه‌ی ۷۰ تا ۸۰ درجه دارند (شکل ۳-۴۷).

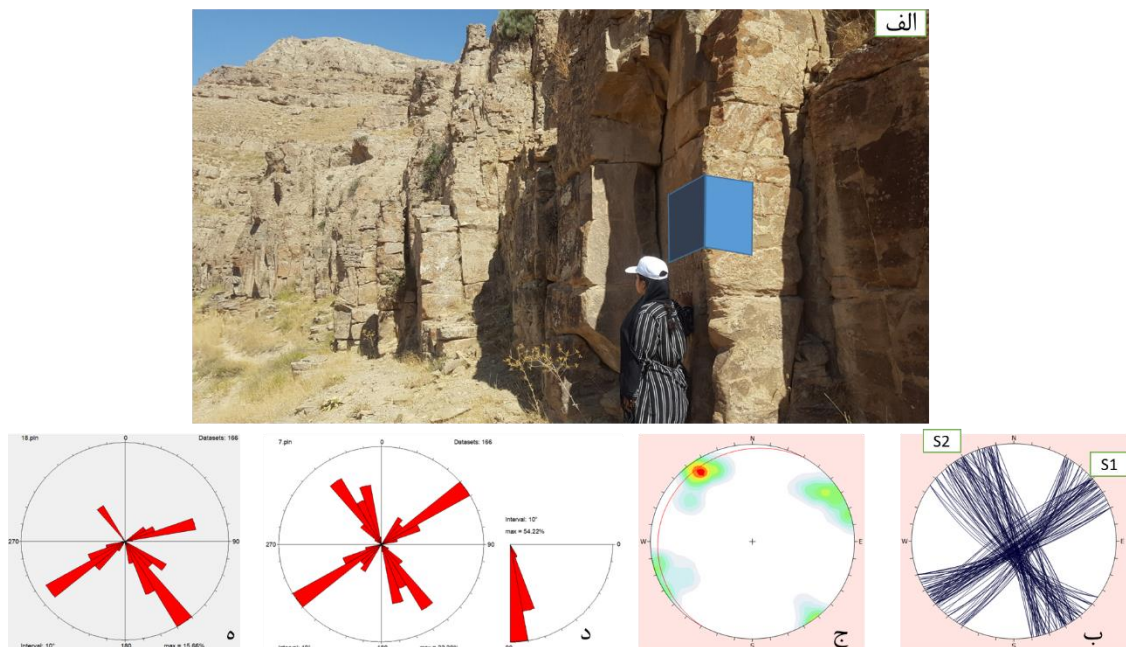


شکل ۳-۴۷- درزه‌های ایستگاه J5، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال)، ب) تصویری از درزه‌کشی موجود در ایستگاه، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل‌سرخ‌ی شییبی و امتدادی، ی) نمودار گل‌سرخ‌ی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J6

این ایستگاه با موقعیت $E 27^{\circ} 27/60''$ و $N 37^{\circ} 15' 57/60''$ در یال شمالی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۵/۳۰۰ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۶۶ درزه برداشت شد. طول درزه‌ها در حدود ۴ متر با بازشدگی ۵ تا ۸ سانتی‌متر می‌باشند. در این ایستگاه دو دسته درزه با روند S1: NE-SW و S2: NW-SE قابل مشاهده است. با توجه به نمودارهای گل‌سرخ‌ی و استریوگرام‌های مربوطه، در این ایستگاه دو دسته شکستگی S1 و S2 به عنوان روند غالب شکستگی‌ها در نظر گرفته می‌شود که ۴۸ درصد در دسته S1 و ۵۲ درصد در دسته S2 قرار گرفته‌اند. شکل ۳-۴۸ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل‌سرخ‌ی و استریوگرام‌های مربوطه نشان

داده است. براساس این نمودارها دسته درزه S1 در بازه امتدادی ۳۰ تا ۷۰ درجه و در بازه عمومی ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه برای جهت شیب، قرار گرفته‌اند. دسته درزه S2 با توجه به نمودار امتدادی در بازه ۳۳۰ تا ۳۵۰ درجه قرار دارد. همچنین بر اساس نمودار جهت شیب دارای دو بازه ۲۲۰ تا ۲۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ می‌باشد. به علاوه با توجه به نمودار گل سرخی شیبی ۵۴ درصد شکستگی‌ها دارای شیبی در بازه‌ی ۸۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند. شکستگی غالب مشاهده شده در این ایستگاه، شکستگی‌های عمود به لایه‌بندی (شکستگی‌های شیبی) می‌باشند (شکستگی‌های S2) که بر اثر عملکرد این سری شکستگی‌ها بر سطوح لایه‌بندی، سنگ به صورت بلوک‌هایی قطعه قطعه شده است (شکل ۳-۴۸).

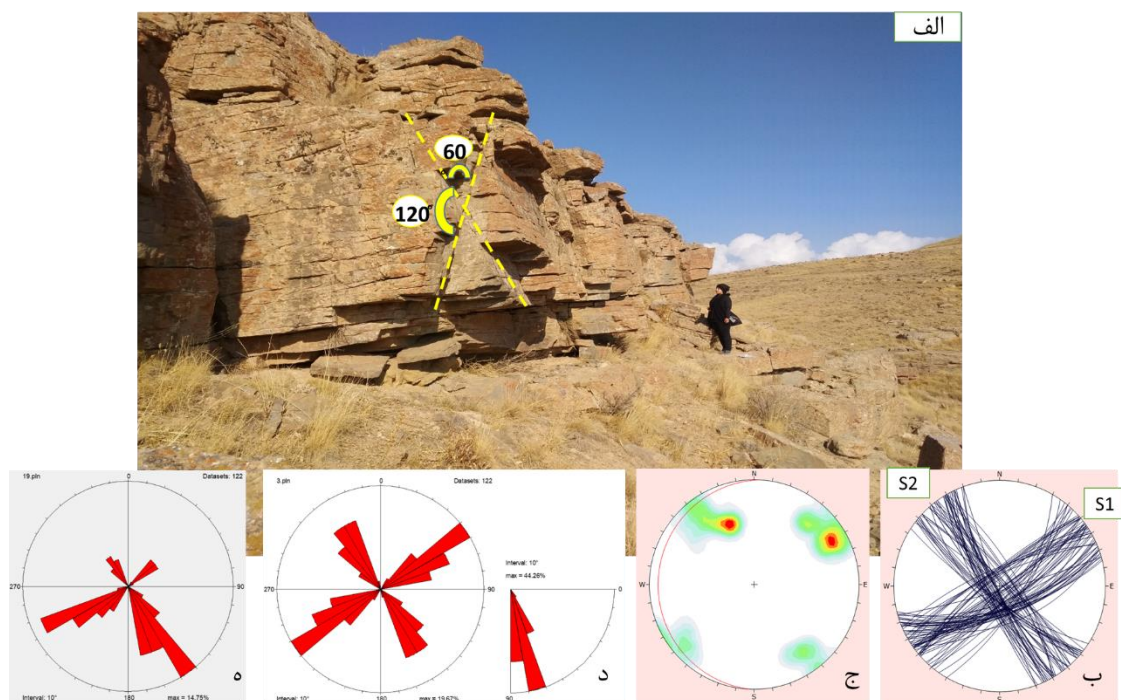


شکل ۳-۴۸- درزه‌های ایستگاه J6، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال غرب)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی و امتدادی، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J7

این ایستگاه با موقعیت $E 27' 39/6''$ و $N 14' 49/7'' 37^\circ$ در یال شمالی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۵/۲۷۳ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۲۲ درزه برداشت شده است. شکل ۳-۴۹ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی

و استریوگرام‌های مربوطه نمایش می‌دهد. به طور کلی دو دسته درزه غالب با روند NE-SW: S1 و S2: NW-SE در این ایستگاه قابل مشاهده است. این دو دسته درزه هر دو به صورت مایل نسبت به لایه‌بندی قرار دارند و نسبت به هم حالت مزدوج دارند. همان طور که در شکل نیز مشخص شده، زاویه‌ی بین درزه‌های مزدوج در این ایستگاه به طور تیبیک ۱۲۰ و ۶۰ درجه می‌باشد. دسته درزه S1، ۵۵ درصد و دسته S2، ۴۵ درصد از داده‌های مربوط به این ایستگاه را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نمودارهای مربوطه، شکستگی‌های S1 در بازه امتدادی ۴۰ تا ۸۰ درجه و بازه جهت شیب ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه می‌باشند. شکستگی‌های S2 نیز در بازه امتدادی ۳۰۰ تا ۳۴۰ درجه و بازه جهت شیب ۲۲۰ تا ۲۵۰ درجه قرار دارند. به علاوه بر اساس نمودار گل سرخی ۴۴ درصد از داده‌ها در بازه‌ی شیبی ۷۰ تا ۸۰ درجه هستند.

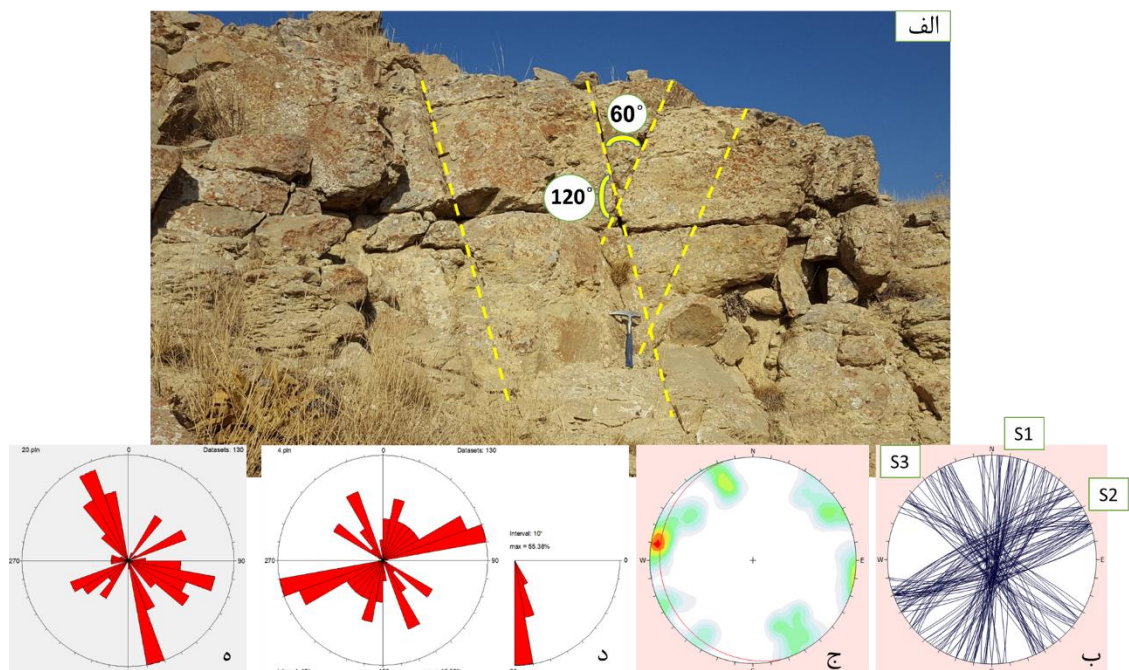


شکل ۳-۴۹- درزه‌های ایستگاه J7، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی و امتدادی، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J8

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 27' 51/30'' E$ و $37^{\circ} 14' 48/70'' N$ در یال شمالی این تاقدیس و در

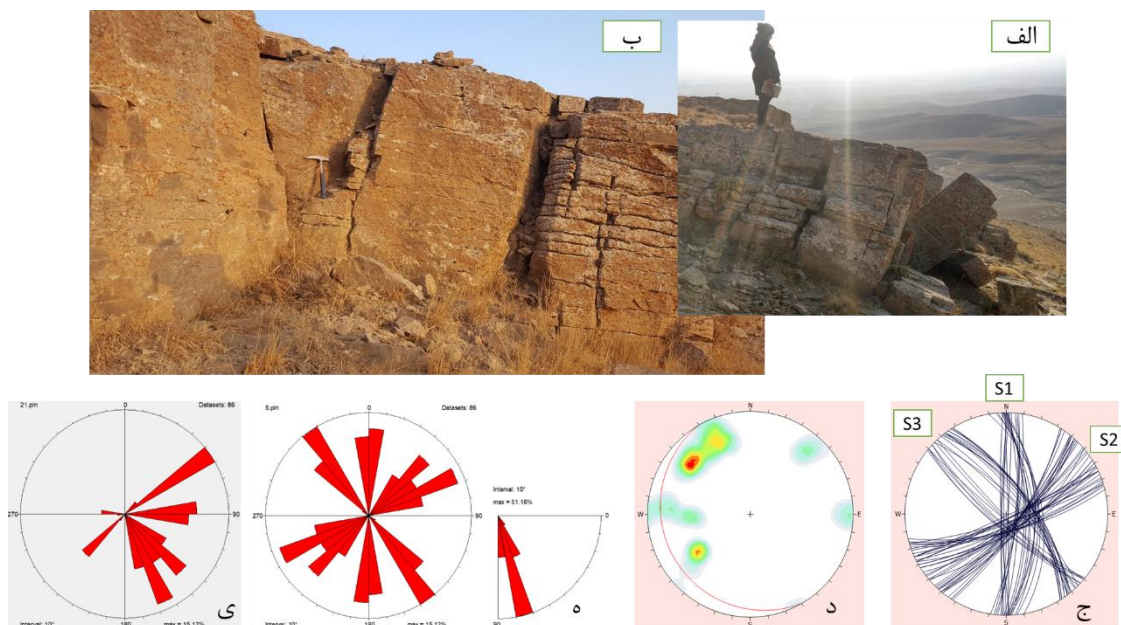
رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۶/۲۵۴ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۳۰ درزه برداشت شد. با توجه به نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه، روند غالب شکستگی‌های این ایستگاه متعلق به سه دسته S1: N-S، S2: NE-SW و S3: NW-SE می‌باشد. شکستگی‌های S2 و S3 نسبت به لایه‌بندی حالت مایل داشته (مزدوج) که همان طور که در شکل ۳-۵۰ نیز مشخص شده، زاویه‌ی بین این درزه‌های مزدوج به طور تیپیک ۱۲۰ و ۶۰ درجه است. شکستگی‌های S1 امتدادی به موازات امتداد لایه‌بندی داشته (درزه‌های امتدادی) که تقریباً ۲۵ درصد از کل درزه‌های این ایستگاه را به خود اختصاص داده است. بیشترین تعداد شکستگی‌ها مربوط به شکستگی‌های S2 بوده که ۵۳ درصد داده‌های این ایستگاه به این دسته تعلق دارد. با توجه به نمودارهای مربوطه شکستگی‌های S1 در بازه امتدادی ۰ تا ۴۰ درجه و بازه جهت شیب ۹۰ تا ۱۳۰ قرار دارند. شکستگی‌های S2 در بازه امتدادی ۵۰ تا ۸۰ درجه و بازه‌های جهت شیب ۳۱۰ تا ۳۵۰ و ۱۵۰ تا ۱۷۰ درجه می‌باشند. همچنین شکستگی‌های S3 در بازه امتدادی ۳۰۰ تا ۳۴۰ و بازه‌های جهت شیب ۳۰ تا ۷۰ و ۲۱۰ تا ۲۵۰ قرار دارند. به علاوه بر اساس نمودار گل سرخی شیپی ۵۵ درصد شکستگی‌ها دارای شیپی در بازه‌ی ۸۰ تا ۹۰ درجه هستند.



شکل ۳-۵۰- درزه‌های ایستگاه J8، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی شیپی و امتدادی، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J9

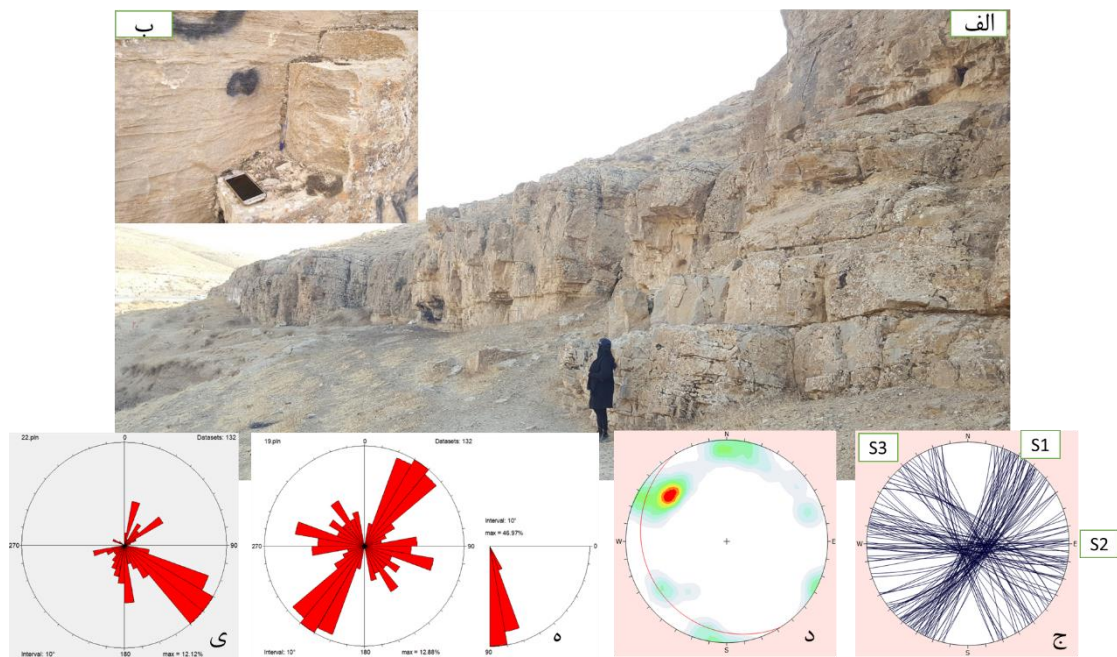
این ایستگاه با موقعیت $37^{\circ} 14' 41/40''$ N و $58^{\circ} 28' 02/30''$ E در یال جنوبی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۹/۲۱۵ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۸۶ درزه برداشت شده است. شکل ۳-۵۱ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده که حاکی از وجود سه دسته شکستگی مایل، عمود و موازی نسبت به امتداد لایه‌بندی در این ایستگاه می‌باشد. سه دسته شکستگی مذکور دارای روندهای S1: N-S، S2: NE-SW و S3: NW-SE می‌باشند. شکستگی‌های S1، ۲۷ درصد، S2، ۴۸ درصد و S3، ۲۵ درصد از داده‌های برداشت شده متعلق به این ایستگاه را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نمودار گل سرخی امتدادی برای این درزه‌ها، بازه امتدادی ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه برای S1، بازه امتدادی ۴۰ تا ۸۰ درجه برای S2 و بازه امتدادی ۳۱۰ تا ۳۳۰ برای S3 مشخص شد. همچنین با توجه به نمودار گل سرخی جهت شیب، بازه ۸۰ تا ۱۰۰ درجه برای S1، بازه ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه برای S2 و بازه‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه و ۲۲۰ تا ۲۳۰ درجه برای S3 به دست آمد. به علاوه با توجه به نمودار گل سرخی شیبی ۵۱ درصد از کل شکستگی‌ها شیبی بین ۷۰ تا ۸۰ درجه را دارا هستند.



شکل ۳-۵۱- درزه‌های ایستگاه J9، الف و ب) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید در عکس الف به سمت جنوب و در عکس ب به سمت شرق می‌باشد)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J10

این ایستگاه با موقعیت $E 38/40' 28^{\circ}$ و $N 49/60' 13^{\circ}$ در یال جنوبی تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۱۱/۲۳۸ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۳۲ درزه برداشت شد. سه دسته درزه S1، S2 و S3 در این ایستگاه قابل برداشت است. طول درزه‌ها با روند میانگین $71/130$ (S1) بالغ بر ۳۰ متر و طول درزه‌ها با روند نسبی $76/053$ (S3) بالغ بر ۲۰۰ متر می‌باشد و بازشدگی در این درزه‌ها ناچیز است. شکستگی غالب مشاهده شده در این ایستگاه، شکستگی‌های عمود بر لایه‌بندی (S1) با روند NE-SW می‌باشند (شکل ۳-۵۲). با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای شکستگی‌های برداشت شده از این ایستگاه، مشخص شد که ۵۱ درصد شکستگی‌ها در این ایستگاه در گروه شکستگی‌های S1 (NE-SW) قرار داشته و اکثراً شیبی در بازه ۸۰ تا ۹۰ درجه دارند. همچنین دو دسته S2 (E-W) و S3 (NW-SE)، به صورت مایل و موازی بر لایه‌بندی (امتدادی) بوده و به ترتیب ۲۶ و ۲۳ درصد از داده‌ها را شامل می‌شود. از طرفی بر اساس نمودار گل سرخی امتدادی بازه ۲۰ تا ۶۰ درجه برای S1، بازه ۷۰ تا ۱۱۰ برای S2 و بازه ۳۱۰ تا ۳۵۰ برای S3 مشخص شده است. نمودار گل سرخی جهت شیب نیز بازه ۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه را برای S1، بازه ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه را برای S2 و بازه‌های ۱۰ تا ۶۰ درجه و ۲۱۰ تا ۲۶۰ درجه را برای S3 نمایش می‌دهد.

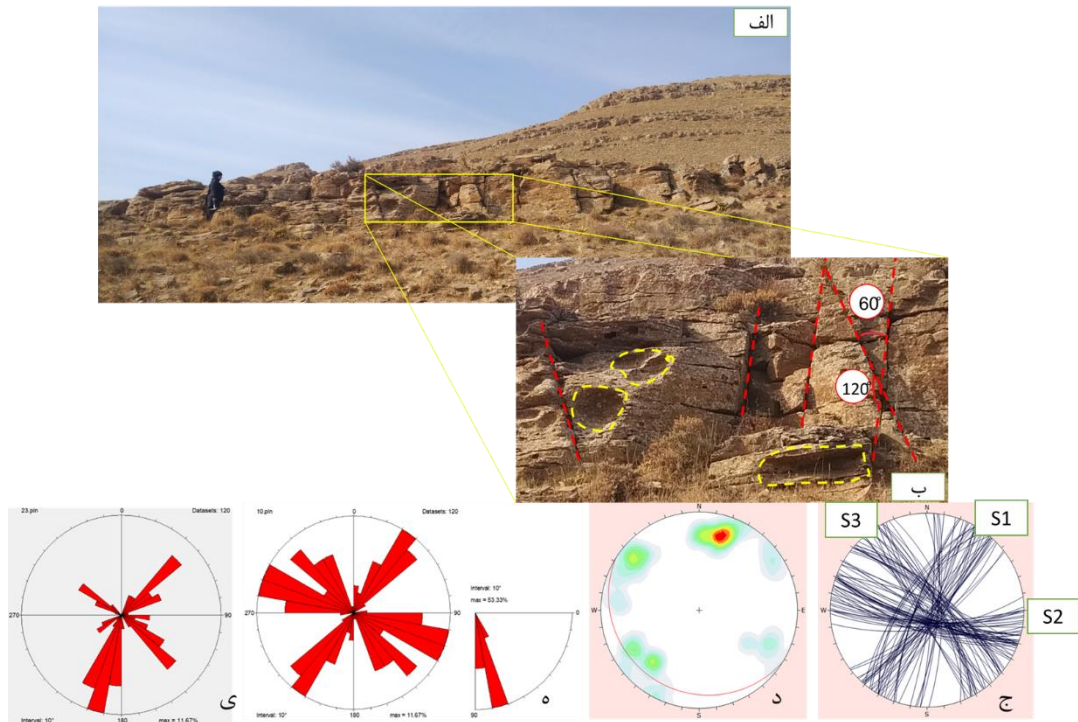


شکل ۳-۵۲- درزه‌های ایستگاه J10 الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت جنوب غرب). ب) نمایی نزدیک از سه سری درزه موجود در ایستگاه (دید به سمت غرب)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J11

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 28' 29.70'' E$ و $37^{\circ} 14' 03.60'' N$ در یال جنوبی این تاقدیس و در رخنمون سازند تیرگان با موقعیت لایه‌بندی ۱۰/۲۱۲ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۲۰ درزه برداشت شد. نحوه قرارگیری صفحات تمرکز قطب این شکستگی‌ها نسبت به لایه‌بندی حاکی از وجود سه سری شکستگی عمود، مایل و موازی بوده که شکستگی غالب مشاهده شده در این ایستگاه، از نوع شکستگی‌های مایل می‌باشد. این شکستگی‌ها به ترتیب در گروه شکستگی‌های S1، S2 و S3 با فراوانی ۳۰، ۳۶ و ۳۴ درصد، قرار می‌گیرند و ۵۳ درصد از کل این شکستگی‌ها در بازه‌ی شیبی ۷۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۳-۵۳ مشخص شده، تعدادی از درزه‌ها به صورت مزدوج در ایستگاه قابل برداشت است که زاویه‌ی بین این درزه‌ها در ایستگاه مربوطه به طور تیپیک ۱۲۰ و ۶۰ درجه است. همچنین شواهدی از انحلال در سازند مربوطه نیز قابل رویت می‌باشد. بر اساس نمودارهای ترسیم شده در شکل ۳-۵۳، بازه امتدادی ۱۵ تا ۵۰ درجه برای S1، بازه امتدادی ۸۵ تا ۱۲۰ درجه برای S2 و بازه امتدادی ۳۱۰ تا ۳۴۰ درجه برای S3 مشخص شده است. همچنین با توجه به نمودار گل سرخی جهت

شیب، بازه‌های ۱۰۰ تا ۱۴۰ و ۳۰۰ تا ۳۲۰ درجه برای S1، بازه ۱۸۰ تا ۲۳۰ برای S2 و بازه ۱۰ تا ۵۰ درجه برای S3 قابل مشاهده است.

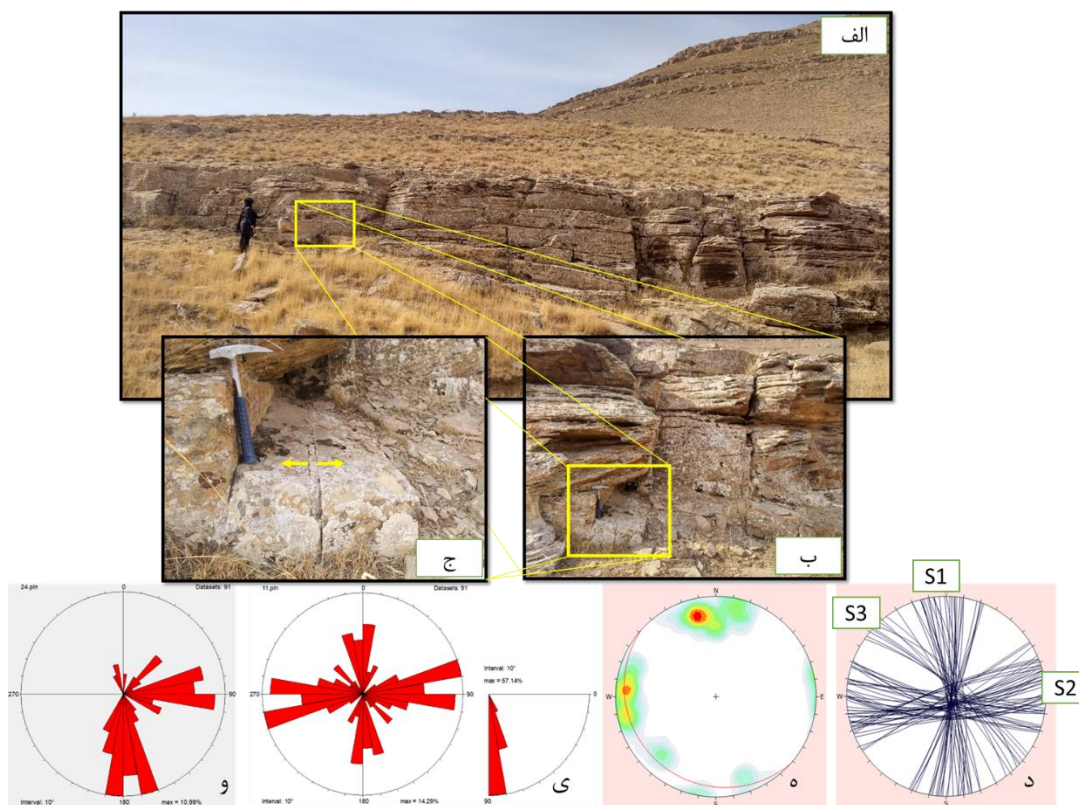


شکل ۳-۵۲- درزه‌های ایستگاه J11، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت جنوب غرب)، ب) نمایی نزدیک از درزه‌های مزدوج و حفرات انحلالی (دید به سمت جنوب غرب)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شییبی و امتدادی، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J12

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 28' 25/8'' E$ و $37^{\circ} 14' 10/9'' N$ در یال جنوبی این تاقدیس با موقعیت لایه‌بندی ۸/۲۲۲ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۹۱ درزه برداشت شده است. شکل ۳-۵۴ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده که حاکی از وجود دو دسته شکستگی مایل و یک دسته شکستگی موازی نسبت به لایه‌بندی در این ایستگاه می‌باشد که به دلیل فراوانی ناچیز شکستگی‌های موازی امتداد لایه‌بندی از این دسته شکستگی‌ها در تحلیل این ایستگاه صرف نظر شده است. شکستگی‌های ذکر شده با روند S1: N-S، S2: E-W و S3: NW-SE در ایستگاه قابل مشاهده هستند. با توجه به نمودار گل سرخی مربوطه می‌توان

نتیجه گرفت که ۵۴ درصد از داده‌ها مربوط به شکستگی‌های S2 می‌باشد. از طرفی با بررسی نمودار گل سرخی امتدادی می‌توان بازه امتدادی ۱۶۰ تا ۲۱۰ درجه را برای S1 و بازه امتدادی ۶۰ تا ۱۱۰ درجه را برای S2 در نظر گرفت. همچنین بر اساس نمودار گل سرخی جهت شیب، بازه ۷۰ تا ۱۲۰ درجه برای S1 و بازه ۱۵۰ تا ۲۱۰ درجه برای S2 مشاهده می‌شود. به علاوه با توجه به نمودار گل سرخی شیبی ۵۷ درصد از داده‌ها دارای شیبی بین ۸۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند.

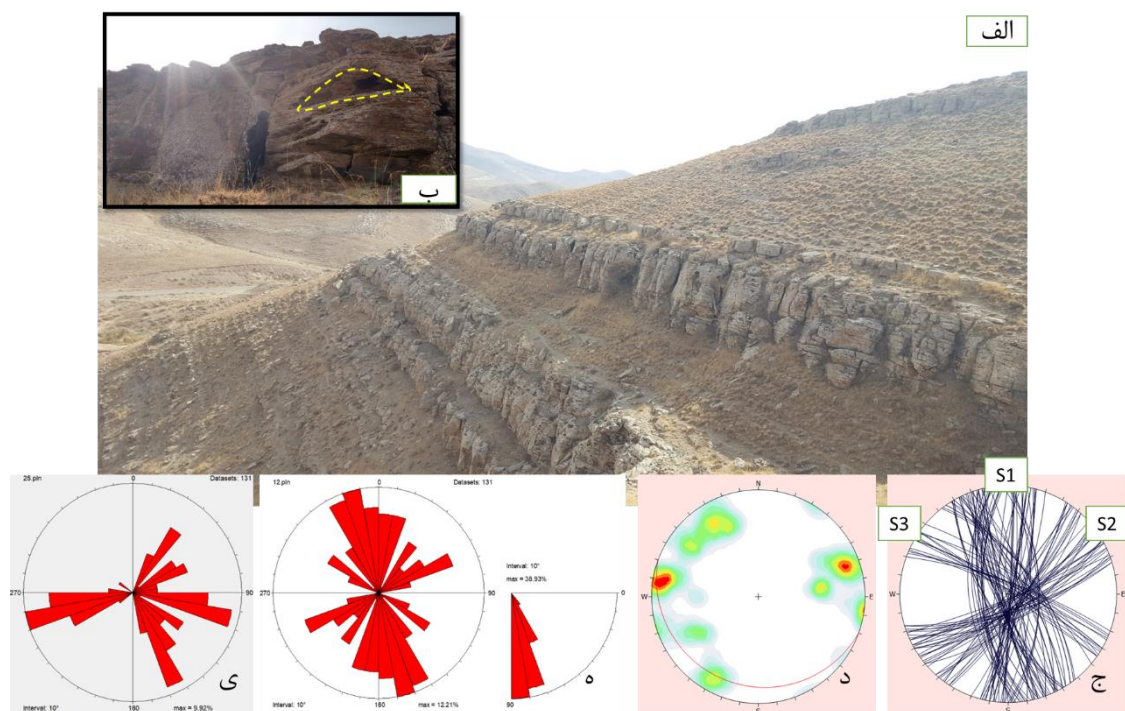


شکل ۳-۵۴- درزه‌های ایستگاه J12، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت جنوب غرب)، ب) تصویری نزدیک از درزه‌ها (دید به سمت جنوب غرب)، ج) نمایی نزدیک از درزه کششی موجود در ایستگاه، د) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، ه) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ی) نمودار گل سرخی و امتدادی، و) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J13

این ایستگاه با موقعیت $37^{\circ} 14' 19.2'' N$ و $58^{\circ} 28' 28.7'' E$ در یال جنوبی این تاقدیس با موقعیت لایه‌بندی ۱۰/۲۰۰ واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۳۱ درزه برداشت شد. نحوه قرارگیری صفحات تمرکز قطب این شکستگی‌ها نسبت به لایه‌بندی حاکی از وجود سه سری شکستگی عمود، مایل و

موازی می‌باشد. این شکستگی‌ها به ترتیب در گروه شکستگی‌های دسته S1، S2 و S3 قرار می‌گیرند که در این میان شکستگی‌های S1 با ۴۸ درصد از داده‌ها، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. شیب ۸۰ تا ۹۰ نیز با توجه به نمودار گل سرخی شیپی، با سهم ۳۹ درصدی از داده‌ها به عنوان بیشترین فراوانی شیب‌ها مطرح است. نمودار گل سرخی امتدادی، بازه امتدادی ۱۴۵ تا ۲۰۰ درجه برای S1، بازه امتدادی ۳۵ تا ۷۵ درجه برای S2 و بازه امتدادی ۲۹۰ تا ۳۱۰ درجه را برای S3 نمایش می‌دهد. به علاوه نمودار گل سرخی جهت شیب، بازه‌های ۲۴۰ تا ۲۷۰ و ۴۰ تا ۹۰ درجه را برای S1، بازه ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه برای S2 و بازه ۲۰ تا ۴۰ درجه را برای S3 نشان می‌دهد. شواهد انحلال نیز به میزان زیاد در این ایستگاه قابل مشاهده است (شکل ۳-۵۵).

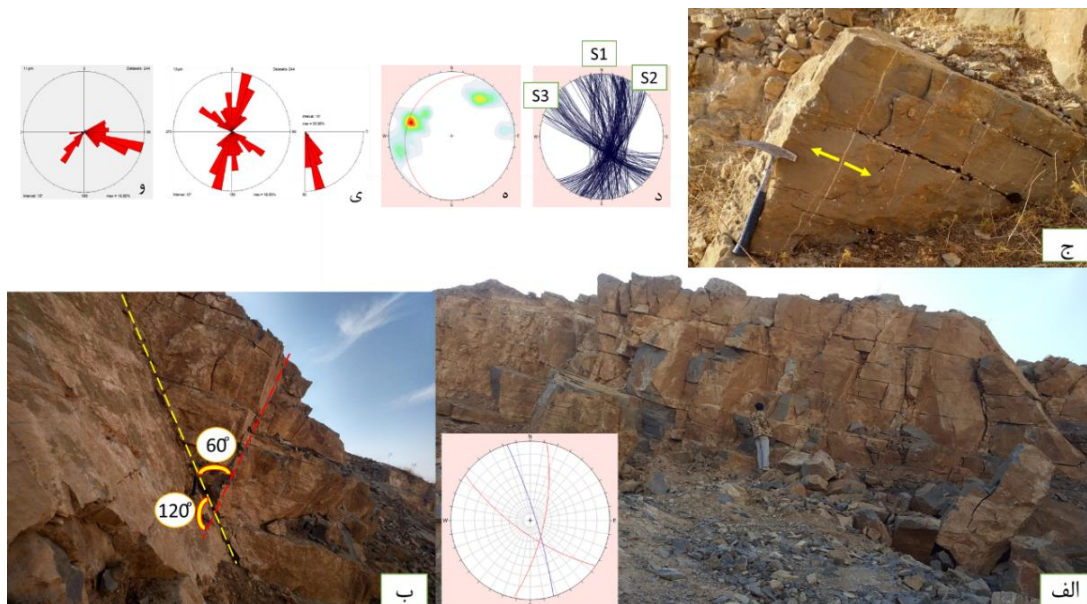


شکل ۳-۵۵- درزه‌های ایستگاه J13، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت جنوب شرق). ب) نمایی نزدیک از درزه‌ها و حفرات انحلالی (دید به سمت جنوب غرب). ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی و امتدادی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J14

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 28' 54.6'' E$ و $37^{\circ} 13' 34.7'' N$ در محدوده‌ی دکل مخابراتی در شمال روستای زوباران با موقعیت لایه‌بندی ۱۸/۲۸۹ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد

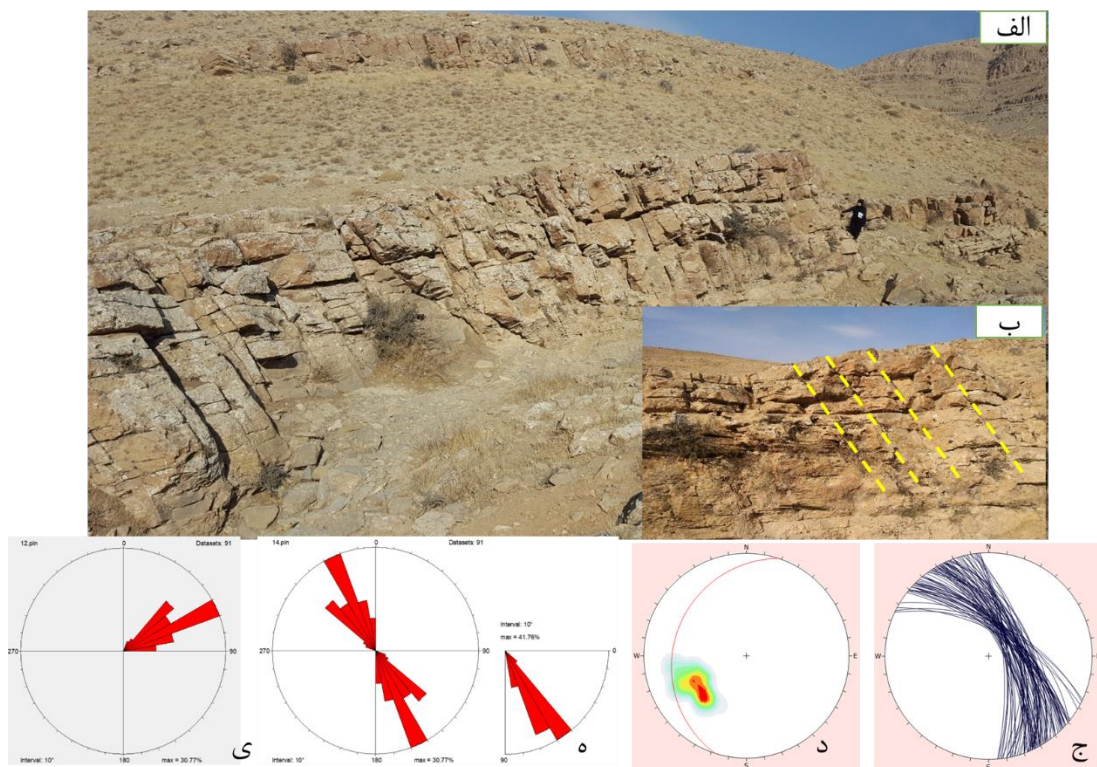
۲۴۴ درزه برداشت شده است. سه دسته درزه اصلی با روند S1: N-S، S2: NE-SW و S3: NW-SE قابل مشاهده است. همان طور که در شکل ۳-۵۶ مشخص شده، تعدادی درزه‌ی مزدوج در ایستگاه قابل برداشت است که زاویه‌ی بین این درزه‌ها در ایستگاه مربوطه به طور تیبیک ۱۲۰ و ۶۰ درجه است که این درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی حالتی تقریباً مایل دارند. با توجه به نمودارهای گل سرخی و استریوگرام-های مربوطه ۵۸ درصد داده‌ها مربوط به S1، ۲۳ درصد مربوط به S2 و ۱۹ درصد مربوط به S3 می‌باشد که از این بین بیشترین درصد داده‌ها متعلق به شکستگی‌های امتدادی (S1) می‌باشد. شکستگی‌های S1 در بازه امتدادی ۱۵۵ تا ۲۰۰ درجه، شکستگی‌های S2 در بازه امتدادی ۲۰ تا ۵۰ درجه و شکستگی‌های S3 در بازه امتدادی ۲۹۰ تا ۳۳۰ درجه قرار دارند. همچنین نمودار گل سرخی جهت شیب بازه ۶۰ تا ۱۰۰ درجه را برای S1، ۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه را برای S2 و بازه ۲۰۰ تا ۲۴۵ را برای S3 نشان می‌دهد. به علاوه با توجه به نمودار گل سرخی شیبی، ۳۶ درصد از کل داده‌ها دارای شیبی بین ۷۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند.



شکل ۳-۵۶- درزه‌های ایستگاه J14، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده به همراه استریوپلات درزه‌های موجود در ایستگاه (دید به سمت جنوب شرق). ب) نمایی نزدیک از درزه‌های مزدوج (دید به سمت جنوب)، ج) نمایی نزدیک از درزه‌های کششی موجود در ایستگاه (دید به سمت جنوب)، د) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده‌ی صفحات شکستگی، ه) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ی) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی، و) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J15

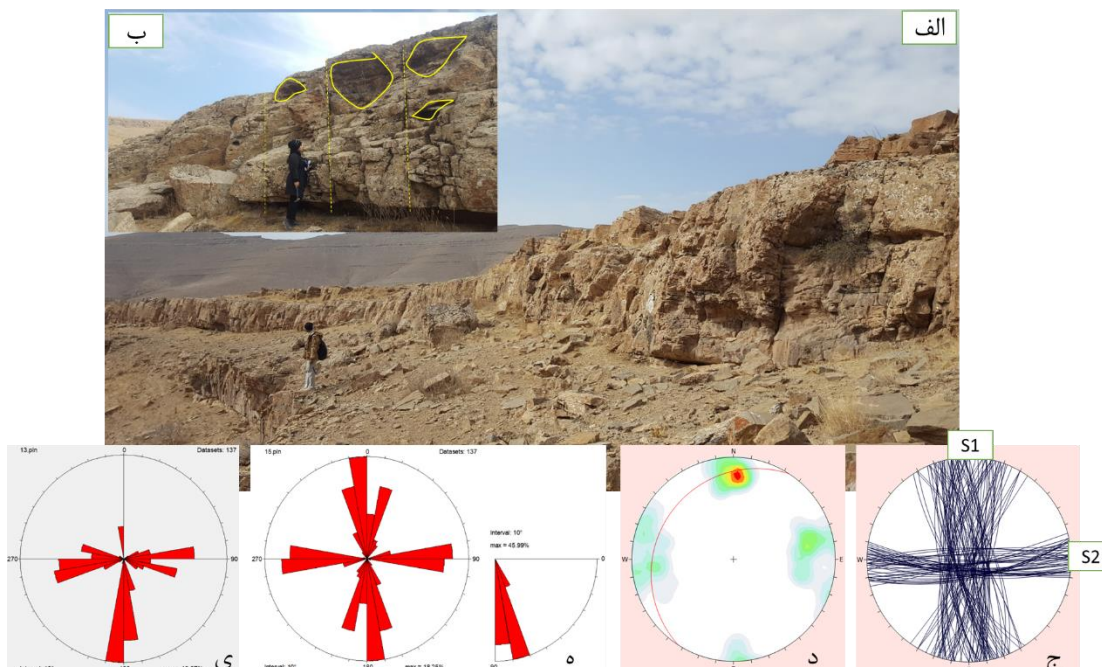
این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 29' 4/08'' E$ و $37^{\circ} 13' 48/4'' N$ و در موقعیت میانگین لایه‌بندی ۱۹/۲۸۸ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۹۱ درزه برداشت شده است. همان‌طور که شکل ۳-۵۷ مشخص شده، روند کلی درزه‌های این ایستگاه به طور تقریبی NW-SE می‌باشد و جزء درزه‌های مایل نسبت به لایه‌بندی محسوب می‌شوند. این دسته درزه با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی در بازه ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه و با توجه به نمودار گل سرخی جهت شیب، در بازه ۴۰ تا ۹۰ درجه قرار می‌گیرند. همچنین با توجه به نمودار گل سرخی شیبی ۴۲ درصد داده‌ها شیبی بین ۵۰ تا ۶۰ درجه را دارا هستند.



شکل ۳-۵۷- درزه‌های ایستگاه J15، الف و ب) نمای کلی و نمای نزدیک از درزه‌های برداشت شده (دید در عکس الف به سمت شمال غرب و در عکس ب به سمت غرب می‌باشد)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی که به صورت توامان در یک دیاگرام قرار گرفته است، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J16

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 29' 9/37'' E$ و $37^{\circ} 14' 4/29'' N$ و در موقعیت میانگین لایه‌بندی $15/303$ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۱۳۷ درزه برداشت شده است. همان‌طور که در شکل ۳-۵۸ مشخص شده، شکستگی‌های S1 و S2 غالب شکستگی‌ها در ایستگاه مذکور را به خود اختصاص داده‌اند که در این میان شکستگی‌های S1، ۷۲ درصد و شکستگی‌های S2، ۲۸ درصد داده‌ها را شامل می‌شوند. قابل ذکر است که با توجه به نمودار هم‌تراز قطبی ترسیم شده، شکستگی‌های S1 در این ایستگاه تقریباً مایل نسبت با امتداد لایه‌بندی و شکستگی‌های S2 عمود بر امتداد لایه‌بندی (شیبی) می‌باشند. تراکم درزه‌ها در این ایستگاه به صورتی است که تقریباً در هر ۱۰ متر ۱۷ تا ۲۰ درزه با طول تقریبی ۱۵ متر وجود دارد. همچنین متوسط بازشدگی در حدود ۳ سانتی متر می‌باشد، البته درزه‌هایی با بازشدگی ۱۰ سانتی متر نیز در ایستگاه قابل مشاهده است. شواهد انحلال نیز به میزان زیاد در اطراف درزه‌هایی که به صورت عرضی لایه‌بندی را قطع کرده‌اند، مشاهده می‌شود که در شکل ۳-۵۸ مشخص شده است.

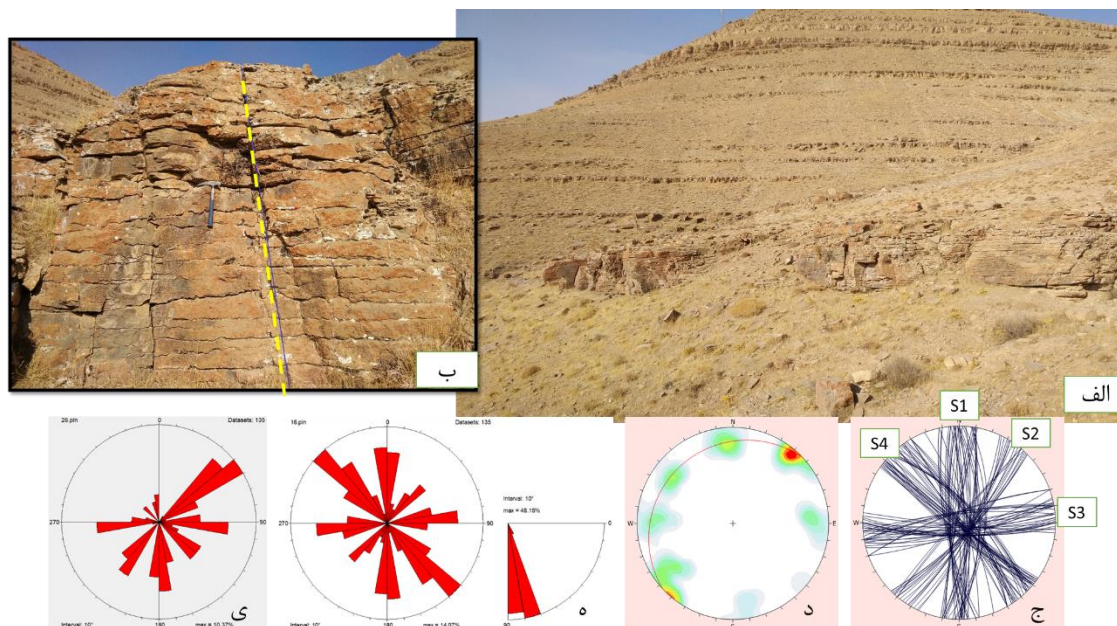


شکل ۳-۵۸- درزه‌های ایستگاه J16 (الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت غرب)، (ب) نمایی نزدیک از درزه‌ها و حفرات انحلالی (دید به سمت شرق)، (ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، (د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها، (ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است، (ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی، شکستگی‌های S1 در بازه امتدادی ۱۵۵ تا ۲۰۰ درجه و شکستگی‌های S2 در بازه امتدادی ۷۰ تا ۱۰۰ درجه قرار دارند. به علاوه با بررسی نمودار گل سرخی جهت شیب بازه‌های ۷۰ تا ۱۱۵ درجه و ۲۵۰ تا ۲۸۵ درجه برای شکستگی‌های S1 و بازه‌های ۱۶۰ تا ۱۹۰ و ۳۵۰ تا ۳۶۰ درجه برای S2 مشاهده می‌شود.

درزه‌های ایستگاه J17

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 29' 24/68'' E$ و $37^{\circ} 14' 8/37'' N$ و در موقعیت میانگین لایه‌بندی ۱۲/۳۱۷ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۱۳۵ درزه برداشت شده است. شکل ۵۹-۳ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده است. شکستگی‌های مشاهده شده در این ایستگاه ۴ دسته شکستگی S1: N-S، S2: NE-SW، S3: E-W و S4: NW-SE را شامل می‌شود. غالب شکستگی‌ها مربوط به S4 با ۳۲ درصد از داده‌های برداشت شده است. دسته‌های S1، S2 و S3 به ترتیب ۲۹، ۱۶ و ۲۳ درصد از داده‌ها را شامل می‌شوند. همچنین با توجه به رزیدیاگرام شیبی، ۴۸ درصد داده‌ها در بازه‌ی شیبی ۷۰ تا ۸۰ درجه قرار دارند. با توجه به موقعیت درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی شکستگی‌های S1، مایل، شکستگی‌های S2، موازی (امتدادی)، شکستگی‌های S3، مایل و شکستگی‌های S4 عمود بر لایه‌بندی می‌باشند. براساس نمودار گل سرخی امتدادی، بازه ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه برای S1، بازه ۲۵ تا ۴۵ درجه برای S2، بازه ۷۰ تا ۱۰۰ درجه برای S3 و بازه ۳۰۰ تا ۳۳۵ درجه برای S4 مشاهده می‌شود. همچنین نمودار گل سرخی جهت شیب بازه‌های ۸۰ تا ۱۰۰ و ۲۶۰ تا ۲۸۰ درجه را برای S1، بازه ۱۱۰ تا ۱۴۰ درجه را برای S2، بازه ۱۶۰ تا ۱۹۰ درجه را برای S3 و بازه‌های ۲۱۰ تا ۲۳۰ و ۴۰ تا ۶۰ درجه را برای S4 نشان می‌دهد (شکل ۵۹-۳).

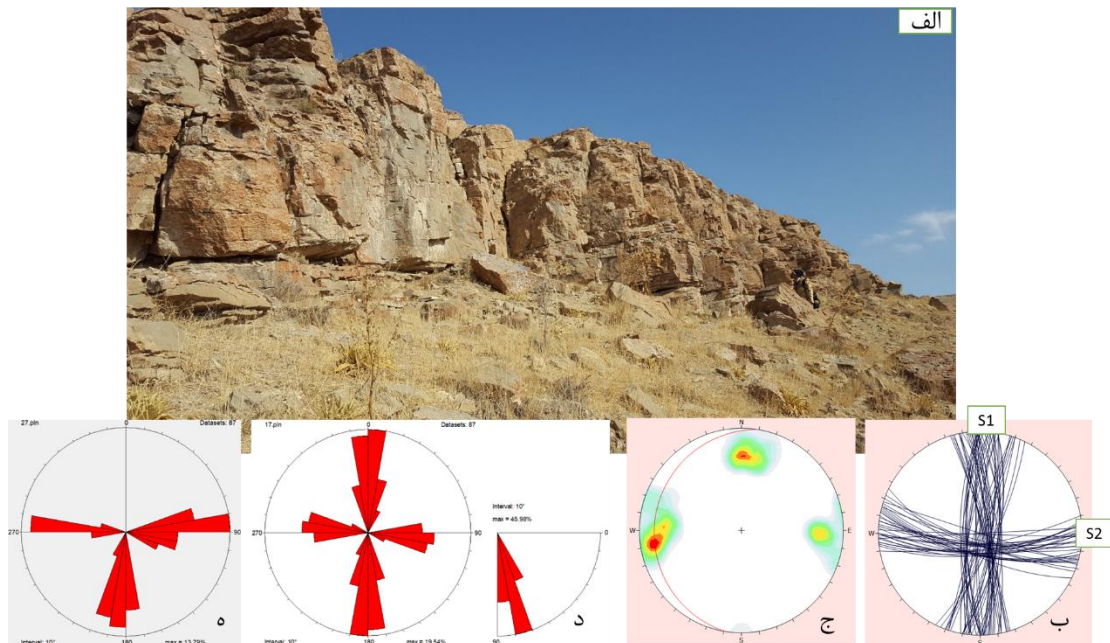


شکل ۳-۵۹- درزه‌های ایستگاه J17، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شمال غرب)، ب) نمایی نزدیک از درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی (دید به سمت شمال)، ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، د) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، ه) نمودار گل سرخی شیبی و امتدادی که به صورت توامان در یک دیاگرام قرار گرفته است، ی) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J18

این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 29' 33/8'' E$ و $37^{\circ} 14' 1/4'' N$ و در موقعیت میانگین لایه‌بندی ۹/۲۷۹ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۸۷ درزه برداشت شده است. طول تمام درزه‌ها در این ایستگاه به طور تقریبی ۱۵ متر با بازشدگی نیم سانتی متر تا چند سانتی متر می‌باشد. شکل ۳-۶۰ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده است. دو دسته شکستگی S1: N-S و S2: E-W قابل مشاهده است. شکستگی‌های S1 و S2 غالب شکستگی‌ها در ایستگاه مذکور را به خود اختصاص داده‌اند که در این میان شکستگی‌های S1، ۶۹ درصد و شکستگی‌های S2، ۳۱ درصد داده‌ها را شامل می‌شوند. شکستگی‌های S1 در این ایستگاه تقریباً موازی با امتداد لایه‌بندی و شکستگی‌های S2 عمود بر امتداد لایه‌بندی (شیبی) می‌باشند. با توجه به نمودار گل سرخی شیبی نیز شیب ۷۰ تا ۸۰، ۴۶ درصد داده‌ها را شامل شده است. شکستگی‌های S1 در بازه امتدادی ۱۶۰ تا ۲۰۵ درجه و شکستگی‌های S2 در بازه امتدادی ۸۰ تا ۱۱۰ درجه قرار دارند.

بر اساس نمودار گل سرخی جهت شیب، شکستگی‌های S1 در بازه‌های ۷۰ تا ۱۲۰ درجه و ۲۶۵ تا ۲۸۵ درجه و شکستگی‌های S2 در بازه ۱۷۰ تا ۲۰۰ درجه می‌باشند (شکل ۳-۶۰).

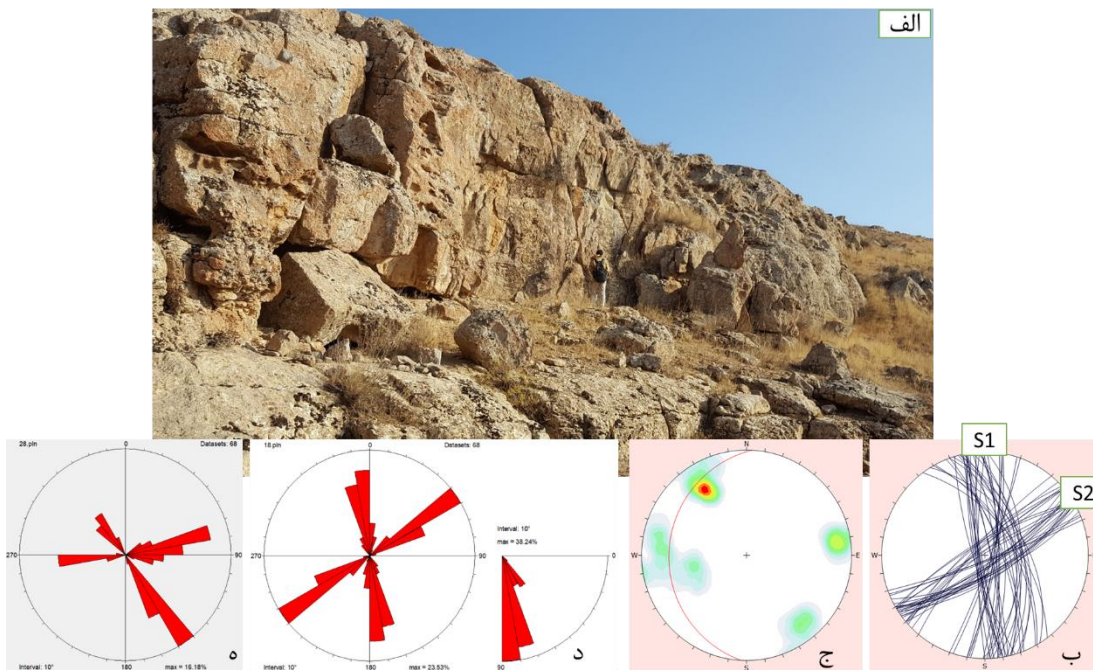


شکل ۳-۶۰- درزه‌های ایستگاه J18، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت شرق)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی و امتدادی که به صورت توامان در یک دیاگرام قرار گرفته است، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

درزه‌های ایستگاه J19

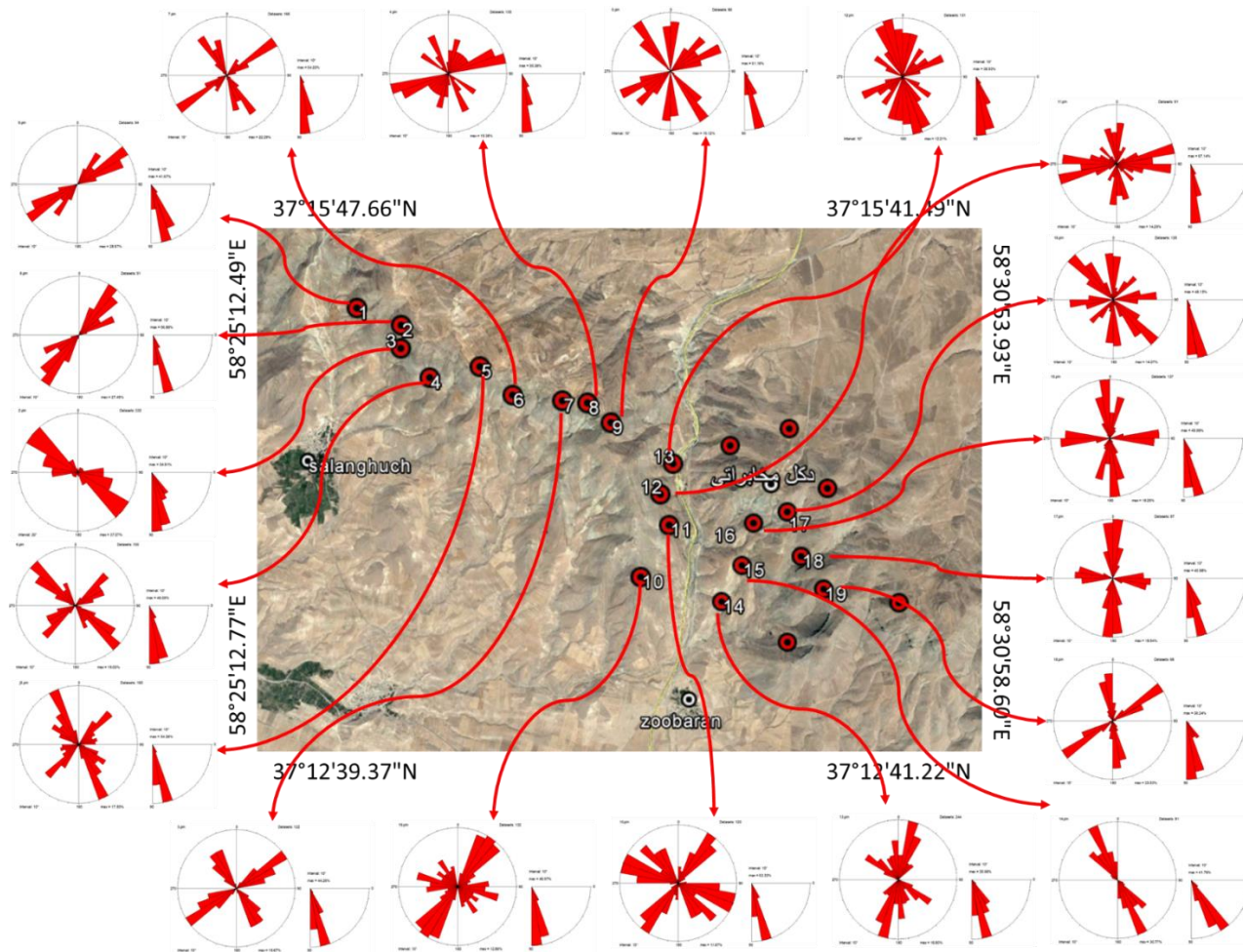
این ایستگاه با موقعیت $58^{\circ} 29' 36.30'' E$ و $37^{\circ} 13' 52.10'' N$ و در موقعیت میانگین لایه‌بندی ۱۷/۲۷۳ واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۶۸ درزه برداشت شده است. طول تمام درزه‌ها در این ایستگاه به طور تقریبی ۱۵ متر با بازشدگی نیم سانتی متر تا چند سانتی متر می‌باشد. شواهد انحلال نیز در امتداد درزه‌ها قابل مشاهده است. شکل ۳-۶۱ تصویر صحرایی از درزه‌های مورد نظر را به همراه نمودارهای گل سرخی و استریوگرام‌های مربوطه نشان داده است. در این ایستگاه دو دسته شکستگی S1 و S2 قابل مشاهده است که به ترتیب موازی و مایل نسبت به امتداد لایه‌بندی می‌باشند. قابل ذکر است دسته S1، ۵۶ درصد داده‌ها را شامل شده است و اکثر داده‌ها (۳۸ درصد) دارای شیب ۸۰ تا ۹۰ درجه هستند. دسته درزه S1 در بازه امتدادی ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه و بازه جهت شیب

۶۰ تا ۱۱۰ و ۲۶۰ تا ۲۷۵ درجه قرار دارد. دسته درزه S2 نیز در بازه امتدادی ۴۰ تا ۷۰ درجه و بازه جهت شیب ۱۴۰ تا ۱۶۰ و ۳۲۰ تا ۳۴۰ درجه می‌باشد (شکل ۳-۶۱).



شکل ۳-۶۱- درزه‌های ایستگاه J19، الف) نمایی از درزه‌های برداشت شده (دید به سمت جنوب شرق)، ب) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی، ج) نمودار هم تراز قطبی درزه‌ها، د) نمودار گل سرخی و شیبی و امتدادی که به صورت توامان در یک دیاگرام قرار گرفته است، ه) نمودار گل سرخی جهت شیب.

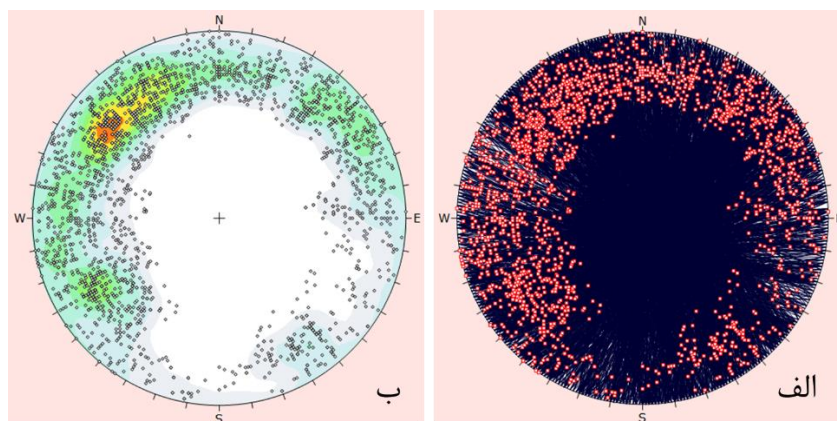
موقعیت ایستگاه‌های مختلف برداشت شکستگی‌ها به همراه نمودارهای گل سرخی امتدادی و شیبی ایستگاه‌های مربوطه بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth pro (شکل ۳-۶۲) پلات شده است.



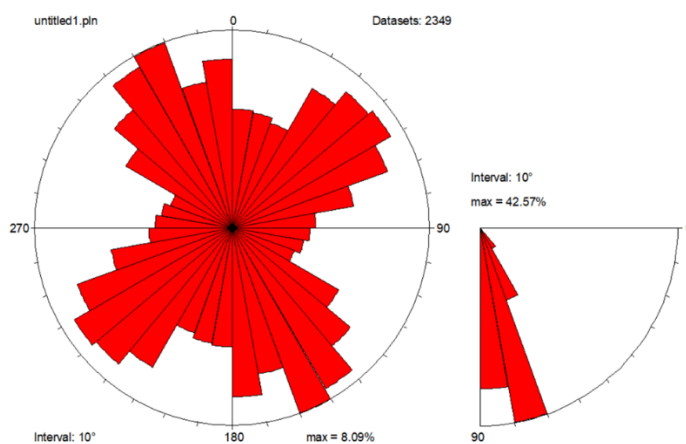
شکل ۳-۶۲- موقعیت شکستگی‌های برداشت شده در ایستگاه‌های منطقه به همراه نمودارهای گل سرخی امتدادی و شیبی مربوط به هر کدام بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست برگرفته از Google earth.

۳-۳-۴- نمودار گل سرخی کل درزه‌های منطقه

استریوگرام‌ها و نمودارهای گل سرخی مربوط به کل درزه‌های برداشت شده از محدوده‌ی مطالعاتی در شکل ۳-۶۳ و شکل ۳-۶۴ آمده است. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده، دو روند غالب برای درزه‌های منطقه قابل ذکر است: یکی روند NE-SW و دیگری روند NW-SE که این دو روند از شکستگی‌های اصلی منطقه تبعیت می‌کنند. همچنین با توجه به نمودار رزیدیاگرام شیبی ۴۳ درصد از کل داده‌ها در بازه‌ی شیبی بین ۷۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند.



شکل ۳-۶۳- الف: استریوپلات گل شکستگی‌های برداشت شده از منطقه، ب: استریوگرام تمرکز قطب صفحات شکستگی (کنتور دیاگرام).



شکل ۳-۶۴- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی مربوط به کل درزه‌های برداشت شده از محدوده‌ی مطالعاتی.

۵-۳-۳- منشأ شکستگی ها

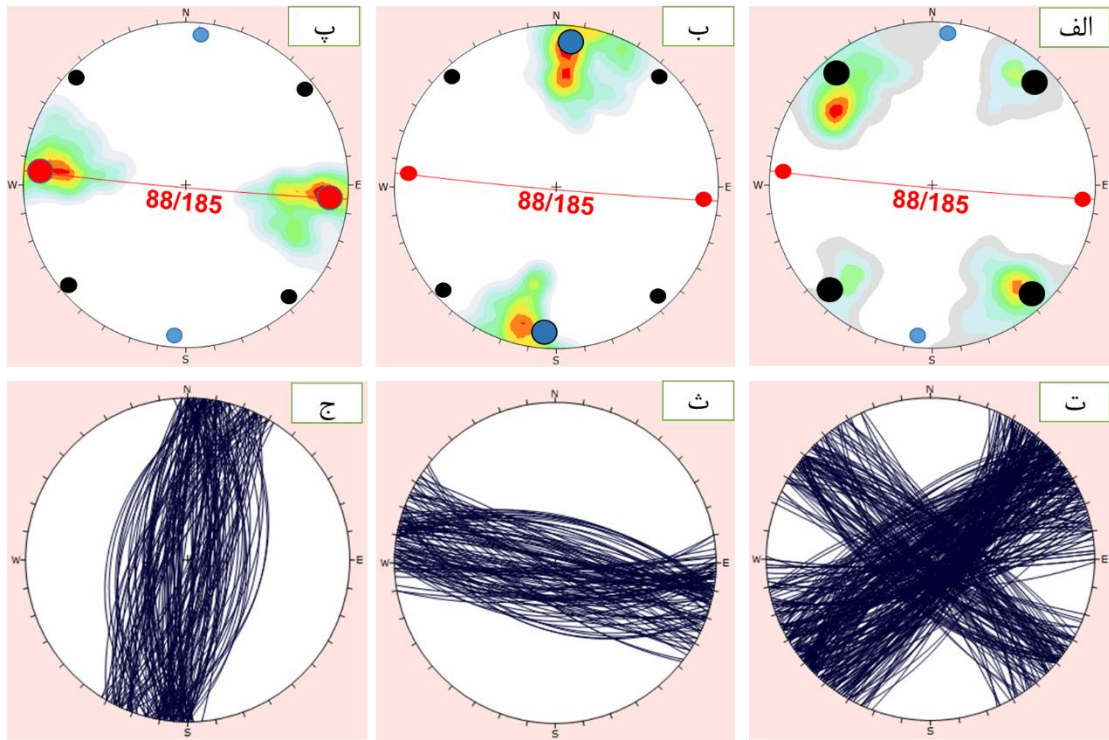
به منظور تحلیل ساختاری مناسب بررسی منشأ شکستگی‌های موجود در منطقه امری ضروری است. تعیین منشأ شکستگی‌ها می‌تواند درکی مناسب‌تر و بهتر از شرایط تکتونیکی منطقه ارائه دهد. ارتباط هندسی این ساختارها با ساختمان‌های اصلی زمین‌شناسی مانند چین‌خوردگی و گسل و همچنین تنش مسبب آن‌ها موجب شده است مطالعه و شناخت این ساختارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. از این‌رو در ادامه در دو بخش مجزا به تعیین منشأ شکستگی‌ها در ارتباط با ساختارهای موجود در منطقه پرداخته خواهد شد.

الف- شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی

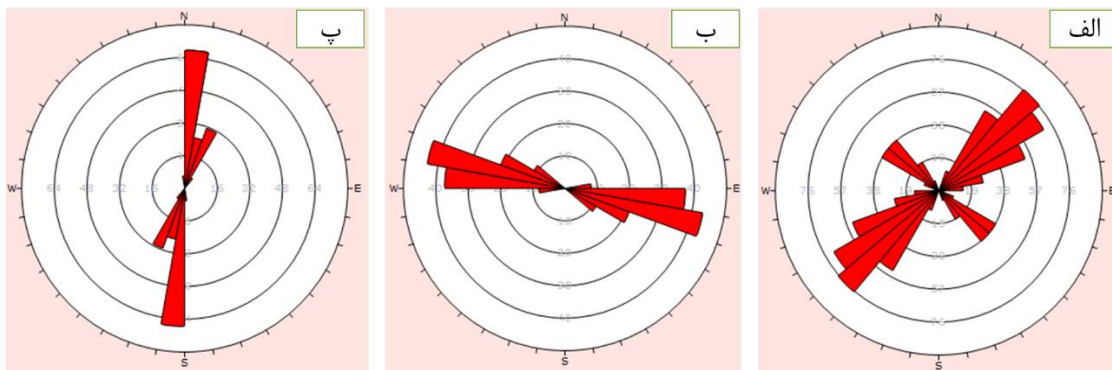
هم‌زمان که لایه‌های سنگی تحت تاثیر نیروهای خارجی دچار چین‌خوردگی می‌شوند، درزه‌هایی با جهت‌گیری خاص، در این لایه‌ها شکل می‌گیرند. در این حالت سه گروه عمده ازدسته درزه‌ها شکل خواهد گرفت که در بخش ۳-۴-۲ به تفصیل به آن پرداخته شده است. با توجه به اینکه دو تاقدیس زوباران غربی و زوباران شرقی به عنوان چین‌خوردگی‌های اصلی منطقه مورد مطالعه مطرح هستند، بررسی منشأ شکستگی‌ها با این دو چین‌خوردگی در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

الف-۱- شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران غربی

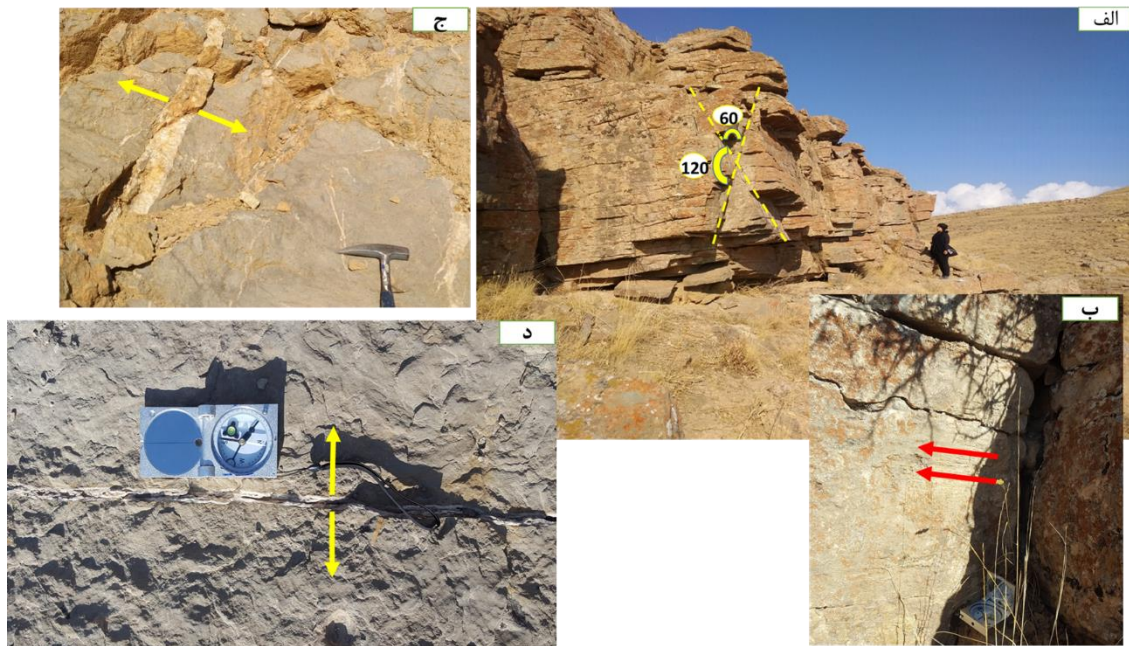
به منظور بررسی ارتباط میان شکستگی‌ها و چین‌خوردگی در این تاقدیس، شکستگی‌های موجود، در دو پیمایش طولی و عرضی اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به وضعیت هندسی چین، شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در ادامه شرح داده شده است. قابل ذکر است از آنجا که ویژگی‌های هندسی چین در سرتاسر آن تقریباً یکسان است، تمام شکستگی‌های برداشت شده به صورت یک‌جا مورد تحلیل استریوگرافیک قرار گرفتند. به این منظور ابتدا شکستگی‌های آرمانی مرتبط با این چین پیش‌بینی و در استریوگرام رسم گردید سپس شکستگی‌های موجود با آن‌ها مقایسه شد (شکل ۳-۶۵ و شکل ۳-۶۶). همچنین نمونه‌هایی از این شکستگی‌ها در شکل ۳-۶۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶۵- تصاویر استریوگرافیک درزه‌های برداشت شده در پیمایش‌های صورت گرفته بر روی ناقدیس زوباران غربی. تصاویر الف و ت شکستگی‌های مزدوج، تصاویر ب و ث شکستگی‌های کششی طولی و تصاویر پ و ج، شکستگی‌های کششی عرضی را نشان می‌دهند. محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی مزدوج با دایره با رنگ مشکی، محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی طولی با دایره به رنگ آبی و محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی عرضی با دایره به رنگ قرمز نشان داده شده است. همانطور که مشهود است محل تمرکز شکستگی‌های آرمانی و شکستگی‌های برداشت شده از ناقدیس، بر هم انطباق دارند.



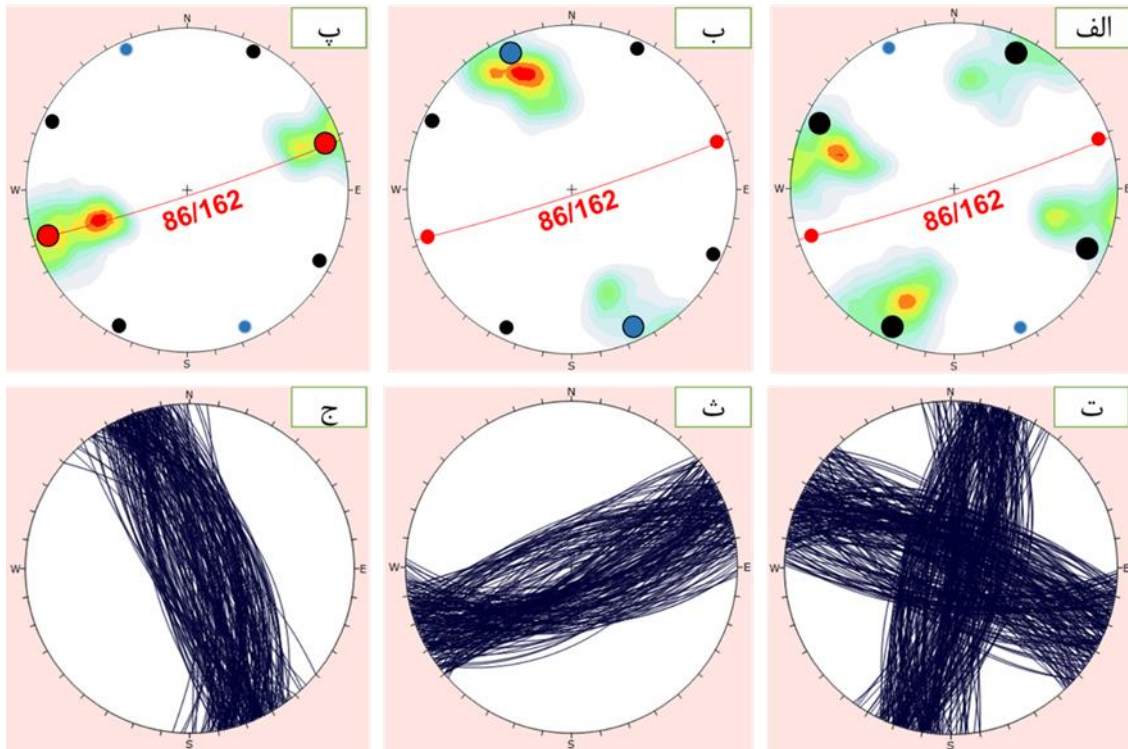
شکل ۳-۶۶- نمودارهای گل سرخی امتداد شکستگی‌های برداشت شده در ناقدیس زوباران غربی. الف_ شکستگی‌های برشی مزدوج، ب_ شکستگی‌های کششی طولی، پ_ شکستگی‌های کششی عرضی.



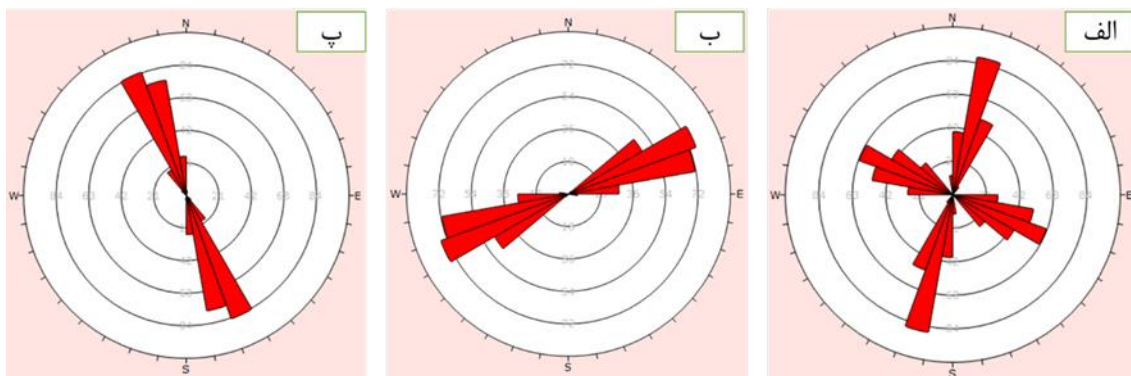
شکل ۳-۶۷- الف_ شکستگی‌های مزدوج، ب_ شکستگی برشی چپ بر، ج و د_ شکستگی‌های کششی مرتبط با تاقدیس زوباران غربی.

الف-۲- شکستگی‌های مرتبط با تاقدیس زوباران شرقی

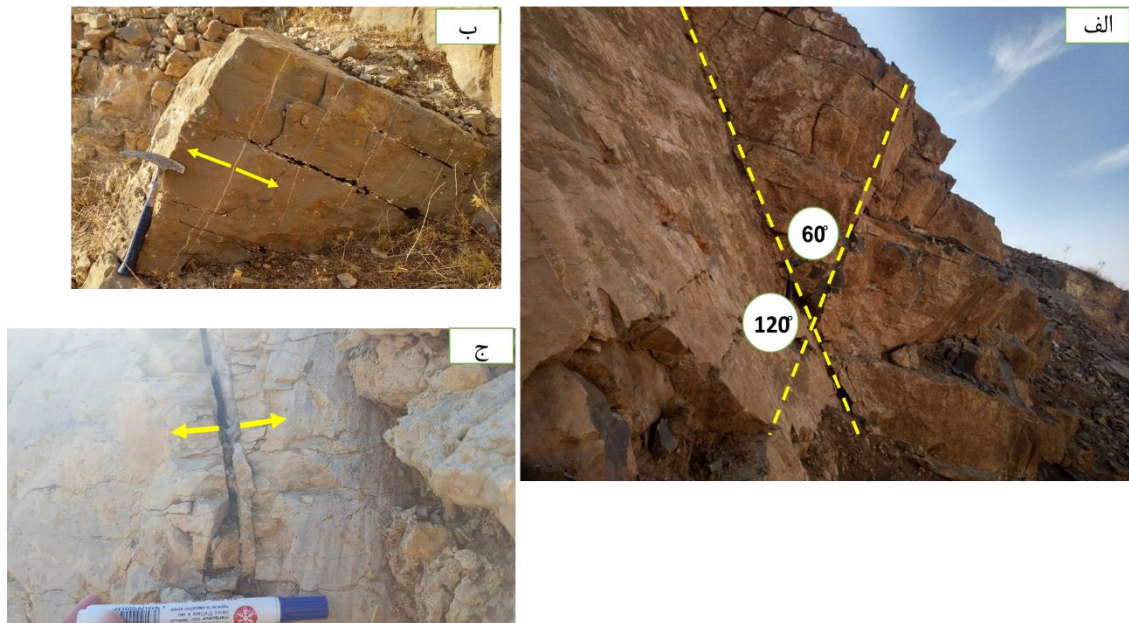
به منظور بررسی ارتباط میان شکستگی‌ها و چین‌خوردگی در تاقدیس زوباران شرقی، شکستگی‌های موجود، اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به وضعیت هندسی چین، شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در ادامه شرح داده شده است. به منظور تحلیل استریوگرافیک مناسب ابتدا شکستگی‌های آرمانی مرتبط با این چین پیش‌بینی و در استریوگرام رسم گردید سپس شکستگی‌های موجود با آن‌ها مقایسه شد (شکل ۳-۶۸ و شکل ۳-۶۹). همچنین نمونه‌هایی از انواع درزه‌های مرتبط با این تاقدیس در شکل ۳-۷۰ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶۸- تصاویر استریوگرافیک درزه‌های برداشت شده در پیمایش‌های صورت گرفته بر روی تاق‌دیس زوباران شرقی. تصاویر الف و ت شکستگی‌های مزدوج، تصاویر ب و ث شکستگی‌های کششی طولی و تصاویر پ و ج، شکستگی‌های کششی عرضی را نشان می‌دهند. محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی مزدوج با دایره به رنگ مشکی، محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی طولی با دایره به رنگ آبی و محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی عرضی با دایره به رنگ قرمز نشان داده شده است. همانطور که مشهود است محل تمرکز شکستگی‌های آرمانی و شکستگی‌های برداشت شده از تاق‌دیس، بر هم انطباق دارند.



شکل ۳-۶۹- نمودارهای گل سرخی امتداد شکستگی‌های برداشت شده در تاق‌دیس زوباران شرقی. الف_ شکستگی‌های برشی مزدوج، ب_ شکستگی‌های کششی طولی، پ_ شکستگی‌های کششی عرضی.



شکل ۳-۷۰- الف_ شکستگی‌های مزدوج، ب و ج_ شکستگی‌های کششی مرتبط با تاقدیس زوباران شرقی.

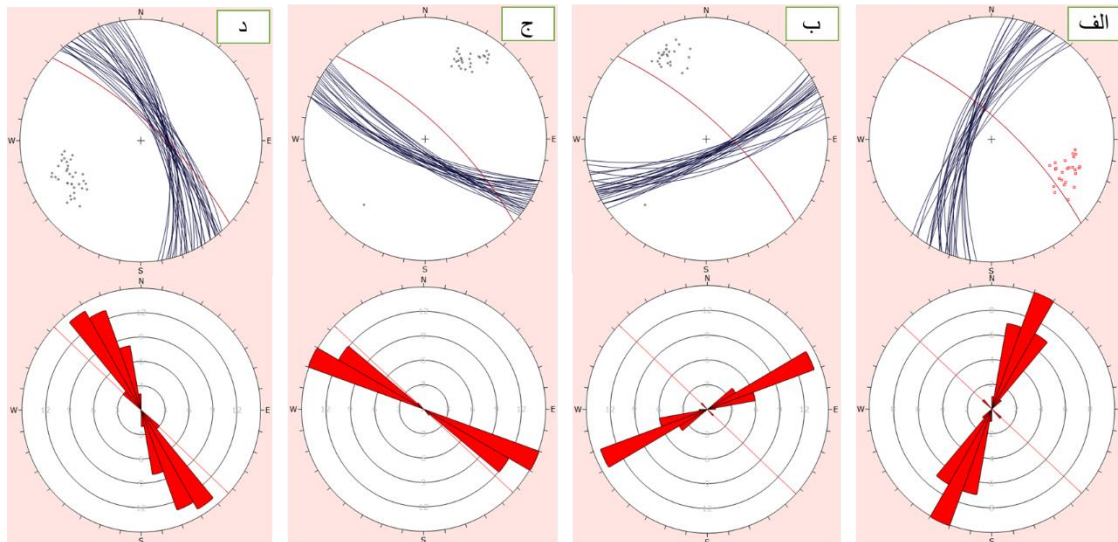
ب- شکستگی‌های مرتبط با گسلش

برخی از شکستگی‌ها می‌توانند ناشی از فعالیت گسل‌ها باشند و در مناطق گسلی بر روی واحدهای سنگی قابل رویت هستند. از انواع شکستگی‌های مرتبط با گسل می‌توان به شکستگی‌های برشی، مزدوج و کششی اشاره کرد که از این میان بیشترین سهم عموماً متعلق به شکستگی‌های برشی می‌باشد. در بخش ۳-۴-۱ به طور مفصل به توضیح این شکستگی‌ها پرداخته شده است. با توجه به حضور دو گسل اصلی و مهم قوچان-زوباران و سالانقوچ در منطقه مورد مطالعه، و با در نظر گرفتن تحلیل‌های صورت گرفته در بخش شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی، تعدادی از شکستگی‌ها که هم روند با گسل‌های مربوطه بوده و در محدوده‌ی این گسل‌ها برداشت شدند، مرتبط با این گسل‌ها در نظر گرفته شدند که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

ب-۱- ارتباط درزه‌ها با گسل قوچان-زوباران

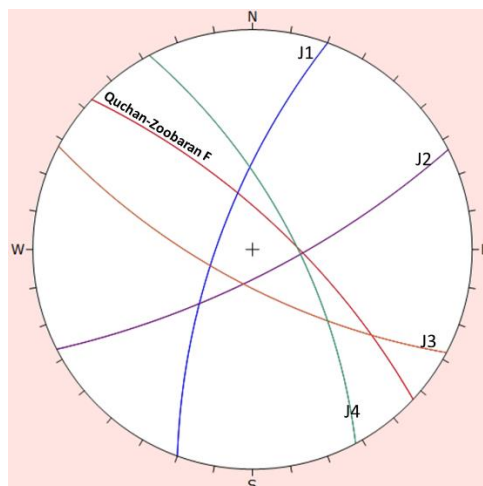
گسل قوچان-زوباران به عنوان اصلی‌ترین گسل منطقه با موقعیت هندسی $73/043$ و سازوکار امتدادلغز راست‌بر به موازات جاده قوچان-باجگیران رخنمون دارد. به منظور ارتباط درزه‌ها با گسل اصلی منطقه، تعدادی از شکستگی‌ها که در محدوده‌ی ترانشه جاده قوچان-باجگیران برداشت شدند، مرتبط با این

گسل در نظر گرفته شدند. شکستگی‌های J1، J2، J3 و J4 دسته شکستگی اصلی مرتبط با این گسل هستند. شکل ۳-۷۱ استریوگرام درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را به همراه نمودارهای گل سرخی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷۱- الف: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J1، و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل قوچان-زوباران. ب: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J2، و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل. ج: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J3، و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل. د: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J4، و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل.

دسته درزه (J1) و (J2) به ترتیب با موقعیت میانگین $72/290$ و $76/153$ ، زاویه 72 درجه و 75 درجه با گسل قوچان-زوباران می‌سازند که در رده‌ی شکستگی‌های R' قرار می‌گیرند و جزو شکستگی‌های ناهمسو با حرکت گسل به شمار می‌روند و دارای سازوکاری مخالف گسل قوچان-زوباران می‌باشند. شکستگی (J3) با موقعیت میانگین $72/208$ جزو شکستگی‌های نوع P محسوب می‌شود که زاویه 36 درجه را با سطح این گسل می‌سازد و دارای سازوکاری مشابه گسل مورد نظر است. شکستگی (J4) با موقعیت میانگین $69/062$ و با میانگین زاویه 19 درجه نسبت به گسل قوچان-زوباران در رده‌ی شکستگی‌های R و همسو با گسل جای دارد و از نظر سازوکار با گسل مورد نظر مشابه می‌باشد. شکل ۳-۷۲ استریوگرام میانگین درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را نشان می‌دهد.

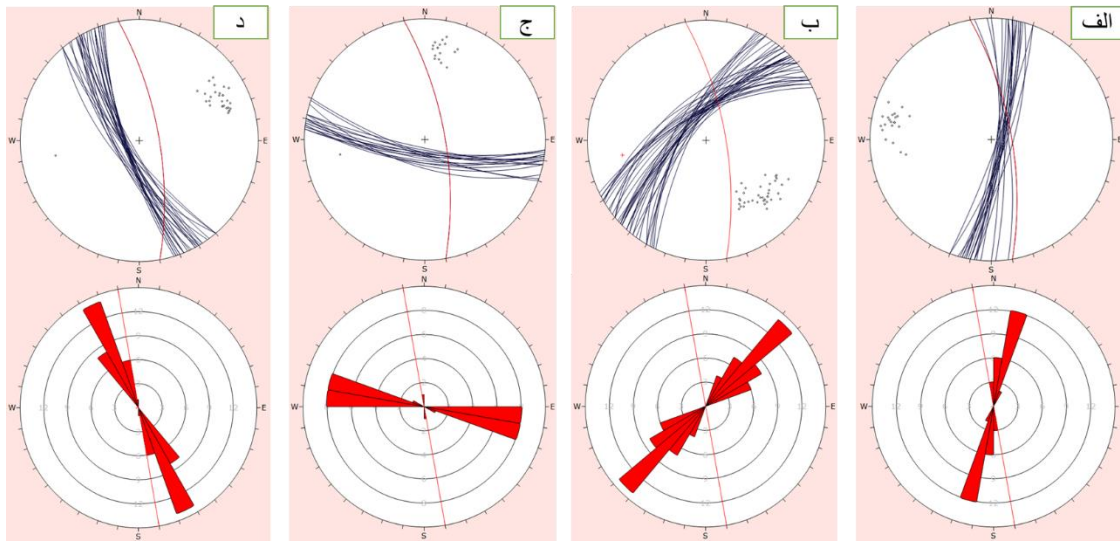


شکل ۳-۷۲- استریوگرام میانگین شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسلش به همراه صفحه گسل قوچان-زوباران.

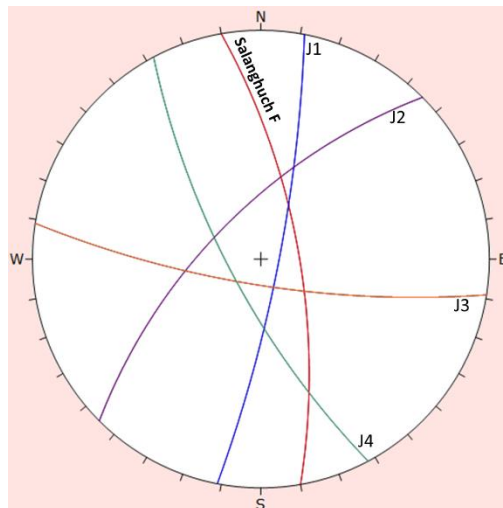
ب-۲- ارتباط درزه‌ها با گسل سالانقوچ

گسل سالانقوچ با موقعیت هندسی $71/080$ در شمال روستای سالانقوچ رخنمون داشته و سبب ایجاد دره‌ای گسلی در این محدوده شده است. به منظور ارتباط درزه‌ها با این گسل و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، تعدادی از شکستگی‌ها که در محدوده‌ی دره‌ی مزبور برداشت شدند، مرتبط با این گسل در نظر گرفته شدند. شکستگی‌های $J1$ ، $J2$ ، $J3$ و $J4$ دسته شکستگی اصلی مرتبط با این گسل هستند. شکل ۳-۷۳ استریوگرام درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را به همراه نمودارهای گل سرخی نشان می‌دهد.

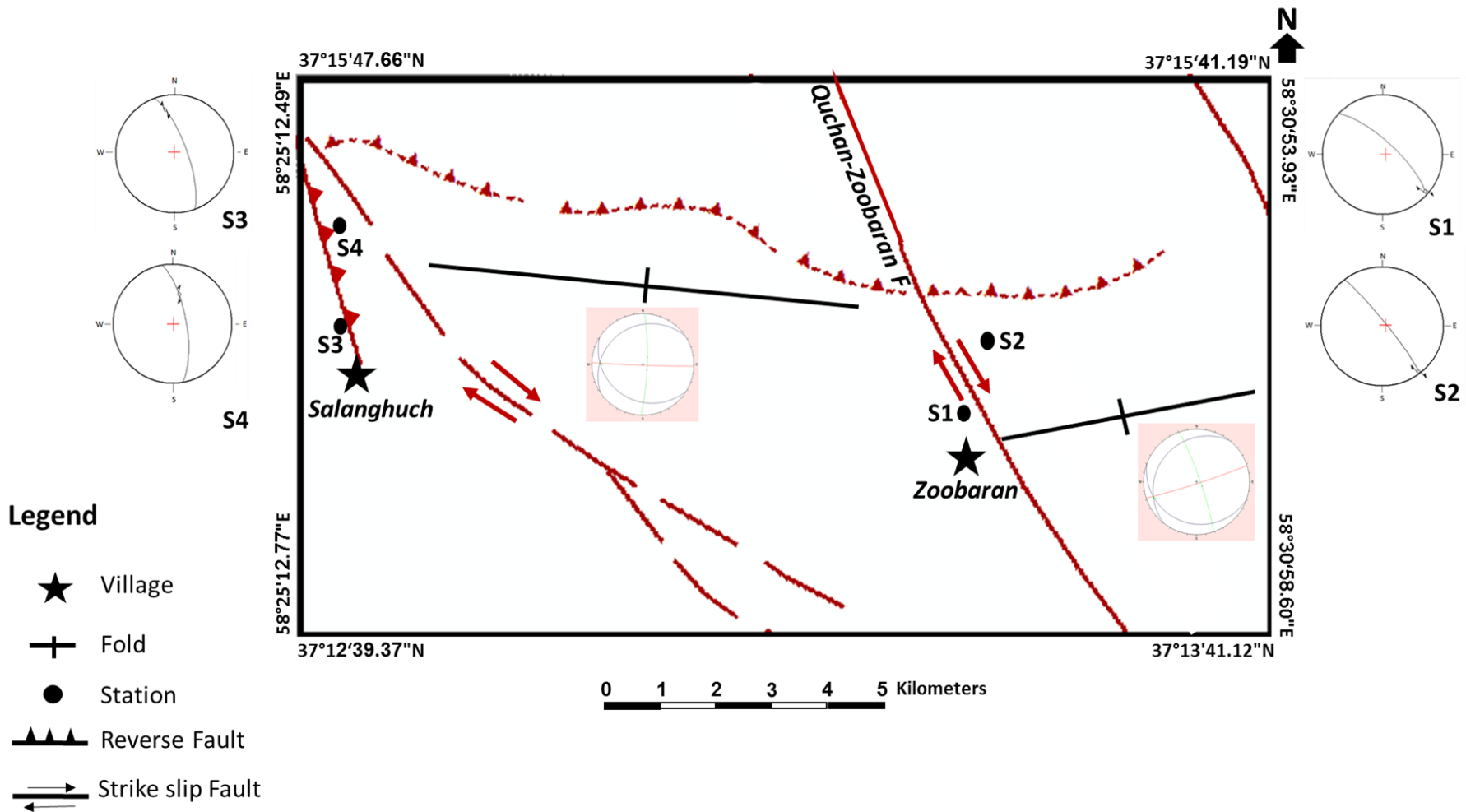
دسته درزه ($J1$) با موقعیت میانگین $81/101$ ، زاویه 23 درجه با گسل سالانقوچ می‌سازد و در رده‌ی شکستگی‌های نوع R و همسو با گسل جای دارد که از نظر سازوکار با گسل مورد نظر مشابه می‌باشد. شکستگی‌های ($J2$) و ($J3$)، به ترتیب با موقعیت میانگین $66/315$ و $77/189$ در رده‌ی شکستگی‌های R' قرار می‌گیرند و جزو شکستگی‌های ناهمسو با حرکت گسل به شمار می‌روند که دارای سازوکار چپ‌بر و مخالف گسل سالانقوچ می‌باشند. شکستگی ($J4$) با موقعیت میانگین $74/242$ جزو شکستگی‌های نوع P محسوب می‌شود که زاویه 38 درجه را با سطح این گسل می‌سازد و دارای سازوکاری مشابه گسل مذکور می‌باشد. شکل ۳-۷۴ استریوگرام میانگین درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷۳- الف: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J1 و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل سالانقوچ. ب: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J2 و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل. ج: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J3 و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل. د: تصویر استریوگرافیک از سطوح شکستگی J4 و نمودار گل سرخی آن به همراه موقعیت سطح گسل.



شکل ۳-۷۴- استریوگرام میانگین شکستگی‌های برداشت شده از محدودهی گسلش به همراه صفحه گسل سالانقوچ.



شکل ۳-۷۵- نقشه ساختاری منطقه به همراه استریونتهای مربوط به ایستگاههای برداشت چین‌ها و گسل‌های اصلی.

فصل چہارم

بحث و نتیجہ گیری

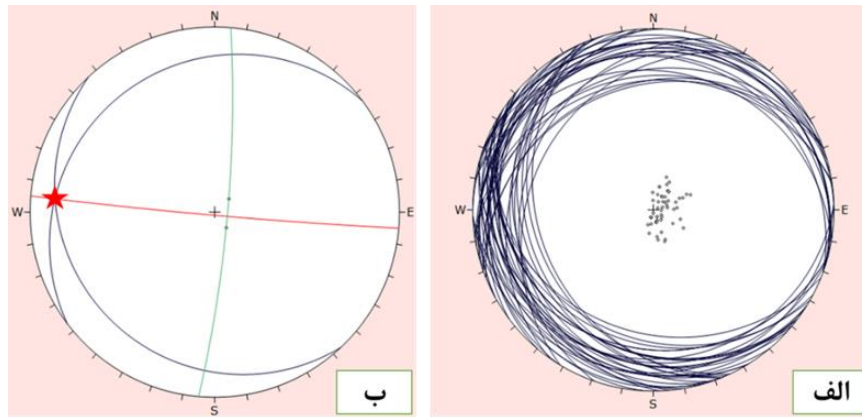
پژوهش حاضر به مطالعه عناصر ساختاری اصلی (چین‌ها، گسل‌ها، شکستگی‌ها و درزه‌ها) در شمال قوچان پرداخته است. تحلیل و شناسایی ارتباط عناصر ساختاری از اهداف اصلی این پژوهش بوده است. برای نیل به این اهداف ارتباط شکستگی‌ها و درزه‌های منطقه با چین‌خوردگی‌های زوباران شرقی و غربی و همچنین با گسل‌های اصلی موجود در منطقه (قوچان-زوباران و سالانقوچ) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کلی به دست آمده از این پژوهش در این فصل بیان شده است.

۱-۴- بررسی چین‌خوردگی منطقه

به طور کلی با توجه به نتایج حاصله از مطالعات صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ فاروج و قوچان و با استناد به تحلیل‌هایی که از داده‌های مربوط به پیمایش‌های عمود بر اثر سطح محوری در دو تاقدیس موجود در منطقه حاصل شد می‌توان به طور خلاصه به نتایج زیر اشاره نمود:

۱-۴-۱- تاقدیس زوباران غربی

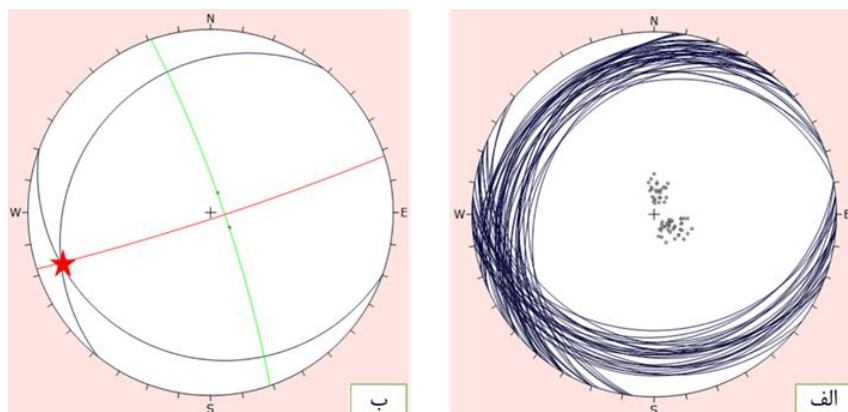
با توجه به بررسی‌های انجام شده، تاقدیس زوباران غربی با روند تقریبی شرقی-غربی و با طول تقریبی ۵ کیلومتر، از شمال روستای سالانقوچ تا شمال غرب روستای زوباران رخنمون دارد. براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فاروج، تاقدیس زوباران غربی در منطقه مطالعاتی به عنوان تاقدیس زوباران (به دلیل مجاورت با روستای زوباران) معرفی شده است. با استفاده از داده‌های برداشت شده در پیمایش‌ها و با کمک نرم‌افزارهای استریوگرافیک، خصوصیات هندسی چین از قبیل موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه‌ی بین یالی مشخص شد. میانگین یال شمالی ۱۰/۳۲۳ و یال جنوبی ۱۲/۲۲۷ به دست آمد. همچنین بر اساس برداشت‌های صحرایی این تاقدیس بر اساس زاویه بین یالی یک چین ملایم دارای موقعیت محور ۷/۲۷۵ و سطح محوری ۸۸/۱۸۵ می‌باشد که از لحاظ میزان میل محور و شیب سطح محوری طبق رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) در رده چین‌های ایستاده با لولای افقی قرار می‌گیرد. استریوگرام‌های مربوط به این تاقدیس در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱-۴ الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای تاقدیس زوباران غربی ب) میانگین یال‌های تاقدیس (محورهای آبی رنگ)، موقعیت سطح محوری (محور قرمز رنگ) و لولای چین.

۲-۱-۴- تاقدیس زوباران شرقی

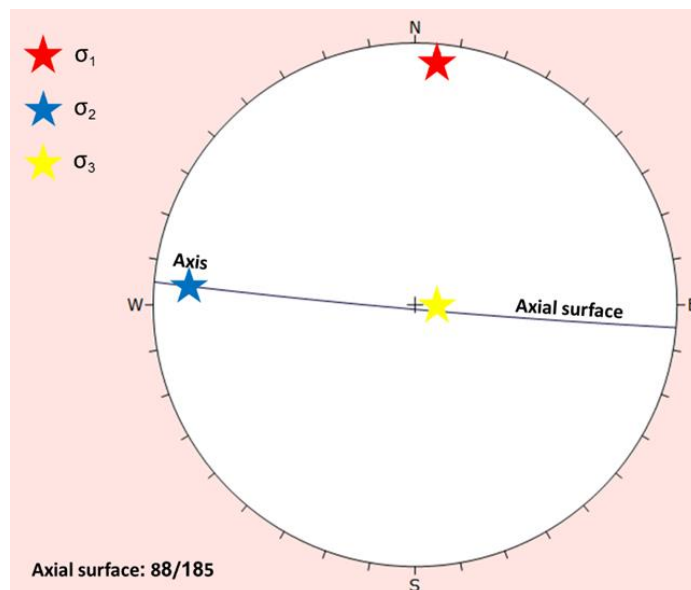
پیمایش‌های صحرایی انجام شده در ادامه‌ی پیمایش‌های مربوط به تاقدیس زوباران غربی، مستندات را دال بر ادامه دار بودن این تاقدیس در سمت شرقی جاده قوچان-باجگیران و در محدوده‌ی شرقی روستای زوباران ارائه داد. این مستندات به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به عدم ثبت این تاقدیس در مطالعات و ارزیابی‌های پیشین این تاقدیس، تاقدیس زوباران شرقی نامیده شد. با استفاده از داده‌های برداشت شده در پیمایش‌ها و با کمک نرم‌افزارهای استریوگرافیک، خصوصیات هندسی این چین از قبیل موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه‌ی بین یالی مشخص شد. میانگین یال شمالی ۱۵/۳۰۸ و یال جنوبی ۱۳/۲۰۰ به دست آمد. همچنین بر اساس برداشت‌های صحرایی این تاقدیس بر اساس زاویه بین یالی (157°) یک چین ملایم دارای موقعیت محور ۸/۲۵۲ و سطح محوری ۸۶/۱۶۲ می‌باشد که از لحاظ میزان میل محور و شیب سطح محوری طبق رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) در رده چین‌های ایستاده با لولای افقی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج حاصل شده از ارزیابی چین زوباران شرقی و مقایسه‌ی آن با هندسه‌ی تاقدیس زوباران غربی و دیگر شواهد موجود (گسل قوچان-زوباران) این چین ادامه‌ی تاقدیس زوباران غربی که در نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ فاروج معرفی شده است، در نظر گرفته شد و از نظر هندسی به طور کامل با تاقدیس زوباران غربی مطابقت دارد. شکل ۴-۲ استریوگرام‌های مربوط به این چین و عناصر هندسی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲- الف) استریوگرام موقعیت لایه‌بندی‌های برداشت شده برای تاقدیس زو باران شرقی ب) میانگین پال‌های تاقدیس (محورهای آبی رنگ)، موقعیت سطح محوری (محور قرمز رنگ) و لولای چین.

۳-۱-۴- دینامیک چین خوردگی

کوتاه‌شدگی و چین‌خوردگی از اولین پیامدهای تنش فشارشی است که عمود بر تنش بیشینه‌ی حاکم، نمود پیدا می‌کند. در ایالت ساختاری کپه‌داغ تنشی با جهت‌گیری شمال، شمال خاور- جنوب، جنوب باختر مسبب شکل‌گیری ساختارها و به ویژه چین‌ها شده است (Hollingsworth, 2007). روند عمومی چین‌ها در این پهنه شمال‌باختر-جنوب‌خاور می‌باشد. با توجه به هندسه کلی چین‌خوردگی در منطقه، تعیین تنش‌ها تنها در تاقدیس زو باران غربی صورت گرفت. راستای تنش حاکم به طور کلی عمود بر سطح محوری این چین در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در پیمایش‌هایی که عمود بر سطح محوری این تاقدیس انجام شد، روند تقریبی شمال‌باختر-جنوب‌خاور برای سطح محوری این تاقدیس را نشان داد. در نتیجه، تنش افقی بیشینه‌ای که بر این تاقدیس اعمال شده است دارای راستای شمال خاور-جنوب‌باختر می‌باشد. بدین منظور تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده‌ی راستای غالب سطح محوری تاقدیس زو باران ترسیم شد. در این تصویر سعی شد با توجه به عناصر تاقدیس زو باران جهت‌گیری تنش‌های اصلی حاکم بر این تاقدیس تعیین گردد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- تصویر استریوگرافیک نشان دهنده روند کلی سطح محوری، محور و تنش‌های حاکم بر تاقدیس زوباران. ستاره‌های قرمز رنگ، آبی رنگ و زرد رنگ به ترتیب تنش‌های بیشینه، میانه و کمینه را نشان می‌دهند.

همانطور که در شکل دیده می‌شود، راستای تنش بیشینه‌ی افقی حاکم بر این تاقدیس طبق انتظار از آنچه در ایالت کپه‌داغ وجود دارد، تبعیت می‌کند. جهت‌گیری تنش‌های σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب ۲/۰۰۵، ۷/۲۷۵ و ۸۲/۱۰۷ برآورد شد.

۴-۲- مطالعه گسل‌ها

با توجه به مطالعات صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی مربوطه و به استناد تحلیل داده‌های برداشت شده از ایستگاه‌های مورد مطالعه دو گسل اصلی با روند تقریبی شمال غرب - جنوب شرق در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد که هر دو از روند کلی کپه‌داغ تبعیت می‌کنند. در ادامه به طور خلاصه به نتایج به دست آمده پرداخته خواهد شد.

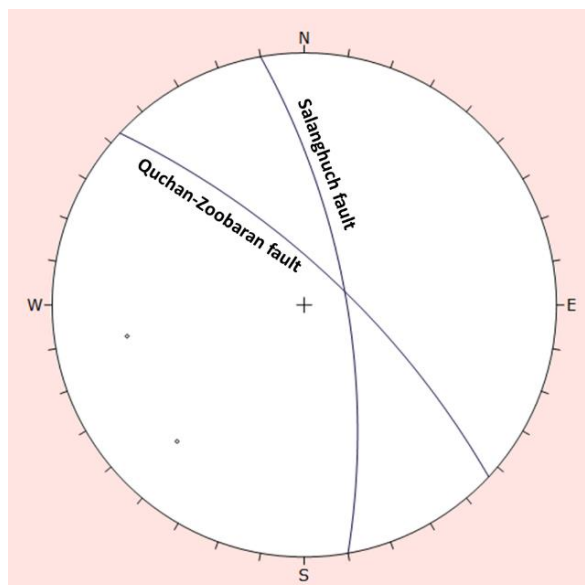
۴-۲-۱- گسل قوچان-زوباران

طبق بررسی‌های انجام شده، گسل قوچان-زوباران با روند شمال باختر - جنوب خاور، با طول تقریبی ۵ کیلومتر و با هندسه ۷۳/۰۴۳، اصلی‌ترین گسل در محدوده‌ی مورد مطالعه، شناخته شده است که امتداد آن به موازات جاده‌ی قوچان-باجگیران است و به عنوان یک گسل عرضی شناخته می‌شود. این

گسل همچنین موجب برش عرضی تاقدیس زوباران شده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش-های صحرائی صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که این گسل تاقدیس زوباران را در حدود ۲ کیلومتر در طرفین جاده به صورت راست‌بر جابه‌جا کرده و این تاقدیس را به دو قسمت تاقدیس زوباران غربی و تاقدیس زوباران شرقی تقسیم کرده است. با توجه به روند مشابه دو تاقدیس مورد نظر و همچنین چرخش پادساعتگرد تاقدیس زوباران شرقی، می‌توان عملکرد امتدادلغز راست‌بر گسل قوچان-زوباران را تایید کرد.

۲-۲-۴- گسل سالانقوچ

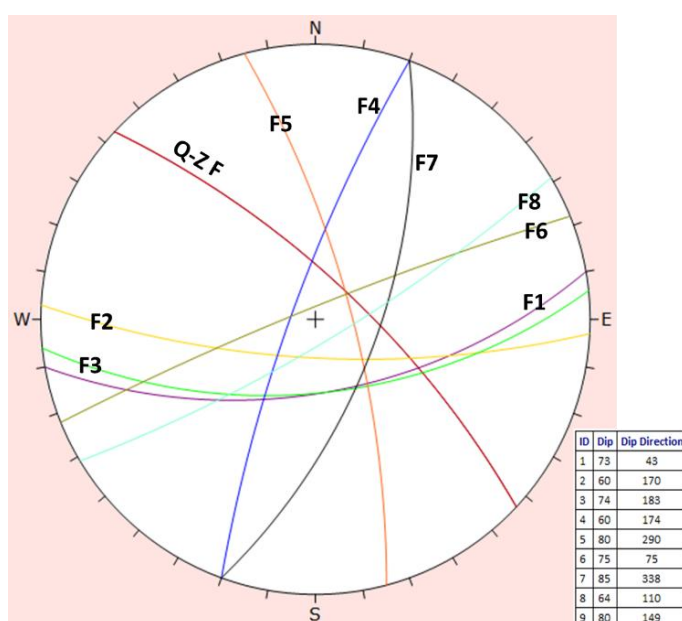
در شمال روستای سالانقوچ و در مرز غربی تاقدیس زوباران، دره‌ای ژرف، موجب برش عرضی تاقدیس زوباران شده است. پس از مشاهدات صحرائی نگارنده مشخص شد که این دره بر اثر عملکرد یک گسل معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز راست‌بر ایجاد شده است که تقریباً هم راستا با گسل قوچان-زوباران (روند شمال باختر- جنوب خاور) می‌باشد. هندسه صفحه این گسل $71/080$ اندازه‌گیری شد که جزء گسل‌های اصلی و عرضی منطقه می‌باشد. به دلیل عدم نامگذاری این گسل در نقشه‌های زمین‌شناسی مربوطه و به استناد مجاورت این گسل با روستای سالانقوچ، بدین نام معرفی گردید. گسل قوچان-زوباران با گسل سالانقوچ زاویه حدود ۳۵ درجه را می‌سازند. استریوگرام (شکل ۴-۴) زاویه ۳۵ درجه را بین این دو گسل نشان می‌دهد. با توجه به هندسه یکسان دو گسل مذکور، می‌توان آن‌ها را مربوط به یک پهنه گسلی با روند شمال باختر- جنوب خاور دانست که یک فاز قدیمی شیب‌لغز و یک فاز جدیدتر امتدادلغز راست‌بر دارد.



شکل ۴-۴- تصویر سیکلوگرافیک نشان‌دهنده صفحات میانگین گسل سالانقوچ با موقعیت ۷۱/۰۸۰ و گسل قوچان-زوباران با موقعیت ۷۳/۰۴۳.

علاوه بر گسل‌های اصلی منطقه، گسل‌های فرعی و کوچک مقیاس نیز در منطقه مورد مطالعه، قابل تشخیص است. با توجه به داده‌های برداشت شده، استریوگرام گسل‌های فرعی منطقه به همراه گسل اصلی قوچان-زوباران ترسیم شد (شکل ۴-۵). زاویه این گسل‌ها نسبت به گسل قوچان-زوباران در

جدول ۴-۱ مشخص شده است.



شکل ۴-۵- استریوگرام ترسیم شده از گسل‌های فرعی منطقه به همراه گسل قوچان-زوباران (Q-Z F).

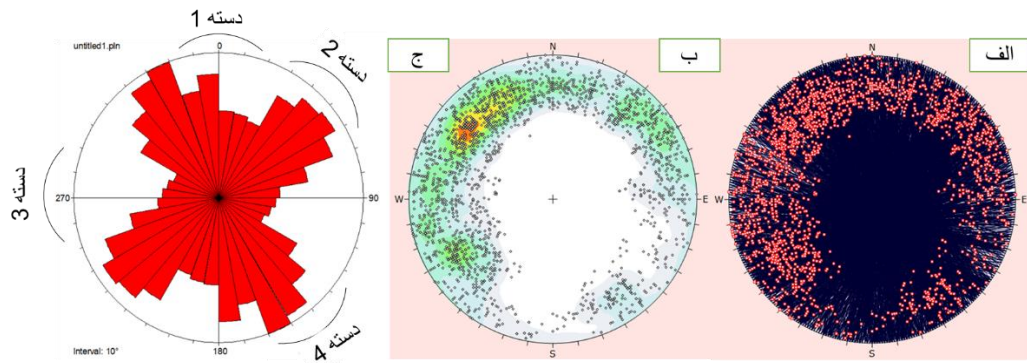
جدول ۴-۱- زاویه گسل‌های فرعی منطقه با گسل قوچان-زوباران (Q-Z) به همراه روند گسل‌ها.

نام گسل	روند گسل	زاویه گسل با گسل Q-Z (درجه)
F1	خاوری-باختری	۶۷
F2	خاوری-باختری	۵۱
F3	خاوری-باختری	۶۸
F4	شمال خاور-جنوب باختر	۷۱
F5	شمال باختر-جنوب خاور	۳۰
F6	شمال خاور-جنوب باختر	۶۶
F7	شمال خاور-جنوب باختر	۶۲
F8	شمال خاور-جنوب باختر	۷۸

با توجه به اینکه طول گسل‌های فرعی کم می‌باشد، می‌توان آن‌ها را به صورت شکستگی‌های برشی مرتبط با گسل قوچان-زوباران در نظر گرفت. گسل‌های F4، F6، F7 و F8 نسبت به گسل اصلی به صورت عرضی قرار دارند. گسل‌های F1، F2 و F3 نسبت به گسل به صورت مایل می‌باشند. گسل F5 هم‌روند گسل قوچان-زوباران می‌باشند و با توجه به زاویه نسبت به این گسل می‌توان آن را تابع زون اصلی و مرتبط با آن دانست. در حالیکه سایر گسل‌های فرعی که نسبت به گسل اصلی دارای زاویه می‌باشند شاخه‌های فرعی نسبت به گسل اصلی و یا برشی‌های همراه با ساختارهای موجود در منطقه در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۴- مطالعه درزه‌ها و الگوی پراکنش

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها، کلیه داده‌های برداشت شده از ایستگاه‌های مورد بررسی در یک استریوگرام ترسیم گردید (شکل ۴-۶). در مجموع از ۱۹ ایستگاه که در آن برداشت درزه و شکستگی انجام شد، ۴ دسته شکستگی قابل تعریف است. قسمت اصلی این ایستگاه‌ها از رخنمون‌های آهکی سازند تیرگان و بخشی هم از رخنمون‌های تخریبی سازند شوربچه برداشت شده است. شکستگی‌های برداشت شده اغلب به صورت سیستماتیک و منظم می‌باشند.



شکل ۴-۶- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها. الف- تصویر استریوگرافیک سطوح شکستگی و قطب صفحات، ب- نمودار تمرکز قطب شکستگی، ج- نمودار گل سرخی شکستگی‌های برداشت شده از ایستگاه‌ها به همراه نمایش موقعیت ۴ دسته شکستگی.

موقعیت میانگین چهار دسته شکستگی در ذیل بیان شده است:

الف: شکستگی دسته ۱ (S1) با روند کلی شمالی-جنوبی (N-S) با موقعیت میانگین ۸۰/۰۹۶.

ب: شکستگی دسته ۲ (S2) با روند شمال خاور-جنوب باختر (NE-SW) با موقعیت میانگین ۷۳/۱۲۷.

ج: شکستگی دسته ۳ (S3) با روند کلی شرقی-غربی (E-W) با موقعیت میانگین ۷۶/۱۸۲.

د: شکستگی دسته ۴ (S4) با روند شمال باختر-جنوب خاور (NW-SE) با موقعیت میانگین ۷۷/۲۲۳.

با توجه به برداشت‌های صورت گرفته و نمودارهای گل سرخی ترسیم شده حاصل از برداشت‌ها، دو روند غالب شمال خاور-جنوب باختر (دسته ۲) و شمال باختر-جنوب خاور (دسته ۴) برای درزه‌های منطقه قابل ذکر است. شکستگی‌های دسته ۱ و ۳ بیشتر با باز شدگی همراه هستند و فضای داخلی آن‌ها بیشتر با کلسیت پر شده است. بنابراین دسته ۱ و ۳ از نوع کششی (Tensile joints) هستند. شکستگی‌های دسته ۲ و ۴ که گاه آثار لغزش (Slicken sides) در سطح آن‌ها دیده می‌شود، از نوع درزه‌های برشی (Shear joints) به شمار می‌روند.

۴-۴- ارتباط درزه‌ها با ساختارهای منطقه

۴-۴-۱- ارتباط درزه‌ها با لایه‌بندی

بررسی‌های مربوط به شکستگی‌های موجود در هر ایستگاه و ارتباطدهی آن‌ها با سطوح لایه‌بندی حاکی از این است که بیشترین درصد سطوح درزه، در رده‌ی درزه‌های شیبی و مایل نسبت به لایه‌بندی قرار

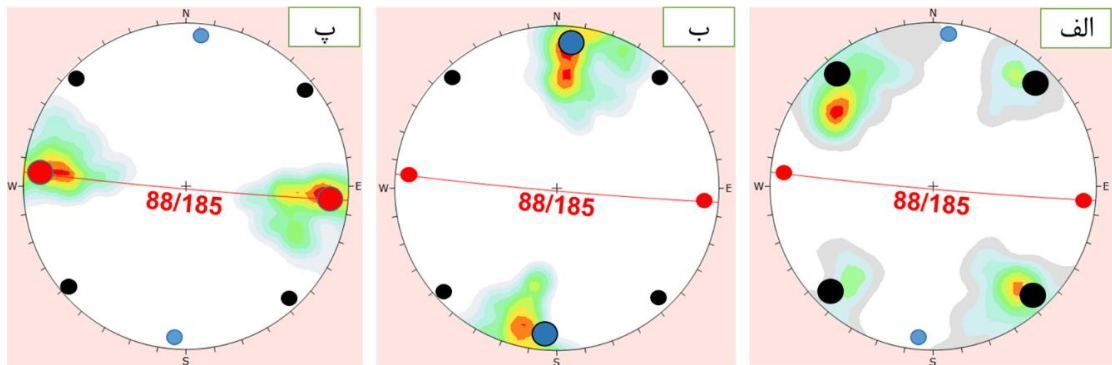
دارند. قابل ذکر است که درصد کمی از سطوح درزه برداشت شده، جزو درزه‌های امتدادی رده‌بندی می‌شوند.

۲-۴-۴- توصیف درزه نسبت به چین خوردگی

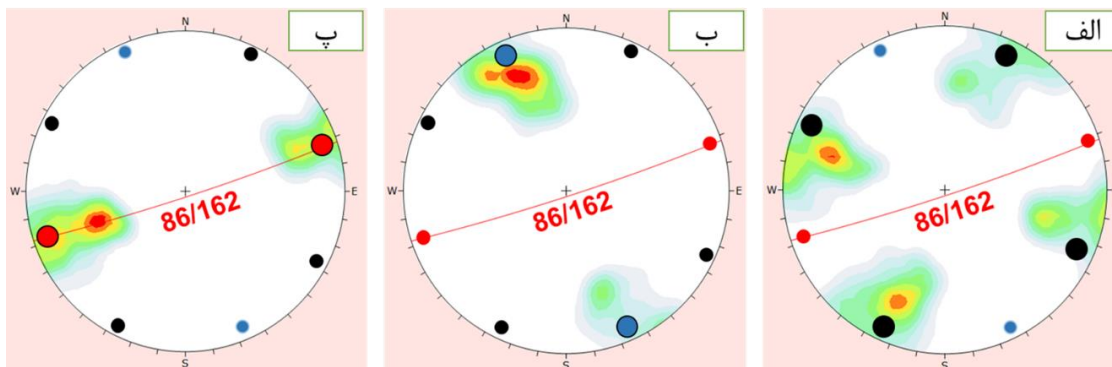
به منظور بررسی ارتباط میان شکستگی‌ها و چین خوردگی، با توجه به وضعیت هندسی چین‌ها، شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. قابل ذکر است از آنجا که ویژگی‌های هندسی چین در سرتاسر هر دو تاقدیس تقریباً یکسان است، تمام شکستگی‌های برداشت شده به صورت یک‌جا مورد تحلیل استریوگرافیک قرار گرفتند. به این منظور ابتدا شکستگی‌های آرمانی پیش‌بینی شد. سپس در هر دو تاقدیس به صورت جداگانه هر سه سری شکستگی مرتبط با چین (کششی طولی، کششی عرضی و مزدوج) مورد تحلیل استریوگرافیک قرار گرفته و محل تمرکز قطب این شکستگی‌ها با شکستگی‌های آرمانی در هر تاقدیس مقایسه شد. همانطور که مشهود است محل تمرکز شکستگی‌های آرمانی و شکستگی‌های برداشت شده از هر تاقدیس بر هم انطباق دارند (شکل ۴-۷) و (شکل ۴-۸).

در گام بعدی، از داده‌های برداشت شده از محور چین در دو تاقدیس زوباران شرقی و زوباران غربی و شکستگی‌های موجود در آن‌ها جهت اعتبارسنجی جنبش راستگرد گسل قوچان-زوباران استفاده شده است. به این منظور تفاوت روند دو تاقدیس در دو طرف گسل قوچان-زوباران و شکستگی‌های برداشت شده در دو قطعه با یکدیگر مقایسه شد. داده‌ها حاکی از چرخش پادساعتگرد به میزان ۲۳ درجه در سطح محوری تاقدیس زوباران شرقی نسبت به تاقدیس زوباران غربی هستند (شکل ۴-۹-الف). همچنین شکستگی‌های برداشت شده از سطح تاقدیس زوباران شرقی به طور میانگین چرخشی در حدود ۲۳ درجه پادساعتگرد را نسبت به شکستگی‌های موجود بر تاقدیس زوباران غربی ثبت کرده‌اند (شکل ۴-۹-ب). با توجه به این موارد می‌توان نتیجه گرفت با حذف دوران در قطعه شرقی، دو تاقدیس زوباران شرقی و زوباران غربی هندسه یکسانی را دارا خواهند بود. در نتیجه می‌توان تفاوت در روند فعلی دو تاقدیس مذکور را به حرکت راست‌بر گسل قوچان-زوباران نسبت داد و تاقدیس زوباران شرقی را ادامه تاقدیس

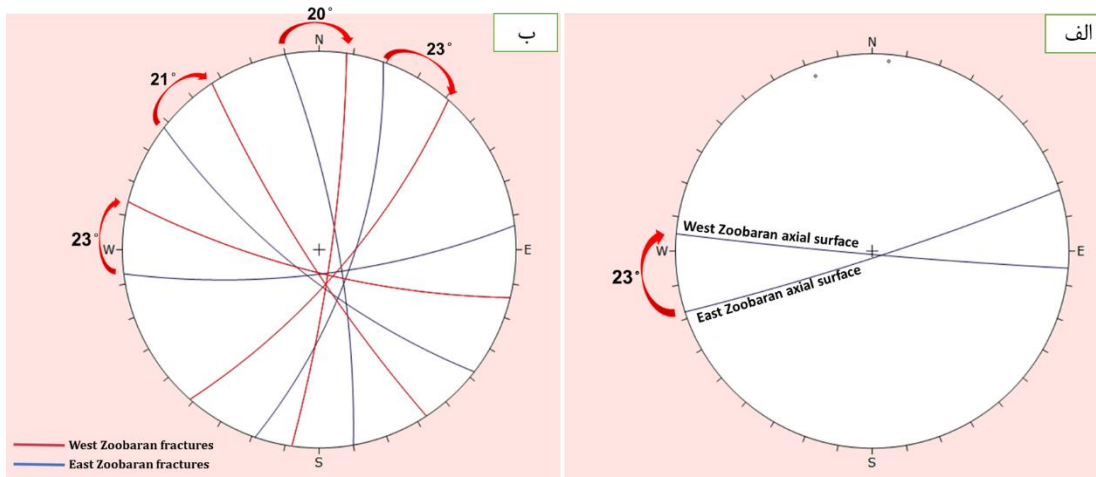
زوباران غربی در نظر گرفت.



شکل ۴-۷- استریوگرام تمرکز قطب صفحات شکستگی در پیمایش‌های صورت گرفته بر روی ناقديس زوباران غربی به همراه موقعیت سطح محوری این ناقديس. الف: شکستگی‌های مزدوج، ب: شکستگی‌های کششی طولی، ج: شکستگی‌های کششی عرضی. محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی طولی با دایره به رنگ آبی، شکستگی‌های آرمانی کششی عرضی با دایره به رنگ قرمز و شکستگی‌های آرمانی مزدوج با دایره به رنگ مشکی نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- استریوگرام تمرکز قطب صفحات شکستگی در پیمایش‌های صورت گرفته بر روی ناقديس زوباران شرقی به همراه موقعیت سطح محوری این ناقديس. الف: شکستگی‌های مزدوج، ب: شکستگی‌های کششی طولی، ج: شکستگی‌های کششی عرضی. محل تمرکز قطب شکستگی‌های آرمانی کششی طولی با دایره به رنگ آبی، شکستگی‌های آرمانی کششی عرضی با دایره به رنگ قرمز و شکستگی‌های آرمانی مزدوج با دایره به رنگ مشکی نشان داده شده است.



شکل ۹-۴- الف: موقعیت سطوح محوری دو تاقدیس زوباران شرقی و غربی و دوران ۲۳ درجه‌ای سطح محوری در تاقدیس زوباران شرقی نسبت به زوباران غربی، ب: موقعیت میانگین شکستگی‌ها در دو تاقدیس زوباران شرقی و غربی و نمایش میزان چرخش آن‌ها نسبت به یکدیگر.

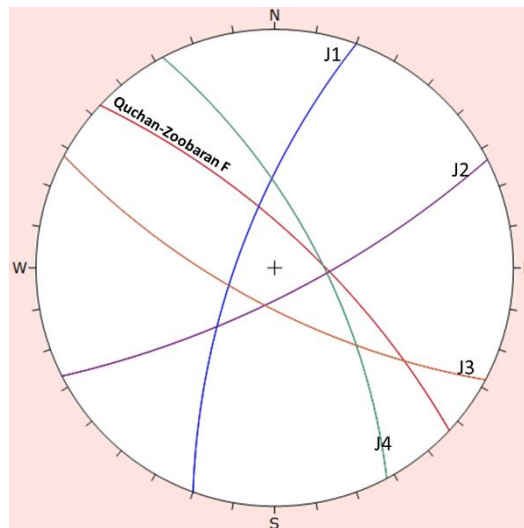
۳-۴-۴- توصیف درزه نسبت به گسلش

الف- ارتباط درزه‌ها با گسل قوچان-زوباران

گسل قوچان-زوباران به عنوان اصلی‌ترین گسل منطقه با موقعیت هندسی $73/043$ به موازات جاده قوچان-باجگیران رخنمون دارد. به منظور ارتباط درزه‌ها با گسل اصلی منطقه و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته در بخش شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی، تعدادی از شکستگی‌ها که در محدوده‌ی ترانشه قوچان-باجگیران برداشت شدند، مرتبط با این گسل در نظر گرفته شدند. شکل ۴-۱۰ استریوگرام میانگین درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را نشان می‌دهد. شکستگی (J1) با موقعیت میانگین $72/290$ در دسته ۱ قرار می‌گیرد و با سطح گسل قوچان-زوباران زاویه حدود ۷۲ درجه را می‌سازد. شکستگی (J2) با موقعیت میانگین $76/153$ در دسته ۲ قرار گرفته و زاویه حدود ۷۵ درجه را با سطح گسل می‌سازد. شکستگی (J3) با موقعیت میانگین $72/208$ متعلق به دسته ۳ بوده و با سطح گسل زاویه‌ای در حدود ۳۶ درجه را می‌سازد. شکستگی (J4) با موقعیت میانگین $69/062$ متعلق به دسته ۴ بوده و با سطح گسل زاویه ۱۹ درجه‌ای را می‌سازد.

شکستگی (J4) با زاویه ۱۹ درجه در رده‌ی شکستگی‌های همسو با گسل (R) جای دارد که از نظر سازوکار مشابه گسل قوچان-زوباران است. شکستگی (J3) جزو شکستگی‌های نوع (P) محسوب می‌شود

که زاویه ۳۶ درجه را با سطح این گسل می‌سازد و سازوکاری مشابه با گسل مذکور دارد. دسته درزه (J1) و (J2) زاویه ۷۲ درجه و ۷۵ درجه با گسل قوچان-زوباران می‌سازند که در رده‌ی شکستگی‌های R' قرار می‌گیرند. این شکستگی‌های ناهمسو با حرکت گسل به شمار می‌روند و دارای سازوکار چپ‌بر و مخالف گسل قوچان-زوباران می‌باشند.



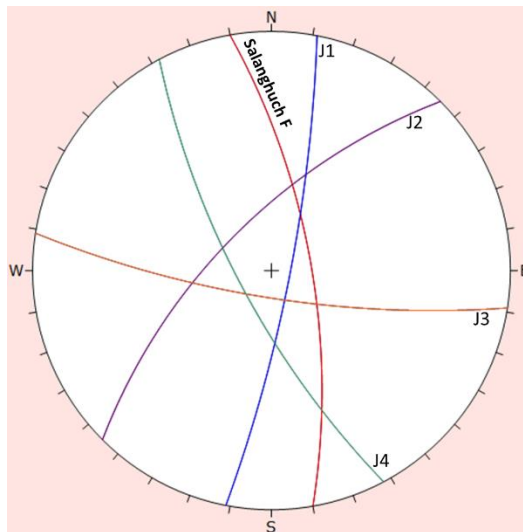
شکل ۴-۱۰- استریوگرام میانگین شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسلش به همراه صفحه گسل قوچان-زوباران.

ب- ارتباط درزه‌ها با گسل سالانقوچ

گسل سالانقوچ با موقعیت هندسی $۷۱/۰۸۰$ در شمال روستای سالانقوچ رخنمون داشته و سبب ایجاد دره‌ای گسلی در این محدوده شده است. به منظور ارتباط درزه‌ها با این گسل و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، تعدادی از شکستگی‌ها که در محدوده‌ی دره‌ی مزبور برداشت شدند، مرتبط با این گسل در نظر گرفته شدند. شکل ۴-۱۱ استریوگرام میانگین درزه‌های برداشت شده در محدوده‌ی گسلش همراه با موقعیت هندسی صفحه گسل را نشان می‌دهد. شکستگی (J1) با موقعیت میانگین $۸۱/۱۰۱$ در دسته ۱ قرار می‌گیرد و با سطح گسل قوچان-زوباران زاویه حدود ۲۳ درجه را می‌سازد. شکستگی (J2) با موقعیت میانگین $۶۶/۳۱۵$ در دسته ۲ قرار گرفته و زاویه حدود ۷۰ درجه را با سطح گسل می‌سازد. شکستگی (J3) با موقعیت میانگین $۷۷/۱۸۹$ متعلق به دسته ۳ بوده و با سطح گسل زاویه‌ای در حدود ۷۶ درجه را می‌سازد. شکستگی (J4) با موقعیت میانگین $۷۴/۲۴۲$ متعلق به دسته ۴ بوده و

با سطح گسل زاویه ۳۸ درجه‌ای را می‌سازد.

شکستگی‌های (J1) زاویه ۲۳ درجه با گسل سالانقوچ می‌سازد و در رده‌ی شکستگی‌های همسو با گسل (R) جای دارد که از نظر سازوکار مشابه گسل سالانقوچ است. شکستگی‌های (J2) و (J3) در رده‌ی شکستگی‌های R' قرار می‌گیرند و جزو شکستگی‌های ناهمسو با حرکت گسل به شمار می‌روند. این شکستگی‌ها به ترتیب زاویه ۷۰ درجه و ۷۶ درجه را با سطح گسل می‌سازند و دارای سازوکار چپ‌بر و مخالف گسل سالانقوچ می‌باشند. شکستگی (J4) جزو شکستگی‌های نوع (P) محسوب می‌شود که زاویه ۳۸ درجه را با سطح این گسل می‌سازد و سازوکاری مشابه گسل مذکور دارد.



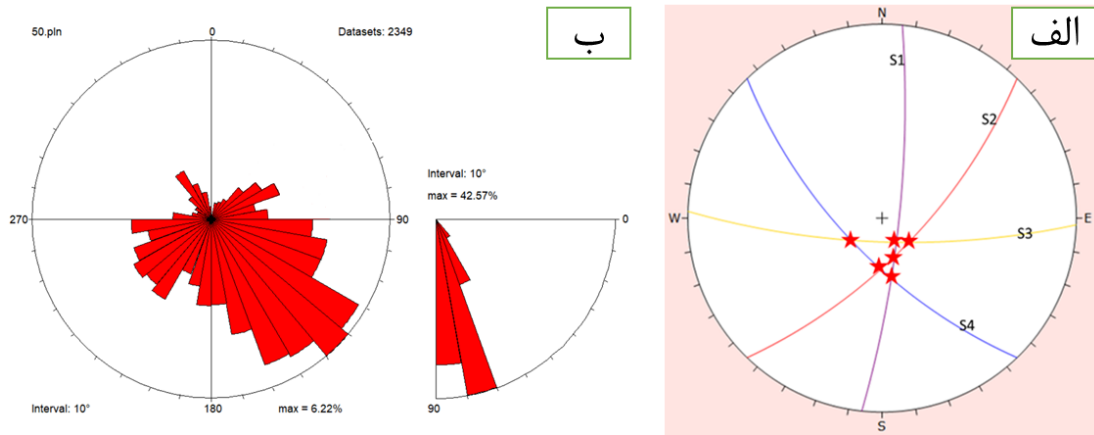
شکل ۴-۱۱- استریوگرام میانگین شکستگی‌های برداشت شده از محدوده‌ی گسلش به همراه صفحه گسل سالانقوچ.

۵-۴- ارتباط الگوی شکستگی‌ها و انتقال آب

الگوی شکستگی نقش مهمی در مسئله انتقال آب ایفا می‌کند. محل تلاقی دسته درزه‌ها کریدورهایی را برای نفوذ و جریان آب ایجاد می‌کنند. جهت شیب دسته درزه‌ها نیز می‌تواند در این مسئله تأثیرگذار باشد. بدین منظور درزه‌های برداشت شده به همراه نقاط تلاقی آن‌ها، در یک استریوگرام ترسیم گردید (شکل ۴-۱۲-الف).

میانگین دسته درزه‌های برداشت شده موجود در منطقه نشان می‌دهند که اکثر درزه‌های منطقه از شیب بالایی برخوردار هستند. همچنین اکثراً جهت شیبی به سمت جنوب و جنوب شرق دارا هستند (شکل

۴-۱۲-ب). با توجه به این بررسی‌ها انتظار می‌رود فرار آب در این منطقه به دلیل شیب بالای شکستگی‌ها و جهت شیب عمومی، در حجم بالایی به سمت جنوب و جنوب شرق منطقه صورت گیرد.



شکل ۴-۱۲-الف: استریوگرام ترسیم شده از میانگین درزه‌های موجود در منطقه مطالعاتی (محل تلاقی دسته درزه‌ها با ستاره مشخص شده است)، ب: نمودارهای گل سرخی شیبی و جهت شیب کل درزه‌ها.

۴-۶- پیشنهاد

- انجام مطالعات تنش دیرین (Paleostress) بر مبنای لغزش گسل‌ها جهت شناخت میدان تنش حاکم، در راستای ارتقاء دانش نوزمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه.

منابع

- احمدی پور، م. (۱۳۷۷). بررسی هیدروژئولوژیکی حوزه الشتر غرب ایران: دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی. تهران - کرمانشاه.
- افشار حرب، ع. (۱۳۷۳). زمین شناسی ایران: زمین شناسی کپه داغ. تهران: سازمان زمین شناسی کشور.
- اقا نباتی، ع. (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدرزاده، ق.، (۱۳۷۴)، "سامانه گسل‌های امتدادلغز کپه‌داغ و الگوی تقسیم دگرشکلی در پایانه‌های گسلی"، انجمن زمین‌شناسی ایران.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۷۱)، "زمین‌شناسی ایران؛ چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم" تهران: انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- رضایی، م. و زمانی، ا. (۱۳۷۷). "ارتباط سیستم ساختاری و کارست شدگی در ناحیه شمال اردکان" مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه، صفحات ۵۴۰-۵۵۲.
- قاسمی، م. ر.، (۱۳۸۷). "پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ صفحه.
- قائمی، ف. (۱۳۸۳)، "نقشه زمین‌شناسی قوچان به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قائمی، ف. و قائمی، ف. (۱۳۸۹). "سامانه شکستگی‌ها در کمربند چین‌خورده کپه‌داغ در ناحیه شمال خاوری بجنورد" فصلنامه علوم زمین، سال بیست و یکم، شماره ۸۳، صفحه ۷۶-۷۷.

- مینویی، ا. (۱۳۸۸)، "نقش شکستگی ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی کوه‌های شاهو (کردستان)" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.
- نادری میقان، ن. (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی فاروج به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نادری میقان، ن، سعیدی، ع، قاسمی، م، بوذری، س. (۱۳۸۴)، "شواهدی بر Uplift ناحیه شمال قوچان در کپه‌داغ مرکزی" بیست و پنجمین گردهمایی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م.ح. (۱۳۵۵)، "دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران" ۱۰۹ صفحه.

- Ambraseys, N. N. and Melville, C. P. (1982) *A History of Persian Earthquakes*, Cambridge University Press. Cambridge university press. doi: 10.1016/j.palaeo.2006.05.012.
- Berberian, M. and King, G. C. P. (1981) 'Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran', *Canadian Journal of Earth Sciences*. NRC Research Press Ottawa, Canada, 18(2), pp. 210–265. doi: 10.1139/e81-019.
- Borradaile, G. J. (2013) *Statistics of Earth Science Data: Their Distribution in Time, Space and Orientation*. Available at: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=k955BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Statistics+of+Earth+Science+Data:+Their+Distribution+in+Time,+Space+and+Orientation.+Springer,+Heidelberg&ots=8-EGp6oJXT&sig=vg0FOyGUL-Pgf12HUO2XOliczSY> (Accessed: 9 July 2018).
- Doblás, M., Mahecha, V., Hoyos, M., & Loípez-ruiz, J. (1997). □□□□□□□□□□ and fault surface kinematic indicators on active normal faults of the Alpine Betic cordilleras, Granada, southern Spain. *Journal of Structural Geology*, 19(2), 159-170.
- Edgell, H. S. (1996) 'Salt tectonism in the Persian Gulf Basin', *Geological Society, London, Special Publications*. Geological Society of London, 100(1), pp. 129–151. doi: 10.1144/GSL.SP.1996.100.01.10.

- Fenart, P., Cat, N. N., Drogue, C., Van Canh, D., & Pistre, S. (1999). Influence of tectonics and neotectonics on the morphogenesis of the peak karst of Halong Bay, Vietnam. *Geodinamica Acta*, 12(3-4), 193-200.
- Fleuty, M. J. (1964) 'The description of folds', *Proceedings of the Geologists' Association*. Elsevier, 75(4), pp. 461–492. doi: 10.1016/S0016-7878(64)80023-7.
- Ford, D. C. and Williams, P. (2007) *Karst hydrogeology and geomorphology*. Wiley. Available at:
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=whgNDVXFiqYC&oi=fnd&pg=PT12&dq=karst+hydrogeology+and+geomorphology&ots=WoeD0nYgM8&sig=Q14gQnBHJjhf-kcA1DgF5h5Aa5k#v=onepage&q=karst hydrogeology and geomorphology&f=false> (Accessed: 9 July 2018).
- Fossen, H. (2010) *Structural Geology - Haakon Fossen - Google Livres*. Available at:
https://books.google.com/books/about/Structural_Geology.html?id=01PI5jhjiiQC (Accessed: 14 July 2018).
- Hancock, P. L. (1988) 'Neotectonics', *Geology Today*. Wiley/Blackwell (10.1111), 4(2), pp. 57–61. doi: 10.1111/j.1365-2451.1988.tb00550.x.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Reza Gheitanchi, M., & Javad Bolourchi, M. (2006). Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dagh Mountains, NE Iran. *Geophysical Journal International*, 166(3), 1161–1177.
- Hollingsworth, J. (2007) 'Active Tectonics of NE Iran', *PhD Thesis Queens' College 1-239 Cambridge*, (November).
- Krishnamurthy, J. and Srinivas, G. (1995) 'Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: a study using IRS LISS data', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Group, 16(14), pp. 2595–2618. doi: 10.1080/01431169508954579.
- Lyberis, N., Manby, G., Poli, J. T., Kalougin, V., Yousouphocae, H., & Ashirov, T. (1998). Post-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 326(2), 137-143.
- Marshak, S. and Mitra, G. (1988) 'Basic methods of structural geology'. Available at:
https://scholar.google.com/scholar?cluster=15115394054519125755&hl=en&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Accessed: 7 July 2018).
- Martel, É.-A. (1894) *Les abîmes: les eaux souterraines, les cavernes, les*

sources, la spéléologie. Delagrave.

- McKenzie, D. (1972) 'Active Tectonics of the Mediterranean Region', *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. Wiley/Blackwell (10.1111), 30(2), pp. 109–185. doi: 10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x.
- Mikhailov, A. Y. (1987) *Structural Geology and Geological Mapping*. Available at:
https://books.google.com/books/about/Structural_Geology_and_Geological_Mapping.html?id=ajXPAAAAIAAJ (Accessed: 14 July 2018).
- Nelson, R. (2001) *Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs*, Gulf Publishing Company Houston. doi: 10.1016/B978-088415317-7/50005-1.
- Parizek, R. R. (1990). *Nature and Hydrologic Significance of Fracture Traces, Lineaments, and Fracture Zones Related to Ground-water Monitoring*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Monitoring Systems Laboratory.
- Petar T. Milanović (1981) *Karst hydrogeology*. Available at:
https://books.google.com/books/about/Karst_hydrogeology.html?id=jt-EAAAAIAAJ (Accessed: 9 July 2018).
- Petit, J. P. (1987) 'Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks', *Journal of Structural Geology*. Pergamon, 9(5–6), pp. 597–608. doi: 10.1016/0191-8141(87)90145-3.
- Radev, J. (1915) 'Karst forms in Western Stara Planina', *Ann Sofia University, Hist Phil Fac*, 149, pp. 10–11.
- Ragan, D. M. (2009) *Structural geology. An introduction to geometrical techniques*. Cambridge University Press. Available at:
http://125.234.102.146:8080/dspace/handle/DNULIB_52011/5225 (Accessed: 9 July 2018).
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I. (1983) *The Techniques of Modern Structural Geology, Volume 1: Strain Analysis*. Academic Press. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00270-0.
- Raoufian, A. *et al.* (2014) 'Phylloceratoidea du Jurassique moyen et supérieur du Nord-Est de l'Iran (Monts Binalud)', *Annales de Paleontologie*. Elsevier Masson SAS, 100(4), pp. 311–325. doi: 10.1016/j.annpal.2014.02.003.
- Shabanian, E. (2012) 'Active tectonic study in northeast Iran: contribution of the Kopeh Dagh and Binalud mountains to the accommodation of the Arabia-Eurasia

convergence’, pp. 1–310.

- Shanov, S. and Kostov, K. (2015) *Dynamic tectonics and karst, Dynamic Tectonics and Karst*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-43992-0.
- Singhal, B. B. S. and Gupta, R. P. (2010) *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-90-481-8799-7.
- Sustersic, F. (2003) ‘Collapse Dolines , Deflector Faults and Collector Channels’, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 1(3), pp. 1–10.
- Thomas, T. G. and Stevens, R. S. (1974) ‘Social effects of fractures of the neck of the femur.’, *British medical journal*, 3(5928), pp. 456–458. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1611447/> (Accessed: 14 July 2018).
- Tîrlă, L. and Vijulie, I. (2013) ‘Structural-tectonic controls and geomorphology of the karst corridors in alpine limestone ridges: Southern Carpathians, Romania’, *Geomorphology*, 197, pp. 123–136. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.05.003.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M. (1992) *Structural geology*. W.H. Freeman. Available at: https://books.google.com/books/about/Structural_Geology.html?id=14fn03iJ2r8C (Accessed: 9 July 2018).
- Twiss, R. J. and Moores, E. M. (2007) *Structural geology*. W.H. Freeman.
- Vandycke, S. and Quinif, Y. (2001) ‘Recent active faults in Belgian Ardenne revealed in Rochefort Karstic network (Namur Province, Belgium)’, *Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences*. Cambridge University Press, 80(3–4), pp. 297–304. doi: 10.1017/s0016774600023891.
- Waters, P., Greenbaum, D., Smart, P. L., & Osmaston, H. (1990). Applications of remote sensing to groundwater hydrology. *Remote Sensing Reviews*, 4(2), 223-264.

پیوست

پیوست ۱- داده‌های مربوط به پیمایش A-A' در تاقدیس زوباران غربی

یال جنوبی				یال شمالی			
Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
20	206	25	214	23	320	8	323
13	210	18	260	19	351	22	301
16	185	20	227	13	268	15	305
23	180	19	240	10	20	5	273
12	170	20	224	15	10	8	344
18	195	18	215	2	0	18	289
33	210	32	212	15	340	9	9
7	195	16	200	8	348	17	352
10	230	15	255	5	332	20	338
12	232	18	238	5	331	21	340
15	180	8	200	6	302	5	15
5	190	18	212	7	310	5	20
				7	341	5	18

پیوست ۲- داده‌های مربوط به پیمایش B-B' در تاقدیس زوباران غربی

یال جنوبی				یال شمالی			
Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
3	247	20	248	22	318	6	270
6	254	15	251	8	323	20	350
9	261	15	220	12	302	15	12
9	238	15	218	15	268	5	330
9	251	11	239	10	340	22	338
23	245	10	212	2	5	6	305
18	246	11	222	5	345	5	20
25	248	15	217	6	14	20	335
6	178	15	220	8	310	15	342
11	178	15	195	5	330	17	355
10	196	20	210	8	22	7	341
18	208	15	195	22	305	5	18
22	202	10	214	9	12	8	280
15	265	8	230	18	290		
6	212			22	318		

پیوست ۳- داده‌های مربوط به تاقدیس زوباران شرقی

یال جنوبی				یال شمالی			
Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
25	180	8	202	15	300	19	300
30	200	13	216	10	320	11	310
25	225	11	200	10	335	8	325
18	204	11	197	15	300	15	342
11	174	10	220	20	310	10	323
15	190	21	204	35	355	10	306
14	186	18	200	27	348	12	290
12	249	14	188	28	314	10	290
10	240	10	185	19	337	18	288
22	220	8	180	17	279	7	313
12	195	10	218	19	278	18	290
7	194	20	218	12	308	3	322
14	198	15	200	11	297	14	349
25	202			13	318	20	300
				25	291	15	305
				28	284	10	300
				21	277	11	290
				19	300	15	308
				24	300	10	340
				17	280	11	337
				11	300	20	311
				24	310	20	320
				15	318		

۴- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J1

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
85	315	76	310	75	324	66	140
85	310	80	334	77	331	67	150
84	315	78	328	78	330	68	149
78	320	82	327	64	145	65	150
84	300	79	324	63	140	66	151
83	298	80	325	60	139	80	350
85	301	70	120	65	148	78	348
83	297	67	115	70	150	77	345
60	125	72	122	67	146	76	340
64	120	73	121	69	150	77	342
63	127	68	110	65	140	75	344
64	130	69	115	64	138	74	345
58	124	70	118	66	141	73	342
56	120	69	117	65	150	70	340
55	121	72	122	80	330	75	155
57	122	75	325	79	329	74	152
54	123	76	320	76	331	73	153
55	124	75	320	80	332	70	154
80	330	73	319	78	328	68	150
78	329	70	318	80	328	67	151
77	320	69	320	65	145	66	157

پیوست ۵- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J2

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
80	315	80	300	86	151	75	113
70	145	78	297	80	149	75	134
75	295	77	290	78	152	74	121
70	150	76	287	77	154	74	140
75	120	75	300	80	153	75	125
85	150	65	132	78	155	76	130
75	131	60	130	80	160	75	122
74	130	64	134	78	162	85	113
77	128	65	140	80	158	86	112
76	120	66	138	77	120	88	125
70	130	67	140	74	121	86	120
79	134	64	141	75	130	84	121
82	303	85	153	75	119		

پیوست ۶- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J3

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
58	148	75	190	62	212	74	218
60	150	72	189	60	214	74	213
59	145	69	183	57	200	76	220
63	155	68	185	62	200	70	213
64	157	67	187	66	213	69	213
72	187	75	189	68	207	72	216
57	218	75	180	56	200	74	200
84	202	72	189	62	201	68	213
74	213	76	187	60	208	66	210
90	226	57	216	66	210	77	216
62	208	55	219	62	206	79	218
89	172	52	211	59	207	70	210
72	213	57	220	71	34	69	218
88	176	54	222	75	125	88	201
74	205	56	214	76	110	70	201
87	258	55	218	78	80	72	204
70	192	54	215	82	123	69	209
81	209	61	223	85	76	71	207
87	248	59	217	84	98	77	204
82	182	59	220	90	35	89	220
67	220	53	217	77	129	88	225
83	174	52	214	17	128	87	223
87	243	57	221	85	71	79	215
85	185	56	210	87	65	85	223
78	183	55	211	86	127	89	227
60	179	54	213	81	105	87	224
54	197	57	214	59	87	86	221
74	187	55	217	67	92	84	224
64	192	57	215	84	98	90	223
70	188	54	220	66	115	90	220
56	215	53	218	81	64	90	221
83	200	57	223	75	175	85	226
72	210	85	203	70	170	87	224
88	225	80	204	69	172	84	227
60	205	84	204	74	180	90	218
88	170	82	292	76	181	90	220
70	210	80	204	75	170	84	226
85	174	79	202	74	168	86	221
73	211	85	205	73	172	80	215
85	256	88	200	83	138	90	223
68	190	80	198	73	163	85	219
80	205	81	195	76	155	88	218
85	247	88	205	84	146	87	222
80	180	79	199	81	144	63	209
65	218	75	206	82	151	60	210
80	170	88	210	76	145	64	211
85	240	81	194	86	152	59	208
83	182	74	195	85	159	58	208
75	180	82	200	76	142	65	210
58	178	80	201	76	141	64	211
53	195	84	207	62	140	77	50
73	184	84	209	77	53	76	48
63	190	81	197	76	55	80	54
72	186	79	205	70	60	78	53
70	180	75	210	68	61	77	50
69	186	72	211	80	55	75	60
70	188	76	218	75	55	65	59
74	188	78	220	78	54	77	56

پیوست ۷- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J4

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
85	65	78	163	80	125	76	135
85	60	80	158	87	132	75	130
84	64	77	160	88	130	70	132
82	65	76	155	84	130	68	138
80	60	75	150	78	131	73	140
79	65	73	152	81	130	77	142
84	58	80	164	85	132	75	142
80	61	80	123	74	138	80	137
80	35	78	128	70	140	87	140
79	40	78	132	68	142	85	220
78	41	84	27	72	140	80	230
77	42	85	30	69	138	87	225
76	43	90	34	62	145	83	219
80	40	88	24	60	150	86	224
83	45	87	23	65	148	83	221
81	40	82	204	70	150	76	200
82	49	80	210	72	153	80	198
80	30	78	211	68	151	75	223
78	32	80	212	63	148	70	220
77	38	78	215	89	233	68	219
80	160	80	200	90	240	70	218
78	159	78	199	82	238	65	221
77	160	79	208	80	230	72	225
76	158	78	210	78	229	70	224
76	163	77	214	80	231	68	220

پیوست ۸- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J5

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
82	133	79	237	78	205	82	79
85	136	76	170	80	200	70	48
70	131	85	219	75	232	73	65
80	151	82	200	70	170	71	66
71	129	76	167	80	219	77	64
84	135	85	214	76	210	70	66
82	130	84	203	78	213	73	52
85	132	79	234	83	210	80	77
70	128	76	168	79	58	74	41
80	148	85	217	75	44	77	65
71	122	82	197	84	73	77	61
84	130	76	165	73	40	70	65
79	128	85	210	78	63	69	65
82	130	84	200	74	64	71	58
67	127	75	230	78	60	73	70
76	145	72	168	77	57	70	54
69	127	83	216	73	40	66	55
82	130	80	195	83	71	72	141
81	127	74	165	70	38	70	140
84	132	80	210	77	61	68	138
74	135	81	206	70	66	69	140
83	155	77	239	77	58	72	142
73	133	72	174	79	60	75	148
86	138	83	222	75	49	72	150
85	137	74	170	84	77	70	143
81	131	81	216	73	45	68	140
75	120	86	208	78	66	88	240
79	154	81	239	74	66	87	238
67	126	78	175	78	65	86	242
82	129	88	224	75	60	85	238
74	124	79	171	77	48	84	230
80	125	86	218	85	75	87	245
78	135	87	209	71	38	80	240
84	136	83	208	75	60	84	243
75	119	81	203	75	57	70	155
64	130	70	228	68	60	68	160
77	150	66	172	74	65	72	160
67	133	81	219	75	60	73	158
80	120	77	191	77	64	73	162
81	133	74	173	73	47	74	165

پیوست ۹- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J6

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
85	65	78	124	78	249	78	155
80	125	90	235	77	240	80	160
80	120	90	240	76	239	72	157
85	60	87	239	85	323	73	160
80	160	86	240	88	320	75	158
80	320	87	237	87	325	74	160
85	145	90	245	86	320	78	160
80	140	87	241	85	319	79	148
90	76	88	232	88	324	68	70
80	140	86	230	87	326	65	73
75	120	85	228	84	246	78	320
86	146	80	140	85	240	77	326
87	140	80	140	84	239	74	321
86	142	90	75	86	240	73	322
88	145	87	76	84	239	78	230
85	140	84	73	87	230	80	232
88	150	82	74	82	238	77	230
87	143	80	77	81	55	75	232
86	140	78	76	83	60	74	235
83	139	80	143	78	59	70	54
84	142	84	150	76	55	68	60
87	137	83	148	77	63	72	55
86	133	82	152	71	65	73	62
85	140	80	146	85	250	74	62
90	80	78	145	86	248	68	56
89	75	77	142	84	252	69	70
87	76	87	79	87	260	81	235
88	77	77	80	76	135	78	230
85	75	85	155	75	130	77	228
90	76	85	143	77	140	75	215
90	77	84	142	74	130	74	221
90	72	78	138	80	151	70	220
75	122	79	140	78	150	72	225
74	121	87	236	75	148	70	230
73	122	88	239	80	152	68	215
70	120	76	230	76	149	70	228
67	121	75	234	77	154	68	220
66	122	76	230	78	157	65	215
68	124	85	150	77	150	79	225
69	126	81	252	75	151	80	220
70	130	82	250	80	160	78	221
67	132	80	253				

پیوست ۱۰- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J7

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
66	120	87	53	69	221	60	162
65	125	72	147	76	223	64	166
76	48	71	146	78	336	60	163
85	240	70	140	76	330	59	160
86	245	69	139	75	332	63	165
88	37	73	145	74	329	62	154
66	229	73	150	73	327	60	160
83	54	71	148	71	337	58	159
87	48	69	130	74	330	50	160
83	42	68	143	75	320	65	158
56	145	64	150	74	319	66	162
73	158	66	151	77	58	74	238
77	145	87	142	76	59	75	240
85	164	84	140	70	60	75	242
74	132	83	144	79	223	73	241
76	134	82	140	78	220	69	239
67	146	80	144	77	219	72	243
80	239	87	145	76	218	70	245
81	232	88	146	75	213	85	245
78	230	87	144	87	133	83	244
77	238	84	145	88	130	87	250
82	233	81	324	78	128	60	153
78	230	80	320	77	130	59	155
83	234	79	319	86	240	65	160
87	230	78	318	85	239	66	158
77	240	84	320	87	243	70	164
83	43	78	319	86	240	77	246
85	48	76	221	85	244	76	250
85	43	75	220	65	155	78	249
78	50	74	219	64	160	63	155
77	52	70	218				

پیوست ۱۱- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J8

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
62	316	80	330	87	335	85	225
74	35	86	240	85	326	83	230
68	123	77	330	84	320	84	232
88	343	65	120	86	285	81	234
89	340	68	125	88	280	77	165
84	100	87	320	85	276	74	160
84	94	86	319	84	270	76	158
85	119	89	340	85	266	77	163
83	104	87	330	84	265	76	160
73	54	82	157	85	34	90	93
86	82	83	160	86	35	87	94
72	60	80	155	85	105	85	90
64	154	78	161	84	104	66	163
71	170	83	155	83	100	65	160
81	332	82	160	86	95	70	161
75	84	84	242	88	100	68	160
71	115	83	240	85	94	75	340
76	114	82	241	83	101	74	338
87	245	83	233	86	110	73	330
85	290	76	240	73	134	75	329
89	116	75	243	70	130	74	320
83	34	74	238	68	128	67	342
87	100	75	230	75	135	65	340
79	126	84	65	74	130	64	339
84	110	87	63	70	320	60	330
82	106	80	60	68	315	65	335
80	121	88	67	65	322	70	340
78	122	87	65	70	318	71	343
83	102	83	66	68	322	74	217
82	110	86	210	80	27	75	216
65	150	87	220	78	30	73	218
80	120	85	217	80	34	75	220
70	169	86	330				

پیوست ۱۲- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J9

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
54	84	77	91	73	162	84	220
78	96	75	132	77	135	87	270
65	58	85	152	70	166	84	268
64	51	71	164	85	155	84	271
55	88	76	129	73	133	85	272
79	95	70	129	79	159	79	223
63	57	75	123	80	160	78	220
62	55	77	130	77	155	74	219
58	89	84	155	76	157	73	220
80	97	70	161	81	163	75	223
62	55	73	130	68	89	80	142
63	58	68	132	70	90	78	140
58	90	75	123	65	88	77	139
88	93	77	132	64	87	76	143
60	53	84	152	60	85	72	150
61	52	70	163	78	47	71	148
67	53	73	122	75	50	68	152
51	80	68	130	73	45	72	150
77	99	75	125	70	53	70	145
62	57	66	140	87	227	74	153
88	89	75	134	85	225	70	148
63	51	88	155				

پیوست ۱۳- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J10

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
71	136	78	59	80	195	76	199
79	133	73	89	79	190	86	234
71	121	75	59	78	96	87	230
78	120	86	22	77	94	89	229
85	100	78	41	76	97	85	230
77	131	79	300	85	121	81	55
77	132	78	298	88	130	80	60
81	107	77	290	87	125	78	54
71	142	76	289	84	131	75	63
85	131	79	302	83	123	74	62
75	127	80	312	80	130	76	67
71	119	70	37	76	186	74	193
73	125	75	40	75	183	75	200
81	135	69	38	74	180	74	198
76	143	65	42	70	178	73	200
79	132	70	45	68	172	78	195
73	40	68	40	75	181	75	188
65	40	88	208	76	184	74	200
66	42	87	200	78	180	73	187
72	48	80	199	64	305	70	180
65	70	78	180	63	310	70	195
84	30	89	210	61	300	67	192
87	43	87	211	60	306	65	190
80	28	72	300	59	300	64	194
76	60	77	296	81	203	66	200
84	94	76	290	82	205	64	201
74	40	81	114	78	200	82	243
69	53	85	115	77	199	80	240
68	63	83	112	78	201	78	237
77	21	81	195	77	198	84	245

پیوست ۱۴- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J11

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
71	136	78	59	80	195	76	199
79	133	73	89	79	190	86	234
71	121	75	59	78	96	87	230
78	120	86	22	77	94	89	229
85	100	78	41	76	97	85	230
77	131	79	300	85	121	81	55
77	132	78	298	88	130	80	60
81	107	77	290	87	125	78	54
71	142	76	289	84	131	75	63
85	131	79	302	83	123	74	62
75	127	80	312	80	130	76	67
71	119	70	37	76	186	74	193
73	125	75	40	75	183	75	200
81	135	69	38	74	180	74	198
76	143	65	42	70	178	73	200
79	132	70	45	68	172	78	195
73	40	68	40	75	181	75	188
65	40	88	208	76	184	74	200
66	42	87	200	78	180	73	187
72	48	80	199	64	305	70	180
65	70	78	180	63	310	70	195
84	30	89	210	61	300	67	192
87	43	87	211	60	306	65	190
80	28	72	300	59	300	64	194
76	60	77	296	81	203	66	200
84	94	76	290	82	205	64	201
74	40	81	114	78	200	82	243
69	53	85	115	77	199	80	240
68	63	83	112	78	201	78	237
77	21	81	195	77	198	84	245

پیوست ۱۵- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J12

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
84	89	79	150	83	108	80	170
77	37	88	190	80	110	78	168
76	48	85	75	83	112	77	184
89	83	80	70	86	200	74	180
88	92	81	75	87	190	76	179
65	45	79	83	85	188	80	168
85	60	78	80	83	180	79	172
88	9	80	340	84	96	81	161
73	53	79	338	85	100	80	162
84	95	82	342	83	95	78	158
88	86	83	344	80	94	77	165
79	42	80	339	78	90	78	163
86	70	84	200	86	79	76	188
86	7	83	198	89	80	75	200
70	82	80	190	90	76	74	201
85	93	85	98	85	75	73	198
82	50	80	100	84	77	65	183
68	165	79	110	84	165	66	180
89	148	84	111	83	170	68	178
85	197	83	99	80	168	64	180
77	156	77	40	78	172	66	181
65	166	78	43	77	174	67	184
90	147	75	35	69	170		

پیوست ۱۶- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J13

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
87	102	72	150	50	263	60	53
89	306	72	152	65	266	61	52
88	254	76	277	63	267	75	123
68	239	89	306	87	93	77	130
65	254	88	254	70	60	84	155
88	92	68	239	70	60	70	161
72	58	65	254	75	63	73	130
87	102	84	275	89	100	68	132
74	160	84	250	73	64	75	123
87	100	67	240	68	70	77	132
86	100	65	240	64	65	84	152
84	105	80	270	71	34	70	163
74	145	83	247	75	125	73	122
73	140	81	254	78	80	85	24
87	100	63	264	82	123	86	30
83	94	80	250	85	76	88	32
70	150	78	249	84	98	87	35
68	160	80	243	90	35	83	31
64	150	81	256	77	129	80	30
63	158	76	244	85	71	77	35
83	138	79	253	87	65	70	40
73	163	76	251	86	127	79	23
76	155	83	257	59	87	80	30
84	146	84	257	67	92	78	20
81	144	79	243	84	98	81	25
82	151	78	248	81	64	78	22
76	145	60	260	62	55	75	104
86	152	65	261	58	89	76	110
85	159	63	268	80	97	78	105
76	142	59	267	62	55	73	103
76	141	60	261	63	58	70	100
62	140	57	258	58	90	76	104
73	156	54	262	88	93		

پیوست ۱۷- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J14

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
71	105	84	77	73	200	84	223
55	100	43	95	65	218	85	232
64	103	58	66	74	220	84	233
43	109	84	82	69	206	83	231
56	101	84	75	81	200	86	268
46	104	58	78	78	201	84	260
79	114	59	66	70	105	83	259
64	102	83	70	70	224	80	264
70	102	59	78	68	220	78	266
88	114	80	69	72	219	75	268
89	101	78	74	74	222	60	134
72	104	44	95	72	220	58	135
70	102	88	89	71	218	63	136
70	108	59	83	68	200	60	130
55	105	88	45	64	112	54	132
64	106	48	90	63	110	53	131
43	110	71	215	61	100	54	134
68	110	71	218	59	98	56	128
60	104	70	218	58	111	55	130
70	108	69	210	55	115	57	132
56	107	71	220	84	83	56	125
46	110	69	218	85	90	55	127
79	115	71	216	84	83	56	130
70	108	68	218	82	80	77	92
88	117	74	217	55	120	78	94
90	109	82	73	54	122	75	93
76	108	83	70	56	120	74	100
70	109	78	69	57	125	75	93
55	110	77	74	60	124	74	90
67	110	68	65	73	227	70	89
68	113	73	64	70	230	71	88
58	100	70	72	69	215	68	87
53	108	80	80	70	214	70	85
73	110	81	74	68	216	68	83
75	111	79	74	67	215	70	80
50	106	82	83	63	210	69	78
66	113	78	75	62	214	82	227
57	101	77	68	85	209	84	230
69	100	76	66	86	210	83	225
55	109	70	102	85	211	80	232
87	115	68	100	84	200	78	231
54	107	70	108	69	122	77	228
62	100	68	110	72	120	76	225
66	101	60	111	73	119	72	204
65	116	70	110	70	117	70	205
87	64	69	111	68	115	68	208
88	37	74	112	65	110	70	210
87	64	73	108	64	108	73	211
60	80	78	100	70	111	84	268
88	60	76	110	68	105	83	270
43	96	73	98	65	120	80	265
64	63	70	95	80	225	78	260
60	68	69	115	79	220	75	259
86	83	55	108	78	219	74	262
56	80	70	118	75	215	73	267
82	73	56	98	74	218	68	272
88	65	65	122	72	221	55	137
84	66	71	215	78	224	54	130
87	38	70	200	79	224	54	128
59	66	68	198	86	228	55	134
44	97	72	195	85	230	56	135

پیوست ۱۸- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J15

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
44	67	49	57	68	70	65	62
58	25	70	85	75	62	64	63
45	68	68	80	74	63	63	65
52	65	72	83	62	51	64	70
57	76	68	82	60	55	63	66
63	28	74	85	58	56	65	67
72	68	73	78	63	50	59	40
50	39	52	64	60	50	60	42
55	31	50	70	58	57	58	40
55	26	55	73	60	53	57	43
45	54	58	78	58	60	56	45
48	58	55	65	55	59	57	44
50	56	57	70	59	45	56	50
56	83	56	72	60	50	60	42
52	64	60	74	58	46	61	44
48	65	68	77	57	47	64	45
73	75	65	70	58	48	65	39
50	68	72	60	55	45	66	40
70	84	70	63	60	61	67	38
58	76	68	65	55	60	66	42
53	61	72	65	56	62	64	40
50	80	73	64	65	60	63	42
54	80	70	66	64	58		

پیوست ۱۹- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J16

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
71	71	87	260	80	189	80	354
77	74	70	240	78	187	78	358
62	67	89	300	77	186	77	360
74	84	60	278	70	170	89	183
85	81	58	270	68	169	88	180
74	67	90	250	72	172	86	178
81	82	66	283	73	174	85	175
85	88	69	237	70	168	86	177
76	59	69	102	75	90	85	178
70	82	85	98	73	87	70	270
78	80	89	107	70	84	73	268
63	70	72	170	68	86	68	265
89	80	73	178	70	87	65	264
87	78	72	170	74	87	70	266
85	90	73	177	87	115	68	268
75	60	85	120	86	112	67	265
90	78	80	111	85	110	79	261
84	83	70	103	84	108	80	260
58	256	84	100	80	102	78	258
87	287	70	169	78	100	78	256
86	279	87	125	72	285	75	254
85	264	73	105	70	280	74	257
73	248	90	108	68	278	73	256
74	246	80	120	72	283	75	260
80	290	68	99	70	284	80	190
87	247	67	108	68	283	78	187
78	274	83	95	85	170	79	188
88	253	80	180	84	168	78	187
73	251	78	178	85	172	75	185
75	250	77	181	84	168	74	186
65	286	78	182	83	170	73	184
63	264	80	183	85	165	71	186
65	253	77	182	85	360	82	187
73	255	76	184	84	358	83	355
75	255						

پیوست ۲۰- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J17

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
74	126	72	60	72	48	88	221
89	175	92	50	70	46	88	218
85	170	75	60	69	45	86	216
78	130	87	60	65	92	87	219
90	170	78	340	66	90	85	218
80	169	81	177	67	89	89	43
77	128	82	175	79	355	87	40
87	168	80	174	80	350	86	43
78	160	78	170	78	349	85	87
80	166	75	168	77	340	84	89
78	100	74	165	78	350	83	87
59	97	82	272	77	352	80	90
89	37	80	270	90	50	81	85
73	99	78	268	89	45	74	134
77	89	77	265	87	52	75	130
89	60	76	264	80	55	76	133
89	54	75	260	77	56	74	132
77	54	74	258	78	57	75	135
78	60	73	260	90	268	76	135
78	69	87	280	79	268	88	310
78	94	83	278	78	267	85	312
90	40	86	279	79	265	86	310
77	100	87	281	75	182	87	186
76	90	80	225	74	180	86	184
90	55	78	220	76	183	84	180
78	53	81	222	77	180	80	124
60	93	77	219	75	179	78	120
80	78	80	217	74	178	77	122
76	57	82	216	76	177	76	121
90	55	80	220	75	180	75	122
90	40	70	50	89	220	74	118
75	99	68	45	87	218	75	115
74	98	67	44	86	215	71	116
87	50	68	46	87	220		

پیوست ۲۱- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J18

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
75	113	77	200	77	276	67	195
69	100	90	198	75	270	69	196
88	109	76	197	74	269	66	193
85	107	75	189	73	272	65	192
78	100	76	180	71	270	67	192
74	116	90	177	68	269	68	183
70	97	82	195	78	281	67	180
80	110	78	180	77	278	65	178
86	110	77	170	76	275	68	180
77	97	70	275	75	270	88	79
78	98	89	276	74	268	87	78
75	88	89	288	78	187	83	78
74	100	85	270	79	185	86	75
67	92	84	288	77	184	85	74
68	90	85	279	76	187	84	73
66	88	86	268	71	175	83	75
68	100	81	87	70	177	80	83
70	95	80	88	68	174	82	84
78	202	78	85	72	175	80	82
66	206	77	86	66	173	78	78
89	182	78	89	66	194	83	85
78	179	70	80	65	190		

پیوست ۲۲- داده‌های مربوط به شکستگی‌های ایستگاه J19

Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
57	60	88	330	68	149	76	320
60	61	82	270	77	100	85	157
56	53	81	320	80	98	84	160
64	75	80	315	78	83	83	158
52	83	77	310	70	148	86	260
56	86	82	319	68	87	84	258
47	72	77	253	64	147	83	261
50	76	80	260	65	150	82	262
51	91	82	108	81	146	84	265
57	76	72	144	78	143	83	77
51	70	70	152	77	140	84	79
59	78	83	100	80	145	72	70
47	58	70	150	76	144	70	68
85	329	68	155	78	147	77	91
80	267	84	110	77	149	75	89
86	320	68	150	74	329	74	88
78	260	80	99	76	330	74	318

Abstract

The study area is located in the north of Quchan and in the eastern koppe-dagh state. Stratigraphic studies in this area confirm the presence of Shurije and Cretaceous rock units. Major tectonic structures such as faults and folds are in this range. The main faults of this region are right lateral strike slip and are right lateral strike slip with reverse component, and have a general northwest-southeast trend. Field surveys were carried out at separate stations on the east Zoobaran anticline and west Zoobaran anticline. The two eastern and western parts are separated by the Quchan-Zoobaran fault. Based on the geometry obtained for each anticline, it was found that the axial surface at the East Zoobaran anticline has rotated about 23 degrees anti-clockwise and this confirms the right-lateral strike slip motion of the Quchan-Zoobaran fault. Also, Studies fold, based on the interlimb angle of fold (Fleuty 1964), most of the folds fall with in open and gentle categories with a few in the close category. Based on the dip of axial surface and plunge of hinge line, the studied folds are classified into upright-horizontal category. Fractures were investigated in 19 stations and finally the association of these fractures with the main structures of the area was determined. The highest fracture density in the region was determined by two general trends of NE-SW and NW-SE. In general, four fractures in the region can be distinguished, respectively, with fractures of category 1 with an average position of 81/258, fractures of category 2 with an average position of 69/138, fractures of category 3 with an average position of 74/173, and the fractures of category 4 are with an average position of 68/226. Tiers 1 and 3 were of a tensile type and 2 and 4 were of shear type. Based on the position of the joints, the longitudinal, transverse, and shear fractures are detectable in these 19 stations, relative to the axis of the folds. The average fractures of the fold axis at each anticline indicate that the anti-clockwise rotation of the fractures in the east Zoobaran anticline is approximately 23 degrees relative to the fractures in the west Zoobaran anticline. After the removal of the rotation, the fractures in the eastern Zoobaran show the same geometry with the fractures of the west Zoobaran anticline. Thus, the east Zoobaran anticline could be considered as the continuation of the west Zoobaran anticline and attributed the difference in the trend to the right-lateral movement of the Quchan-Zoobaran fault. Also, based on the distribution of joints compared to the layering, most joints are divided into slabs and mills. In addition, the joints J1, J2, J3 and J4, which are generally in parallel, antithetic and synthetic to faults in the region, have been studied. Accordingly, the joint class J1 is in antithetic and synthetic, the joint class J3 is in parallel and antithetic and the joint class J4 is in synthetic and parallel to the Quchan-Zoobaran and Salanghuch faults, respectively. The joint class J2 is in antithetic with both faults.

Keywords: Quchan-Zoobaran fault, Salanghuch fault, east Zoobaran anticline, west Zoobaran anticline, Structural analysis.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Tectonics

**Structural analysis of Zoobaran anticline in the north of
Quchan**

By: Fahime Khaleghi Khosravie

Supervisor:

Dr. Parviz Omid

Advisor:

Dr. Gholam hosein Karami