

الحمد لله رب العالمين
والصلاة والسلام على
سيدنا محمد وآله الطيبين
الطاهرين



دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک

تحلیل ساختاری شکستگی سنگ‌ها در دره هراز (جنوب آمل)

نگارنده: معصومه واحدی

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

اساتید مشاور

دکتر عزیز الله طاهری

دکتر علی اکبر مؤمنی

خرداد ۹۶

شماره: ۱۷۷۲۹
تاریخ: ۹۶/۵/۲۳

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 معصومه واحدی با شماره دانشجویی ۹۳۱۸۰۴۴ رشته زمین شناسی گرایش زمین ساخت تحت عنوان تحلیل ساختاری شکستگی سنگها در دره هراز (جنوب آمل) که در تاریخ ۹۶/۴/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ۸۰٫۳۹ درجه علمی)	☒ درجه علمی	☐ مردود
نوع تحقیق: نظری	☒ نظری	☐ عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	پرویز امیدی	استادیار	
۲- استاد مشاور اول	عزیزالله طاهری	استاد	
۳- استاد مشاور دوم	علی اکبر مومنی	استاد یار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	معصومه کردی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	رمضان رمضانی اومالی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	محسن خادمی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۶/۵/۲۳

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).



تقدیم به همسر

با قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و

آسایش برای من فراهم آورده است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی ها و دشواری های زندگی، همواره یاری دلسوز و فداکار

و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

و به فرزندان نازنینم

عرفان و مایلان

پاس مخصوص خداوند مهربان که به انسان توانایی و دانایی بخشد تا به بندگانش شفقت ورزد، مهربانی کند و در حل مشکلاتشان یاری شان نماید. از راحت خویش بگذرد و آسایش هم نوعان را مقدم دارد، و خوش باشد که پروردگار سمیع و بصیر است.

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر امیدی استاد راهنمای بنده در این پژوهش که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشد و گلشن سرای علم و دانش را بار بار بهمانی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

پاس بی کران نثار جناب آقای دکتر طاهری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی یاری خود را در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت مشاوره این پژوهش را بر عهده گرفتند.

بچنین تقدیر فراوان خدمت جناب آقای دکتر مومنی که ایشان نیز زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند و در تمام این دوره پشتیبان بنده بوده اند و دلسوزانه یاریم نمودند.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر خادمی و دکتر رمضانلی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

بر خود لازم میدانم از تمامی پرسنل محترم دانشکده علوم زمین به پاس همکاری های ایشان تشکر نمایم.

از خانواده ی محترم خود و بهرسم به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی همیشه بهرام بودند تشکر مینمایم.

پاس فراوان بدیه به دوستان عزیزم خانم هارستی، فحی و آقای فرح دل به پاس بهی آن ...

تعهد نامه

اینجانب معصومه واحدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین ساخت (تکتونیک) دانشکده علوم دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل ساختاری شکستگی سنگها در دره هراز (جنوب آمل) تحت راهنمایی جناب آقای دکتر پرویز امیدی معهد می شوم.

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

تاریخ
۱۴۰۳/۳/۳۱
امضای دانشجو
وحدی

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

محدوده مورد مطالعه در جنوب شهرستان آمل بخشی از دامنه شمالی البرز مرکزی می باشد. مطالعات چینه نگاری در این بخش، وجود واحدهای سنگی پالئوزوئیک و مزوزوئیک را با راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری تأیید می کند. از نظر زمین ساختی این ناحیه در محدوده ی زون گسلی شمال البرز واقع شده است. گسل های مهم دیگری چون گسل چلاو و منگل نیز در این محدوده قرار دارند. گسل های اصلی این بخش از نوع معکوس، با روند شمال باختری - جنوب خاوری تا خاوری - باختری و شیب بالا تعیین شده است. در محدوده منطقه چلاو چین خوردگی مرتبط با گسل مشاهده شد که شاهدی بر عبور گسل شمال البرز از این منطقه است. در این محدوده گسل های فرعی راستالغز، نرمال و معکوس با روند شمال باختر - جنوب خاور، خاوری - باختری و شمال خاور - جنوب باختر و شمال شمال باختر - جنوب جنوب خاور قابل مشاهده است. بررسی شکستگی های منطقه در ۹ ایستگاه درزه نگاری انجام شد و در نهایت ارتباط این شکستگی ها با گسل شمال البرز تعیین شد. بیشترین تراکم شکستگی با راستای شمال خاور- جنوب باختر تعیین شد. چهار دسته شکستگی در منطقه با ماهیت برشی و کششی قابل تشخیص است. الف: شکستگی با موقعیت میانگین $N76^{\circ}W/51^{\circ}NE$ ب: شکستگی با موقعیت میانگین $N57^{\circ}E/75^{\circ}SE$ ج: شکستگی با موقعیت میانگین $N15^{\circ}E/68^{\circ}SE$ د: شکستگی با موقعیت $N30^{\circ}W/42^{\circ}SW$ قابل مشاهده می باشد. با استفاده از نمونه گیری برداشت خطی، ویژگی تراکم درزه در ۱۱ ایستگاه محاسبه شد. براساس نتایج بدست آمده، ارتباط میان تراکم شکستگی و فاصله از گسل شمال البرز و تراکم درزه بر مبنای فاصله از لولای طاق دیس عمارت و گسل های فرعی منطقه بررسی گردید. براساس این نتایج در محدوده گسل شمال البرز میزان تراکم $17,84$ درصد می باشد. در محدوده لولای چین تراکم شکستگی به میزان $8,75$ درصد بدست آمد. در محدوده گسل چلاو تراکم $10,9$ اندازه گیری شد. به منظور ارزیابی ارتباط چین خوردگی عمارت با درزه های اصلی برداشت هایی از یال های

چین انجام شد و موقعیت محور چین $0^{\circ}29'40''$ تعیین گردید. براساس توصیف درزه‌ها نسبت به لایه بندی بیشتر سطوح در رده درزه‌های اریب و شیبی تقسیم بندی می شوند. مقایسه‌ای میان درزه‌های برداشت شده از هر سازند نیز صورت گرفت براین اساس بیشترین تعداد شکستگی در سازند آهکی الیکا تعیین شد و در نهایت مشخص شد که علاوه بر تاثیر فاصله از ساختارهای تکتونیکی بر فراوانی درزه جنس لایه ها نیز بر تراکم درزه موثر می باشد. براساس موقعیت هندسی و مشخصات شکستگی این درزه‌ها، دسته درزه J3, J4 می‌توانند نقش موثری در فرار آب از سد در حال ساخت هراز ایفا می‌کند.

واژه کلیدی: گسل شمال البرز، گسل منگل، گسل چلاو، تراکم شکستگی، شدت شکستگی

فصل اول.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۲- وضعیت آب و هوایی.....	۴
۱-۳- هدف مطالعه.....	۵
۱-۴- تاریخچه مطالعاتی.....	۶
۱-۵- روش انجام تحقیق.....	۷
فصل دوم.....	۹
زمین‌شناسی عمومی.....	۹
۲-۱- زمین ساخت البرز.....	۱۰
۲-۳- ریخت‌شناسی زمین ساخت منطقه.....	۱۲
۲-۴- چینه‌نگاری.....	۱۳
۲-۴-۱- سازند دورود.....	۱۴
۲-۴-۲- سازند روته.....	۱۵
۲-۴-۳- سازند نسن.....	۱۷
۲-۴-۴- سازند الیکا.....	۱۸
۲-۴-۵- سازند شمشک.....	۲۰
۲-۴-۶- نهشته‌های کواترنری.....	۲۱
فصل سوم.....	۲۷
شکستگی.....	۲۷
۳-۱- انواع شکستگی.....	۲۹
۳-۲- شناسایی انواع شکستگی‌ها.....	۳۱

۳-۳-۳-۳	ارتباط شکستگی با پدیده‌های ساختمانی.....	۳۲
۳-۳-۳-۱	ایجاد شکستگی همراه با چین خوردگی.....	۳۲
۳-۳-۳-۲	سیستم شکستگی وابسته به گسل خوردگی مدل برشی‌های ریدل.....	۳۴
۳-۳-۳-۳	شاخص ریخت شناسی سطح گسل.....	۳۸
۳-۴-۴	گسلها.....	۳۹
۳-۴-۱	گسل شمال البرز.....	۳۹
۳-۴-۲	گسل چلاو.....	۴۵
۳-۵-۵	گسل‌های فرعی منطقه.....	۴۶
۳-۵-۱	گسل F1.....	۴۷
۳-۵-۲	گسل F2.....	۵۲
۳-۵-۳	گسل F3.....	۵۶
۳-۵-۴	گسل F4.....	۶۰
۳-۵-۵	گسل F5.....	۶۲
۳-۵-۶	گسل F6.....	۶۳
۳-۵-۷	گسل F7.....	۶۴
۳-۶-۶	بررسی سیستم درزه‌های ایجادشده در واحدهای سنگی منطقه.....	۶۵
۳-۷-۷	ویژگی‌های دسته‌درزه در توده سنگ.....	۶۶
۳-۸-۸	خواص و اندازه‌گیریهای شکستگی.....	۶۷
۳-۸-۱	تراکم شکستگی (Fracture Density).....	۶۷
۳-۸-۲	شدت شکستگی (Fracture Intensity).....	۶۹
۳-۹-۹	روش‌های مناسب جهت نمونه‌گیری شکستگی.....	۶۹
۳-۹-۱	خط اسکن به روش خطی.....	۶۹
۳-۹-۲	نمونه اسکن دایره‌ای (پنجره‌ای).....	۷۰
۳-۱۰-۱۰	شکستگیها در منطقه مورد مطالعه.....	۷۰
۳-۱۱-۱۱	بررسی وضعیت درزه در سازند الیکا.....	۷۱

۷۲	۳-۱۱-۱- ایستگاه ۱ (S1)
۷۲	۳-۱۱-۲- ایستگاه ۲ (S2)
۷۸	۳-۱۱-۳- ایستگاه ۳ (S3)
۸۲	۳-۱۱-۴- ایستگاه ۴ (S4)
۸۶	۳-۱۱-۵- ایستگاه ۵ (S5)
۸۹	۳-۱۱-۶- ایستگاه ۶ (S6)
۹۵	۳-۱۱-۷- درزه‌ها در سازند روته ایستگاه (۱) S7
۹۹	۳-۱۱-۸- درزه‌ها در سازند روته ایستگاه (۲) S8
۱۰۲	۳-۱۱-۹- سازند دورود S9
۱۰۶	۳-۱۳- تأقدیس عمارت
۱۰۹	فصل چهارم
۱۰۹	بحث و نتیجه گیری
۱۱۰	۴-۱- مطالعه گسلها
۱۱۲	۴-۲- الگوی پراکنش شکستگیها
۱۱۴	۴-۳- ارتباط درزه‌ها با ساختارهای منطقه
۱۱۸	۴-۴- تغییرات فراوانی شکستگیها نسبت به فاصله از گسل شمال البرز
۱۲۰	۴-۵- ارتباط الگوی شکستگی و فرار آب
۱۲۷	۴-۶- پیشنهادات
۱۲۳	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ نقشه موقعیت جغرافیایی آمل ۵
- شکل ۲-۱- نقشه واحدهای رسوبی ساختاری ایران ۱۰
- شکل ۲-۲- تلفیقی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصویر SRTM از دره هراز در منطقه ۱۲
- شکل ۲-۳- ریخت‌شناسی واحدهای الیکا و ارتفاعات سازند آهکی روته در طرفین دره هراز ۱۳
- شکل ۲-۴- تصویری از واحدهای آهکی صخره ساز الیکا در کنار جاده هراز ۱۳
- شکل ۲-۵- رخنمونی از سازند دورود و روته در ۲ کیلومتری روستای عمارت ۱۵
- شکل ۲-۶- رخنمونی از واحدهای آهکی سازند روته در منطقه مورد مطالعه ۱۶
- شکل ۲-۷- رخنمونی از سازند نسن در حاشیه جاده هراز حدود ۲ کیلومتری دره چلاو ۱۸
- شکل ۲-۸- رخنمونی از سازند الیکا ۱۹
- شکل ۲-۹- فسیل کلاریا در واحدهای سنگی الیکا ۲۱
- شکل ۲-۱۰- نهشته‌های کنگلومرا و ماسه سخت نشده در حاشیه جاده هراز ۲۲
- شکل ۲-۱۱- ستون چین‌شناسی سازندهای پالئوزیک ۲۲
- شکل ۲-۱۲- ستون چین‌شناسی مربوط به سازندهای مزوزوئیک و نهشته کواترنری ۲۳
- شکل ۲-۱۳- نقشه زمین شناسی منطقه ۲۴
- شکل ۳-۱- انواع شکستگی ۲۹
- شکل ۳-۲- نمایش سه نوع شکستگی ۳۰
- شکل ۳-۳- جهت‌گیری فضایی انواع شکستگی نسبت به تنش اصلی وارده به توده سنگی ۳۱
- شکل ۳-۴- شکستگی های مد ۱، مد ۲، مد ۳ و مد ۴ ۳۱
- شکل ۳-۵- توسعه انواع مختلف شکستگی‌ها در ارتباط با چین‌خوردگی ۳۲
- شکل ۳-۶- مجموعه شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی ۳۴
- شکل ۳-۷- موقعیت شکستگی‌های برشی نسبت به گسل اصلی ۳۵
- شکل ۳-۸- اشکال هلالی ایجاد شده روی سطح گسل ۳۷
- شکل ۳-۹- تصویر صحرایی نمونه ای از برشی‌های نوع R' ۳۷
- شکل ۳-۱۰- نمودار سه بعدی نشان دهنده ارتباط زاویه ای بین شکستگی T با سطح گسل ۳۸

- شکل ۳-۱۱- تصویر صحرایی و بلوک دیاگرام پله گسلی ۳۹
- شکل ۳-۱۲- تصویر سه بعدی از دره هراز به همراه روند غالب گسل شمال البرز و گسل چلاو ۴۰
- شکل ۳-۱۳- تصویر صحرایی از پهنه گسلی با پهنای حدود ۳۰ متر در حاشیه جاده هراز ۴۱
- شکل ۳-۱۴- تصویر صحرایی از سطح گسل با موقعیت $N50^{\circ}W\ 82^{\circ}SW$ ۴۲
- شکل ۳-۱۵- تصویر صحرایی از پهنه گسلی در منطقه منگل ۴۳
- شکل ۳-۱۶- رخنمون گسل شمال البرز در مسیر جاده روستای پرن ۴۳
- شکل ۳-۱۷- رخنمونی از چین خوردگی در سازند الیکا ۴۴
- شکل ۳-۱۸- استریوگرام ترسیم شده از سطح گسل شمال البرز به همراه موقعیت محور چین ۴۴
- شکل ۳-۱۹- تصویر صحرایی روند غالب گسل شمال البرز و گسل چلاو در محدوده مورد مطالعه ۴۵
- شکل ۳-۲۰- تصویر صحرایی از افراز گسل در سازند روته ۴۶
- شکل ۳-۲۱- نمونه ای از گسل های فرعی که با نام های F1 تا F6 ۴۷
- شکل ۳-۲۲- تصویر صحرایی سطح گسل با موقعیت $N36^{\circ}W, 75^{\circ}NE$ ۴۸
- شکل ۳-۲۳- استریوگرام های ترسیم شده از صفحات گسلی ۴۹
- شکل ۳-۲۴- تصویری از رخنمون از گسل F1 با موقعیت $N34^{\circ}W\ 75^{\circ}NE$ ۴۹
- شکل ۳-۲۵- رخنمونی از شکستگی های برشی R' ۵۱
- شکل ۳-۲۶- استریوگرام ترسیم شده از صفحه میانگین شکستگی با موقعیت $N76^{\circ}E\ 70^{\circ}SE$ ۵۲
- شکل ۳-۲۷- رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N55^{\circ}W\ 71^{\circ}SW$ ۵۴
- شکل ۳-۲۸- استریوگرام ترسیم شده از صفحه میانگین گسل با موقعیت $N45^{\circ}W\ 70^{\circ}SW$ ۵۴
- شکل ۳-۲۹- سطح گسل با موقعیت $N58^{\circ}W\ 65^{\circ}SW$ ۵۵
- شکل ۳-۳۰- رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N70^{\circ}W/60^{\circ}SW$ ۵۵
- شکل ۳-۳۱- رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N45^{\circ}W, 70^{\circ}SW$ ۵۶
- شکل ۳-۳۲- تصویر صحرایی از رخنمون سطح گسل با موقعیت $N84^{\circ}W\ 58^{\circ}SW$ ۵۷
- شکل ۳-۳۳- استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی ۵۸
- شکل ۳-۳۴- رخنمونی از مناظر پله ها در سطح گسل به همراه خراش ها ۵۸
- شکل ۳-۳۵- شکستگی کششی روی سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}E\ 58^{\circ}SE$ ۵۹

- شکل ۳-۳۶- تصویر استریوگرام سطوح شکستگی بر سطح گسل f3 ۶۰
- شکل ۳-۳۷- تصویر صحرایی از سطح گسل با موقعیت میانگین N81°W/ 60°NE ۶۰
- شکل ۳-۳۸- تصویر استریوگرافیک از صفحه گسل f4 ۶۱
- شکل ۳-۳۹- رخنمونی از فرادیواره سطح گسل با موقعیت N81°W/ 60°NE ۶۲
- شکل ۳-۴۰- رخنمونی از فرودیواره با موقعیت N52°E 60°SE و خراش گسلی f5 ۶۲
- شکل ۳-۴۱- رخنمونی از سطح گسل با موقعیت f6 N20°W, 60°S ۶۳
- شکل ۳-۴۲- رخنمونی از سطح گسل ، با روند شمال باختر جنوب خاور f7 ۶۴
- شکل ۳-۴۳- نمایش دو دسته درزه در بلوک دیاگرام ۶۷
- شکل ۳-۴۴- تأثیر قطر پنجره نمونه اسکن در میزان تراکم ۶۸
- شکل ۳-۴۵- نمونه اسکن دایره‌ای تقاطع شکستگی با دایره اسکن ۷۰
- شکل ۳-۴۶- رخنمونی از سازند الیکا در حاشیه جاده هراز ۷۳
- شکل ۳-۴۷- استریوگرامهای شکستگی‌های در ایستگاه ۱ (الیکا) ۷۳
- شکل ۳-۴۸- نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی و گل‌سرخ‌ی جهت شیب شکستگی ۷۴
- شکل ۳-۴۹- نمودار ستونی میانگین آماری ۷۴
- شکل ۳-۵۰- تصویر صحرایی از لایه‌بندی سازند الیکا در ایستگاه ۲ ۷۵
- شکل ۳-۵۱- استریوگرامهای شکستگی در ایستگاه ۲ (سازند الیکا): ۷۶
- شکل ۳-۵۲- نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی و گل‌سرخ‌ی جهت شیب ۷۶
- شکل ۳-۵۳- اسکن خطی مایل، قائم و افقی ترسیم‌شده در ایستگاه ۲ (سازند الیکا) ۷۷
- شکل ۳-۵۴- نمودار میانگین فاصله‌داری spacing دسته‌درزه j1, j2 ۷۸
- شکل ۳-۵۵- تصویر صحرایی از رخنمون سازند الیکا ۷۹
- شکل ۳-۵۶- استریوگرام شکستگی در ایستگاه ۳ (سازند الیکا) ۸۰
- شکل ۳-۵۷- نمودار گل‌سرخ‌ی ایستگاه ۳ ۸۰
- شکل ۳-۵۸- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ۸۱
- شکل ۳-۵۹- بازشدگی دسته درزه‌ها در واحد آهکی الیکا ۸۱
- شکل ۳-۶۰- نمونه‌گیری خط اسکن در ایستگاه ۳ به سه روش افقی، مایل و قائم ۸۲

- شکل ۳-۶۱ - نمایی از پرتگاه در سازند الیکا ۸۳
- شکل ۳-۶۲-الف- تصویر صحرایی از سطح شکستگی با موقعیت $N33^{\circ}E/74^{\circ}SE$ ۸۳
- شکل ۳-۶۳ استریوگرام شکستگی‌ها در ایستگاه ۴ (سازند الیکا) ۸۴
- شکل ۳-۶۴ نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی ۸۴
- شکل ۳-۶۵ نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1,J2 ۸۵
- شکل ۳-۶۶- نمونه‌گیری خط اسکن در ایستگاه ۳ به سه روش افقی، مایل و قائم ۸۶
- شکل ۳-۶۷- تصویر صحرایی از سطح لایه‌بندی سازند الیکا در ایستگاه ۵ ۸۷
- شکل ۳-۶۸- تصویری از بازشدگی سطح درزه به همراه سطح ناهموار ۸۷
- شکل ۳-۶۹- استریوگرام شکستگی‌ها در ایستگاه ۵ (سازند الیکا) ۸۸
- شکل ۳-۷۰- نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی ۸۸
- شکل ۳-۷۱- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه j1,j2 ۸۸
- شکل ۳-۷۲- نمونه‌گیری خط اسکن در ایستگاه ۳ به سه روش افقی، مایل و قائم ۸۹
- شکل ۳-۷۳- تصویر صحرایی از لایه‌بندی و شکستگی در واحد الیکا ۹۰
- شکل ۳-۷۴- تصویری از سطح درزه و بازشدگی و پرشدگی درزه ۹۱
- شکل ۳-۷۵- استریوگرام سطوح درزه به همراه قطب صفحات در سازند الیکا ۹۱
- شکل ۳-۷۶- نمودار گل‌سرخ‌ی ایستگاه ۶ ۹۲
- شکل ۳-۷۷- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1,J2,J3 ۹۲
- شکل ۳-۷۸- نمونه اسکن خطی (افقی، مایل، قائم) در ایستگاه ۶ سازند الیکا ۹۳
- شکل ۳-۷۹- نمونه اسکن خطی سازند الیکا در محدوده گسل منگل ۹۴
- شکل ۳-۸۰- نمونه اسکن خطی در سازند الیکا (منطقه پرن) ۹۴
- شکل ۳-۸۱- تصویر صحرایی از سازند روته به همراه شکستگی‌های ایجادشده در آن ۹۶
- شکل ۳-۸۲- رخنمونی از درزه متقاطع در سازند روته ۹۶
- شکل ۳-۸۳- استریوگرام شکستگی در ایستگاه ۱ (سازند روته) ۹۶
- شکل ۳-۸۴- نمودار گل‌سرخ‌ی ترسیم شده مربوط به سازند روته ۹۶
- شکل ۳-۸۵- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه j1, j2, J3 ۹۸

- شکل ۳-۸۶- نمونه اسکن خطی از ایستگاه ۱ سازند روته ۹۸
- شکل ۳-۸۷- تصویر صحرایی لایه‌بندی و شکستگی سازند روته در ایستگاه ۲ ۹۹
- شکل ۳-۸۸- درزه‌های ایجادشده در سازند روته ۱۰۰
- شکل ۳-۸۹- استریوگرام شکستگی‌ها در ایستگاه ۲ سازند روته ۱۰۱
- شکل ۳-۹۰- رزدیاگرام ترسیم شده از سطوح درزه در سازند روته ۱۰۱
- شکل ۳-۹۱- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ۱۰۱
- شکل ۳-۹۲- نمونه اسکن خطی در سازند روته ۱۰۲
- شکل ۳-۹۳- رخنمونی از سازند دورود ۱۰۳
- شکل ۳-۹۴- استریوگرام شکستگی‌ها در سازند دورود ۱۰۴
- شکل ۳-۹۵- نمودار گل‌سرخ امتدادی ۱۰۴
- شکل ۳-۹۶- نمودار میانگین فاصله عمودی درزه J1, J2, J3 ۱۰۵
- شکل ۳-۹۷- درزه تشکیل شده در سازند دورود و پرشدگی سطح درزه ۱۰۵
- شکل ۳-۹۸- نمونه‌گیری خط اسکن در سازند روته به سه روش افقی، مایل و قائم ۱۰۶
- شکل ۳-۹۹- استریوگرام تهیه شده برای تاق‌دیس عمارت ۱۰۷
- شکل ۳-۱۰۰- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه ۱۰۸
- شکل ۴-۱- استریوگرام ترسیم شده مرتبط با گسل های فرعی به همراه گسل شمال البرز ۱۱۱
- شکل ۴-۲- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها ۱۱۲
- شکل ۴-۳- نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها در سازندهای مختلف ۱۱۳
- شکل ۴-۴- رز دیاگرام شکستگی‌های منطقه با روند غالب شمال خاوری جنوب باختری ۱۱۴
- شکل ۴-۵- استریوگرام سطوح درزه در هر ایستگاه و موقعیت سطح محوری چین عمارت ۱۱۵
- شکل ۴-۶- استریوگرام سطوح درزه در هرایستگاه و موقعیت سطح محوری چین عمارت ۱۱۶
- شکل ۴-۷- استریوگرام سطوح درزه در هرایستگاه و موقعیت سطح محوری چین ۱۱۷
- شکل ۴-۸- استریوگرام ترسیم شده از میانگین درزه‌های ایجاد شده به همراه محور چین ۱۱۸
- شکل ۴-۹- ایستگاه‌های برداشت شکستگی در منطقه مورد مطالعه ۱۱۹
- شکل ۴-۱۰- بررسی ارتباط تراکم شکستگی با گسل شمال البرز ۱۲۰
- شکل ۴-۱۱- بررسی الگوی شکستگی و فرار آب ۱۲۰

فهرست جداول

جدول ۳-۱- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F1.....	۴۸
جدول ۳-۲- طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس زاویه اصطکاک داخلی.....	۵۰
جدول ۳-۳- شکستگی‌های نوع R' برداشت‌شده از سطح گسل F1.....	۵۲
جدول ۳-۴- داده‌های برداشت‌شده از گسل F2.....	۵۴
جدول ۳-۵- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F3.....	۵۷
جدول ۳-۶- شکستگی‌های برداشت‌شده از سطح گسل F3.....	۵۹
جدول ۳-۷- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F4.....	۶۱
جدول ۳-۸- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F5.....	۶۳
جدول ۳-۹- دسته‌بندی درزه از نظر فاصله‌داری.....	۷۱
جدول ۳-۱۰- دسته‌بندی طول (تداوم) درزه.....	۷۱
جدول ۳-۱۱- داده‌های برداشت‌شده از سطح درزه در ایستگاه ۱.....	۷۲
جدول ۳-۱۲- میانگین آماری ویژگی‌های درزه ایستگاه ۱.....	۷۴
جدول ۳-۱۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح درزه در الیکای ۲.....	۷۶
جدول ۳-۱۴- تراکم شکستگی در ایستگاه ۲(سازند الیکا).....	۷۷
جدول ۳-۱۵- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه ۲.....	۷۸
جدول ۳-۱۶- داده‌های برداشت‌شده از سطح درزه و لایه‌بندی در ایستگاه ۳.....	۷۹
جدول ۳-۱۷- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه ۳.....	۸۰
جدول ۳-۱۸- تراکم شکستگی در ایستگاه ۳.....	۸۱
جدول ۳-۱۹- برداشت‌های انجام‌شده از سطح درزه در ایستگاه ۴.....	۸۴
جدول ۳-۲۰- میانگین آماری ویژگی‌های درزه ایستگاه ۴.....	۸۵
جدول ۳-۲۱- تراکم شکستگی در ایستگاه ۴.....	۸۷

- جدول ۳-۲۲- داده‌های برداشت‌شده از درزه در سازند الیکا ۸۷
- جدول ۳-۲۳- میانگین آماری ویژگی‌های درزه. ایستگاه ۵ ۸۸
- جدول ۳-۲۴- تراکم شکستگی در ایستگاه ۵ ۸۹
- جدول ۳-۲۵- داده‌های برداشت‌شده از درزه در ایستگاه ۶ ۹۱
- جدول ۳-۲۶- میانگین آماری ویژگی‌های درزه ۹۲
- جدول ۳-۲۷- تراکم شکستگی در ایستگاه ۶ ۹۳
- جدول ۳-۲۸- تراکم شکستگی در سازند الیکا (اطراف گسل منگل) ۹۳
- جدول ۳-۲۹- تراکم شکستگی در سازند الیکا ۹۴
- جدول ۳-۳۰- داده‌های برداشت‌شده از سازند آهکی روته ۹۷
- جدول ۳-۳۱- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در سازند روته ۹۷
- جدول ۳-۳۲- تراکم شکستگی در ایستگاه ۱ سازند روته ۹۸
- جدول ۳-۳۳- داده‌های برداشت‌شده از درزه در ایستگاه ۲ سازند روته ۱۰۰
- جدول ۳-۳۴- میانگین آماری ویژگی‌های درزه ۱۰۱
- جدول ۳-۳۵- جدول تراکم شکستگی در ایستگاه ۲ سازند روته ۱۰۲
- جدول ۳-۳۶- داده‌های برداشت‌شده از درزه در سازند دورود ۱۰۳
- جدول ۳-۳۷- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در سازند دورود ۱۰۵
- جدول ۳-۳۸- جدول تراکم شکستگی در ایستگاه ۲ سازند دورود ۱۰۵
- جدول ۳-۳۹- بررسی میزان تراکم در کل ایستگاه‌ها ۱۰۶
- جدول ۳-۴۰- داده‌های برداشت‌شده از لایه‌بندی در یال شمالی و جنوبی تاقدیس عمارت ۱۰۷
- جدول ۳-۴۱- خصوصیات هندسی تاقدیس عمارت ۱۰۷
- جدول ۴-۱- زاویه گسل‌های فرعی منطقه با گسل شمال البرز به همراه روند گسل‌ها ۱۱۱
- جدول ۴-۲- توصیف درزه نسبت به چین (عمارت) به تفکیک ایستگاه ۱۱۵
- جدول ۴-۳- توصیف درزه نسبت به چین (عمارت) به تفکیک ایستگاه ۱۱۶

جدول ۴-۴ توصیف درزه نسبت به چین (عمارت) به تفکیک ایستگاه..... ۱۱۷

جدول ۴-۵ تراکم محاسبه شده در کل ایستگاه‌های برداشت شده..... ۱۱۹

فصل اول

مقدمہ

مقدمه

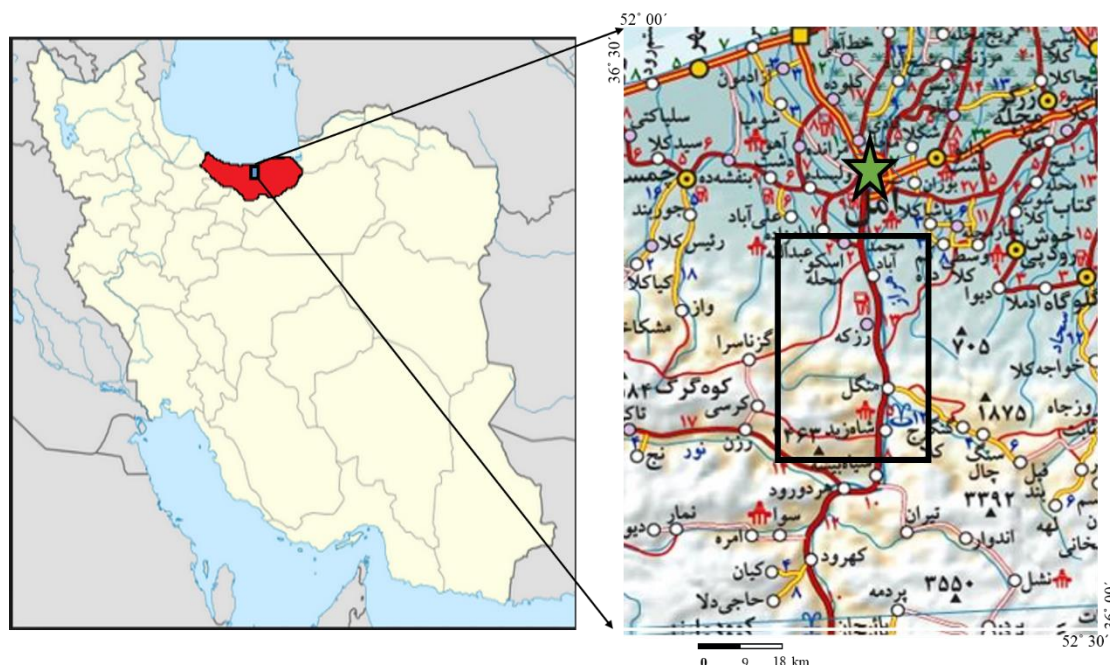
پوسته زمین تحت تأثیر نیروهای مختلفی از جمله وزن لایه‌ها، نیروی‌های زمین ساختی و ... قرار دارد که در جهات مختلف بر آن وارد می‌شود. در اثر اختلاف تنش حاصل از نیروها در جهات مختلف و متناسب با خواص فیزیکی - مکانیکی، سنگ‌ها تغییر شکل داده و شکل جدیدی از توزیع تنش را به خود می‌گیرند (Goodman, 1989). تحت تأثیر این نیروها ساختارهای مختلفی با مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌شود. در صورتی که تنش وارده بر لایه‌ها فراتر از حد مقاومت سنگ باشد، شکستگی در سنگ ایجاد می‌شود (Nelson, 1985). شکستگی‌ها از جمله ساختارهای زمین‌شناسی هستند که اکثراً توسط نیروهای زمین ساختی کنترل می‌شوند. این ساختارها بیان‌کننده تغییر شکل شکننده پوسته می‌باشند و از جنبه‌های گوناگون دارای اهمیت می‌باشند. آرایش هندسی شکستگی‌ها و تحلیل لغزش روی آن‌ها ابزار مناسبی برای دستیابی به الگوی حرکتی و دینامیکی یک منطقه است. جدای از منشأ شکستگی‌ها که مرتبط با چین خوردگی و یا نتیجه رخداد گسلش در منطقه می‌باشند حضور آن‌ها تأثیر به سزایی در جریان آب‌های زیرزمینی داشته و نقش کلیدی در توسعه پدیده کارست در واحدهای سنگی آهکی و ایجاد سفره‌های آب زیرزمینی دارد. از لحاظ هیدروژئولوژیکی درزه‌ها از مهم‌ترین ساختارهایی هستند که ذخیره‌سازی و حرکت مایعات و مواد سیال از طریق این ساختارها تسهیل می‌یابد. مشخصات فیزیکی شکستگی‌ها از جمله وضعیت سطح آن‌ها (ریخت‌شناسی آن) و نوع مواد پرکننده نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار مهندسی سنگ مانند مقاومت برشی دارد. شکستگی‌ها مولفه عمده‌ای در بسیاری از مسایل مهندسی از جمله احداث مخازن، سازه‌های عمرانی و معدنی و مقابله با آلاینده‌ها هستند. شکستگی به دلیل تامین مسیری برای گذر سیالات بر فعالیت‌های مهندسی تأثیر بارزی دارد. سیستم‌های شکستگی نشأت و پراکنده شدن مواد شیمیایی آلاینده‌ها به درون و داخل زمین را کنترل می‌کنند. و هم چنین بر پایداری سازه‌های مهندسی و گودبرداری‌ها تأثیر می‌گذارند. نقش منفی شکستگی نیز حائز اهمیت می‌باشد. شکستگی‌ها معمولاً مشکلاتی در پی و تکیه گاه سد و دامنه‌های مخزن به وجود می‌آورند که ممکن است بر پایداری سد و مخزن تأثیر بگذارد. وجود شکستگی در پی و جناحین سد، تراوایی توده

سنگ را افزایش می‌دهد و می‌تواند باعث فرار مقدار قابل توجه آب بشود. فرسایش شکستگی‌های دارای پرشدگی و گسل‌ها به علت گرادیان هیدرولیکی می‌تواند باعث نشت از سد و در نهایت گسیختگی آن بشود بررسی مشخصات شکستگی در رخنمون سنگی در شناخت بهتر ساختارهای مهم منطقه و مطالعات شناخت مخازن هیدروکربنی بسیار حائز اهمیت است. شکستگی‌ها به طرق مختلفی بر فعالیت‌های مربوط به حفاری، توسعه میدان و ازدیاد برداشت از مخزن تاثیر می‌گذارند. در موضوع زمین شناسی نفت، نقش شکستگی‌ها در مهاجرت نفت از سنگ منشا به سنگ مخزن و افزایش تولید بر محققین پوشیده نیست.

پژوهش پیش رو مطالعه شکستگی‌ها در بخش کوچکی از واحد زمین ساخت رسوبی البرز در محدوده سد هراز در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب شهر آمل است. با توجه به موقعیت تکتونیکی منطقه سعی شد با مطالعه و بررسی دقیق واحدهای سنگی منطقه به تفکیک سازندها و شکستگی‌های ایجادشده در آنها و نیز مطالعه گسل اصلی منطقه تحلیلی از وضعیت شکستگی و ارتباط هندسی احتمالی آنها با گسل شمال البرز به دست آورد.

۱-۱- موقعیت جغرافیایی

محدوده مورد مطالعه در جنوب شهرستان آمل بین طول‌های جغرافیایی $52^{\circ} 20'$ تا $52^{\circ} 24'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 09'$ تا $36^{\circ} 20'$ شمالی ۲۰ کیلومتر از انتهای شمالی دره هراز را شامل می‌شود و از نظر ساختاری در دامنه شمالی البرز مرکزی قرار دارد (شکل ۱-۱). شهر آمل واقع در جلگه مازندران و طرفین رود هراز با ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا در فاصله ۱۸ کیلومتری جنوب دریای خزر و شش کیلومتری شمال دامنه کوه البرز واقع است. رودخانه هراز از دره لار از جنوب کوه دماوند سرچشمه گرفته، و با مورفولوژی جوان و پویا با عبور از دره‌های ۷ شکل به دریای خزر می‌ریزد. ساختگاه سد مخزنی هراز (منگل) در دره عمیق هراز ۲۰ کیلومتری جنوب آمل قرار دارد. راه‌های دسترسی به این منطقه شامل جاده اصلی و آسفalte هراز و راه‌های فرعی و روستایی می‌باشد.



شکل ۱-۱ نقشه موقعیت جغرافیایی آمل (برگرفته از سایت اینترنتی www.chicojast.com) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کادر مستطیل نشان داده شده است

۱-۲- وضعیت آب و هوایی

از نظر تقسیمات اقلیمی منطقه مورد مطالعه جزو اقلیم معتدل و مرطوب بوده و بخش‌های مرتفع دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است. بیش‌ترین درجه حرارت در تابستان به ۳۶ درجه بالای صفر و کم‌ترین درجه حرارت در زمستان به ۱- درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد. میزان متوسط بارش سالیانه شهرستان آمل ۷۵۰ میلی‌متر برآورد شده است. با توجه به اینکه شهر آمل در دشت جلگه‌ای واقع شده است، اختلاف دمای شبانه‌روزی و به‌موازات آن اختلاف دمای فصلی و همچنین سالیانه بسیار کم است. وجود سلسله جبال البرز در جنوب سواحل مازندران در شمال این شهر صعود توده‌های مرطوب بر دامنه‌های پرشیب کوه‌های ساحلی را سبب شده به‌طوری‌که متوسط بارندگی در بخش جنگلی آمل (ایستگاه تحقیقات برنج ۸۱۷) میلی‌متر

افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است با توجه به خصوصیات آب و هوایی گفته شده ارتفاعات این منطقه را پوشش گیاهی جنگلی تشکیل داده و باعث شده است که در بسیاری از مکانها رخنمون‌های قابل مشاهده و اندازه گیری در دسترس نباشد.

۱-۳- هدف مطالعه

شکستگی‌ها از ساختارهای برجسته و فراوان منطقه هستند، که در نتیجه جنبش‌های زمین ساختی در دسته‌هایی با هندسه‌های متفاوت قابل مشاهده می‌باشد. فراوانی آن‌ها از جنوب به شمال به سمت واحدهای سنگی جدیدتر کاهش می‌یابد. در منطقه پیشنهادی شکستگی‌ها بر روی انواع متفاوتی از سنگ‌های رسوبی از نظر جنس، سن و لایه‌بندی‌هایی با ضخامت مختلف رخنمون دارند. ویژگی‌های هندسی شکستگی‌ها، توصیف و دسته‌بندی آن‌ها از نظر امتداد، زاویه شیب و جهت شیب، توصیف صحرایی مانند اثر شکستگی، فاصله‌داری، بازشدگی، ریخت‌شناسی سطح شکستگی از جنبه مشخصات فیزیکی و نیز شناسایی شاخص‌های ریخت‌شناسی تعیین‌کننده الگوی جنبشی آن‌ها، ازجمله پارامترهایی است که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته‌است. وجود شکستگی‌های قابل توجه از لحاظ کمی بر روی واحدهای سنگی چین‌خورده متعلق به سازندهای دورود، روته، نسن الیکا و شمشک به همراه گسل‌های مهمی مانند گسل شمال البرز، گسل کلرد، گسل چلاو، به‌علاوه سد در دست ساخت هراز در همین محدوده، مطالعه شکستگی‌ها را ضروری می‌نماید. در این پژوهش ویژگی‌های هندسی شکستگی‌های موجود به تفکیک سازندها به‌منظور بررسی تغییرات الگوی شکستگی‌ها از واحدهای سنگی قدیمی به جدید مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه و برداشت آماری شکستگی‌ها به‌منظور تعیین شدت شکستگی و بررسی تعداد شکستگی‌ها در واحد طول در سازندهای مختلف و توصیف و دسته‌بندی شکستگی‌ها از نظر جنبش‌شناسی (kinematics) مورد توجه بوده است. شناسایی اثر و نشانه‌های گسل شمال البرز (منگل)، گسل چلاو در این محدوده و مطالعه

شکستگی در حریم آن‌ها به منظور بررسی نقش آن‌ها در تشکیل و توسعه شکستگی‌ها از دیگر اهداف مورد توجه در این پژوهش بوده است

۱-۴- تاریخچه مطالعاتی

مطالعات و پژوهش‌های متعددی در واحد زمین‌ساخت - رسوبی البرز توسط زمین‌شناسان ایرانی و خارجی صورت گرفته و دستاوردهای مهمی در راستای شناخت کوهزاد البرز از جمله این بخش از دره هراز داشتند، که به بخشی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. از مهم‌ترین داده‌های پایه‌ای موجود در خصوص این بخش از البرز می‌توان به نقشه‌های زمین‌شناسی آمل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۷۹) و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۷۹) اشاره نمود که اطلاعات سودمندی را در اختیار می‌گذارند.

از سایر پژوهش‌های انجام‌شده در منطقه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

(Stokline 1968) رشته‌کوه‌های البرز معمولاً در جنوب دارای رو راندگی‌های پرشیبی به سمت جنوب می‌باشند که غالباً در زیر رسوبات آبرفتی از نظر مخفی هستند و در دامنه شمالی هم رو راندگی‌های پرشیبی به سمت شمال دارد که نتیجه عمل تکتونیکی مهمی محسوب می‌شود. فرونشینی کف دریای خزر با شکستگی‌های گسل شمالی البرز ارتباط مستقیم دارد.

(Stokline 1974) نهشته‌های نئوژن حوضه کاسپین در جنوبی‌ترین مرز گسترش خود، به گسله شمال البرز محدود می‌شود.

(Sousli 1976) در گزارش زمین‌شناسی دره هراز مرز جنوبی بخش مزوزوئیک شمالی را منطبق بر گسل منگل دانست، که با جدایش‌های متعدد در دولومیت تریاس و با روند خاوری-باختری قابل تشخیص است.

نبوی (۱۳۵۵)، فعالیت گسل شمال البرز را از دوره سیلورین به بعد مطرح نمود.

(Berberian 1983) اندازه جابجایی دو سوی گسله البرز را دست کم ۳۰۰۰ متر در ۲ میلیون سال گذشته دانسته است. بربریان و همکاران (۱۳۷۵)، گسله چلاو را که یکی از گسل‌های منطقه مورد مطالعه است، عامل زلزله ۱۹۵۷ سنگچال می‌دانند. اما علی‌رغم بزرگای زیاد این زلزله ($M=7.3$) سطح گسیختگی به علت تراکم پوشش گیاهی در منطقه مشاهده نشده است.

عباسی (۱۳۸۶)، تشکیل گسله‌های معکوس و راندگی را نشانگر سازوکار فشارشی حاکم بر منطقه دانسته و سن پهنه گسلی در این منطقه را به ژوراسیک پایانی - کرتاسه نسبت می‌دهد.

داده‌های شبکه GPS در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۹ نشان می‌دهد، که در البرز مرکزی - غربی حرکت امتدادلغز چپ‌گرد می‌باشد، و کوتاه شدگی ۲ تا ۵ میلی‌متر در سال رخ می‌دهد. ۸۰٪ کوتاه شدگی در البرز مرکزی-غربی به میزان ۴ میلی‌متر در سال روی گسل شمال البرز و خزر روی می‌دهد (عباسی، ۱۳۸۶).

۱-۵- روش انجام تحقیق

روش کار در این پژوهش شامل موارد زیر است.

- جمع‌آوری و مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده قبلی در منطقه مطالعاتی، همچنین مراجعه به نقشه‌های زمین شناسی

- گردآوری اطلاعات و مقالات مرتبط با موضوع و مطالعه آنها

- انجام مطالعات صحرایی به منظور اندازه‌گیری‌های ساختاری شامل اندازه‌گیری ساختاری لایه‌ها در سازندهای مختلف و اندازه‌گیری شکستگی در آنها.

- تحلیل و پردازش داده‌ها: این مرحله شامل تحلیل و تفسیر داده‌های برداشت‌شده در عملیات صحرایی و همچنین عملیات نرم‌افزاری بر روی داده‌هایی که برداشت گردید.

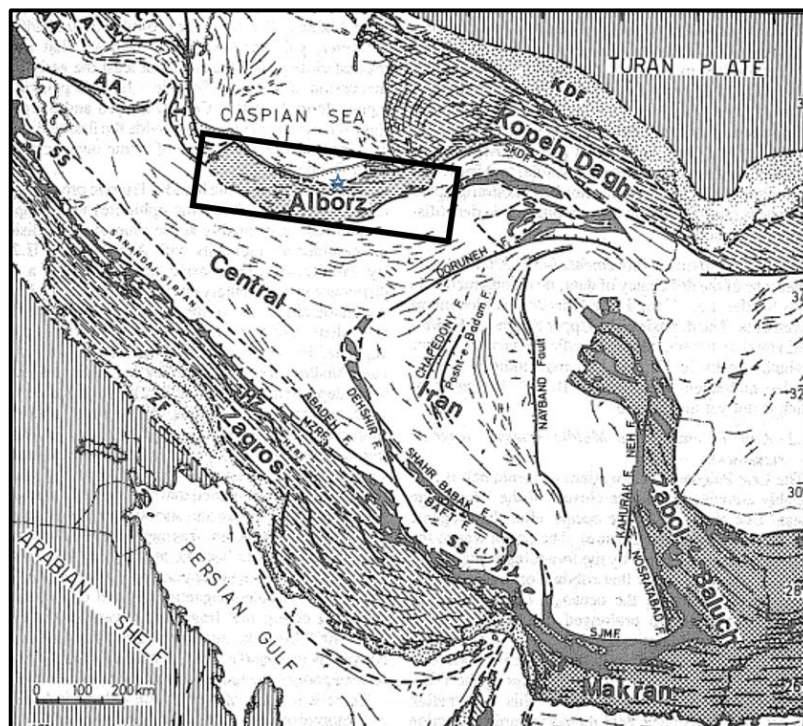
در این پژوهش از نقشه‌های زمین‌شناسی چهار گوش آمل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۷۹) و تصاویر SRTM برای بررسی ساختارهای کلی منطقه استفاده شده است. همچنین به منظور تحلیل استریوگرافیک داده‌ها از نرم‌افزارهایی مانند Dips و Georient استفاده شده است. برای رسم نقشه‌ی زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه از نرم‌افزار Arc Gis و برای پردازش داده‌های ماهواره‌ای SRTM از پردازشگر Global Mapper استفاده شد.

فصل دوم

زمین شناسی عمومی

۲-۱- زمین ساخت البرز

رشته کوه البرز بخشی از قسمت شمالی نوار آلپ- هیمالیا در آسیای غربی به شمار می آید که از شمال به حوضه فرورفته خزر از جنوب به فلات مرکزی ایران محدود می شود (Gansser & Huber; 1962). براساس نقشه واحدهای رسوبی ساختاری ایران (Berberian & King; 1981) رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی دریای خزر بصورت مجموعه کوه‌هایی که در منتهی الیه شمالی ایران با روند خاوری-باختری از آذربایجان تا خراسان و با پیچ و خم قابل توجه امتداد دارد، واقع شده است (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- نقشه واحدهای رسوبی ساختاری ایران کادر مستطیل موقعیت رشته کوه البرز را نشان می - دهد (Berberian et.al., 1981).

این رشته کوه الگوی مناسبی از هم‌زمانی دگرشکلی فشارشی و امتداد لغز است و میتوان بعنوان یک کمربند راندگی دانست که از تأثیر مؤلفه کوتاه شدگی مایل ایجاد می گردد (Allen et al., 2003). رژیم تکتونیکی حاکم بر شمال ایران و بلوک خزر جنوبی متأثر از رژیم تکتونیکی حاکم بر میکرو پلیت ایران است. وضعیت کنونی حاکم بر قسمت اعظم ایران نتیجه همگرایی بین صفحه عربی از جنوب غربی و صفحه اوراسیا از جهت شمال شرقی است. حاصل این همگرایی کوتاه شدگی ایران به میزان تقریباً

۲۲ میلی متر در سال در جهت شمال می باشد (Djamour & Bayer; 2005). از نگاه زمین ریخت شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر نهشته های ترشیری و دشت ساحلی خزر است و محدود به زمین درز تتیس کهن می باشد که از برخورد سنگ کره (Lithosphere) قاره ای البرز با سنگ کره توران، در تریاس پسین به وجود آمده است (Stockline, 1974). ولی در بیشتر نقاط، محل زمین درز با ورق های رانده شده از شمال به جنوب پوشیده شده است. حد جنوبی البرز چندان روشن نیست ولی چنین به نظر می رسد که مرز شاخصی در مرز جنوبی البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد. ساختارهای زمین شناختی البرز بیشتر از نوع چین های ملایم و ناهماهنگ (Disharmonic) با روند همگانی خاوری-باختری است (آقائاتی، ۱۳۸۳).

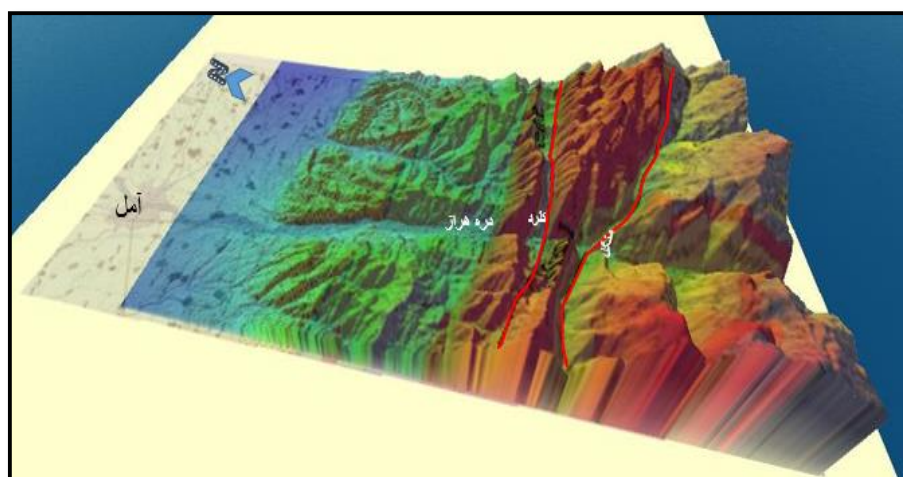
در شکل گیری ساختارهای چین خورده البرز عواملی مانند برخورد صفحه ایران و توران، عملکرد گسلی های راندگی و سرانجام عملکرد گسل های امتداد لغز شمال باختری-جنوب خاوری در البرز باختری، و شمال خاوری-جنوب باختری در البرز خاوری، نقش دارند (Allen et.al., 2003). جدا از چین خوردگی، گسلش های راندگی همچنان در ساختار البرز تأثیر بسیار سازنده داشته اند.

گسل های راستا لغز و راندگی در کوه های البرز به فراوانی دیده می شوند این گسل ها اکثراً به موازات کوه ها هستند و بیشتر چین ها نیز با فعالیت دوباره این گسل ها شکل گرفته اند. به دلیل ساختار ناهمگن البرز و تفاوت های چشمگیر در تاریخچه ساختمانی و چینه شناسی این پهنه خود به سه بخش زیر تقسیم شده است: البرز خاوری-کپه داغ، البرز میانی، البرز باختری-آذربایجان

زیر زون البرز مرکزی، تحدب جنوبی دریای خزر را شامل می شود و از سمنان تا قزوین ادامه دارد. بخش شمالی آن را زیر زون البرز شمالی می نامند که واحد زمین شناسی جداگانه ای است و بانام زون گرگان رشت مشخص می شود و شامل مناطق واقع در گسل شمال البرز است که حاشیه دریای خزر را در سواحل ایران محدود کرده است. بخش اعظم آن با نهشته های عهد حاضر پوشیده شده است.

۲-۳- ریخت زمین ساخت منطقه

از دیدگاه ریخت زمین ساخت منطقه مورد پژوهش بخشی از بلندی‌های حاشیه شمالی زون البرز مرکزی به شمار می‌رود. منطقه مورد مطالعه در طرفین دره V شکل هراز قرار دارد. عموماً به دلیل گذر رودخانه از میان سازندهای سخت دوران دوم، دره به صورت ژرف است. روند ارتفاعات منطقه خاوری - باختری می‌باشد (شکل ۲-۲). گسلش از ساختارهای اصلی این گستره است که تأثیر عمده‌ای در ریخت‌شناسی منطقه ایفا می‌کند. پهنه گسلی شمال البرز (منگل) با روند عمومی خاوری - باختری اصلی ترین ساختار منطقه است.



شکل ۲-۲- تلفیقی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصویر SRTM تصویر سه بعدی از دره هراز در منطقه

شکستگی‌ها از ساختارهای برجسته و فراوان هستند که در نتیجه جنبش‌های زمین ساختی در دسته‌هایی با هندسه‌های متفاوت قابل مشاهده می‌باشند و فراوانی آن‌ها از جنوب به شمال به سمت واحدهای سنگی جدیدتر کاهش می‌یابد. در گستره مورد مطالعه واحدهای سنگی مقاوم، خشن و فرسایش ناپذیر بوده و غالباً به صورت رخنمون‌های سنگی و دیواره ساز با شیب تند مشاهده می‌گردند (۲-۳). این بخش‌ها بیشتر به صورت سبتر لایه تا توده‌ای بوده و پوشش واریزه‌ای در آن‌ها ناچیز است. دامنه‌ها از واریزه‌های با ضخامت نسبتاً کم پوشیده شده‌اند. رخنمون واحدهای سنگی پالئوزوئیک و مزوزوئیک شامل سازندهای دورود، روته، نسن، الیکا در دامنه‌های دره هراز رخنمون دارند (شکل ۲-۴). واحدهای سنگی منطقه

همچون سایر بخش‌های البرز چین‌خورده-گسسته بوده و روند چیره خاوری- باختری دارند. این واحدها به‌طور مفصل در بخش ۲-۴ شرح داده شده است.



شکل ۲-۳- تصویری از واحدهای آهکی صخره ساز الیکا در کنار جاده هراز الف: در دامنه غربی دره هراز ب: در دامنه شرقی دره هراز



شکل ۲-۴- ریخت‌شناسی واحدهای آهکی الیکا و ارتفاعات سازند آهکی روته در طرفین دره هراز

۲-۴- چینه نگاری

براساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته پیشین به‌ویژه نقشه زمین‌شناسی چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل و نیز مشاهدات صحرایی نگارنده، وجود توالی‌هایی از سازندهای پالئوزوئیک: دورود، روته، نسن و سازندهای مزوزوئیک: شامل رخنمونی از سازند

شمشک، الیکا در این ناحیه به اثبات رسیده است. ستون چینه شناسی سازندهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک به ترتیب در شکل‌های (۲-۱۱) و (۲-۱۲) نشان داده شد.

بر اساس مطالعات صحرایی نگارنده به دلیل وجود پوشش گیاهی جنگلی رخنمونی قابل اندازه‌گیری و بررسی از واحدهای شمشک در این بخش مشاهده نشد رسوبات کنگلومرایی و ماسه‌ای سخت نشده، نهشته‌های کواترنری تراس‌ها و پادگانه‌های آبرفتی در دامنه شمالی ارتفاعات البرز در طرفین دره و حاشیه رودخانه هراز بر روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر قرار دارد، و به دلیل پوشش جنگلی رخنمون کمی دارند. عموماً به دلیل گذر رودخانه از میان سازندهای سخت دوران دوم، دره هراز به صورت ژرف و با روند عمومی شمالی - جنوبی واحدهای چینه‌شناسی را قطع کند و با توجه به ارتفاعات بلند البرز و دره پرشیب، حمل مواد رسوبی آن قابل ملاحظه است. قابل ذکر است که نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه در شکل ۲-۱۳ آمده است که واحدهای سنگی ذکر شده بر روی آن قابل مشاهده است.

۲-۴-۱- سازند دورود

سازند دورود به عنوان نخستین چرخه رسوبی پرمین البرز - آذربایجان در سال ۱۹۶۳، توسط Assereto در بالادست دره جاجرود (دوراهی دورود - شمشک) مطالعه و معرفی شده است. در برش الگو سازند دورود با ۱۵۰ متر ستبرا شامل ۴ واحد سنگی است که از پایین به بالا عبارت‌اند از:

واحد (۱): ردیفی از مارن رسی - زرد خاکستری، همراه با ماسه‌سنگ، آهک مارنی و لایه‌های نازکی از کوارتزیت سرخ‌رنگ است.

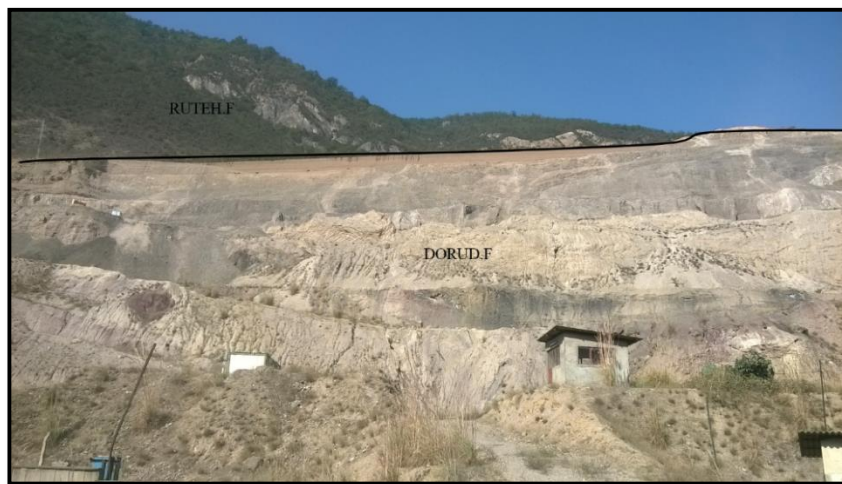
واحد (۲): شامل ضخامتی حدود ۲۵ متر کنگلومرای ضخیم لایه و شیل‌های رنگین است.

واحد (۳): ۵۰ متر ضخامت دارد و شامل سنگ‌آهک‌های فوزولین دار متراکم و ضخیم لایه است که

روزنه داران، بازوپایان، کنودونت‌ها و جلبک‌های آنسن پرمین پیشین (آسلین-ساکمارین) را بروی آن نشان می‌دهند

واحد (۴): شامل ضخامتی حدود ۵۰ متر از سیلت سنگ سرخ همراه با شیل های سرخ - سبز و ماسه سنگ های سرخ رنگ است که با یک افق (۷۰ تا ۱۲۰ سانتی متر) ماسه سنگ کوارتزی سفیدرنگ پایان یافته است.

توسعه این سازند در منطقه مورد مطالعه حوالی ۳۰ کیلومتری جنوب آمل است. سازند دورود در منطقه مورد مطالعه به طور کلی شامل ماسه سنگ و آهک نازک لایه تا سستبر لایه به همراه شیل و سیلت رسی قرمز تا سیاه رنگ است. و به طور کلی با ناپیوستگی فرسایشی بدون اختلاف شیب محسوس بر روی واحدهای کهن تر (سازند مبارک) قرار دارد (Asseerto, 1963). سوسلی (۱۹۷۶) دربرش حدود ۲ کیلومتری جنوب روستای عمارت ضخامتی ۳۶۵ متری از سازند دورود را معرفی نموده که در رخنمون کنار جاده افق هایی از آن دیده می شود (شکل ۲-۵). سن سازند دورود پرمین پیشین می باشد، که به همراه سازند روته و نسن به عنوان سازندهای پرمین البرز مرکزی معرفی شده اند. بر اساس داده های نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی آمل از جنوب به شمال افزایش ضخامت چشم گیر را نشان می دهند.



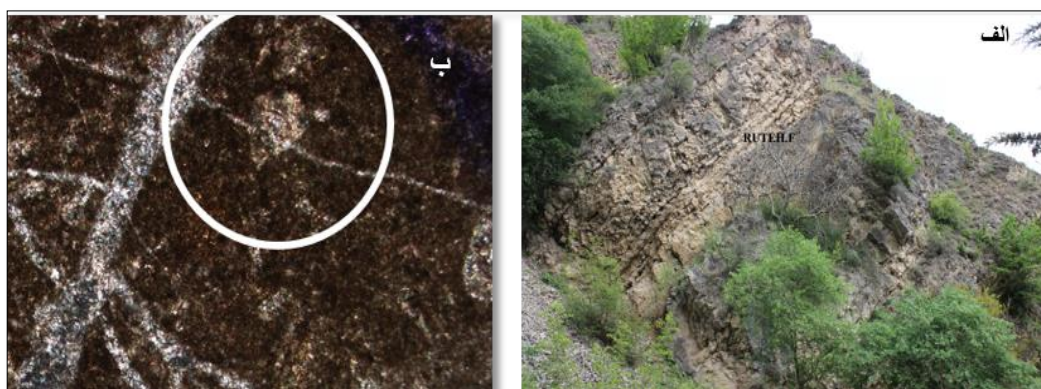
شکل ۲-۵- رخنمونی از سازند دورود و روته در ۲ کیلومتری روستای عمارت (دید عکس شمال باختر)

۲-۴-۲- سازند روته

سازند روته در سال ۱۹۶۳ توسط Asseerto در دره روته (شمال خاوری روستای روته)، به ضخامت ۲۳۰ متر مطالعه و معرفی شده است. سازند آهکی روته را می توان در گستره های وسیعی از البرز خاوری

(خوش ییلاق، تیل آباد، خاور گرگان) البرز مرکزی (روته، دلیچای، دربند سر، آمل، گدوک) و آذربایجان دید. در بیشتر این نواحی سازند آهکی روته ردیف‌های به نسبت همگنی از سنگ‌آهک‌های لایه‌ای، خاکستری تا تیره با تناوب‌هایی از لایه‌های نازک مارن دانسته شده است. سازند روته به صورت پیش‌رونده و بدون اختلاف شیب محسوس اما با تفاوت تند رخساره سنگ‌شناسی بر روی سازند دورود نهشته شده است. سن سازند روته پرمین میانی می‌باشد.

گسترده‌ترین رخمون این سازند در ۳ کیلومتری جنوب روستای عمارت (Asseerto, 1963) با ضخامتی حدود ۶۹۰ متر (Sussli, 1976) در هسته تاقدیس عمارت قابل رؤیت است. واحدهای تشکیل‌دهنده این سازند در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌آهک‌های ضخیم لایه، آهک‌های مارنی فسیل دار به همراه میان لایه شیل رسی گاهی سیلت رس دار، آهک‌های خاکستری تیره نازک لایه تا ضخیم لایه و در بعضی نقاط دولومیتی شدن ثانویه می‌باشد (شکل ۲-۶-الف). به استناد وجود فسیل‌های فرامینفرهای تک ردیفی در مقاطع میکروسکوپی که از محدوده منطقه منگل تهیه شد می‌توان واحدهای سنگی این بخش را به سازند روته نسبت داد (شکل ۲-۶-ب). آثار شکستگی و پرشدگی سنگها در مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از سنگهای این منطقه بخوبی قابل مشاهده است رسوب‌گذاری این سازند در محیط دریایی صورت گرفته است. برحسب افق‌های مختلف آن شرایط سکوی کم‌ژرفا، سکوی عمیق‌تر، محیط جزرومدی و نزدیک به ساحل حاکم بوده است.



شکل ۲-۶-الف: رخمونی از واحدهای آهکی سازند روته در منطقه مورد مطالعه ب: فسیل فرامینفر تک ردیفی در سازند روته و شکستگی‌هایی همراه با پرشدگی

۲-۴-۳ - سازند نسن

(Gelous, 1964)، برش الگوی سازند آهکی نسن را به عنوان سومین چرخه رسوبی پرمین البرز-آذربایجان در دره نور، مطالعه و معرفی کرد. در برش الگو، سازند نسن با ۲۳۰ متر ضخامت روی گدازه‌های ملافیری سازند روته و در زیر نخستین ردیف‌های منسوب به تریاس (سازند الیکا) قرار دارد. هردو مرز زیرین و بالایی آن ناپیوسته ولی هم‌شیب است. گلوُس برش الگوی نسن را به دو بخش پایینی و بالایی تقسیم کرده است. نسن (پایینی) با ۸۵ متر ضخامت شامل ردیف‌های ماسه‌سنگی در پایین و حدود ۶۴ متر سنگ‌آهک سیاه‌رنگ مارنی و شیلی ریزدانه در بالا است. (نسن بالایی) با ۱۴۴ متر ستبرا شامل تناوبی از شیل‌های مارنی سیاه‌رنگ و سنگ‌آهک‌های ضخیم لایه حاوی قلوه‌های چرت در بالا است. گسترش جغرافیایی سازند نسن، بیشتر در دامنه‌های شمالی البرز می‌باشد. این سازند در منطقه مورد مطالعه شامل طبقات رس سنگ و شیل رسی در بخش زیرین و تناوب شیل و آهک تیره سیلیسی در بخش بالایی می‌باشد و بر روی سطح فرسایشی سازند روته نهشته شده است. طبقات قاعده‌ای سازند نسن نشان از تجدید پیش روی دریایی دارد که در دوره‌ای کوتاه مدت از آب خارج شده است ولیکن شرایط دریایی از نخستین پیدایش درون لایه‌های کربناته (حدود ۱۳ متر بالاتر از قاعده سازند دربرش شمال منگل) برقرار شده است. رخنمونی از سازند نسن در شکل ۲-۷ نشان داده شد. طی بررسی‌های میدانی صورت گرفته نمونه‌هایی از فسیل پرودوتوکس در میان لایه‌های آهکی یافت شد. این فسیل‌ها شاخص پرمین بالایی می‌باشند و با توجه به نمونه‌های یافت شده در واحدهای نسن سن این سازند در گستره مطالعاتی به پرمین بالایی (اشکوب جلفین) نسبت داده شده است.



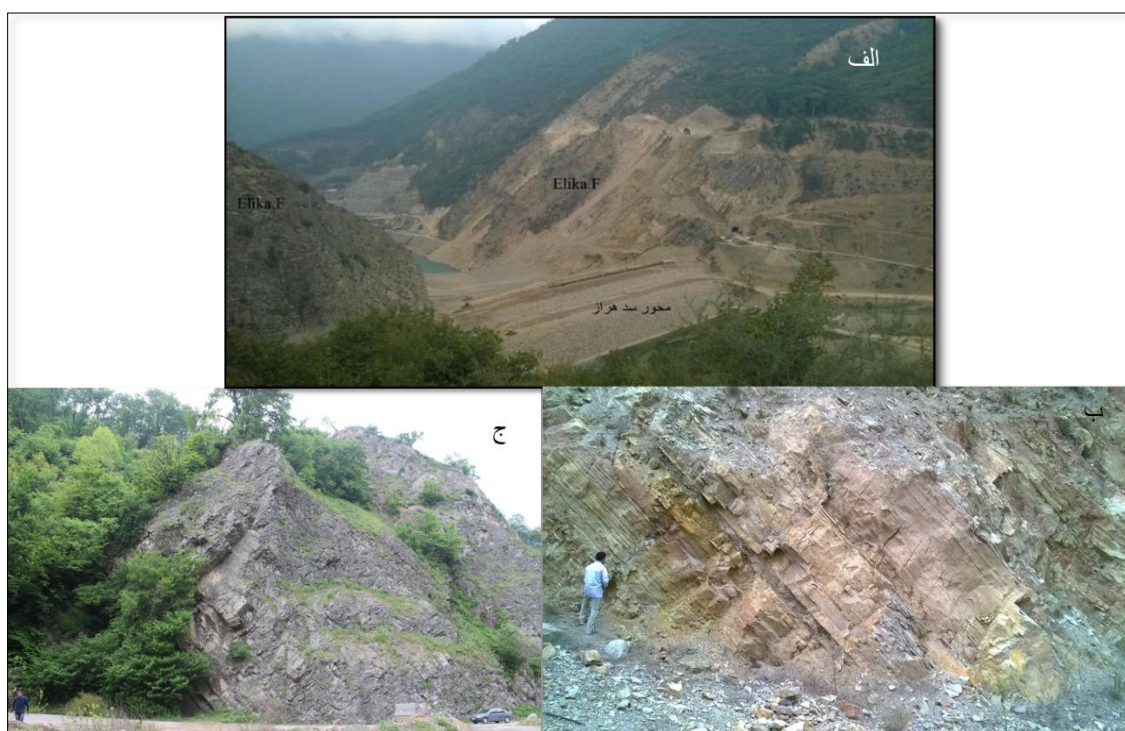
شکل ۲-۷- رخنمونی از سازند نسن در حاشیه جاده هراز حدود ۲ کیلومتری دره چلاو (دید به سمت شمال باختر). ب-
تصویری از فسیل در سازند نسن

۲-۴-۴ - سازند الیکا

سنگ‌های تریاس پایینی-میانی البرز، ردیف‌های کربناتی آهکی-دولومیتی به نام سازند (الیکا) می‌باشند که برش الگوی آن در دره نور، در ۵ کیلومتری پایین دست روستای الیکا، به ضخامت ۲۹۵ متر مطالعه و معرفی شده است (Gelous, 1964). در محل برش الگو و در سایر نقاط البرز، بخش پایینی سازند الیکا ضخامتی متغیر از سنگ‌آهک‌های نازک لایه و آهک مارنی می‌باشد، که کمی مارن و میان لایه‌های نازک دولومیت دارد. لایه‌بندی نازک، رنگ متمایل به خاکستری روشن، فراوانی ساخت‌های کرم مانند از ویژگی‌های بخش پایین سازند الیکا می‌باشد. فراوان‌ترین فسیل‌های سازند الیکا دو کفه‌ای‌های نوع کلارایا، گاستروپودهای کوچک است.

بخش بالایی سازند الیکا، در همه‌جا کربنات‌های دولومیتی-آهکی ضخیم لایه، روشن رنگ و متراکم به ضخامت‌های متفاوت (تا ۱۰۰۰ متر) می‌باشند که سیمای برجسته و کوه ساز دارند و به دولومیت‌های الیکا معروف‌اند. سازند الیکا گسترش جغرافیایی وسیعی در آذربایجان، کبودرآهنگ، البرز مرکزی و البرز خاوری دارد. در این نواحی تغییرات سنگ‌شناختی ناچیز است ولی ستبرای حدود ۱۰۰۰ متر در دره هراز، ۲۹۵ متر در برش الگو و در بعضی نقاط چند ده متر متغیر است. در گستره مورد مطالعه بهترین رخنمون واحدهای سنگی الیکا را می‌توان در ۲۳ کیلومتری جنوب آمل مشاهده نمود (گزارش سازمان زمین‌شناسی ۱۳۵۳). با توجه به بررسی‌های میدانی صورت گرفته بیشترین گسترش واحدهای سنگی

در منطقه متعلق به سازند الیکا می باشد (شکل ۲-۸-الف). اختلاف ضخامت لایه بندی بین واحدهای الیکای زیرین و بالایی در منطقه به خوبی نمایان می باشد. در قاعده این سازند آهک نازک لایه به رنگ قرمز، آهک نازک لایه به رنگ خاکستری و در بعضی قسمت های هوازده به رنگ زرد قابل مشاهده است. طبقه بندی این لایه ها بعلاوه اختلاف رنگ به خوبی نمایان است. در شکل ۲-۸-ب لایه بندی لایه آهک های قرمز رنگ قابل مشاهده است. در بخش فوقانی آهک های ضخیم لایه، آهک دولومیتی و دولومیت در طرفین دره هراز قابل تشخیص است (شکل ۲-۸-ج). این سازند در منطقه مورد مطالعه بدون اختلاف شیب محسوس با ناپیوستگی فرسایشی بروی سازند نسن قرار گرفته است. طی بررسی های میدانی صورت گرفته شواهدی از فسیل های کلارایا ولینگولینا در منطقه مشاهده شد (شکل ۲-۹-الف و ج) که جز فسیل های شاخص تریاس می باشند. حضور این فسیلها در لایه های آهکی تاییدی بر سازند الیکا می باشد.



شکل ۲-۸- رخنمونی از سازند الیکا الف: رخنمونی از واحدهای الیکادر طرفین دره هراز (دید عکس شمال باختر) ب:

لایه بندی واحدهای آهکی قرمز رنگ الیکا ج: رخنمونی از لایه های دولومیتی الیکای بالایی

در مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از واحد الیکا، آهک‌های ریز دانه ودولومیتی شدن آهک قابل مشاهده است (۲-۹-ب).



شکل ۲-۹ الف: فسیل کلاریا در واحدهای سنگی الیکا ب: مقطع میکروسکوپی که دولومیتی شدن سنگ آهک را نشان می دهد ج: فسیل لینگولینا که شاخص سازند الیکا است

۲-۴-۵- سازند شمشک

سازند شمشک مجموعه‌ای از رخساره‌های آواری، زغال سنگ، ماسه سنگ‌ها و رسوبات آبرفتی دلتایی است که برش الگوی آن توسط (Asseerto, 1963) در بالادست دره روته، در شمال گردنه لاسم، در البرز مرکزی مطالعه شده است. این سازند با ناپیوستگی فرسایشی بروی سازند الیکا قرار گرفته است. و در مقطع اصلی ۱۲۰۷ متر ضخامت دارد. این سازند در مقطع تیپ از چهار بخش تشکیل شده است. بخش ماسه سنگ زیرین تناوبی از ماسه سنگ‌های کوارتزی دانه ریز تا متوسط دانه و شیل‌های ورقه‌ای نازک لایه و شیل کربناته تشکیل شده است.

بخش ذغالدار زیرین از سیلت، سیلت رسی با میان لایه‌های فراوان از ذغال تشکیل شد. بخش ماسه سنگ بالایی از ماسه سنگ دانه متوسط و شیل تشکیل گردیده است.

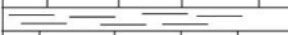
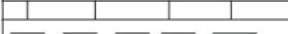
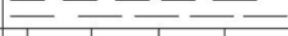
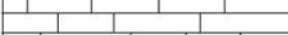
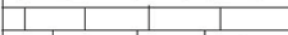
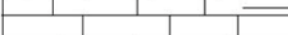
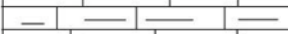
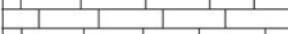
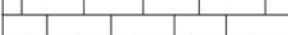
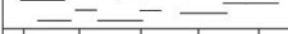
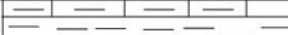
بخش ذغالدار بالایی از شیل های رسی با لایه های ذغالدار در قسمت زیرین و سیلتستون ها و شیل مارنی در قسمت بالایی تشکیل شده است. گسترش این سازند در البرز مرکزی بسیار زیاد می باشد. لیتولوژی این سازند بیشتر از شیل و ماسه سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی ذغال دار تشکیل شده است. سن این سازند تریاس بالایی ژوراسیک پیشین (رسین - لیاس) می باشد. به دلیل گسترش وسیع پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه رخنمونی از این سازند در این بخش مشاهده نگردید.

۲-۴-۶- نهشته های کواترنری

مخروط افکنه ها و پادگانه های آبرفتی قدیمی بیشتر در دامنه کوهپایه های شمالی قابل مشاهده است که اکثراً به علت پوشیدگی و تا اندازه ای تشابه رخساره با واحدهای قدیمی تر به زحمت قابل تفکیک می باشند. واحدهای کنگلومرایی و ماسه ای جوان و سخت نشده به طور محلی و بخصوص در بخش شمال غربی منطقه قابل مشاهده است (شکل ۲-۱۰). آبرفت های جوان غالباً پوشیده از پوشش گیاهی و زیر کشت زراعت می باشند. آبرفت های سخت نشده رودخانه ها نیز از دیگر واحدهای جوان در بخش شرقی منطقه است که بدلیل عبور رودخانه قابل دسترسی نمی باشد.



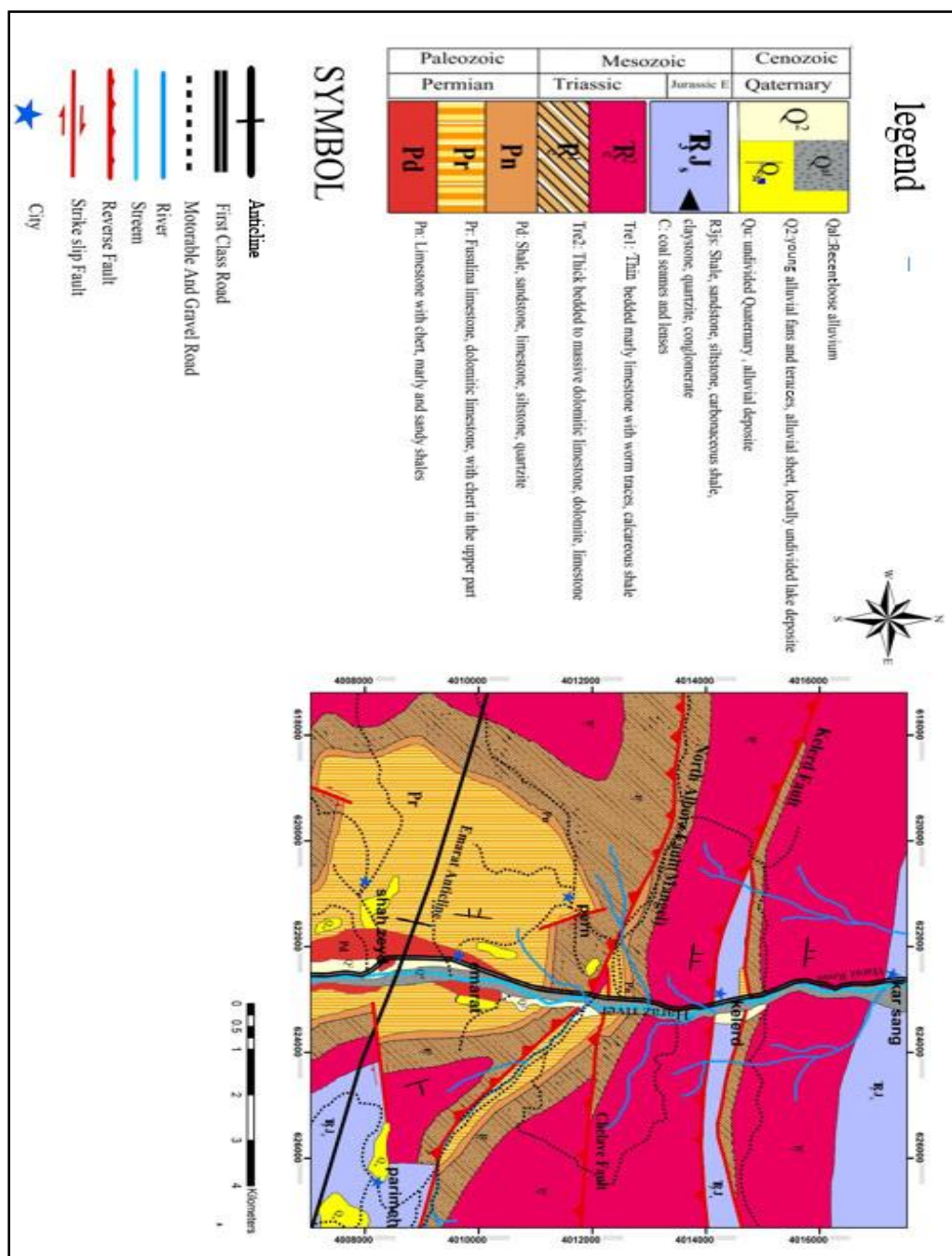
شکل ۲-۱۰- نهشته های کنگلومرا و ماسه سخت نشده در حاشیه جاده هراز (دید عکس شمال باختر)

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Paleozoic	Permian	Upper	Nesen		Limestone,Shale
					Shale
					
		Middle	Ruteh		Limestone thick beded
					
					
					
					
					
					
					
					
					
					
		Lower	Dourud		Limestone,Marl-Limestone
					Limestone
					Shale
					Shale
					Sandstone
					Siltstone conglomerate
					
					
					
					

شکل ۲-۱۱- ستون چینه‌شناسی سازندهای پالئوزوئیک (بدون مقیاس)

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Cenozoic	Quaternary				Sandeston, Conglomerate, Siltston
	Jurassic	Lower	Shemshak		Coal, Sandeston, Sandy Shale, Shale Sandestone, Shale, Siltestone
Mesozoic	Triassic	Upper	Elika		Thin Bedded Limestone Dolomitic
		Middle			Meduime To Thin Bedded Dolomitic Limestone and Dolomite
		Lower			Thin Beded Limestone Dolomitic

شکل ۲-۱۲- ستون چینه‌شناسی مربوط به سازندهای مزوزوئیک و نهشته کواترنری (بدون مقیاس)



شکل ۲-۱۳ نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه؛ اقتباس از نقشه زمین شناسی آمل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی)

فصل سوم

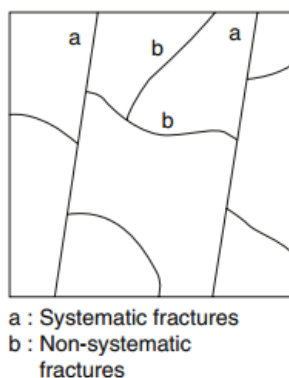
شکستی

شکستگی‌ها معمول ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند، که بر اثر گسیختگی شکننده در سنگ‌ها ایجاد می‌شوند. شکستگی‌ها از یک سو می‌توانند خاستگاه منابع معدنی مفید بوده و از سوی دیگر نقشی منفی در فعالیت‌های عمرانی و معدنی بازی کنند. در همه این موارد شناسایی مشخصات و رفتار شکستگی‌ها از اهداف اصلی فعالیت‌های اکتشافی است. یافتن شکستگی‌ها در مواردی برای بررسی نقش مثبت آن‌ها صورت می‌گیرد. پی‌جویی منابع نفت و گاز در مخازن شکسته، استخراج آب از منابع کارستی، از آن جمله است. بررسی شکستگی‌ها در بسیاری موارد نیز برای تعیین نقش منفی آن‌ها در فعالیت‌های مهندسی انجام می‌شود. فرار آب از طریق شکستگی‌ها، از تکیه‌گاه‌ها و دیواره مخازن سدها ناپایداری دامنه‌ها، آلوده شدن منابع آب، و صدمه به محیط زیست از طریق نشت آلاینده‌ها توسط شکستگی‌های سنگ، مواردی از نقش منفی شکستگی‌هاست. این ساختارها از لحاظ اندازه، تغییرات وسیعی دارند، که از خطوط‌های بسیار بزرگ به طول صدها یا هزاران کیلومترها، درزه‌های بسیار کوچک به طول یک میلی‌متر تغییر می‌کنند. بررسی این شکستگی‌ها و ارتباط آن‌ها با تنش‌های ایجادکننده، به‌منظور درک فعالیت‌های زمین‌شناختی حائز اهمیت است. بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی که بر روی سنگ‌ها صورت گرفته است، شکستگی‌ها از لحاظ منشأ به دودسته زمین ساختی (Tectonic Frac.) و غیر زمین ساختی (Non Tectonic Frac.) تقسیم می‌شوند.

ازجمله عوامل ایجادکننده شکستگی‌های غیر زمین ساختی می‌توان به انبساط و انقباض ناشی از تغییرات دما و خشک شدن سنگ‌ها (از دست دادن رطوبت مانند آنچه باعث ایجاد ترک‌های گلی در لایه‌های رسی می‌شود)، حرکات سطحی زمین، هوازدهی و اثر متقابل جنس لایه‌ها اشاره نمود. شکستگی‌های زمین ساختی در اثر تنش‌های زمین ساختی به وجود می‌آیند. روند کلی این شکستگی‌ها متأثر از جهت تنش‌های زمین ساختی است.

۳-۱- انواع شکستگی

شکستگی می‌تواند به دو دسته گسترده تقسیم شود، (الف): سیستماتیک، که بنا به تعریف صاف و بدون تقعرند و توزیع منظمی را از خود نشان می‌دهند و از جمله شاخص‌های این شکستگی‌ها موازی بودنشان است. (ب): غیر سیستماتیک، که بنا بر تعریف توزیع نامرتبی دارند و به صورت منحنی می‌باشند. با درزه‌های دیگر برخورد دارند ولی از آن‌ها عبور نمی‌کنند (شکل ۳-۱). این شکستگی‌ها بیشتر تحت تأثیر فرسایش گسترش می‌یابند.



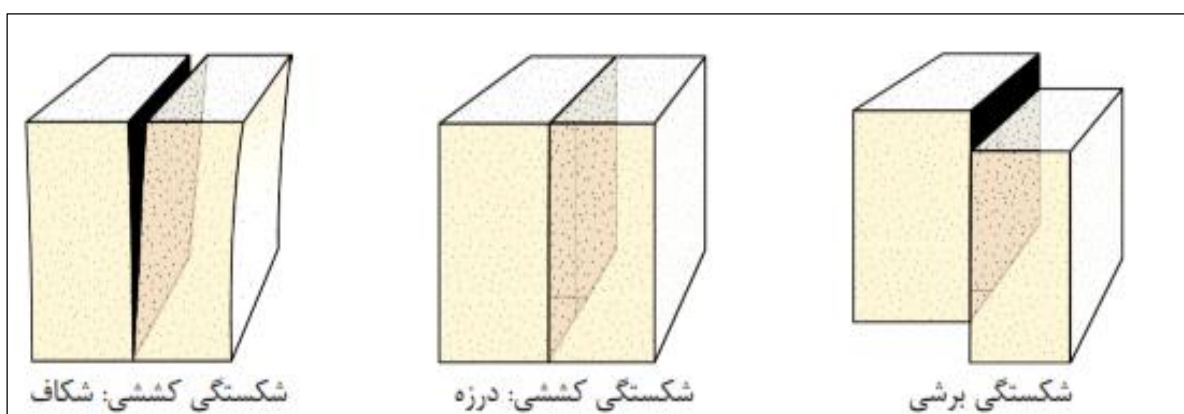
شکل ۳-۱ انواع شکستگی: (a) شکستگی‌های سیستماتیک، (b) شکستگی‌های غیر سیستماتیک (Singhal, B & Gupta, R., 2010)

بر اساس مکانیسم ایجاد و توسعه (ژنتیکی) شکستگی‌های سیستماتیک در سنگ‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (Fossen, 2010). تصاویر این شکستگی‌ها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. شکستگی‌های برشی یا سطح لغزشی شکستگی‌هایی هستند که تحت تأثیر تنش وارده حرکت نسبی در راستای سطح شکست را متحمل می‌شوند در صورتی که طول شکستگی زیاد باشد و روی سطح شکستگی جابجایی عمده‌ای صورت گرفته باشد، از واژه گسل برای شکستگی برشی استفاده می‌شود. این شکستگی‌ها به صورت متقارن و با زاویه‌ی حاده در حدود ۳۰ درجه نسبت به محور بیشینه تنش σ_1 دیده می‌شوند، فصل مشترک دو دسته از شکستگی‌های مزدوج در امتداد محور σ_2 است. σ_3 نیمساز زاویه منفرجه شکستگی‌های مزدوج است. زاویه بین دو دسته شکستگی برشی مزدوج حدود ۶۰ درجه می‌باشد. (شکل ۳-۳).

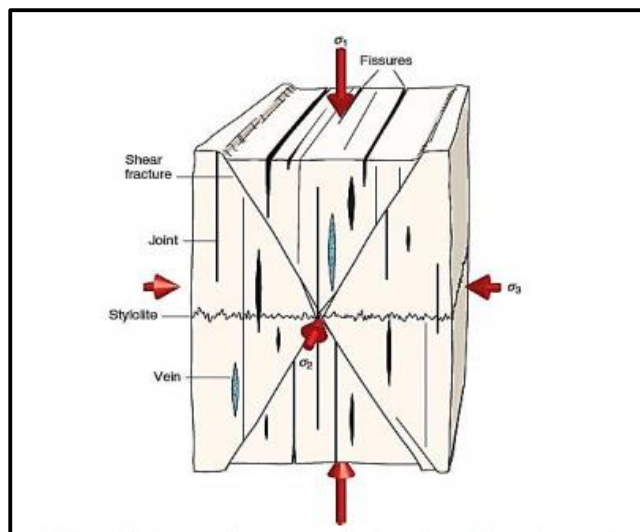
کششی‌ها شکستگی‌هایی هستند، که، محور کشش عمود بر دیواره‌ها می‌باشد؛ و جابجایی در جهت عمود بر امتداد صفحه شکست، از خود نشان می‌دهند که میزان آن اندک است، و در مقیاس ماکروسکوپی قابل مشاهده نیست.

شکاف‌ها (Fissure) از انواع شکستگی‌های کششی هستند، که از هوا پر شده است. شکستگی‌های کششی که با کانی‌ها پر شده‌اند رگچه‌ها (vein) خوانده می‌شوند (Fossen 2010). شکستگی‌های کششی عمود بر (σ_3) ایجاد می‌شوند. تصاویر این شکستگی‌ها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.

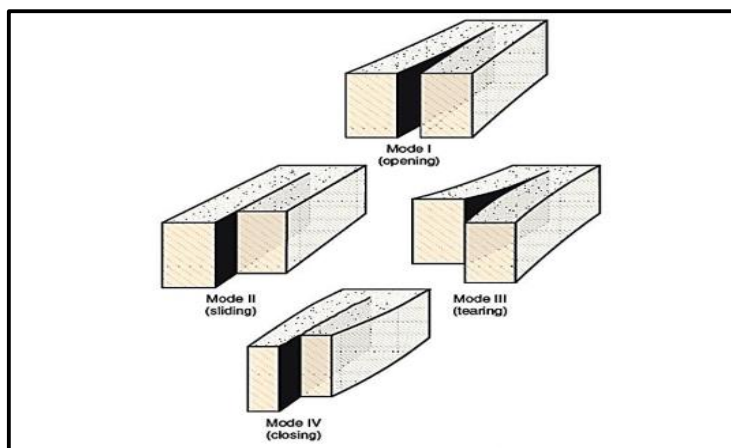
در حوزه مکانیک شکستگی، شکستگی‌های زمین ساختی را براساس نحوه جابجایی در سه مد مختلف طبقه بندی می‌کنند (شکل ۳-۴). مد ۱، مد بازشدگی (کششی) است در این نوع از شکستگی‌ها، جابجایی عمود بر دیواره ترک صورت می‌گیرد. مد ۲ (مد لغزشی) لغزش عمود بر لبه شکستگی را نشان می‌دهد. مد ۳ (گسیختگی) لغزش موازی با لبه ترک را نشان می‌دهد. ترکیبی از شکستگی برشی (مد ۱ و ۲) و شکستگی کششی تحت عنوان شکستگی هیبریدی نام گذاری می‌شود. گاهی اوقات اصطلاح مد ۴ برای شکستگی‌های تراکمی مثل استیلولیت‌ها بکار میرود. (Fossen 2010). از لحاظ مکانیک شکستگی، درزه‌ها، شکستگی مد ۱ هستند. و شکستگی‌های مد ۲ و ۳، گسل نامیده می‌شوند.



شکل ۳-۲- نمایش سه نوع شکستگی (Fossen, 2010)



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



شکل ۳-۴- شکستگی های مد ۱، مد ۲، مد ۳ و مد ۴ (Fossen, 2010).

۳-۲- شناسایی انواع شکستگی ها

تفکیک شکستگی های برشی و کششی به ویژه در مناطق تغییر شکل یافته مشکل می باشد، و هیچ طبقه بندی دقیقی که نشان دهنده تمایز بین شکستگی های کششی و برشی باشد، وجود ندارد. باین حال ویژگی های زیر می تواند در تفکیک شکستگی های برشی و کششی کمک می کند

(Singhal, & Gupta, R., 2010).

الف- شکستگی های برشی، دارای جابجایی به موازات سطح شکستگی می باشند.

ب- شکستگی برشی عمدتاً در دسته های مزدوج (conjugate) اتفاق می افتد، که توسط تحلیل آماری مشخص می شود؛ و شکستگی های کششی به صورت دسته های عمود برهم و متقاطع قابل مشاهده هستند.

ج- به‌طور کلی شکستگی‌های کششی بازشدگی از خود نشان می‌دهند؛ و برشی‌ها تنگ و یا بدون بازشدگی می‌باشند.

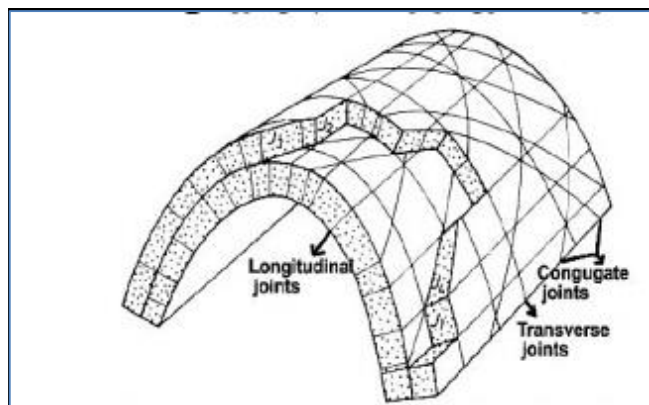
د- روی سطح شکستگی برشی خش لغزها و شاخص‌های دیگری از حرکت نسبی مشاهده می‌شود.

۳-۳- ارتباط شکستگی با پدیده‌های ساختمانی

ارتباط بین شکستگی و ساختارهای زمین‌شناسی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در به دست آوردن اطلاعات پیرامون ساختارهای اصلی در یک ناحیه است. نیروهای عمل‌کننده در زمین، می‌تواند عامل شکل‌گیری شکستگی‌ها باشد. که نحوه ارتباط شکستگی با دیگر ساختارهای زمین در طی فرایند دگرشکلی توده سنگ را تعیین می‌نماید. ازجمله شکستگی‌ها مرتبط با ساختار، می‌توان گسستگی مرتبط با گسل‌ها و چین‌ها را نام برد.

۳-۳-۱- ایجاد شکستگی همراه با چین‌خوردگی

وضعیت تنش و کرنش در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه شکستگی‌ها در آن پیچیده است؛ مادامی که وضعیت و شدت شکستگی‌ها با شکل و روند چین همخوانی داشته باشد می‌توان آن‌ها را در رده شکستگی مرتبط با چین‌خوردگی قرار داد (شکل ۳-۵). ذکر این نکته لازم است که شاید درزه‌ها بعد از چین‌خوردگی بر ساختار ناحیه اضافه شوند. که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان درزه‌های بعد از چین‌خوردگی و غیر مرتبط با آن در نظر گرفت.



شکل ۳-۵- توسعه انواع مختلف شکستگی‌ها در ارتباط با چین‌خوردگی (Ramsay & Huber, 1987)

الف- درزه‌های طولی

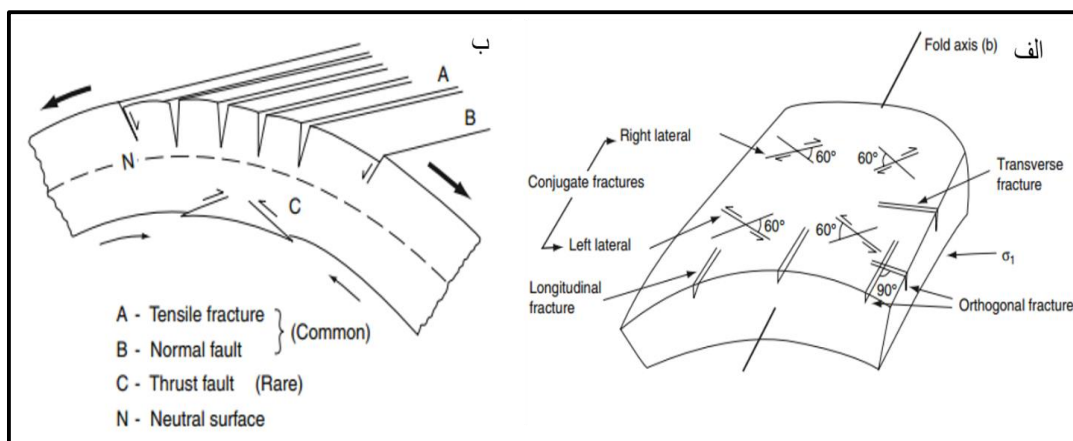
درزه‌های طولی درزه‌هایی هستند که به موازات سطح محوری چین و عمود بر روند کوتاه شدگی به وجود می‌آیند. این درزه‌ها از نوع درزه‌های کششی می‌باشند.

ب- درزه‌های عرضی

شکستگی‌های عرضی روندی عمود بر محور چین و موازی با روند کوتاه شدگی دارند. این شکستگی‌ها را می‌توان به عنوان شکستگی کششی در نظر گرفت زیرا هنگامی که طبقات، در امتداد عمود بر محور چین تحت فشار قرار می‌گیرند و چین را به وجود می‌آورند، در امتداد محور چین تحت کشش قرار گرفته و عمود بر محور چین درزه‌هایی به وجود می‌آید که قطب این درزه‌ها منطبق بر محور چین خوردگی است.

ج- شکستگی برشی

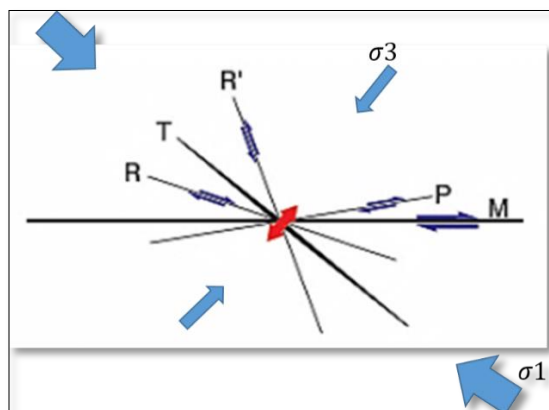
معمولاً دو دسته شکستگی با زاویه ۶۰ درجه بروی لایه‌های چین خورده تشکیل می‌شوند. این شکستگی‌های مزدوج که با محور حداکثر کوتاه شدگی زاویه کمتر از ۴۵ درجه و حدود ۳۰ درجه می‌سازند به عنوان گسستگی‌های برشی معرفی می‌شوند (شکل ۳-۶ الف). نیمساز این شکستگی منطبق بر تنش بیشینه مسبب چین خوردگی و منطبق بر قطب سطح محوری است. طی چین خوردگی و خمش در لایه در سمت محدب کشش و در سمت مقعر فشار اتفاق می‌افتد. شکستگی کششی و گسل نرمال در بخش محدب و گسل راندگی در بخش مرکزی در قسمت مقعر توسعه می‌یابد (شکل ۳-۶ ب).



شکل ۳-۶-الف- مجموعه شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی، به‌طور کلی دو مجموعه شکستگی، برشی مزدوج و شکستگی کششی متعامد دیده می‌شود. ب- شکستگی‌های کششی و گسل‌های نرمال در بخش محدب چین خوردگی و راندگی در قسمت مقعر چین دیده می‌شود (Singhal, B & Gupta, R., 2010).

۳-۳-۲- سیستم شکستگی وابسته به گسل خوردگی مدل برشی‌های ریدل

شکستگی‌های برشی، موسوم به برشی‌های ریدل می‌باشند که عموماً ناشی از عملکرد گسل‌های راست‌الغز هستند. اثر شکستگی‌ها بر روی گسل به صورت خط ظاهر می‌شود که ناشی از تقاطع شکستگی و سطح گسل و تقریباً عمود بر خراش‌های گسل اصلی است. از جمله ویژگی‌های این دسته شکستگی‌ها تکرارپذیری آن‌ها در سطح گسل می‌باشد (Fossen, 2010). این شکستگی‌ها بر مبنای زاویه با سطح گسل و سازوکار به چند دسته تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی شامل برشی‌های P, R', R و کششی T می‌باشد (Petite, 198). طبقه‌بندی دیگری بر مبنای همسو (Positive) و یا ناهمسو (Negative) با حرکت گسل صورت گرفته است (Cohelo, 2006). جهت‌گیری این ساختارها نسبت به سطح گسل تعیین‌کننده جهت برش در گسل می‌باشد. شکل ۳-۷ موقعیت شکستگی‌های مرتبط با یک گسل امتداد لغز راست‌بر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷- موقعیت شکستگی‌های برشی نسبت به گسل اصلی (Fossen, 2010)

شکل‌گیری شکستگی‌های ثانویه روی سطح گسل به خواص مکانیکی سنگ (زاویه اصطکاک داخلی و نیروی چسبندگی) و شرایط فیزیکی سنگ بستگی دارد. مقاومت یک سطح شکستگی در برابر لغزش، اصطکاک می‌باشد. برای شروع لغزش بروی یک سطح باید مؤلفه تنش برشی موازی با سطح، از یک مقدار بحرانی بیشتر شود. این حد بحرانی، مقاومت اصطکاک نام دارد. مقاومت اصطکاک در رابطه با تنش عمودی می‌باشد. با افزایش تنش عمودی میزان لغزش کاهش می‌یابد، لذا برای لغزش نیاز به تنش برشی بالاتری است، تا بتواند بر مقاومت اصطکاک، غلبه نماید و گسیختگی اتفاق بیفتد. در سنگ‌هایی با جنس‌های متفاوت این زاویه برش، متفاوت می‌باشد. زاویه برش تابع زاویه اصطکاک داخلی سنگ (ϕ) است. رابطه ۱-۳ بیانگر ارتباط زاویه اصطکاک داخلی و زاویه شکستگی برشی در سنگ است.

$$R \sim \phi/2 \quad R' \sim 90 - \phi/2 \quad P \sim -\phi/2 \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

با قرار دادن زاویه اصطکاک داخلی برای سنگ‌ها در رابطه فوق می‌توان زاویه شکستگی با سطح گسل را به صورت تئوری به دست آورد. به صورت کلی میانگین زاویه اصطکاک داخلی برای توده سنگ‌ها ۳۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. با قرار دادن این مقدار در رابطه بالا، شکستگی برشی R, P با زاویه ۱۵ درجه شکستگی R' با زاویه ۷۵ درجه نسبت به گسل اصلی توسعه می‌یابند. این شکستگی‌ها به دو دسته مثبت و منفی تقسیم می‌شوند. شکستگی نوع منفی شکستگی‌هایی هستند که حرکت دست روی سطح گسل در جهت حرکت بلوک گمشده آسان نیست و احساس نرمی نمی‌شود. در نوع مثبت حرکت

دست در جهت حرکت بلوک گمشده آسان است و احساس نرمی می‌شود. برشی‌های نوع R' در گروه منفی و برشی‌های نوع R در گروه مثبت طبقه‌بندی می‌شوند. (Cohelo, 2006)

۳-۲-۱-۳-۳ اثر شکستگی‌های برشی و شکستگی T در ریخت‌شناسی سطح گسل

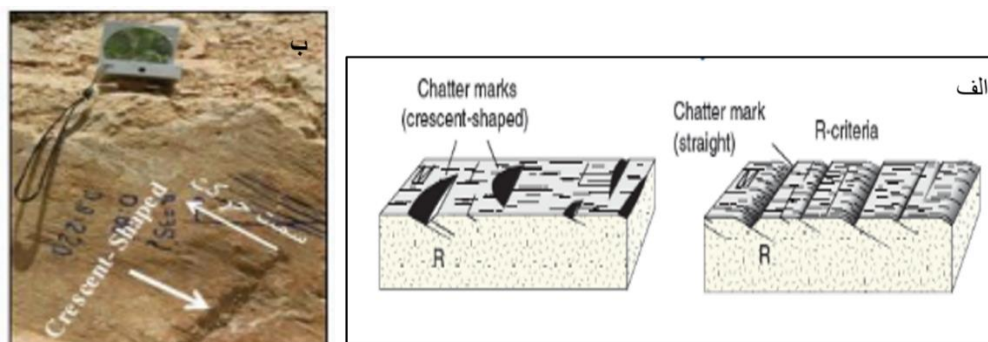
شناسایی سازوکار گسل‌ها در یک منطقه در تجزیه و تحلیل شرایط تکتونیکی حائز اهمیت است. به این دلیل باید از ابزارهایی جهت تعیین سازوکار گسل استفاده نمود. چینه‌نگاری، ریخت‌شناسی واحدهای سنگی طرفین گسل، جابه‌جایی آبراهه، از جمله ابزارهای شناسایی سازوکار گسل است. از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل نیز می‌توان در تشخیص نحوه حرکت (سازوکار گسل) استفاده نمود. بویژه در مکانهایی که استفاده از سایر روش‌ها وجود ندارد.

(Petite 1987) برخی از این نشانه‌های حرکتی را با برداشت‌های صحرایی مورد مطالعه قرار داده و معتبرترین معیارهای نحوه تشخیص حرکت را دسته شکستگی مرتبط با گسل معرفی نمود. ۶۱ معیار ریخت‌شناسی سطح گسل برای تشخیص چگونگی حرکت در سطح گسل توسط Doblas 1998 معرفی شد که البته از درجه اعتبار یکسان برخوردار نیستند. استفاده از این شاخص‌ها به تشخیص سازوکار کمک می‌کند. انواع متنوعی از این ساختارهای ثانوی همراه با گسل از قبیل شکستگی‌های ریدل، پله‌های گسلی، اشکال هلالی، خراش‌های گسلی، خطواره ناشی از رشد فیبر کانایی، و... در تعیین سازوکار گسل کاربرد دارند که در این مطالعه تعدادی از این شواهد به‌منظور تعیین سازوکار گسل‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه بحث شماری از این شاخص‌ها به تفصیل معرفی می‌گردد. شایان ذکر است که برشی‌های ریدل به‌عنوان یک ابزار مهم در تعیین سمت حرکت گسل‌ها بکار گرفته شد.

الف - شکستگی‌های R

شکستگی‌های R ، شکستگی‌های برشی هستند که با زاویه $\theta/2$ نسبت به گسل اصلی تشکیل می‌شوند و از نظر سازوکار هم سو با آن هستند.

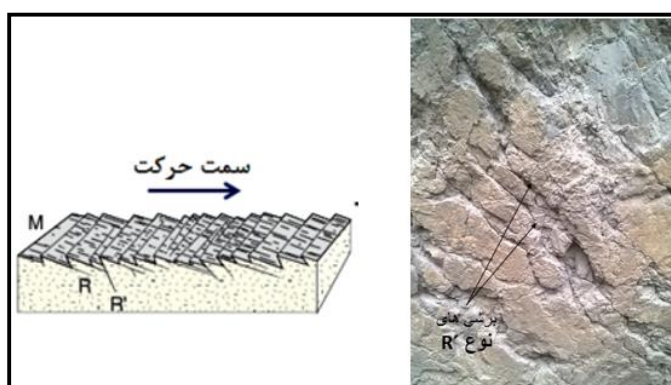
و اثر آن‌ها با سطح گسل عمود بر خراش‌های گسلی روی سطح گسل می‌باشد. شکستگی‌های نوع R اشکال هلالی روی سطح گسل ایجاد می‌کنند (شکل ۳-۸)، سمت تحذب این اشکال هلالی خلاف جهت حرکت بلوک گم‌شده را نشان می‌دهد (Petit, 1987).



شکل ۳-۸ اشکال هلالی ایجادشده روی سطح گسل (نقل از Petit, 1987).

ب- شکستگی‌های R'

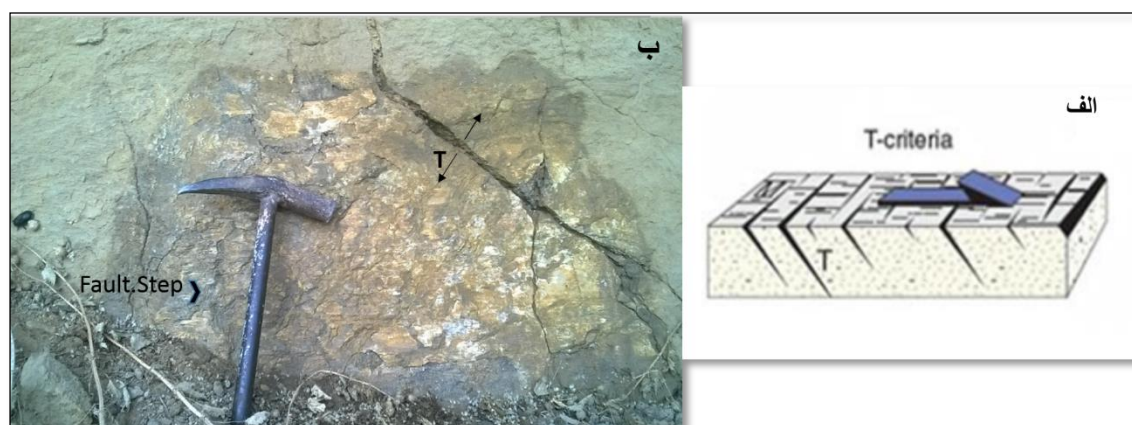
این شکستگی در دسته شکستگی‌های برشی ناهم‌سو با حرکت گسل می‌باشند. که با سطح گسل زاویه معادل با $90 - \phi/2$ می‌سازند. مورفولوژی مضرس و دندانه‌ای روی سطح گسل ناشی از حضور این برشی‌ها می‌باشد. که با برشی‌های نوع R زاویه 60° درجه می‌سازند، و سیستم شکستگی مزدوج را ایجاد می‌کنند. گاهی اوقات تفاوت میان شکستگی‌های R و R' مشکل است. این شکستگی‌ها بر اساس زاویه‌ای که با سطح گسل می‌سازند تفسیر می‌شوند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹ الف- تصویر صحرایی نمونه‌ای از برشی‌های نوع R' در منطقه ب - نمودار سه بعدی نشان دهنده اثر همزمان R ، R' بر ریخت شناسی سطح گسل (برگرفته از Fossen, 2010)

ج - کششی (T)

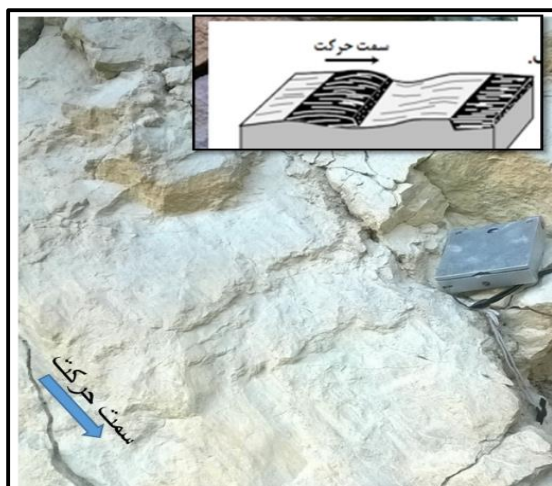
شکستگی‌های کششی که با زاویه ۳۰ تا ۹۰ درجه با سطح گسل تشکیل می‌شوند. شکستگی‌ها از خود بازشدگی نشان می‌دهند و هیچ گونه جابجایی را در این شکستگی دیده نمی‌شود. گاهی توسط کانی ثانویه پر می‌شوند. در صورتی که زاویه ۹۰ با سطح گسل بسازند اثر این شکستگی روی سطح گسل به صورت منحنی ظاهر می‌گردد. در این صورت اشکال هلالی ایجاد می‌کنند، که سمت تقعرشان جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد. عموماً به صورت تکراری روی سطح گسل دیده می‌شوند. اثر شکستگی‌های کششی بر روی سطح گسل همانند برشی‌ها بر خش لغز سطح گسل عمود است. سطح شکستگی T با سطح گسل زاویه تند می‌سازد که جهت آن خلاف جهت حرکت بلوک مقابل سطح گسل است (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰- الف- نمودار سه بعدی نشان دهنده ارتباط زاویه ای بین شکستگی T با سطح گسل ب- تصویر صحرایی نمونه ای از شکستگی کششی در منطقه

۳-۳-۳ - شاخص ریخت شناسی سطح گسل

پله‌های گسلی (Fault Steps) پله‌های گسلی از جمله شاخص‌های روی سطح گسل است که عمود بر خراش‌های گسلی ایجاد می‌شوند. یکی از نشانه‌های مثبت روی سطح گسل می‌باشند (نشانه‌های که حرکت دست روی سطح گسل در جهت حرکت بلوک گمشده آسان است و احساس نرمی می‌شود در جهت عکس آن احساس زبری می‌شود). اشاره به شکل ۳-۱۱.



شکل ۳-۱۱- تصویر صحرایی و بلوک دیاگرام پله گسلی

نکته قابل توجه در استفاده از این شاخص‌های تشخیص سمت حرکت، این است که در مراحل مطالعه نباید به یکی از شاخص‌ها اکتفا نبود بلکه باید برای دقت کار از شواهد دیگری نیز استفاده نمود.

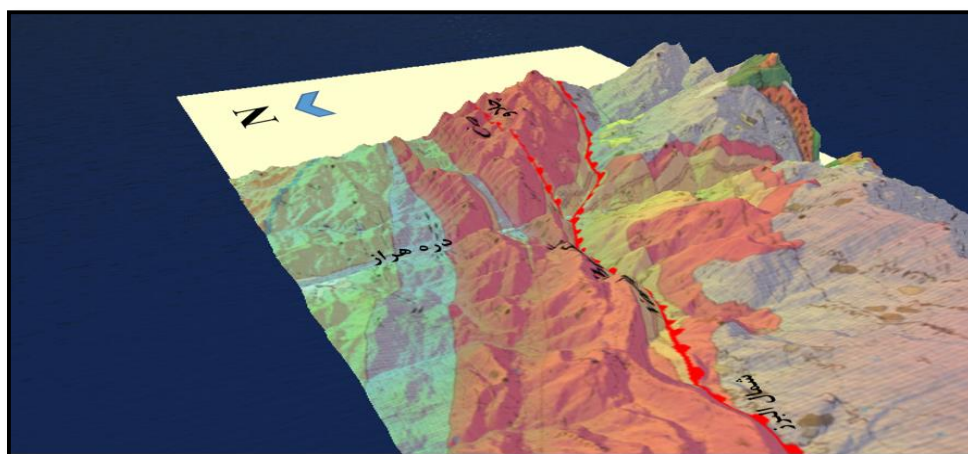
در ادامه این فصل به بررسی گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه که در بازدیدهای صحرایی قابل‌شناسایی بودند پرداخته می‌شود. در این پژوهش گسل شمال البرز که قبلاً در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل معرفی گردید؛ ردیابی شد در ضمن چند گسل فرعی نیز در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ویژگی هندسی این گسل‌ها (امتداد کلی، شیب و جهت شیب سطوح گسلی سازوکار و جهت لغزش گسل‌ها) مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از شاخص‌های قابل اعتماد سوی حرکت گسل به دقت شناسایی می‌شود. به منظور بررسی دقیق شکستگی‌ها و شناسایی ردیابی سطوح اصلی گسل در محدوده مورد مطالعه در چند ایستگاه برداشت انجام شد، نقشه ساختاری منطقه که نشان دهنده روند گسل‌های اصلی منطقه و محور تاقدیس عمارت می‌باشد در شکل ۳-۱۰ قابل مشاهده است.

۳-۴- گسل‌ها

۳-۴-۱- گسل شمال البرز

بنا بر آنچه که در نقشه زمین شناسی چهارگوشه آمل (سازمان زمین شناسی ۱۳۷۸) آمده است،

گسل شمال البرز به صورت گسلی معکوس-رانده با شیبی به سمت جنوب خاور تا جنوب باختر که از علی‌آباد گرگان تا نزدیکی تنکابن گسترش داشته و دارای دو روند ساختاری شمال خاوری - جنوب باختری و باختری - خاوری است، معرفی نمود. روند کلی این گسل به موازات گسل خزر است و در ۱۰ - ۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد. گسل شمال البرز با درازای ۳۰۰ کیلومتر در بخشی از طول خود مرز میان سنگ‌های مربوط به پالئوزوئیک (در جنوب) و کرتاسه (در شمال) را تشکیل می‌دهد. بخشی از این گسل دره هراز را بصورت عرضی قطع میکند و به سمت غرب امتداد می‌یابد (شکل ۳-۱۲). با توجه به قرار گرفتن رومرکز چندین زمین‌لرزه تاریخی و سده بیستم بر روی این گسل، می‌توان آن را گسلی جنوبا و لرزه‌خیز دانست. به عقیده بربریان (۱۹۹۴) زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی در گستره فریم- چهاردانگه با $M_s = 6.8$ و شدت $I_0 = VIII +$ حاصل فعالیت گسل شمال البرز بوده است.

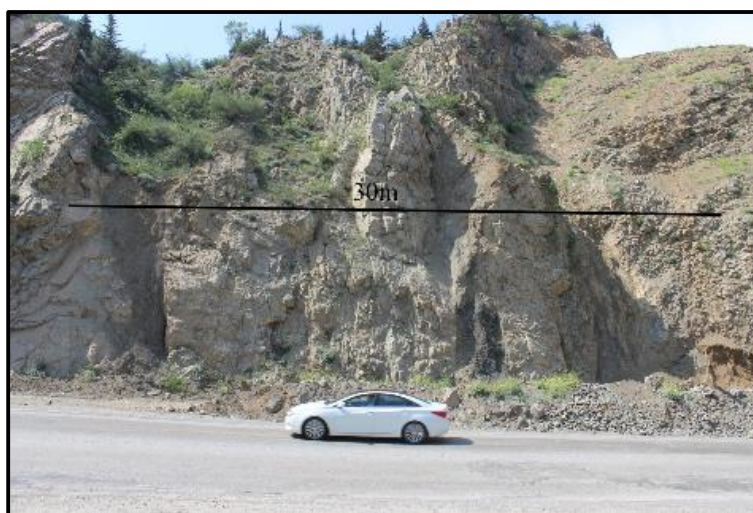


شکل ۳-۱۲- تصویر سه‌بعدی از دره هراز به همراه روند غالب گسل شمال البرز و گسل چلاو تلفیق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰
آمل تصویر SRTM چهارگوش آمل

در منطقه مورد مطالعه گسل شمال البرز در چند ایستگاه مورد ردیابی قرار گرفت که در ادامه به شواهد عملکرد این گسل در منطقه پرداخته می‌شود.

مهم‌ترین رخنمون عملکرد گسل شمال البرز را در حاشیه جاده آمل به تهران در محدوده چلاو با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 14' 39'' N$ و $52^{\circ} 22' 05'' E$ می‌توان دید. در این محدوده رخنمون‌های سازند روته، الیکا و شیل‌های سازند نسن قابل مشاهده می‌باشد. خردشدگی واحدهای آهکی در این بخش

مشهود است. شواهدی از آثار خراش‌های گسلی بر روی واحدهای سنگی دیده شد. دودسته خش لغز با ریک صفر درجه و ریک تقریباً ۹۰ درجه اندازه‌گیری گردید. واحدهای آهکی سازند روته در بعضی نقاط به شدت دچار انحلال شده‌اند. با توجه به مطالعات مرحله اول به استناد نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه آمل (سازمان زمین‌شناسی ایران) گسل چلاو به‌عنوان شاخه‌ای از گسل شمال البرز از سازندهای این منطقه عبور می‌کند که بر این اساس شیب گسل چلاو به سمت جنوب تعیین گردید. در مطالعات صورت گرفته در این پروژه و با توجه به بازدیدهای میدانی بیشتر شواهد دیگری نیز به دست آمد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در سطح زمین می‌توان شواهدی از خردشدگی سنگ‌ها را به‌وضوح مشاهده نمود. سه پهنه خردشده در این منطقه قابل‌رؤیت است (شکل ۳-۱۳). ستبرای این پهنه حدود ۳۰ متر اندازه‌گیری گردید. می‌توان علت خردشدگی واحدهای آهکی را ناشی از عملکرد این پهنه گسلی عنوان نمود. در ادامه مطلب به بررسی‌های میدانی مرتبط با گسل مذکور پرداخته می‌شود.



تصویر ۳-۱۳- تصویر صحرایی از پهنه گسلی با پهنای حدود ۳۰ متر در حاشیه جاده هراز (دید عکس جنوب باختر) با بررسی‌های میدانی در پهنه موردنظر سه شاخه گسلی به‌صورت پهنه خردشده در حاشیه جاده هراز در منطقه منگل که بر اساس نام‌گذاری محلی بنام گسل منگل معرفی شده است قابل‌مشاهده می‌باشد. واحدهای آهکی سازند روته قبل از پهنه گسلی واقع می‌باشد. موقعیت لایه‌بندی این واحد $N43^{\circ}W15^{\circ}SW$ اندازه‌گیری گردید. بررسی‌های انجام‌شده در این پهنه نشانگر شیب بالای سطح گسل

در روی زمین است. موقعیت هندسی یکی از شاخه‌های گسل $N50^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ و پهنای آن حدود ۷ متر اندازه گیری گردید (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴ الف- تصویر صحرایی از سطح گسل با موقعیت $N50^{\circ}W, 82^{\circ}SW$ دید عکس شمال باختر ب- رخنمونی از واحدهای شیلی و آهکی سازند نسن در پهنه گسلی مذکور دید عکس شمال باختر

بازدید میدانی شاخه دیگری از این پهنه گسلی خردشدگی شدیدتر واحدهای سنگی منطقه را نشان می‌دهد. امتداد کلی آن از شاخه قبلی با شیب بالا تبعیت می‌کند پهنای این شاخه ۱۰ متر اندازه‌گیری گردید (شکل ۳-۱۵). واحدهای آهکی در بخش جنوبی این شاخه دارای موقعیت هندسی $N48^{\circ}E, 60^{\circ}SE$ است. این واحدها با توجه به جهت شیب شاخه جنوبی، در فرادیواره گسل قرار دارند. با استناد بر شواهد چینه‌شناسی و حضور فسیل براکیوپود در واحدهای آهکی می‌توان عنوان نمود که فرادیواره شاخه جنوبی گسل شامل واحدهای آهکی سازند الیکا است. که این الگو به استناد شواهد سطح زمین و موقعیت قرارگیری واحدهای سنگی به واقعیت نزدیک می‌باشد با توجه به این مطلب می‌توان عنوان نمود که شاخه جنوبی این پهنه می‌تواند شاخه اصلی گسل منطقه در نظر گرفته شود.



شکل ۳-۱۵- تصویر صحرایی از پهنه گسلی در منطقه منگل پهنای این شاخه ۱۰ متر اندازه گیری شد.

شواهد دیگری از تأثیر این گسل در منطقه دیده شد. در بخش باختری جاده هراز در جاده فرعی روستای پرن خردشدگی شدید واحدهای آهکی سازند الیکا مشاهده شد این رخنمون در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 14' 38'' N$ و $52^{\circ} 21' 53'' E$ قرار دارد. جابجایی واحدهای سنگی قرمز رنگ الیکا و سطح صیقلی و مواج از شواهد تأثیر عملکرد گسل در این رخنمون است. (عکس ۳-۱۶)

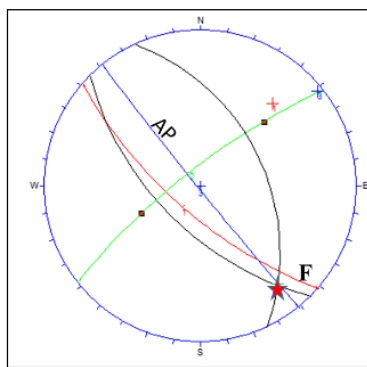


شکل ۳-۱۶- رخنمون گسل شمال البرز در مسیر جاده روستای پرن خردشدگی سنگ آهک در سازند الیکا و جابجایی لایه‌های کلیدی قرمز رنگ آن آشکار است.

از شواهد دیگر مبنی بر عبور گسل شمال البرز می‌توان به چین‌های کشان همراه با گسل (drag folds) اشاره نمود. در حاشیه جاده روستای چلاو با مختصات $36^{\circ} 13' 14'' N$ و $52^{\circ} 23' 58'' E$ چین‌خوردگی واحدهای آهکی الیکا به وضوح قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۱۶). امتداد لایه‌بندی سازند الیکا شمال خاوری- جنوب باختری با شیب لایه‌بندی حدود 45° درجه است. اما در محدوده چین‌های کشان با تغییر ناگهانی شیب لایه‌ها مواجه هستیم. در این بخش برشی شدن شدید واحدهای سنگی قابل مشاهده می‌باشد اما بدلیل خردشدگی واحدهای آهکی سطح گسیختگی مشاهده نشد. این شواهد حاکی از عبور خطواره گسلی از این منطقه می‌باشد. داده‌های برداشت شده از سطح لایه‌بندی در محدوده چین به همراه موقعیت سطح گسل منگل (شمال البرز) در استریوگرام ترسیم گردید (شکل ۳-۱۷). اگر محور چین روی سطح گسل قرا گیرد می‌توان این چین خوردگی را در ارتباط با گسل دانست با توجه به موقعیت محور چین در استریوگرام و سطح گسل (شکل ۳-۱۸) و شواهد ذکر شده می‌توان بیان نمود که این چین‌خوردگی در لایه‌ها تحت تأثیر عملکرد گسل شمال البرز می‌باشد.



شکل ۳-۱۷- رخنمونی از چین‌خوردگی در سازند الیکا ناشی از عبور خطواره گسلی (دید عکس باختر شمال باختر)



شکل ۳-۱۸- استریوگرام ترسیم شده از سطح گسل شمال البرز به همراه موقعیت محور چین

۳-۴-۲- گسل چلاو

این گسل از بزرگ‌ترین خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. که در محدوده پهنه گسلی شمال البرز واقع شده است. طول این گسل بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل ۱۲ کیلومتر اندازه‌گیری گردید و با فاصله‌ای حدود ۵۰۰ متر نسبت به گسل منگل در سمت راست جاده هراز به سمت آمل واقع شده است. با روند خاوری-باختری از دره چلاو عبور کرده و در دره‌ای مشرف به روستای پرن به گسل منگل وصل می‌شود. در برخی از گزارشات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله این گسل را مسبب زلزله سال ۱۹۵۷ سنگچال با بزرگای ۷/۳ ریشتر می‌دانند. اما به علت تراکم پوشش گیاهی در منطقه و همچنین در دره چلاو، علی‌رغم بزرگای زیادی که این زلزله مخرب داشته هیچ سطح گسیختگی برای آن دیده نشده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵). با توجه به بررسی‌های میدانی صورت گرفته در این پژوهش اثری از سطح گسل یا رخنمونی قابل اندازه‌گیری در محدوده مورد مطالعه به علت گسترش و تراکم پوشش گیاهی دیده نشد. دره عمیق با دیواره پرشیب و V شکل در منطقه چلاو به موازات گسل شمال البرز ایجاد شده که از بارزترین عملکرد گسل چلاو در این محدوده (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹ تصویر صحرایی از روند غالب گسل شمال البرز و گسل چلاو در محدوده مورد مطالعه دید عکس شمال - شمال خاوری

۳-۵- گسل های فرعی منطقه

در بخشی از منطقه مورد مطالعه سطوحی گسلی قابل مشاهده است که دارای طول کم و میزان جابجایی اندک می باشند و در رده گسل های فرعی معرفی می شوند. روند کلی این گسل ها شمال باختر-جنوب خاور شمال خاور-جنوب باختر و تقریباً خاوری-باختری می باشد. بطور کلی طول آنها بین ۵/۰ متر تا ۵۰ متر است و منجر به بهم ریختگی چینه شناسی نشده اند. آثار و شواهد این گسل ها که از جمله سطوح گسلی، افرازهای گسلی قابل مشاهده است. بیشترین شواهد رخنمون این گسل ها در بخش غربی جاده هراز به سمت تهران با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 14' 57'' N$ و $22^{\circ} 22' 6'' E$ در سازند روته قابل مشاهده است. تحت تاثیر تنش های اعمال شده واحدهای آهکی و شیلی متحمل شکستگی و خرد شدگی شده است. (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۲۰- تصویر صحرایی از افراز گسل در سازند روته (دره هراز) (دید عکس به سمت شمال باختر)

به دلیل اینکه این گسل ها طول کم و جابجایی اندک دارند باعث بهم ریختگی چینه شناسی منطقه نشده اند. از این رو به منظور بررسی سازوکار آنها باید از شواهد دیگری استفاده نمود. از جمله شاخص های بکار گرفته شده خراش های گسلی، پله های گسلی، مشاهده سطوح لغزش، به کارگیری شکستگی های فرعی در سطح گسل و سطوح صیقلی است. بررسی های صحرایی بر روی ریخت شناسی سطح گسل در

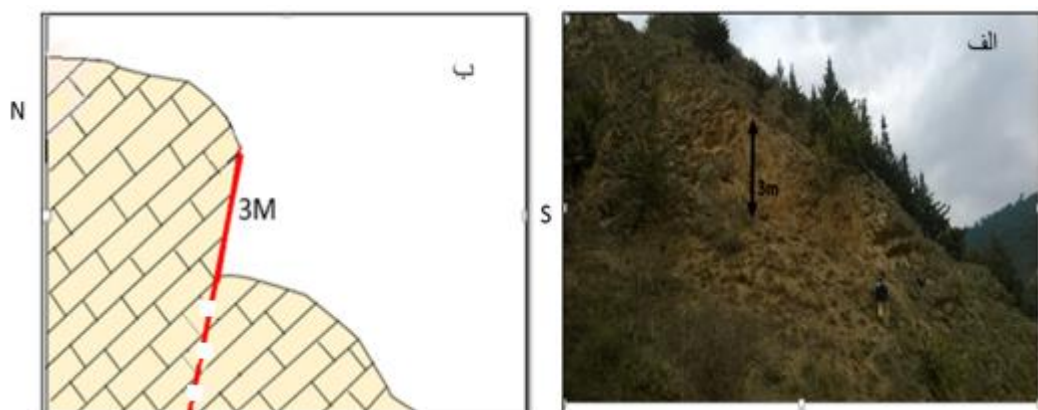
این ایستگاه عموماً خراش‌هایی با ریک ۳۵-۸۵ درجه را نشان می‌دهد که می‌تواند شاهدی بر چیرگی مؤلفه شیب‌لغز گسل‌های منطقه مذکور باشد این در حالی است که ریک کمتر از ۲۰ درجه نیز در این ایستگاه اندازه‌گیری شده است که گویای عملکرد مؤلفه امتدادلغز در منطقه موردنظر می‌باشد. در چند نقطه از این ایستگاه سطوح لغزش مشاهده شده است. خش لغزها بروی سطوح قابل مشاهده می‌باشند. این سطوح در تصویر ۳-۲۱ نشان داده شده است. در ادامه به تفصیل پیرامون ساختارهای گسلی منطقه پرداخته می‌شود



شکل ۳-۲۱- نمونه ای از گسل‌های فرعی که با نام‌های F1 تا F6 شناسایی و برداشت شده‌اند که به ویژگی‌های هر یک از آنها اشاره خواهد شد

۳-۵-۱- گسل F1

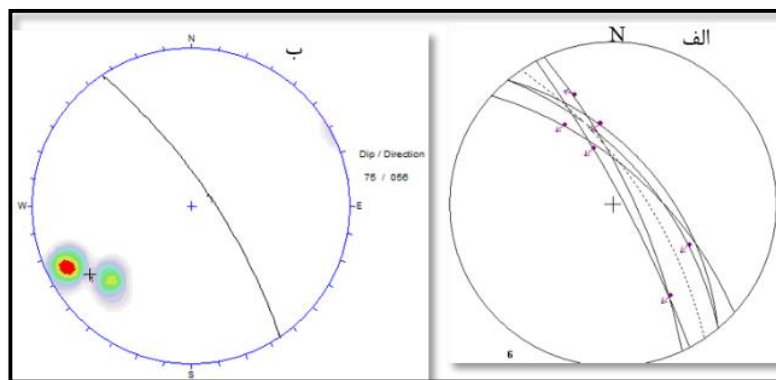
گسل F1 در یک ایستگاه با مختصات جغرافیایی ۵۸/۶۹ ۱۴ ۳۶ درجه شمالی و ۵۲ ۲۲ ۰۴/۶۴ و روند تقریبی شمال باختری-جنوب خاوری مورد برداشت قرار گرفت. ارتفاع این برآمدگی حدود ۳ متر است. تصویر صحرایی ونیم‌رخ آن در شکل ۳-۲۲ قابل مشاهده است. اندازه گیری انجام شده از سطح گسل، خش لغز و نحوه حرکت بر روی آن در جدول ۳-۱ درج شده است. استریوگرام مرتبط با اطلاعات سطح گسل در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲- الف- تصویر صحرایی سطح گسل با موقعیت $N36^{\circ}W, 75^{\circ}NE$ (دید عکس شمال-شمال خاور) ب- مقطع عرضی شماتیک در آهک روته که پرتگاه گسلی به ارتفاع ۳ متر را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F1* جهت حرکت فرادیواره ۱- روبه بالا (معکوس)، ۲- روبه پایین (نرمال)، ۳- راست بر ۴- چپ بر

Fault Plane		Slicken Line			Station
DIP	DIP/DI	Azimuth	Plunge	Sense*	
80	065	149	35	3	5
80	065	340	30	4	5
70	050	118	50	4	5
85	062	340	60	3	5
65	050	350	55	3	5
72	42	328	42	3	5



شکل ۳-۲۳- الف- اندازه گیریهای انجام شده در استریوگرامهای ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراشهای گسلی برداشت شده از سطح گسل F1 ب نمودار کنتوری رسم شده از دادههای هندسی سطح گسل با موقعیت چیره $N36^{\circ}W, 75^{\circ}NE$ را نشان می دهد.

مشاهدات صحرایی بروی این بخش دو دسته خراش را بروی سطح گسل نشان می دهد (شکل ۳-۲۴).
که نشانگر دو فاز حرکتی این گسل است.



شکل ۳-۲۴- الف- تصویری از رخنمون از گسل F1 با موقعیت $N34^{\circ}W 75^{\circ}NE$ ب، ج نمایش دو دسته خش لغز بر سطح گسل (دید عکس شمال)

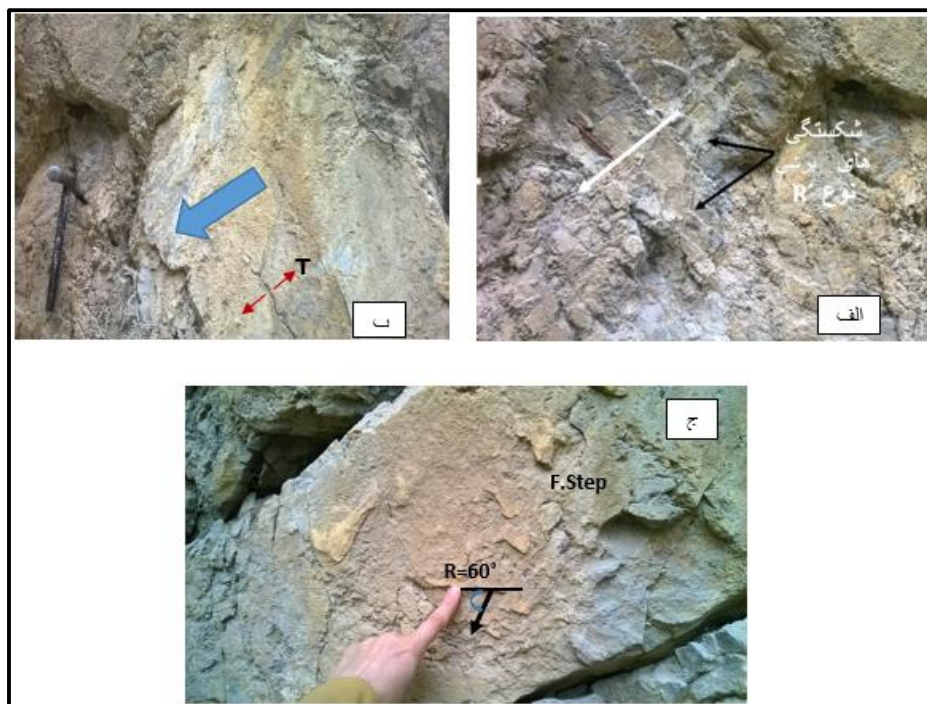
به منظور تعیین جهت و سوی برش بروی گسل، از شاخصهای ریختشناسی روی سطح گسل استفاده شد.

. اثر این شکستگی‌ها که دارای موقعیت میانگین $N76^{\circ}E\ 70^{\circ}SE$ تقریباً عمود بر خراش‌های سطح گسل است (۳-۲۵). شکستگی‌ها آثار دندان‌های روی سطح گسل ایجاد نموده است. با توجه به اثر ایجادشده جابجایی چپ‌بر شکستگی مشهود می‌باشد. زاویه بین این شکستگی‌ها با میانگین سطح گسل اصلی 72° اندازه‌گیری گردید. این شکستگی‌ها جز برشی‌های ناهم‌سو با حرکت گسل به شمار می‌روند که با سطح گسل با زاویه‌ای به مقدار $\frac{\phi}{2} - 90^{\circ} = R'$ گسترش پیدا می‌کند. نماد ϕ به‌عنوان زاویه اصطکاک داخلی معرفی می‌شود. مقدار این زاویه را به‌صورت قراردادی برای سنگ‌هایی با لیتولوژی مختلف در آزمایشگاه به‌صورت تجربی اندازه‌گیری کرده‌اند. و نتایج آن برای لیتولوژی‌های مختلف در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس زاویه اصطکاک داخلی (Barton, 1974 Stimson, 1975)

نوع سنگ	طبقه‌بندی بر اساس زاویه اصطکاک (ϕ)
شیست‌ها، شیل با درصد میکای بالا، مارن	سنگ با اصطکاک پایین $20^{\circ} \leq \phi \leq 27^{\circ}$
ماسه‌سنگ، سیلت استون، سنگ گچ، گنیس، اسلیت	سنگ با اصطکاک متوسط $27^{\circ} \leq \phi \leq 34^{\circ}$
بازالت، گرانیت، سنگ‌آهک، کنگلومرا	سنگ با اصطکاک بالا $34^{\circ} \leq \phi \leq 40^{\circ}$

سازندهایی که در آن‌ها رخنمون سطوح گسلی موردبررسی قرار گرفت، واحدهای آهکی سازند روته و الیکا می‌باشند، که با استناد به جدول فوق میزان زاویه اصطکاک برای سنگ‌آهک $\phi = 34^{\circ}$ در نظر گرفته می‌شود به این ترتیب R' برابر با 73° اندازه‌گیری می‌شود. مقدار به‌دست‌آمده با زاویه 72° حاصل از نتایج داده‌های صحرایی مطابقت دارد. با دلایل فوق می‌توان عنوان نمود که این شکستگی‌ها در دسته شکستگی‌های R' قرار دارند چون شکستگی‌ها جابجایی چپ‌بر را نشان می‌دهند لذا می‌توان عنوان نمود که جابجایی گسل راست‌بر است. پله‌های گسلی نیز از جمله شاخص‌های تائید کننده این مؤلفه حرکتی می‌باشد (شکل ۳-۲۵).

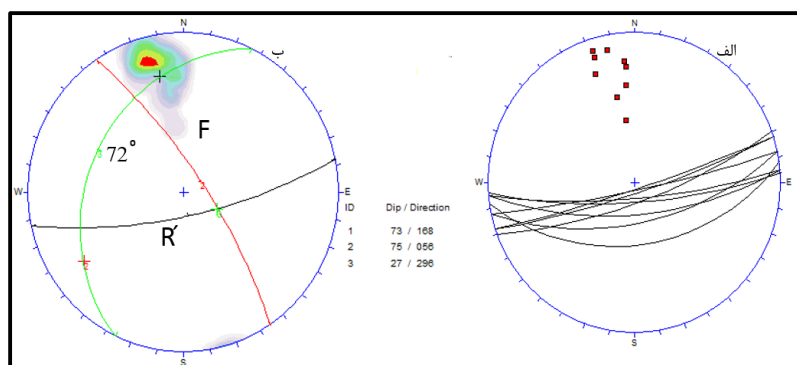


شکل ۳-۲۵ - الف- رخنمونی از شکستگی‌های برشی R' که منظره دندان‌های در سطح گسل ایجاد کردند فلش سمت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد. ب- شکستگی برشی T فلش سمت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد. ج- خراش گسلی به همراه پله گسلی

به دلیل مشاهده دودسته خش لغز بروی سطح گسل و با توجه به اینکه این دو دسته خراش گسلی مؤلفه حرکتی متفاوت دارند، لذا می‌توان دو فاز حرکتی در ارتباط با این گسل در نظر گرفت. اما به دلیل آنکه شکستگی در سازندهای قدیمی رخ داده و به دلیل رخداد فازهای مختلف تکتونیکی از دوران پالئوزوئیک تا حال و تحمل دگرشکلی‌های مختلف نمی‌توان با توجه به اطلاعات موجود در این پژوهش راجع به تقدم و تأخر فاز حرکتی بروی این واحدهای سنگی نظر قطعی را بیان نمود. داده‌های اندازه‌گیری شده از سطح گسل در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. استریوگرام‌های مربوط به این برداشتها شامل تصاویر سیکلو گرافیک داده‌های صفحه‌ای و زاویه بین میانگین صفحات شکستگی با سطح گسل اصلی قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۶).

جدول ۳-۳ شکستگی‌های نوع R' برداشت‌شده از سطح گسل F1 * جهت حرکت فرادیواره ۱- رو به بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

NO	DIP	DIP.DIR	Sense	NO2	DIP3	DIP.DIR4	Sense*
1	85	162	3	10	65	168	4
2	84	168	3	11	80	167	4
3	85	162	3	12	56	172	4
4	75	160	3	13	62	180	4
5	78	175	3	14	68	165	4
6	60	168	4	15	58	170	4
7	75	176	4	16	74	172	4
8	45	172	4	17	72	170	4
9	66	175	4	18	70	178	4

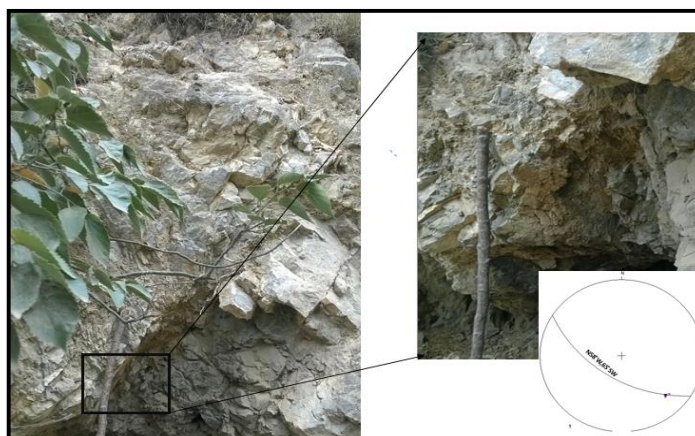


شکل ۳-۲۶- الف- استریوگرام سطوح شکستگی ب- استریوگرام ترسیم‌شده از صفحه میانگین شکستگی با موقعیت $N76^{\circ}E\ 70^{\circ}SE$ به همراه کنتور دیاگرام تراکم قطب صفحات شکستگی تصویر استریوگرافیک از صفحه میانگین برای گسل F1 با موقعیت $N34^{\circ}W\ 75^{\circ}NE$ و موقعیت شکستگی R' و زاویه بین میانگین شکستگی و سطح گسل

۳-۵-۲- گسل F2

گسل F2 در یک ایستگاه با مختصات $36^{\circ}14'59''N$, $52^{\circ}22'2/39''E$ مورد برداشت قرار گرفت. که با روند شمال باختر- جنوب خاور، شیب جنوب باختر در واحدهای آهکی سازند روتنه رخمون دارد. تصویر صحرایی آن در شکل ۳-۲۷ قابل مشاهده است. رخمون دیگری از گسل با همین روند در بخش دیگری از این منطقه مشاهده شد (شکل ۳-۳۰). این سطح از گسل کاملاً صیقلی می‌باشد هیچ گونه شواهدی مبنی بر خراش‌های گسلی در این سطح دیده نشد. با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، بالآمدگی و رانده شدن بلوک فرادیواره برروی فرودیواره نمایان است. رخمون سطح گسل در موقعیت

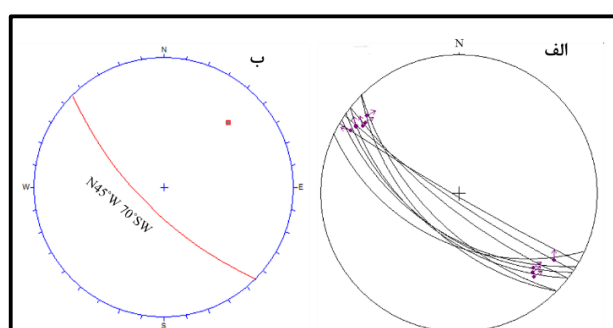
اول مورد بررسی قرار گرفت. شواهدی از خراش‌های گسلی در سطح قابل مشاهده است. اندازه‌گیری‌های انجام گرفته و وضعیت هندسی گسل F2 در جدول ۳-۴ نشان داده شده است. استریوگرام‌های مرتبط با سطوح گسلی، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای به همراه موقعیت خراش گسلی و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است. با مطالعه روی سطح گسل یک دسته خراش قابل تشخیص است. ریک خش لغزها بین مقادیر 10° تا 28° درجه ساعت‌گرد قابل تغییر است. رخنمون گسل مذکور با توجه به شواهد سطح گسل از جمله ساختار هوبجی و با توجه به آثاری از پله گسلی می‌توان حرکت چپ‌بر برای این سطح عنوان نمود. با توجه به ریک اندازه‌گیری شده در سطح گسل می‌توان مؤلفه حرکتی شیب‌لغز به مقدار کم نیز برای این سطح در نظر گرفت. به منظور بررسی سازوکار گسل شکستگی‌های روی سطح گسل مورد بررسی قرار گرفت. زاویه شکستگی با سطح گسل ۵۸ درجه اندازه‌گیری گردید (شکل ۳-۲۹). موقعیت میانگین شکستگی N10 E, 40 NW به دست آمد. شکستگی‌های مذکور بروی سطح گسل هیچ‌گونه آثار جابجایی نشان نمی‌دهد. اما شکستگی ایجاد شده دارای بازشدگی می‌باشد. به استناد شکل شکستگی و زاویه با سطح گسل می‌توان سطح مذکور را در دسته شکستگی‌های T قرار داد این شکستگی‌ها جزء شکستگی‌های ناهم‌سو با گسل می‌باشند. نوک زاویه حاده شکستگی کششی جهت خلاف حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد با توجه به این مطلب شکستگی سازوکار راست‌بر را نشان می‌دهد، به این دلیل مؤلفه حرکتی چپ‌بر روی سطح گسل حاکم بوده است. علاوه بر آن شکستگی‌هایی با موقعیت N40 E, 55 SE در سطح گسل اندازه‌گیری گردید زاویه این شکستگی با گسل ۶۹ درجه است که در رده شکستگی R' جای می‌گیرد این شکستگی نیز جابجایی راست‌بر را نشان می‌دهد (۳-۲۹). که خود دلیل دیگر بر چپ‌بر بودن این سطح می‌باشد. نقاطی دیگر از ایستگاه آثار و شواهدی مشاهده شد که نشانگر مؤلفه حرکتی راست‌بر برای سطحی با روند رخنمون اصلی گسل است.



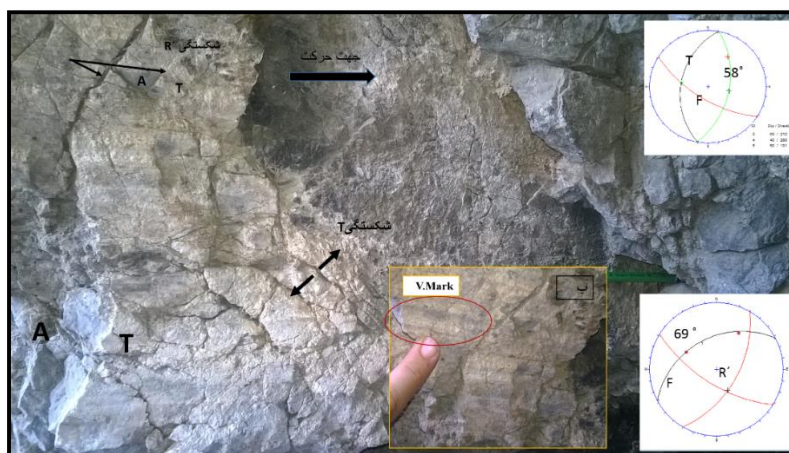
شکل ۳-۲۷- رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N55^{\circ}W\ 71^{\circ}SW$ به همراه تصویر استریوگرافیک سطح گسل دید عکس شمال باختر

جدول ۳-۴- داده‌های برداشت‌شده از گسل F2* جهت حرکت فرادیواره ۱- روبه بالا (معکوس)، ۲- روبه پایین (نرمال)، ۳- راست بر ۴- چپ بر

Fault Plane		Slicken Lines		
DIP	DIP/DI	Azimuth	Plunge	Sense*
65	225	135	25	1
80	218	305	16	3
88	210	300	10	3
65	212	134	27	4
60	205	125	17	4
70	225	307	23	3
85	214	304	11	3
65	215	135	26	3
64	218	138	22	4



شکل ۳-۲۸- الف- استریوگرام ترسیم‌شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش‌های گسلی برداشت‌شده از سطح گسل F2 ب- استریوگرام ترسیم‌شده از صفحه میانگین گسل با موقعیت $N45^{\circ}W\ 70^{\circ}SW$ و تراکم قطب صفحات



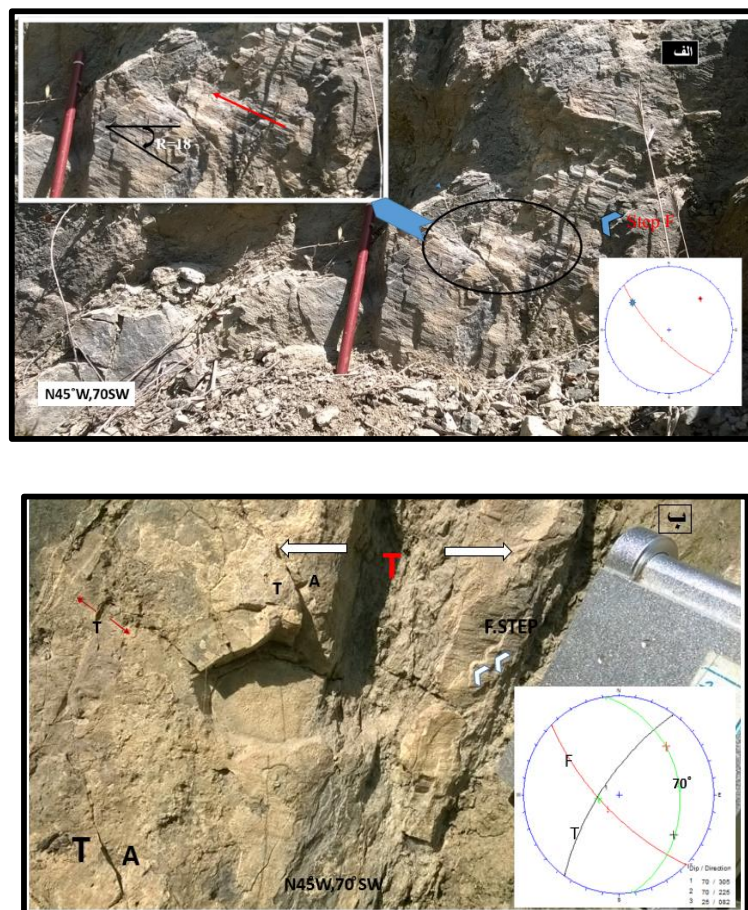
شکل ۳-۲۹-الف - سطح گسل با موقعیت $N58^{\circ}W\ 65^{\circ}SW$ شکستگی های T و R' بیانگر جهت حرکت بلوک گمشده است. جابجایی راست بر شکستگی R' بیانگر چپ بر بودن گسل. فلش سیاه جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می دهد ب- نشانه V شکل، نوک V در جهت بلوک گمشده به سمت راست است



شکل ۳-۳۰-رخمنونی از سطح گسل با موقعیت $N70^{\circ}W/60^{\circ}SW$ دارای سطحی صاف صیقلی که روی این سطح اثری از خراش گسلی مشاهده نگردید. با مشاهدات صحرایی سطح فرادیواره که بلوک جنوبی را تشکیل می دهد راندگی به سمت بالا را نشان می دهد. سطح گسل صاف صیقلی است. دید عکس به سمت باختر جنوب باختر می باشد

سطحی با موقعیت میانگین $N45^{\circ}W, 70^{\circ}SW$ قابل اندازه گیری است با توجه به آثار پله های گسلی در سطح گسل جهت حرکت بلوک گمشده به سمت چپ می باشد که نشانگر مؤلفه راست بر گسل است ریک خراش های گسلی غالب بودن مؤلفه راستا لغز را نشان می دهد ریک خش لغز 18° درجه اندازه گیری شد (شکل ۳-۳۱-الف) سطح شکستگی با موقعیت با $N35^{\circ}E, 70^{\circ}NW$ با زاویه 70° درجه نسبت به گسل

اندازه‌گیری گردید (شکل ۳-۳۱-ب). این سطح فاقد جابجایی است که می‌توان آن را در دسته شکستگی-های T قرارداد به این ترتیب شکستگی‌ها با سازوکار چپ بر روی سطح گسل مشهود هستند با توجه به ناهم‌سو بودن این دسته از شکستگی‌ها با حرکت گسل، می‌تواند دلیلی بر سازوکار راست‌بر گسل باشد.



شکل ۳-۳۱-الف - رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N45^{\circ}W, 70^{\circ}SW$ به همراه خراش گسلی با ریک ۱۸ درجه ساعت‌گرد در سطح گسل پله‌های گسلی مؤید حرکت بلوک گمشده به سمت چپ است که می‌تواند دلیلی بر راست‌بر بودن سازوکار گسل باشد. ب- شکستگی‌های T در سطح گسل بازشدگی چپ بر (بر اساس قاعده نوک زاویه حاده شکستگی کششی) را نشان می‌دهد

۳-۵-۳- گسل F3

گسل F3 در یک ایستگاه با مختصات $36^{\circ} 14' 59'' N$ و $52^{\circ} 22' 26'' E$ و روند خاوری-باختری در سازند روته قابل مشاهده می‌باشد. تصویر صحرایی از سطح مذکور در شکل ۳-۳۲ نشان داده شد. برداشت‌های صحرایی از سطح گسل در جدول ۳-۵ نشان داده شده است. استریوگرام ترسیم شده مربوط

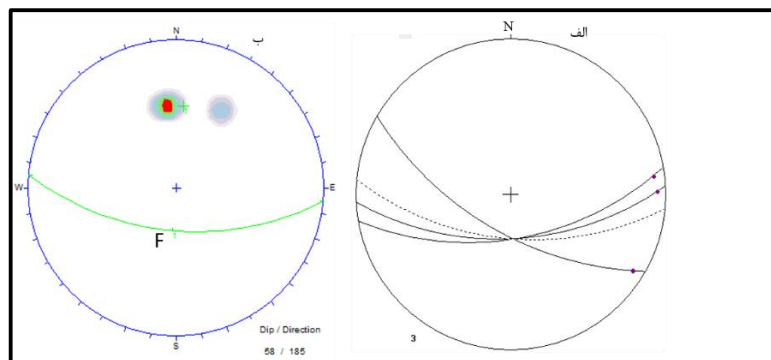
به داده‌های صفحه‌ای همراه موقعیت خراش‌های گسلی موقعیت $N84^{\circ}W\ 58^{\circ}SW$ را برای سطح گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۳۳).



شکل ۳-۳۲ تصویر صحرایی از رخنمون سطح گسل با موقعیت $N84^{\circ}W\ 58^{\circ}SW$ ب- رخنمونی از سطح گسل به همراه خراش با ریک افقی ج- رخنمونی از سطح گسل که تغییر شیب لایه‌ها در آن مشهود است.

جدول ۳-۵- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F3* جهت حرکت فرادیواره ۱- روبه بالا (معکوس)، ۲- روبه پایین (نرمال)، ۳- راست بر ۴- چپ بر

Fault Plane		Slicken Lines		
DIP	DIP/DI	Azimuth	Plunge	Sense*
58	175	87	5	4
58	177	88	3	4
62	210	122	5	4



شکل ۳-۳۳-الف- استریوگرام ترسیم شده از صفحات گسلی همراه با موقعیت خراش های گسلی برداشت شده از سطح گسل ب- استریوگرام ترسیم شده از صفحه میانگین گسل $N84^{\circ}W\ 58^{\circ}SW$ به همراه نمودار تمرکز قطب صفحه در بازدید صحرایی صورت گرفته در این ایستگاه می توان خراش هایی روی سطح گسل مشاهده نمود. زاویه ریک خش لغز ۵ درجه ساعت گرد اندازه گیری گردید (شکل ۳-۳۴). در این صورت می توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک پایین سازوکار راستا لغز در نظر گرفت. از جمله نشانه های حرکتی روی سطح گسل شکستگی هایی با موقعیت میانگین $N00^{\circ}E\ 35^{\circ}E$ می باشد. این شکستگی ها دارای بازشدگی می باشند که هیچ گونه آثار حرکتی بروی آن ها مشاهده نشده است .



شکل ۳-۳۴-رخنمونی از مناظر پله ها در سطح گسل به همراه خراش هایی با ریک ۵ درجه ساعت گرد قابل مشاهده می باشد. پله ها جهت حرکت بلوک گمشده را به سمت راست نشان می دهند.

به منظور تعیین جهت و سوی برش بروی گسل از شاخص های ریخت شناسی روی سطح گسل استفاده شد. اثر این شکستگی ها که دارای موقعیت میانگین $N00^{\circ}E\ 35^{\circ}E$ تقریباً عمود بر خراش های سطح گسل می باشد. شکستگی ها آثار بازشدگی روی سطح گسل ایجاد نموده است (۳-۳۵). با توجه به اینکه

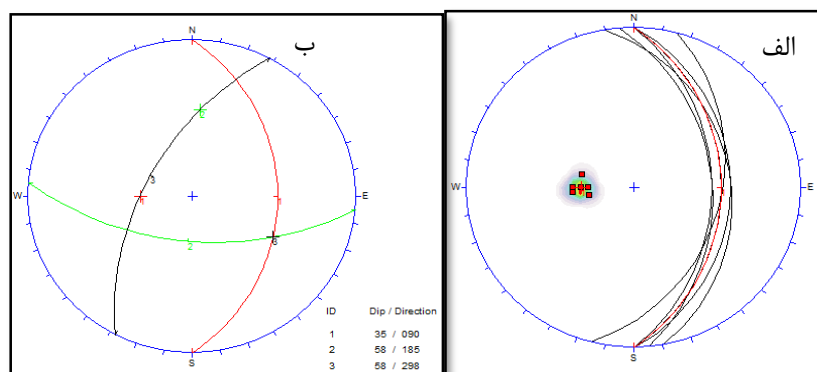
هیچ گونه آثار جابجایی در سطح شکستگی ثبت نشد، می توان این دسته از شکستگی ها را در زمره شکستگی های کششی قرار داد بدین منظور شکستگی های روی سطح گسل برداشت گردید. استریوگرام های مربوط به این برداشت ها شامل تصاویر سیکلو گرافیک داده های صفحه ای و زاویه بین میانگین صفحات شکستگی با سطح گسل اصلی ترسیم گردید (شکل ۳-۳۶). زاویه بین این شکستگی ها با میانگین سطح گسل اصلی 54° اندازه گیری گردید. نوک زاویه حاده خلاف جهت حرکت بلوک گمشده می باشد لذا می توان مؤلفه حرکتی چپ بر را برای این رخنمون در نظر گرفت.



شکل ۳-۳۵- شکستگی کششی روی سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}E 58^{\circ}SE$ فلش نشانگر جهت حرکت بلوک گمشده است دید عکس شمال - شمال خاور

جدول ۳-۶- شکستگی های برداشت شده از سطح گسل با موقعیت $N85^{\circ}E 58^{\circ}SE$ شکستگی های نوع T برداشت شده از سطح گسل F3* جهت حرکت فرادیواره ۱- رو به بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

NO	DIP	DIP.DI	Sense
1	30	90	3
2	30	80	3
3	40	85	3
4	35	105	3
5	35	90	3
6	40	90	3



شکل ۳-۳۶- الف- تصویر استریوگرام سطوح شکستگی ب- استریوگرام ترسیم شده از صفحه میانگین شکستگی با موقعیت N00°E 35°SE به همراه صفحه گسل با موقعیت میانگین N85°E 58°SE و زاویه میان دو صفحه

۳-۵-۴- گسل F4

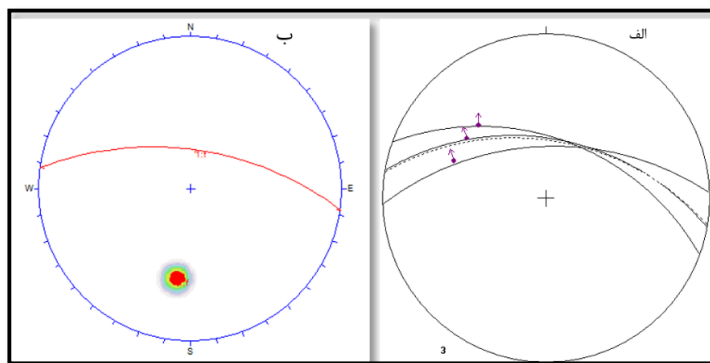
گسل F4 در یک ایستگاه سطحی با مختصات $36^{\circ}15'01''N$ و $52^{\circ}22'21''E$ و روند شمال باختر- جنوب خاور قابل مشاهده است. با توجه به شیب سطح و هم جنس بودن لایه ها با بلوک مقابل، سطح اندازه گیری شده بلوک فرادیواره گسل می باشد. آثار خراش های گسلی بروی سطح نمایان است سطح گسل به صورت موج می باشد (شکل ۳-۳۷). برداشت های صحرایی از سطح گسل در جدول ۳-۷ نشان داده شده است. استریوگرام مربوط به داده های صفحه ای به همراه موقعیت خراش های گسلی و نمودار هم تراز آن ها موقعیت را برای سطح گسل، $N81^{\circ}W / 60^{\circ}NE$ نشان می دهد (شکل ۳-۳۸).



شکل ۳-۳۷- تصویر صحرایی از سطح گسل با موقعیت میانگین $N81^{\circ}W / 60^{\circ}NE$ دید عکس به سمت شمال

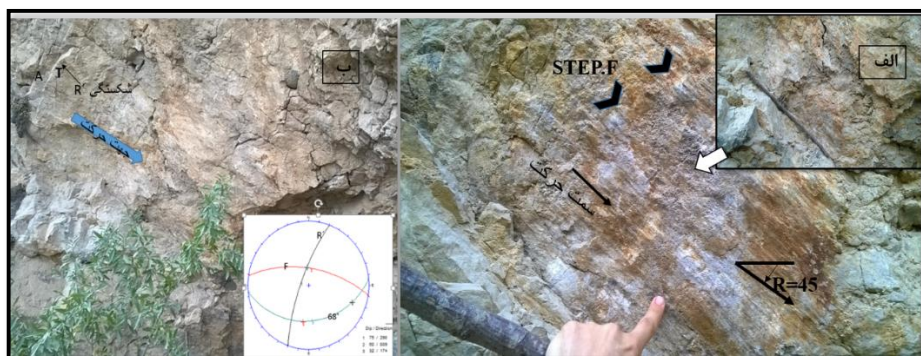
جدول ۳-۷- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F4* جهت حرکت فرادیواره ۱- روبه بالا (معکوس)، ۲- روبه پایین (نرمال)، ۳- راست بر ۴- چپ بر

Fault Plane		Slicken lines		
DIP	DIP/DI	Azimuth	Plunge	Sense*
60	10	317	39	4
64	358	307	39	4
60	20	291	40	4



شکل ۳-۳۸- الف- تصویر استریوگرافیک از صفحه گسل F4 ب- استریوگرام ترسیم‌شده از صفحه میانگین گسل همراه کنتور دیاگرام تراکم قطب صفحات گسلی

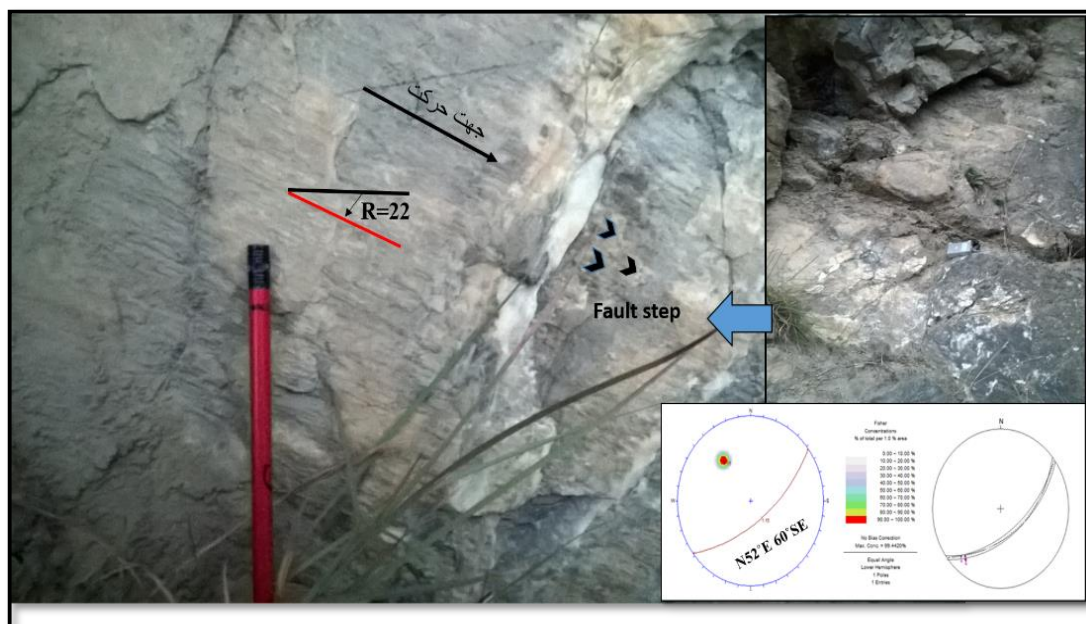
بر مبنای مشاهدات سطح گسل، خراش‌هایی با ریک خش لغز ۴۵ درجه ساعت‌گرد اندازه‌گیری شد. در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک بالا سازوکار مورب لغز را در نظر گرفت. ازجمله نشانه‌های حرکتی روی سطح گسل پله گسلی می‌باشد که با توجه به آن می‌توان مؤلفه حرکتی چپ‌بر را برای این سطح در نظر گرفت (۳-۳۹).



شکل ۳-۳۹- رخنمونی از فرادیواره سطح گسل با موقعیت $N81^{\circ}W/60^{\circ}NE$ الف- اثر خراش‌های گسلی با موقعیت $39^{\circ}/307^{\circ}$ یک خش لغز 45° درجه ساعت گرد ب- برشی‌های R' که جابجایی راست‌بر را نشان می‌دهند. جهت فلش سمت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد که نشانگر مؤلفه چپ بر برای گسل مذکور می‌باشد

۳-۵-۵- گسل F5

رخنمونی از سطح گسل در یک ایستگاه با مختصات $36^{\circ}15'0''N$ و $52^{\circ}22'2''E$ قابل مشاهده است. با توجه به حضور خراش‌هایی با ریک 22° ساعت گرد بر سطح گسل با موقعیت $N52^{\circ}E, 60^{\circ}SE$ به همراه شاخص‌های پله گسلی و رشد فیبرهای کانیاپی، سازوکار چپ بر با مؤلفه کوچک معکوس برای گسل مذکور در این رخنمون قابل تشخیص می‌باشد (۳-۴۰)



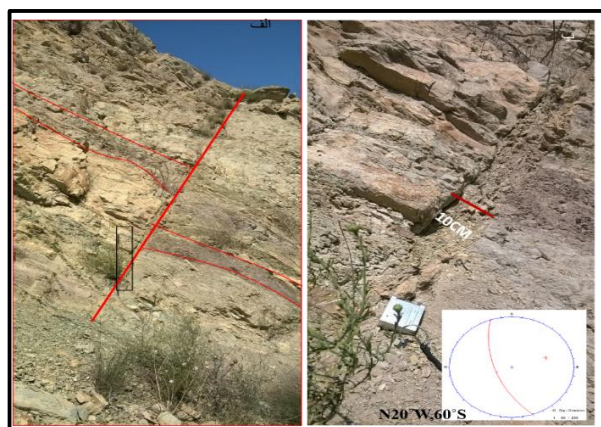
تصویر ۳-۴۰- رخنمونی از فرودیواره با موقعیت $N52^{\circ}E 60^{\circ}SE$ به همراه پله‌ها و خراش گسلی با موقعیت $19^{\circ}06'$ با توجه به جهت پله‌ها می‌توان مؤلفه چپ بر را برای این سطح در نظر گرفت.

جدول ۳-۸ - داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F5 * جهت حرکت فرادیواره ۱- روبه بالا (معکوس)، ۲- روبه پایین (نرمال)، ۳- راست بر ۴- چپ بر

Fault Plane		Slicken Lines		
DIP	DIP/DI	Azimuth	Plunge	Sense*
60	140	44	72	2
61	144	42	68	2

۳-۵-۶- گسل F6

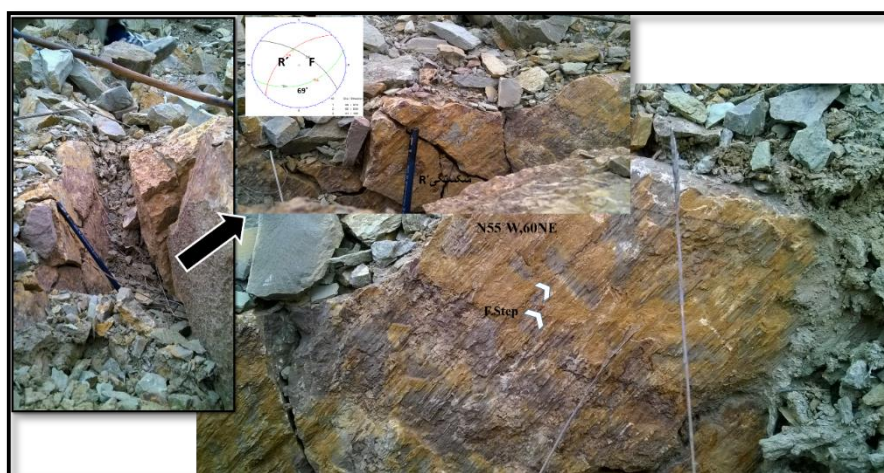
رخنمونی از سطح گسل در یک ایستگاه با مختصات $۳۶^{\circ}۱۴'۱۹,۷۵''N$ و $۵۲^{\circ}۲۲'۱/۵۳''E$ مشاهده شد. گسل مذکور در واحدهای آهکی شیلی سازند الیکا قابل مشاهده می‌باشد. بر اثر عملکرد گسل خردشدگی در واحدهای آهکی و شیلی ایجاد شد. بروی واحدهای سنگی شواهدی از شاخص‌های ریخت‌شناسی خراش‌های گسلی و پله‌های گسلی مشاهده نشد. اما تغییرات لایه‌بندی با توجه به امتداد لایه‌های کلیدی می‌تواند تحت تاثیر گسل باشد. موقعیت سطح مذکور $N20^{\circ}W, 60^{\circ}SW$ است. لایه کلیدی قرمز رنگ به اندازه ۱۱۰ سانتی‌متر جابجایی را نشان می‌دهد. این لایه در بلوک فرادیواره به سمت بالا جابجا شده است. رخنمونی از این سطح در شکل ۳-۴۱ قابل مشاهده است. زون خردشده به پهنای ۱۰ سانتی‌متر بروی این سطح اندازه‌گیری گردید.



شکل ۳-۴۱ رخنمونی از سطح گسل با موقعیت $N20^{\circ}W, 60^{\circ}SW$ (در فرادیواره) گسل دید عکس (باختر-جنوب باختر)

۳-۵-۷- گسل F7

گسل F7 در موقعیت جغرافیایی $17''N$ / $36^{\circ} 14' 20''E$ و $52^{\circ} 22' 0''E$ واقع شده است. خردشدگی آهک الیکا احتمال وجود سطح گسل را در این بخش نشان می‌دهد در این بخش از ایستگاه شاخص‌های سطح گسل بروی بلوک‌های سنگ آهک دیده شد در محدوده مذکور شکافی ایجاد شده که در طرفین آن سطوحی همراه با خراش‌های گسلی قابل مشاهده است (۳-۴۲)



شکل ۳-۴۲ رخنمونی از سطح گسل، با روند شمال باختر - جنوب خاور به همراه خش لغز و پله گسلی خاور تصویر از شکاف ایجاد شده توسط گسل به همراه دو سطح فرادیواره و فرودیواره گسل مداد به عنوان شاخص روی فرادیواره قرار دارد. دید عکس جنوب باختر

موقعیت میانگین برای سطح مذکور $N55^{\circ}W, 60^{\circ}NE$ تعیین گردید. شاخص‌های سطح گسل، نشانگر فروافتادگی بلوک جنوبی (فرودیواره) می‌باشد که نشانگر معکوس بودن سطح گسل می‌باشد. خراش‌های سطح گسل نیز اندازه‌گیری گردید ریک خش لغز 50° درجه ساعت گرد را نشان می‌دهد به منظور تعیین سازوکار، شکستگی‌های روی سطح گسل برداشت گردید این شکستگی‌ها تقریباً عمود بر خراش‌های گسلی می‌باشند موقعیت میانگین شکستگی $N45^{\circ}E, 50^{\circ}NW$ است. این شکستگی با سطح گسل زاویه 62° درجه می‌سازد. شکستگی جابجایی راست بر را نشان می‌دهند. با توجه به زاویه شکستگی و مورفولوژی دندان‌های که این سطوح ایجاد کند در گروه شکستگی‌های R جای می‌گیرند. چون جابجایی راست بر از خود نشان می‌دهند لذا می‌توانند شاهدهی بر چپ بر بودن سطح گسل F7 باشند.

۳-۶- بررسی سیستم درزه‌های ایجادشده در واحدهای سنگی منطقه

سنگ‌ها در طبیعت جزء مواد ناهمگن و انیزوتروپ رده‌بندی می‌شوند، و در اغلب آن‌ها گسستگی‌هایی دیده می‌شود. گسستگی‌ها به‌عنوان تغییر شکل شکننده که نوعی تغییر شکل دائمی می‌باشد، و در جسمی سخت به دلیل رشد ترک‌ها و یا لغزش شکستگی‌های قبلی شکل گرفته‌اند، روی می‌دهد. به‌منظور بررسی رفتار مکانیکی سنگ‌ها باید از دو وجه کاملاً متفاوت به عکس‌العمل سنگ در برابر نیروهای وارده پرداخته شود. یکی از این دو جنبه بررسی رفتار مکانیکی سنگ بکر یا سنگ یکپارچه است که نیاز به بررسی‌های دقیق آزمایشگاهی دارد. وجه دوم، رفتار مکانیکی توده سنگ تحت تأثیر شکستگی‌ها و سطوح ضعف در سنگ می‌باشد. این‌گونه اطلاعات بیشتر توسط مشاهده مستقیم و بررسی‌های صحرایی حاصل می‌شود. گسستگی به هر نوع سطح ضعیف شامل درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی، گسل‌ها و... اطلاق می‌شود. درزه‌ها شکستگی‌هایی هستند که غالباً در توده‌ی سنگ مشاهده می‌شوند و در طول سطح درزه، تنش موجود، منجر به از بین بردن انسجام در سنگ می‌شود. در امتداد این گسستگی‌ها جابجایی قابل‌مشاهده‌ای رخ نمی‌دهد. رفتار توده سنگ تا حد زیادی به نوع، فاصله، پرشدگی، بازشدگی و دیگر مشخصات گسستگی‌های آن بستگی دارد. به‌طور کلی مشخصات مواد سنگی تحت‌الشعاع مشخصات گسستگی‌های موجود در سنگ است. کسب داده‌های قابل‌اطمینان از گسستگی‌های سنگ در مطالعات زمین‌شناسی از ضروریات می‌باشد.

از لحاظ هیدرولوژیکی درزه‌ها از مهم‌ترین ساختارهایی هستند که در ذخیره‌سازی و انتقال سیال نقش دارند. جدای از منشأ شکستگی‌های که مرتبط با چین‌خوردگی و یا نتیجه رخداد گسلش در منطقه باشند حضور آن‌ها تأثیر به‌سزایی در جریان آب‌های زیرزمینی داشته و نقش کلیدی در توسعه پدیده کارست در واحدهای سنگی آهکی و ایجاد سفره‌های آب زیرزمینی دارند.

طبقه‌بندی هندسی

با توجه به رابطه هندسی شکستگی با لایه‌بندی شکستگی‌های سیستماتیک به چند دسته تقسیم‌شده

است. در این تقسیم‌بندی بر اساس وضعیت درزه نسبت به امتداد لایه‌بندی سنگ‌های مجاور طبقه‌بندی می‌شوند (Singhal, B & Gupta, R., 2010)؛ که انواع درزه‌های زیر را می‌توان تشخیص داد:

درزه امتدادی نوعی از درزه است که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی طبقات اطراف است. درزه شیبی درزه‌ای است که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی جهت شیب سطح لایه‌بندی طبقات اطراف است. درزه مورب (اریب) اگر امتداد درزه نسبت به امتداد لایه‌بندی زاویه‌ای کمتر از 90° بسازد و یا بین حالت موازی و عمود بر سطح لایه‌بندی باشد. تحت عنوان درزه مایل معرفی می‌شود. درزه طبقه‌ای اگر سطح درزه موازی سطح لایه‌بندی سنگ‌ها باشد درزه طبقه‌ای نام دارد.

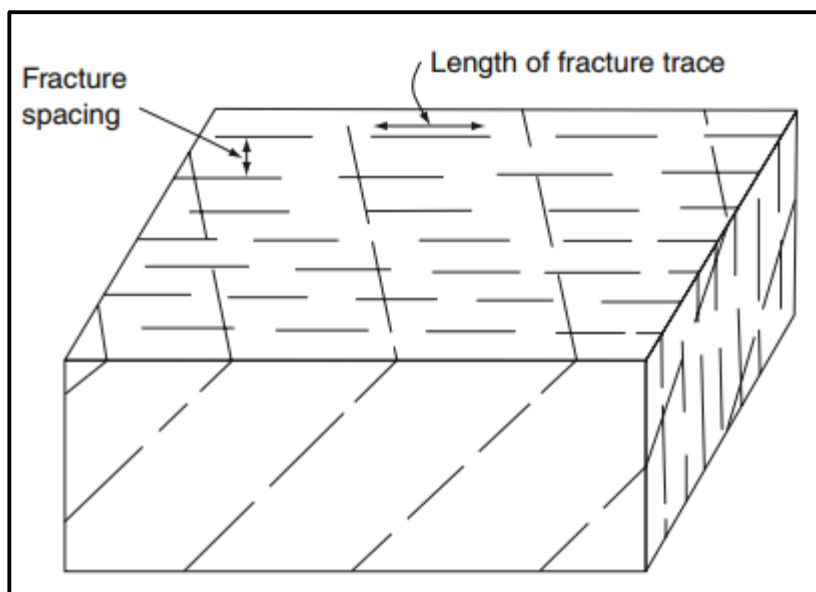
۳-۷- ویژگی‌های دسته‌درزه در توده سنگ

فاصله‌داری

از عوامل مؤثر در بررسی توده سنگ، فاصله‌داری بین دو گسستگی (یا درز) متوالی است که به‌طور معمول به‌صورت میانگین فواصل عمودی، بین درزه‌های موجود در یک دسته‌درزه در نظر گرفته می‌شود. فاصله‌داری گسستگی‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تراوایی توده سنگ دارد. علاوه بر آن، فاصله‌داری، به همراه جهت‌یابی و تعداد دسته درزه، شکل و اندازه بلوک‌های سنگی را کنترل می‌کند (۳-۴۳).

طول درزه

درزه‌های مرتبه اول که چندین لایه سنگی را قطع می‌کنند. درزه‌های مرتبه دوم که اغلب یک لایه سنگی را قطع می‌کنند. اغلب یک دسته از گسستگی‌ها نسبت به بقیه طول بیشتری دارند. در چنین مواردی دسته فرعی‌تر در برخورد به دسته با تداوم بیشتر، قطع می‌شود. دسته درزه ایجادشده در توده سنگ را می‌توان بر مبنای تداوم آن‌ها به انواع: منظم، نیمه منظم و نامنظم تقسیم نمود.



شکل ۳-۴۳- نمایش دو دسته درزه در بلوک دیاگرام و نمایش فاصله عمودی هر دسته درزه به همراه طول درزه (نقل از Singhal, B & Gupta, R., 2010)

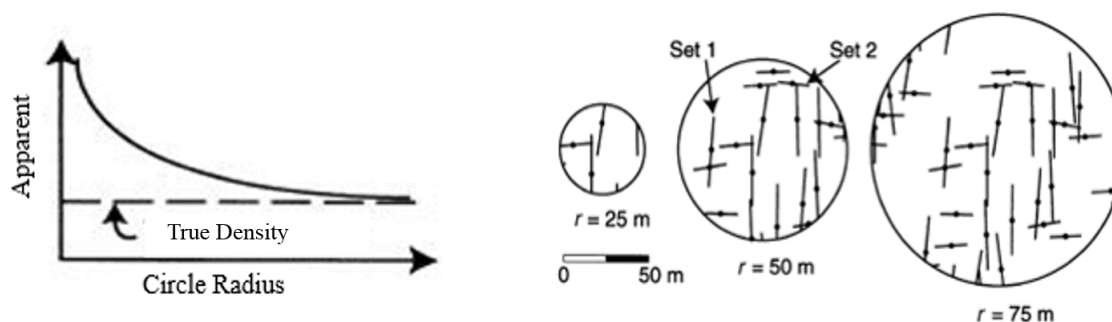
۳-۸- خواص و اندازه‌گیری‌های شکستگی

یک صفحه شکستگی بر اساس موقعیت هندسی آن، طبقه‌بندی ژنتیکی (برشی و کششی)، بازشدگی، طول شکستگی و فاصله‌داری و دیگر ویژگی‌ها معرفی می‌شود. چند صفحه شکستگی در کنار هم، یک مجموعه شکستگی را ایجاد می‌نماید. شبکه شکستگی از چند مجموعه شکستگی که باهم مرتبط باشند همدیگر را قطع کنند ایجاد می‌شود. شکستگی‌ها در ایجاد مسیر عبور سیال نقش بسزایی ایفا می‌کنند. ضرورت بررسی شبکه شکستگی در مخازن نفتی و محدوده سدهای مخزنی، پوشیده نیست لذا بررسی ویژگی‌های شکستگی از حائز اهمیت است. جهت‌گیری، طول اثر شکستگی، تراکم و شدت شکستگی بر نفوذپذیری و اتصال شبکه شکستگی در توده سنگ تأثیرگذار می‌باشد (Nelson, 2001)

۳-۸-۱- تراکم شکستگی (Fracture Density)

تراکم شکستگی مرتبط با تعدادی شکستگی که به صورت مجزا دیده شده و یا بخش‌هایی از شکستگی در واحد طول، مساحت و حجم معرفی می‌شود که وابسته به مقیاس است که از آن به عنوان چگالی نام برده میشود (Rohrbaugh, M.B et al., 2002).

مقدار تخمین تراکم و بزرگی در نمونه کوچکتر به نسبت افزایش میابد (۳-۴۴). بنابراین هرچه نمونه جهت تخمین بزرگتر انتخاب شود میزان واقعی تری از تراکم به دست می آید (Maldon et al., 2001).



شکل ۳-۴۴- تأثیر قطر پنجره نمونه اسکن در میزان تراکم نسبت به تراکم واقعی با توجه به نمودار (Rohrbaugh, M.B et al., 2002)

تراکم شکستگی در ارتباط با درجه‌ای از شکست در سنگ می‌باشد. بسته به اینکه محاسبه تراکم در سنگ در واحد طول، مساحت و یا حجم صورت گرفته باشد به سه روش توصیف می‌شود:

۳-۸-۱-۱- تراکم شکستگی در واحد خطی

تراکم خطی دربردارنده تعداد شکستگی در واحد طول است. که در جهت عمود بر سطح شکستگی اندازه‌گیری می‌شود. که همان فرکانس شکستگی است.

۳-۸-۱-۲- تراکم شکستگی ناحیه‌ای

تراکم ناحیه‌ای به صورت میانگین طول اثر شکستگی در واحد سطح بروی یک سطح صاف که می‌تواند سطح لایه‌بندی باشد تعریف می‌شود بیانگر کمیت طول شکستگی است.

۳-۸-۱-۳- تراکم شکستگی حجمی

میانگین مساحت سطح شکسته شده در هر واحد حجم سنگ تعریف می‌شود

۳-۸-۲- شدت شکستگی (Fracture Intensity)

شدت شکستگی یک الگوی مشخصی است که شامل تراکم و اندازه شکستگی می باشد. به صورت تعداد شکستگی در واحد طول نمونه، طول شکستگی در واحد سطح و یا منطقه شکستگی در حجم سنگ تعریف می شود (Mauldone et al., 2001).

۳-۹- روش های مناسب جهت نمونه گیری شکستگی

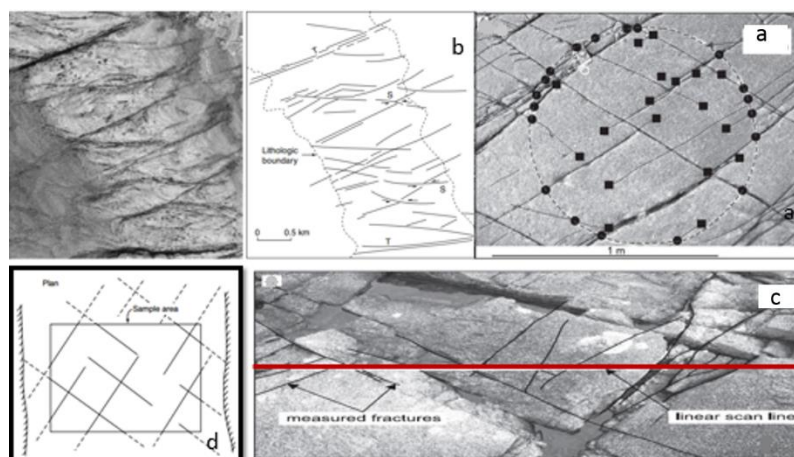
به طور کلی از چهار روش جهت جمع آوری داده های حاصله از شکستگی استفاده می شود (شکل ۳-۴۵) روش اسکن خطی (priest, 1993, priest & Hudson, 1981)، اسکن ناحیه ای (Wu & Pollard, 1995) اسکن دایره ای (Mauldon et al., 2001)، نمونه برداری پنجره مستطیل شکل (Pahl, 1981) (Priest, 1993).

۳-۹-۱- خط اسکن به روش خطی

در روش اسکن خطی با استفاده از نوار متر مستقیم در رخنمون سنگی خصوصیات مورد نیاز از سطح شکستگی (جهت گیری، فاصله، شدت و تراکم، پرشدگی) اندازه گیری می شود قابل ذکر است که صفات کلیه سطوحی که خط را قطع می کند در نظر گرفته خواهد شد (Priest, 1981, Priest & Hudson, 1993). در روش فوق نوار باید عمود بر امتداد لایه بندی و یا عمود بر سطح شکستگی قرار گیرد (شکل ۳-۴۵-C). اما از نقاط ضعف روش مذکور این است که نوار ممکن است در مسیر عمود بر شکستگی تمام سطوح را قطع نکند و یا اثر دو سطح شکستگی یک خط باشد که می تواند خطایی در محاسبه تراکم و طول خط اسکن ایجاد نماید در نهایت مقدار تراکم را کمتر از واقعیت و طول خط بیشتری را ارائه دهد.

۳-۹-۲- نمونه اسکن دایره‌ای (پنجره‌ای)

در این روش با استفاده از دایره‌ای بر سطح رخنمون توده سنگی بجای اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های شکستگی، تعداد نقاطی که با لبه و محیط دایره برخورد می‌کنند و تعداد انتهای شکستگی در درون دایره موردنظر شمارش می‌شود (Mauldon et al., 2001).



شکل ۳-۴۵- a: نمونه اسکن دایره‌ای تقاطع شکستگی با دایره اسکن (نقطه‌های سیاه) و انتهای شکستگی در داخل دایره (مربع سیاه) برای برآورد تراکم و شدت شکستگی. b: شکستگی‌های بزرگ مقیاس با استفاده از روش ناحیه‌ای c: بررسی تراکم با استفاده از روش اسکن خطی d: نمونه‌گیری با استفاده از روش پنجره‌ای (نقل از Singhal, B & Gupta, R., 2010)

۳-۱۰- شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه

سازندهای منطقه از قدیم به جدید شامل واحدهای پالئوزوئیک بالایی (دورود، روته، نسن) واحدهای مزوزوئیک (الیکا و شمشک) است. به دلیل وجود پوشش گیاهی جنگلی در منطقه مورد مطالعه رخنمونی از واحد شمشک به منظور بررسی شکستگی در این سازند مشاهده نشد به همین جهت اطلاعاتی پیرامون این سازند در این پژوهش به دست نیامد. بیشترین رخنمون مربوط به سازند الیکا است که شاهد گسترش آن از جنوب به شمال می‌باشیم. پوشش جنگلی، معادن شن و ماسه و رودخانه پراز که محل احداث سد پراز می‌باشد از جمله مسائلی است که انجام پژوهش در این منطقه را دچار مشکل می‌نماید. برداشت‌های صحرایی به منظور بررسی دقیق درزه‌ها به تفکیک سازندهای منطقه انجام شد و در نهایت نمودار گل‌سرخ مربوط به این درزه‌ها که بیانگر امتداد غالب درزه‌ها در هر ایستگاه می‌باشد

ترسیم گردید. ویژگی‌های درزه شامل تعداد دسته درزه، فاصله‌داری، طول درزه و بازشدگی و پرشدگی در هر ایستگاه بررسی گردید. براساس جدول ویژگی درزه (معماریان، ۱۳۹۵) ویژگی‌های هر دسته درزه تعیین شد (جدول ۳-۹ و جدول ۳-۱۰). وضعیت تراکم شکستگی در هر ایستگاه نیز تعیین گردید که با توجه به وضعیت رخنمون واحدهای سنگی در منطقه و عدم دستیابی به سطح لایه و یا یک سطح هموار و مسطح نمونه‌برداری به روش اسکن خطی صورت گرفت. در هر ایستگاه تلاش صورت گرفت تا نمونه‌برداری خط اسکن عمود بر سطح شکستگی در نظر گرفته شود اما به دلیل وضعیت رخنمون منطقه در همه ایستگاه‌ها این امکان فراهم نشد. تحت تأثیر زاویه شکستگی و خط اسکن همچنین موازی بودن آن‌ها اثر برخی از شکستگی‌ها با اسکن برخورد نداشت. لذا از سه اسکن افقی مایل و قائم در هر ایستگاه جهت نمونه‌برداری استفاده شد، تا شرایط برداشت برای همه ایستگاه‌ها یکسان باشد. در نهایت خط اسکنی که اثر بیشتری از سطوح شکستگی را قطع کرد، انتخاب شد. در این پژوهش خط اسکن مایل به دلیل دقت بیشتر به عنوان الگو در نظر گرفته شد. با توجه به مقیاس و تعداد برخورد شکستگی با خط، در طول اسکن، تراکم محاسبه شد.

جدول ۳-۱۰ دسته‌بندی طول (تداوم) درزه

مقدار (متر)	طول گسستگی	ردیف
<۱	بسیار کم	۱
۱-۳	کم	۲
۳-۱۰	متوسط	۳
۱۰-۳۰	زیاد	۴
۳۰<	بسیار زیاد	۵

جدول ۳-۹ دسته‌بندی درزه از نظر فاصله‌داری

مقدار (متر)	فاصله گسستگی	ردیف
>۲	بسیار دور	۱
۰,۶-۲	دور	۲
۰,۲-۰,۶	متوسط	۳
۰,۰۶-۰,۲	نزدیک	۴
<۰,۰۶	بسیار نزدیک	۵

۳-۱۱- بررسی وضعیت درزه در سازند الیکا

به دلیل گسترش رخنمون سازند الیکا در منطقه، مطالعه درزه در چند ایستگاه انجام شد که در ادامه به ویژگی‌های درزه‌های این واحد سنگی پرداخته می‌شود. این ویژگی شامل بررسی موقعیت هندسی درزه و روند غالب آن، تعیین تعداد دسته درزه و تراکم در سازند الیکا، تداوم و بازشدگی است.

۳-۱۱-۱- ایستگاه (s1)

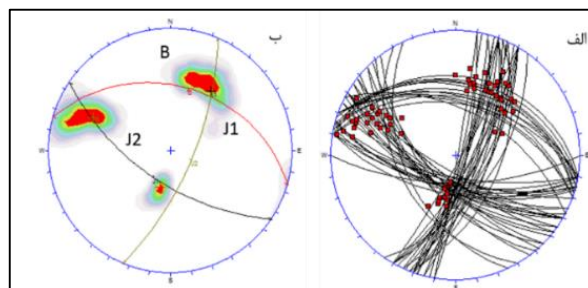
رخنمون سازند الیکا در بخش شمال غربی منطقه مطالعاتی در حاشیه جاده هراز حدود ۵ کیلومتری روستای رزکه واقع شده است (۳-۴۶). موقعیت درزه‌های برداشت شده در این سازند در جدول ۳-۱۱ نشان داده شده است. استریوگرام داده‌های ایستگاه مذکور ترسیم گردید (۳-۴۷). روند غالب شکستگی‌های NW-SE و NE-SW مشخص شد. بر اساس آنچه از نمودار هم‌تراز قطب به دست آمده دو دسته شکستگی با موقعیت $N61^{\circ}W/60^{\circ}SW$ و $N23^{\circ}E/69^{\circ}S$ در این ایستگاه معرفی گردید. با توجه به نمودار ترسیم شده شکستگی‌ها تقریباً برهم عمود می‌باشند که در بررسی‌های صحرایی نیز می‌توان به این مطلب پی برد. موقعیت میانگین لایه‌بندی $N74^{\circ}W/34^{\circ}NE$ است. با توجه به نمودار گل‌سرخ امتدادی دو دسته درزه قابل تشخیص است (شکل ۳-۴۸). هیچ‌گونه آثاری از خراش بر سطح شکستگی‌ها دیده نشد. عمده درزه‌ها دارای بازشدگی می‌باشند. وضعیت سطوح قابل دسترسی ناهموار تعیین شد. بر اساس این نمودار دسته درزه J1 با میانگین موقعیت $N23^{\circ}E/69^{\circ}SE$ در بازه امتداد ۱۵ تا ۴۰ درجه است. نمودار جهت شیب بازه ۱۰۰ تا ۱۲۵ درجه را برای این دسته نشان می‌دهد. میزان پراکندگی آن ۴۴/۶۴ درصد است. دسته درزه J2 با موقعیت میانگین $N56^{\circ}W/60^{\circ}SW$ در بازه امتدادی ۲۸۰ تا ۳۱۵ درجه قرار دارد. نمودار جهت شیب، بازه ۱۸۰ تا ۲۴۵ درجه را برای دسته درزه J2 نشان می‌دهد. میزان پراکندگی این دسته درزه ۵۵,۳۵ درصد می‌باشد. به دلیل اینکه جهت شیب لایه‌بندی و امتداد شکستگی موازی است، دسته درزه J1 نسبت به لایه‌بندی در رده درزه‌های شیبی قرار دارد. چون امتداد دسته درزه J2 نسبت به امتداد لایه‌بندی موازی است، در رده درزه‌های امتدادی جای دارد. زاویه بین دو دسته درزه ۸۸ درجه است.



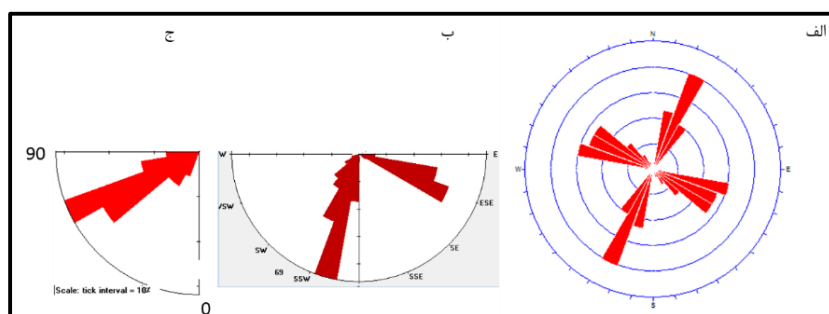
شکل ۳-۴۶- رخنمونی از سازند الیکا در ایستگاه ۱ با موقعیت لایه‌بندی $N74^{\circ}W/34^{\circ}NE$ و سطوح شکستگی

جدول ۳-۱۱- داده‌های برداشت‌شده از سطح شکستگی در ایستگاه ۱

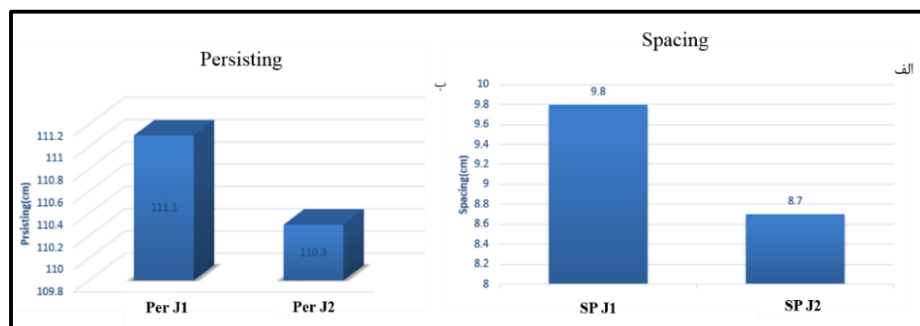
Dip	Dip.Dir	Dip2	Dip.Dir3	Dip4	Dip.Dir5	Dip6	Dip.Dir7
25	10	82	108	55	125	65	210
40	10	60	110	65	180	68	210
45	10	65	115	55	190	75	210
28	12	74	110	63	190	60	215
35	12	80	110	70	190	70	215
38	14	85	110	60	192	60	218
30	15	50	112	62	194	70	218
30	18	68	112	60	195	60	220
32	18	72	114	66	195	55	225
40	20	60	115	58	196	65	225
80	100	60	115	70	200	65	228
88	100	76	115	70	200	55	230
85	102	70	118	60	205	60	233
70	105	62	120	65	205	40	240
80	105	65	120	65	205	45	245
80	108	70	120	60	208		
85	120	75	120	60	210		



شکل ۳-۴۷- الف استریوگرام‌های شکستگی‌های در ایستگاه ۱ سازند (الیکا). تصویر استریوگرافیک سطوح و قطب شکستگی‌ها به همراه سطح لایه‌بندی (B) با موقعیت میانگین $N74^{\circ}W/34^{\circ}NE$ ب-سطوح میانگین شکستگی و لایه‌بندی به همراه کنتور دیاگرام تمرکز قطب که نشانگر دو دسته شکستگی در این ایستگاه با موقعیت میانگین $N21^{\circ}E/69^{\circ}SE$ و $N56^{\circ}W/60^{\circ}SW$ می‌باشد



شکل ۳-۴۸- الف- نمودار گل سرخی امتدادی شکستگی ب- نمودار گل سرخی جهت شیب شکستگی ج نمودار گل سرخی شیبی



شکل ۳-۴۹- الف- نمودار ستونی میانگین فاصله‌داری spacing دسته درزه J1, J2 در ایستگاه (۱) ب- نمودار ستونی میانگین persisting (تداوم) دسته درزه J1, J2 در ایستگاه (۱)

میانگین آماری ویژگی‌های درزه ایستگاه ۱ در جدول ۳-۱۲ قابل مشاهده است. براساس جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2 از لحاظ فاصله عمودی در رده درزه‌های نزدیک جای می‌گیرند. از نظر تداوم دسته درزه J1 در رده درزه با تداوم (طول) کم و دسته درزه J2 در رده درزه با تداوم کم جای می‌گیرند.

جدول ۳-۱۲- میانگین آماری ویژگی‌های درزه ایستگاه ۱

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۹,۸	۱۱۱,۱
J2	۸,۴	۱۱۰,۳
		۲,۲۵
		۱,۹۶

۳-۱۱-۲- ایستگاه ۲(S2)

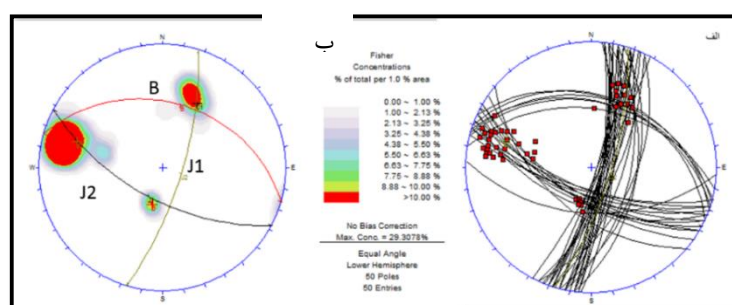
در بخش شمال باختری دره هراز، حاشیه جاده، رخنمونی دیگری از سازند الیکا مورد بررسی قرار گرفت شکل (۳-۵۰). موقعیت لایه بندی در این ایستگاه $N72^{\circ}W\ 31^{\circ}NE$ می باشد. درزه های برداشت شده در این سازند، در جدول ۳-۱۳ نشان داده شده است. استریوگرام (۳-۵۱) و نمودار گل سرخی داده های ایستگاه مذکور ترسیم گردید. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای امتداد شکستگی ها در این ایستگاه و نمودار هم تراز قطب شکستگی ها مشخص شد دو دسته شکستگی در این ایستگاه غالب است (۳-۵۲). براساس این نمودار دسته درزه J1 با میانگین موقعیت میانگین $N18^{\circ}E/76^{\circ}SE$ و در بازه امتداد ۰ تا ۳۰ درجه است. نمودار جهت شیب بازه ۹۵ تا ۱۱۸ درجه را برای این دسته نشان می دهد. میزان پراکندگی آن ۶۸/۱۸ درصد می باشد. و دسته درزه J2 با موقعیت میانگین $N62^{\circ}W/61^{\circ}SW$ در بازه امتدادی ۲۸۰ تا ۳۰۵ درجه قرار دارد. و نمودار جهت شیب بازه ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه را نشان می دهد. پراکندگی این دسته درزه ۳۱/۸۱ درصد است. دسته درزه J1 نسبت به لایه بندی در رده درزه های شیبی قرار دارد. دسته درزه J2 نسبت به لایه بندی درزه امتدادی دسته بندی می شود. زاویه دودسته درزه نسبت به هم ۸۴ درجه می باشد.



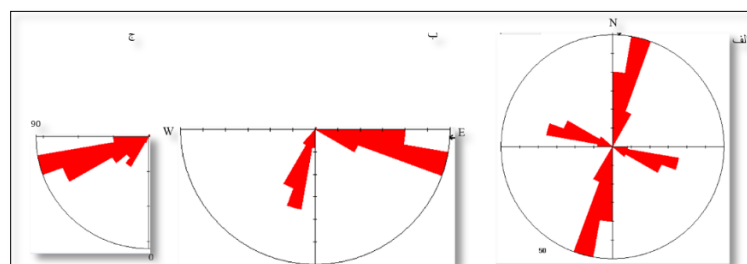
شکل ۳-۵۰- تصویر صحرایی از سازند الیکا با موقعیت میانگین لایه بندی $N72^{\circ}W\ 31^{\circ}NE$ در ایستگاه (۲) حاشیه جاده هراز به همراه شکستگی ایجاد شده در سطح لایه در سازند الیکا

جدول ۳-۱۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح درزه در ایستگاه ۲

DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
70	95	80	102	52	115
76	96	50	105	68	115
80	96	80	105	82	118
50	98	85	105	50	183
72	98	62	108	68	195
78	98	70	108	65	198
80	98	80	108	70	198
80	100	83	108	70	198
80	100	78	110	62	200
82	100	80	110	55	202
55	102	85	110	70	202
70	102	75	112	58	205
75	102	72	113	65	205
80	102	60	215	60	210
65	210	60	215		



شکل ۳-۵۱- الف- استریوگرام‌های شکستگی‌های در ایستگاه ۲ (سازند الیکا): الف- تصویر استریو گرافیک سطوح و قطب شکستگی‌های به همراه سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N72^{\circ}W/34^{\circ}NE$ ب- سطوح میانگین برای دو دسته شکستگی با موقعیت میانگین $N18^{\circ}E/76^{\circ}SE$ و دسته دوم با موقعیت میانگین $N62^{\circ}W/61^{\circ}SW$ می‌باشد



شکل ۳-۵۲- نمودار گل‌سرخ امتدادی، ب- نمودار گل‌سرخ جهت شیب، ج- نمودار گل‌سرخ شیبی

به منظور بررسی تراکم دسته درزه در این ایستگاه با توجه به وضعیت رخنمون، روش برداشت خطی انتخاب شد برای کاهش ضریب خطا بررسی به سه روش اسکن افقی، قائم و مایل انجام پذیرفت (۳-۵۳). نتایج در جدول ۳-۱۴ نشان داده شد. علت اختلاف در نتایج به دست آمده به خاطر وضعیت اثر رخنمون شکستگی نسبت به اسکن خطی می باشد زیرا ممکن است رخنمون اثر شکستگی با اسکن موازی باشد در نتیجه شکستگی، اسکن مربوط را قطع نکند. با توجه به بررسی های انجام شده نتایج به دست آمده حاکی از این است که برداشت در اسکن مایل از دقت بالاتری برخوردار است. از لحاظ آماری ۲۸ درصد از شکستگی ها دارای پرشدگی می باشند. نمودار ویژگی درزه در جدول ۳-۱۵ نشان داده شده است. به جهت برآورد تراکم تعداد شکستگی هایی که با خط اسکن برخورد نمود شمارش گردید و با توجه به مقیاس، نسبت به طول اسکن مقدار تراکم محاسبه گردید:

$$\text{درصد تراکم} = \frac{\text{تعداد شکستگی}}{\text{طول اسکن}} \times 100$$

جدول ۳-۱۴- تراکم شکستگی در ایستگاه ۲ (سازند الیکا):

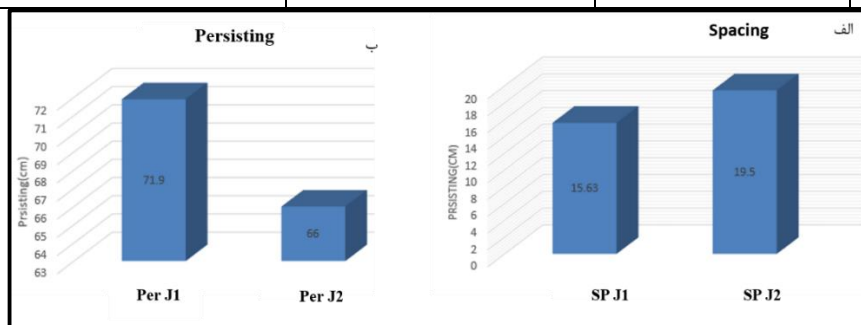
تراکم ۲	تعداد برخورد	طول اسکن	ایستگاه ۲
4.5	41	9M	اسکن افقی
5	45	9M	اسکن مایل
3.8	27	7M	اسکن قائم



شکل ۳-۵۳- اسکن خطی مایل، قائم و افقی ترسیم شده در ایستگاه ۲ (سازند الیکا)

جدول ۳-۱۵- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1 ۱۵,۶۳	۷۱,۹	۲,۹۱
J2 ۱۹,۵	۶۶	۱,۱۵



شکل ۳-۵۴- الف- نمودار ستونی میانگین فاصله‌داری spacing دسته‌درزه J1 و J2 در ایستگاه (۲) ب- نمودار ستونی میانگین persisting (تداوم) دسته درزه J1 و J2 در ایستگاه (۲)

براساس جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ دسته درزه J1 و J2 از لحاظ فاصله عمودی در رده درزه‌های نزدیک جای می‌گیرند. از نظر تداوم دسته درزه J1 در رده درزه با تداوم بسیار کم و دسته درزه J2 در رده درزه با تداوم بسیار کم جای می‌گیرند.

۳-۱۱-۳- ایستگاه ۳ (S3)

رخنمون دیگری از سازند الیکا در موقعیت جغرافیایی $52^{\circ}22'3''N$ و $36^{\circ}16'25''E$ شمال باختری دره هراز مورد بررسی قرار گرفت. (شکل ۳-۵۵). موقعیت درزه‌های برداشت‌شده این سازند در جدول ۳-۱۶ نشان داده شده است. استریوگرام شکستگی‌های در ایستگاه ۳ (سازند الیکا) در شکل ۳-۵۶ نشان داده شد. نمودار گل‌سرخ و نمودار هم‌تراز قطب شکستگی‌های در شکل ۳-۵۷ قابل مشاهده می‌باشد. براساس نمودار هم‌تراز قطب شکستگی، دودسته شکستگی با موقعیت $N33^{\circ}W/42^{\circ}SW$; $N48^{\circ}E/42^{\circ}SE$ روند اصلی شکستگی در این ایستگاه می‌باشد. موقعیت میانگین لایه‌بندی در این ایستگاه $N73^{\circ}W/38^{\circ}NE$ اندازه‌گیری گردید. درزه‌ها غالباً دارای بازشدگی می‌باشند سطح درزه‌ها نیز

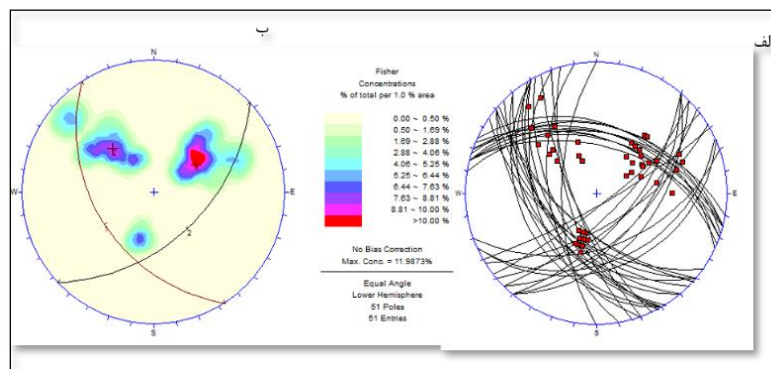
ناهموار و زبر است. زاویه بین دودسته شکستگی ۶۰ درجه اندازه‌گیری شد. براساس این نمودار دسته درزه J1 با میانگین موقعیت $N48^{\circ}E/42^{\circ}SE$ در بازه امتداد ۴۰ تا ۶۰ درجه است. نمودار جهت شیب بازه ۱۳۰ تا ۱۶۵ درجه را برای این دسته نشان می‌دهد. میزان پراکندگی آن ۲۶ درصد است. و دسته درزه J2 با موقعیت میانگین $N33^{\circ}W/42^{\circ}SW$ در بازه امتدادی ۳۰۰ تا ۳۴۰ درجه قرار دارد. و نمودار جهت شیب بازه ۲۱۵ تا ۲۶۰ درجه را نشان می‌دهد. و پراکندگی این دسته درزه ۴۶ درصد می‌باشد. نمودار ویژگی‌های سطح درزه در جدول ۳-۱۷ نشان داده شده است. دسته درزه J1 و J2 در رده درزه‌های مایل نسبت به لایه‌بندی قرار دارند.



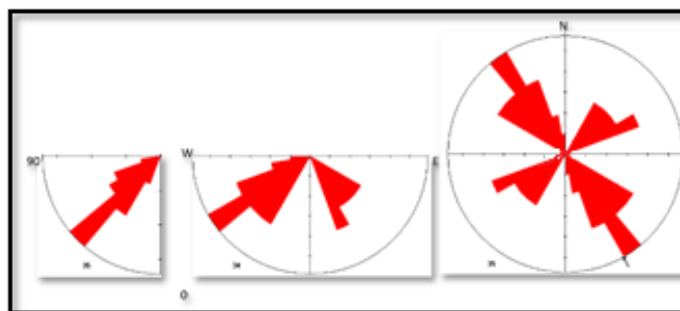
شکل ۳-۵۵- تصویر صحرایی از رخمون سازند الیکا با موقعیت لایه‌بندی $N73^{\circ}W/38^{\circ}NE$ به همراه شکستگی در واحدهای آهکی در ایستگاه ۳ دید عکس شمال باختری می‌باشد.

جدول ۳-۱۶ داده‌های برداشت شده از سطح شکستگی و لایه‌بندی در ایستگاه ۳

Dip	DIP.DIR	Dip	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
40	10	40	220	35	155
35	15	50	220	35	155
45	15	60	220	30	156
50	15	60	222	45	160
40	15	50	225	50	215
40	15	48	230	60	270
35	18	40	230	60	140
40	20	45	238	80	142
45	20	50	240	62	148
45	23	35	240	40	250
35	25	45	240	65	254
50	130	30	240	50	260
42	130	30	240	70	245



شکل ۳-۵۶- استریوگرام شکستگی‌های در ایستگاه ۳ (سازند الیکا): الف- تصویر استریوگرافیک سطوح قطب شکستگی‌ها به همراه سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N73^{\circ}W/38^{\circ}NE$ ب- صفحه میانگین دسته درزه به همراه کنتور دیاگرام تمرکز قطب که نشانگر دودسته درزه در این ایستگاه با موقعیت میانگین $N33^{\circ}W/42^{\circ}SW$ و دسته دوم با موقعیت میانگین $N48^{\circ}E/42^{\circ}SE$ است.

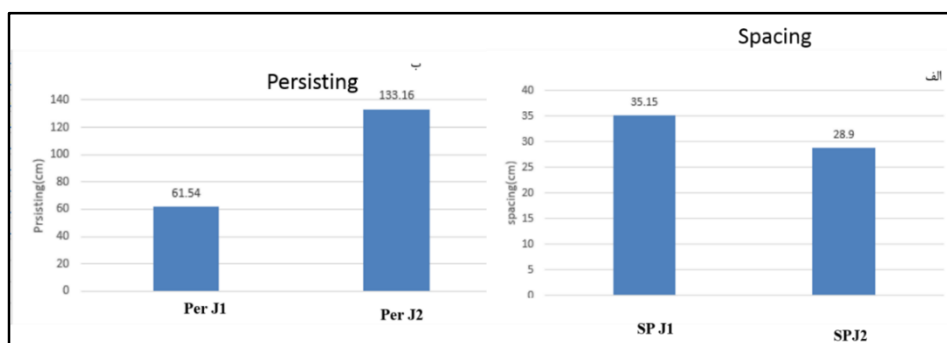


شکل ۳-۵۷- نمودار گل سرخی امتدادی ب- نمودار گل سرخی جهت شیب ج- نمودار گل سرخی شیبی

جدول ۳-۱۷- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه ۳

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1 ۹,۸	۱۱۱,۱	۲,۷۸
J2 ۸,۴	۱۱۰,۳	۱,۷۲

ویژگی درزه‌ها بصورت نمودار ستونی در شکل ۳-۵۸ نشان داده شد. غالب درزه‌ها دارای بازشدگی می باشند که در شکل ۳-۵۹ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۵۸ الف- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ب- نمودار میانگین تداوم درزه J1, J2

براساس جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2 از لحاظ فاصله عمودی در رده درزه‌های دور از هم جای می‌گیرند. از نظر تداوم دسته درزه J1 در رده درزه با تداوم بسیار کم و دسته درزه J2 در رده درزه با تداوم کم جای می‌گیرند.



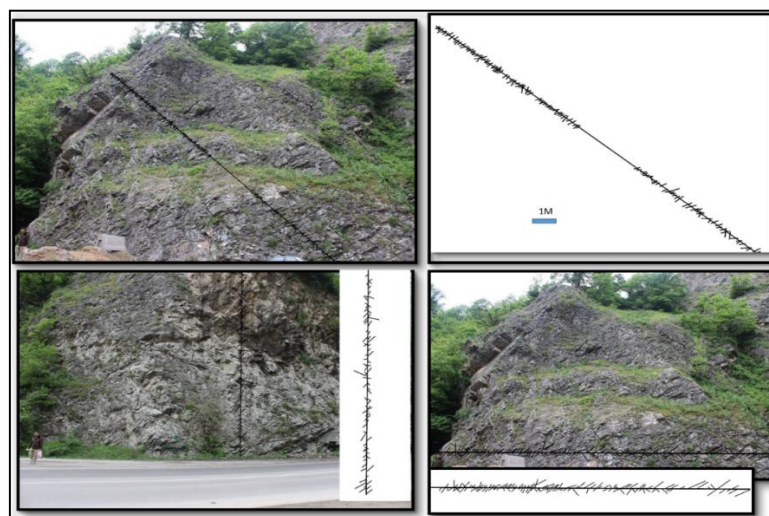
شکل ۳-۵۹ بازشدگی دسته درزه‌ها در واحد آهکی الیکا به همراه سطوح ناهموار در سطح درزه

به منظور تعیین تراکم شکستگی در این ایستگاه سه خط اسکن افقی و مایل و قائم در نظر گرفته شد و

تعداد برخورد اثر سطح شکستگی نیز مشخص گردید نتایج در جدول ۳- نشان داده شده است

جدول ۳-۱۸ تراکم شکستگی در ایستگاه ۳

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
۵,۴۷	۱۰۴	۱۹	افقی
۷,۷	۱۱۵	۱۴	مایل
۸,۲۱	۷۷	۱۰	قائم

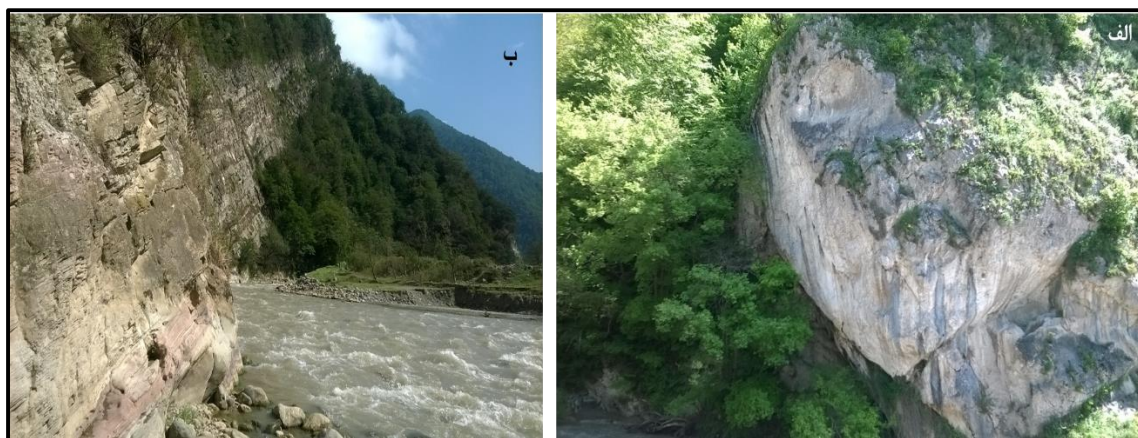


شکل ۳-۶۰- نمونه‌گیری خط اسکن در ایستگاه ۳ به سه روش افقی، مایل و قائم

۳-۱۱-۴- ایستگاه ۴ (S4)

رخنمونی از سازند الیکا در بخش شمال خاوری دره عریض هراز واقع شده است. این رخنمون به صورت پرتگاه با شیب تقریباً قائم در حاشیه رودخانه هراز مانعی برای دسترسی به بخش شمال خاوری دره هراز شده است. (شکل ۳-۶۱). تصویر صحرایی از سطح شکستگی در شکل ۳-۶۲ قابل مشاهده است. موقعیت درزه‌های برداشت شده در این ایستگاه در جدول ۳-۱۹ نشان داده شده است. استریوگرام و نمودار گل‌سرخی داده‌های مذکور ترسیم گردید شکل (۳-۶۳) و (۳-۶۴). روند غالب شکستگی براساس مشاهدات صحرایی شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری - جنوب خاوری تعیین گردید. براساس بررسی آماری ۱۷ درصد از شکستگی در این ایستگاه دارای پرشدگی است جنس مواد پرکننده بیشتر از سیمان آهکی و درصد کمی از گل می‌باشد. بر اساس نمودار هم‌تراز قطب شکستگی‌ها و نمودار گل‌سرخی ترسیم شده برای این ایستگاه شکستگی با موقعیت $N43^{\circ}W/58^{\circ}SW$, $N33^{\circ}E/74^{\circ}SE$ روند غالب شکستگی‌ها است. موقعیت میانگین لایه‌بندی $N73^{\circ}W/37^{\circ}NE$ است. زاویه بین دو دسته شکستگی ۸۵ درجه اندازه‌گیری شد. بر اساس نمودار گل‌سرخی دسته درزه J1 با موقعیت میانگین $N33^{\circ}E/74^{\circ}SE$ بازه امتداد ۲۵-۵۰ درجه و براساس نمودار جهت شیب بازه ۱۱۵-۱۵۰ درجه را نشان

می‌دهد این دسته ۶۷/۴۴ درصد شکستگی در این ایستگاه را تشکیل می‌دهد. دسته درزه J2 با موقعیت $N43^{\circ}W/58^{\circ}SW$ در بازه امتداد ۳۰۰-۳۲۰ درجه و با توجه به نمودار گل‌سرخ‌ی جهت شیب در بازه ۲۱۶-۲۴۰ درجه قرار دارد و ۳۲/۵۵ درصد از شکستگی‌های برداشت‌شده در این ایستگاه را شامل می‌شود. میانگین آماری ویژگی سطح درزه در جدول ۳-۲۰ نشان داده شده است. دسته درزه J1 و J2 نسبت به لایه‌بندی در رده درزه مایل طبقه‌بندی می‌شوند.



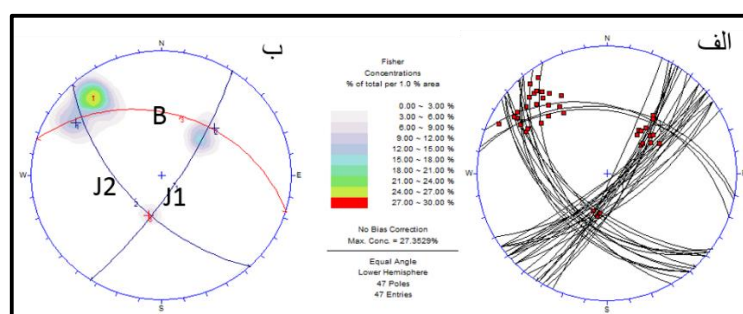
شکل ۳-۶۱- الف- نمایی از پرتگاه در سازند الیکا دید عکس خاور-شمال خاور ب- تصویر صحرایی لایه‌بندی واحد الیکای بالا با موقعیت میانگین $N73^{\circ}W/37^{\circ}NE$ و اثر شکستگی‌ها بروی واحدهای آهکی الیکا در بخش شمال خاوری منطقه مورد مطالعه، دید عکس جنوب خاور



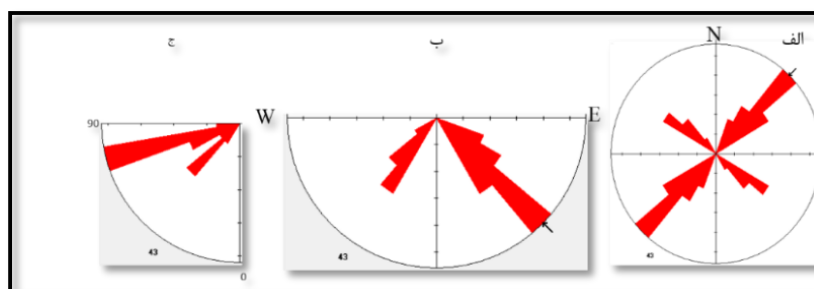
شکل ۳-۶۲- الف- تصویر صحرایی از سطح شکستگی با موقعیت $N33^{\circ}E/74^{\circ}SE$ در واحدهای آهکی الیکا (دید عکس شمال-شمال خاور) ب- اثر شکستگی در واحد الیکا با موقعیت $N43^{\circ}W/58^{\circ}SW$ (دید عکس جنوب-جنوب باختر)

جدول ۳-۱۹- برداشت‌های انجام‌شده از سطح شکستگی در ایستگاه ۴

DIP	DIP/DIR	DIP	DIP/DIR	DIP	DIP/DIR	DIP	DIP/DIR
70	118	80	135	78	142	60	218
70	120	80	138	60	145	50	220
75	120	70	140	65	145	50	220
78	122	75	140	75	145	58	220
80	122	80	140	75	145	48	228
80	125	80	140	85	145	38	230
80	125	80	140	70	150	40	230
65	128	80	140	45	216	40	230
78	130	80	140	42	218	50	230
65	135	85	115	75	135	45	235
85	140	46	218	50	240		

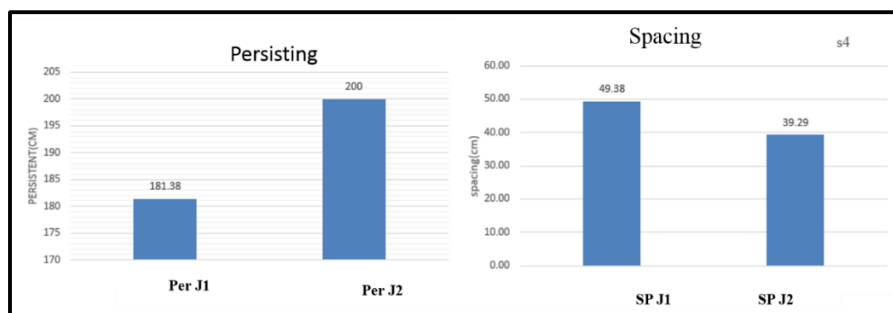


شکل ۳-۶۳ استریوگرام شکستگی‌ها در ایستگاه ۴ (سازند الیکا) الف - تصویر استریوگرافیک سطوح و قطب شکستگی‌های ب- سطح میانگین شکستگی و لایه‌بندی



شکل ۳-۶۴ الف- نمودار گل‌سرخی امتدادی ب- نمودار گل‌سرخی جهت شیب ج- نمودار گل‌سرخی شیبی سطوح شکستگی

میانگین ویژگی آماری درزه بصورت نمودار ستونی در شکل ۳-۶۵ نشان داده شد. این ویژگی‌ها در جدول ۳-۲۰ قابل مشاهده است.



شکل ۶۵-۳ الف- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ب- نمودار میانگین تداوم در دسته درزه

جدول ۳-۲۰- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه ۴

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۱۸۱,۳۸	۵,۳۴
J2	۴۹,۳۸	۶,۱۴

براساس جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ دسته درزه J1 , J2 از لحاظ فاصله عمودی در رده درزه‌هایی با فاصله‌داری

متوسط جای می‌گیرند. از نظر تداوم دسته درزه J1 و J2 در رده درزه با تداوم کم جای می‌گیرند.

در این ایستگاه خط اسکن افقی، مایل و قائم در نظر گرفته شد و با توجه به آن تعداد برخورد شکستگی

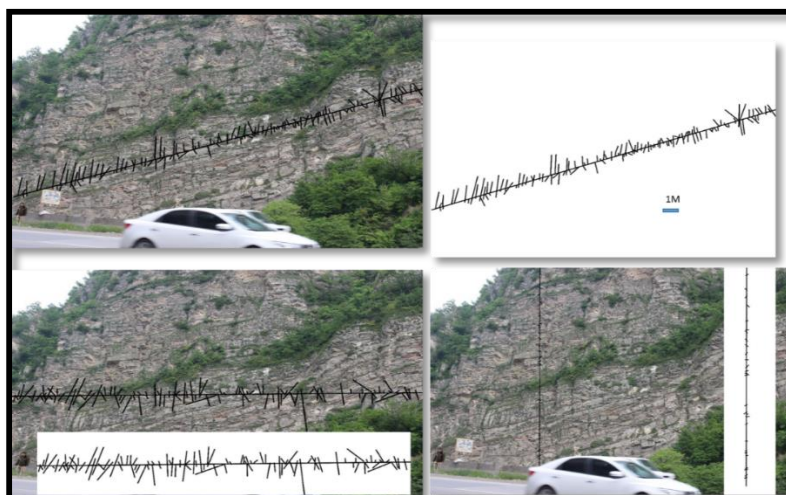
با خط اسکن و تراکم شکستگی محاسبه شد نتایج در جدول ۳-۲۱ نشان داده شد.

جدول ۳-۲۱- تراکم شکستگی در ایستگاه ۴

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
46	46	12	افقی
40	40	6	مایل
22	22	4	قائم

تراکم شکستگی در این ایستگاه به روش خطی محاسبه شد. نمونه خط اسکن در ایستگاه ۴ به سه

روش افقی، مایل و قائم در شکل ۳-۶۶ قابل مشاهده است.

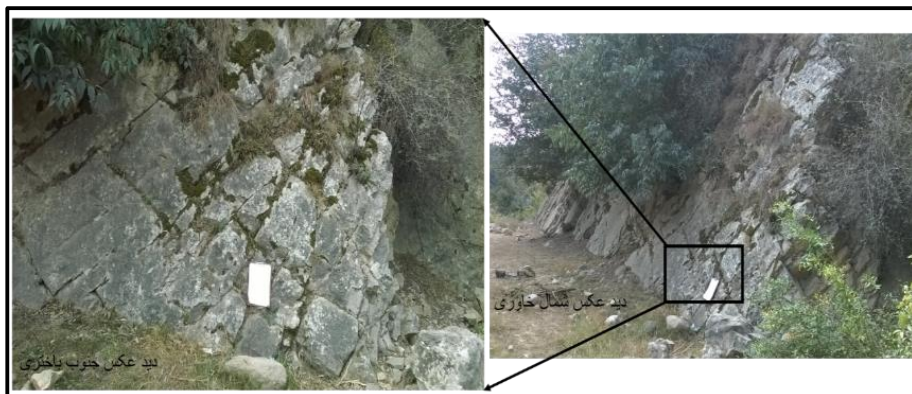


شکل ۳-۶۶- نمونه گیری خط اسکن در ایستگاه ۳ به سه روش افقی، مایل و قائم

۳-۱۱-۵- ایستگاه ۵ (S5)

رخنمون دیگر از سازند الیکا در بخش خاوری دره هراز، حاشیه رودخانه در مسیر جاده فرعی چلاو قابل مشاهده است (۳-۶۷). موقعیت جغرافیایی این رخنمون $52^{\circ}22'9/80''E$ و $36^{\circ}14'31,20''N$ می باشد. برداشت های انجام شده در این ایستگاه در جدول ۳-۲۲ نشان داده شده است. روند غالب شکستگی در این ایستگاه شمال خاوری-جنوب باختری و شمال باختری-جنوب خاوری است. شکستگی ها دارای بازشدگی هستند (۳-۶۸). استریوگرام شکستگی های در شکل ۳-۶۹ ترسیم شد. براساس نمودار گل سرخی دودسته شکستگی با موقعیت $N38^{\circ}W/51^{\circ}SW$; $N56^{\circ}E/43^{\circ}SE$ روند اصلی شکستگی در این ایستگاه است (۳-۷۰). موقعیت میانگین لایه بندی در این ایستگاه $N76^{\circ}W/52^{\circ}NE$ اندازه گیری گردید. براساس این نمودار دسته درزه J1 در بازه امتدادی ۲۰-۵۰ درجه و براساس نمودار جهت شیب در بازه ۱۱۰-۱۶۰ درجه می باشد. با توجه به نمودار گل سرخی امتدادی دسته درزه J2 در بازه امتداد ۳۲۰-۳۶۰ درجه و براساس نمودار جهت شیب در بازه ۲۴۵-۲۷۰ درجه قرار دارد. درزه ها غالباً دارای بازشدگی می باشند سطح درزه ها نیز ناهموار و زبر می باشد. زاویه بین دودسته شکستگی ۶۰ درجه می باشد. ۵/۵ درصد از درزه های ایستگاه را دسته درزه J1 با موقعیت $N56^{\circ}E/43^{\circ}SE$ شامل می شود. دسته درزه J2 با موقعیت $N38^{\circ}W/51^{\circ}SW$ ۳۰ درصد از درزه های ایستگاه را تشکیل می دهد.

دسته J1 و J2 نسبت به لایه‌بندی مایل است. ویژگی‌های سطح هر دسته درزه در جدول ۳-۲۳ نشان داده شده است. میانگین آماری ویژگی درزه در جدول ۳-۲۳ نشان داده شده است.



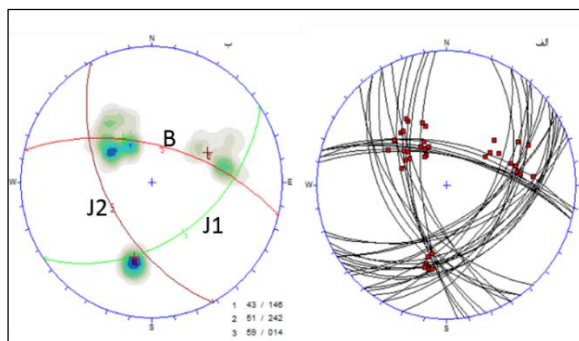
شکل ۳-۶۷- تصویر صحرایی از سطح لایه‌بندی با موقعیت $N76^{\circ}W/52^{\circ}NE$ و درزه‌های ایجاد شده روی سطح لایه



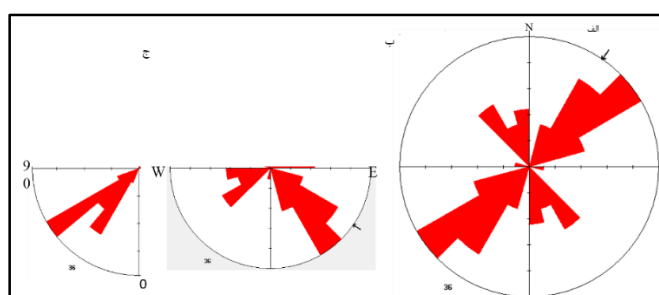
شکل ۳-۶۸- تصویری از بازشدگی سطح درزه به همراه سطح ناهموار درزه دید عکس جنوب خاور

جدول ۳-۲۲- داده‌های برداشت شده از درزه‌های ایجاد شده در ایستگاه ۵

DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
40	120	35	150	30	142	55	252
55	120	40	152	30	145	58	255
38	125	35	155	38	145	58	260
38	125	53	158	35	148	58	260
45	128	50	160	58	148	60	262
45	128	53	228	68	265	60	148
45	128	40	235	40	110	60	148
42	130	45	235	55	140	70	245
55	130	50	240	55	138	65	240



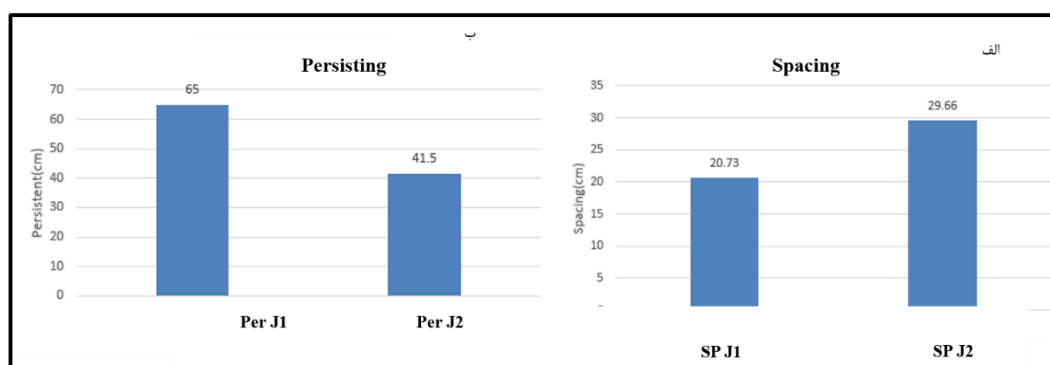
شکل ۳-۶۹- استریوگرام شکستگی‌های در ایستگاه ۵ (سازند الیکا): الف- تصویر استریوگرافیک سطوح و شکستگی‌های و لایه‌بندی ب- سطوح میانگین برای دودسته شکستگی به همراه لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N76^{\circ}W/52^{\circ}NE$



شکل ۳-۷۰- الف- نمودار گل‌سرخی امتدادی ب- نمودار گل‌سرخی جهت شیب ج- نمودار گل‌سرخی شیبی درزه‌ها

جدول ۳-۲۳- میانگین آماری ویژگی‌های درزه در ایستگاه ۵

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۲۰,۷۳	۶
J2	۲۹,۶۶	۴,۵



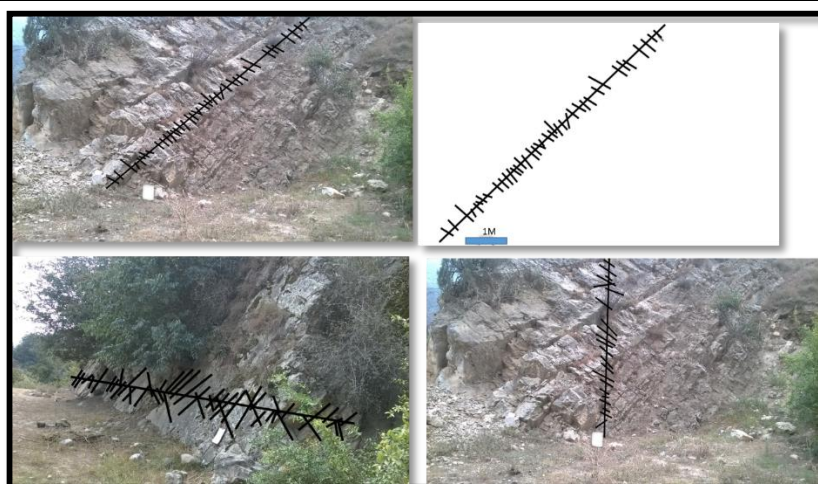
شکل ۳-۷۱- الف- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ب- نمودار میانگین تداوم در دسته درزه J1, J2

با توجه به جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2 از لحاظ فاصله‌داری در گروه درزه با فاصله‌داری متوسط جای دارند. هردو دسته درزه در ردیف درزه با تداوم بسیار کم جای می‌گیرند.

به‌منظور بررسی میزان تراکم شکستگی در این ایستگاه اسکن خطی در نظر گرفته شد (۳-۷۲). و تعداد برخورد اثر شکستگی با اسکن خطی شمارش گردید و در نهایت نتایج در جدول ۳-۲۴ نشان داده شد.

جدول ۳-۲۴- تراکم شکستگی در ایستگاه ۵

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
3.8	46	12	افقی
6.6	40	6	مایل
5.5	22	4	قائم



شکل ۳-۷۲- نمونه‌گیری خط اسکن در ایستگاه ۵ به سه روش افقی، مایل و قائم

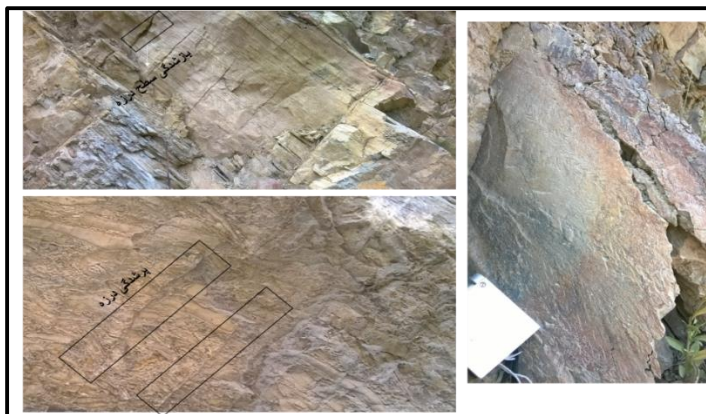
۳-۱۱-۶- ایستگاه ۶ (S6)

رخنمونی دیگر از سازند الیکا در بخش باختری دره هراز در فاصله حدود ۱۵۰ متری گسل شمال البرز قابل مشاهده است (شکل ۳-۷۳). موقعیت درزه‌های برداشت شده ایستگاه در جدول ۳-۲۵ نشان داده شده است. موقعیت میانگین لایه‌بندی $N70^{\circ}W/40^{\circ}NE$ می‌باشد. درزه‌ها غالباً دارای بازشدگی می‌باشند (۳-۷۴). استریوگرام شکستگی‌ها در شکل ۳-۷۵ نشان داده شده است. نمودار گل‌سرخ داده‌های این ایستگاه در شکل ۳-۷۶ قابل مشاهده است. براساس این نمودار سه دسته شکستگی در این ایستگاه

قابل تشخیص است. در این محدوده بروی شکستگی با روند شمال باختر-جنوب خاور سطوحی لغزشی به همراه خراش‌های گسلی قابل مشاهده می‌باشد. می‌توان عنوان نمود که دو دسته شکستگی در ابتدا ایجاد گردید در مراحل اعمال تنش‌های بعدی، نیروی وارده بر سطوح ضعف که همان سطح شکستگی ایجاد شده از قبل می‌باشد منجر به جابجایی و گسترش شکستگی و ایجاد سطح لغزش‌های کوچک در منطقه گردید. براساس نمودار گل‌سرخ امتدادی دسته درزه J1 با موقعیت میانگین $N49^{\circ}E/39^{\circ}SE$ در بازه $30^{\circ}-45^{\circ}$ درجه و با توجه به نمودار گل‌سرخ جهت شیب در بازه $130^{\circ}-145^{\circ}$ درجه قرار دارد. دسته درزه J2 با موقعیت میانگین $N25^{\circ}W/65^{\circ}SW$ در بازه امتداد $320^{\circ}-340^{\circ}$ و بازه جهت شیب $220^{\circ}-250^{\circ}$ است. سطوح درزه دارای بازشدگی می‌باشند. در بعضی از سطوح درزه می‌توان پرشدگی توسط کانی‌های ثانویه را مشاهده نمود. دسته درزه J3 با موقعیت $N67^{\circ}W/54^{\circ}NE$ در بازه امتداد $300^{\circ}-310^{\circ}$ درجه و بازه جهت شیب $30^{\circ}-40^{\circ}$ درجه است. از لحاظ آماری دسته درزه J2 $53/33$ درصد، دسته درزه J1 میزان $28/88$ درصد و دسته J3 حدود $17,7$ درصد شکستگی سنگ را در این ایستگاه شامل می‌شوند. دسته درزه J2 و J3 نسبت به لایه‌بندی مایل است دسته درزه J3 نسبت به لایه‌بندی در رده درزه امتدادی می‌باشد. زاویه 80° درجه بین J1 و J2 همچنین زاویه 72° درجه بین J1 و J3 و زاویه 46° درجه بین J2 و J3 حاکم است. ویژگی‌های سطح هر دسته درزه در جدول ۳-۱۹ نشان داده شده است.



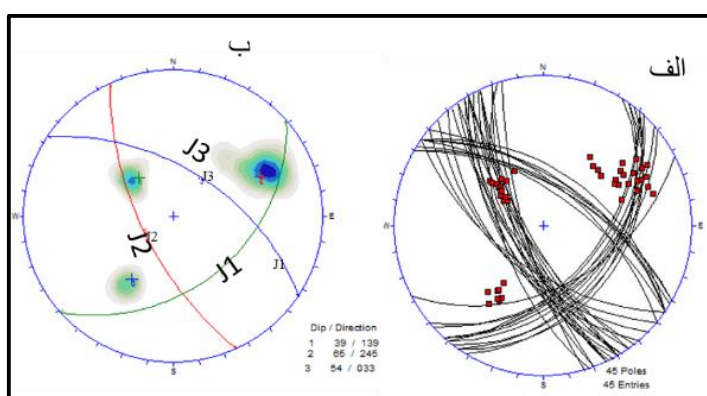
شکل ۳-۷۳ تصویر صحرایی از لایه‌بندی و شکستگی در سازند الیکا ایستگاه ۶ (دید عکس جنوب باختر)



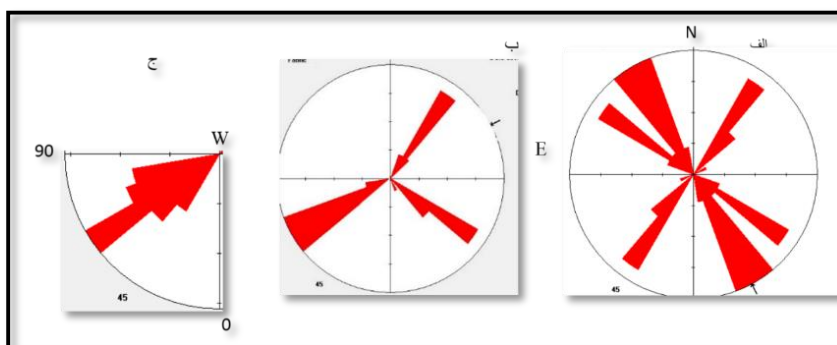
شکل ۳-۷۴: تصویری از سطح درزه و بازشدگی و پرشدگی درزه

جدول ۳-۲۵: داده‌های برداشت‌شده از سطوح شکستگی در ایستگاه ۶

DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	
60	30	35	122	45	138	65	235	72	245	
58	30	32	125	42	140	60	238	70	245	
60	32	38	125	45	152	65	238	75	245	
50	35	35	128	58	215	78	240	74	250	
56	35	50	130	55	220	70	240	74	250	
55	35	48	130	55	225	58	240	68	250	
65	35	40	130	54	230	75	240	68	250	
60	40	40	130	68	232	60	242	58	252	
42	132	45	132	75	235	65	244	75	254	



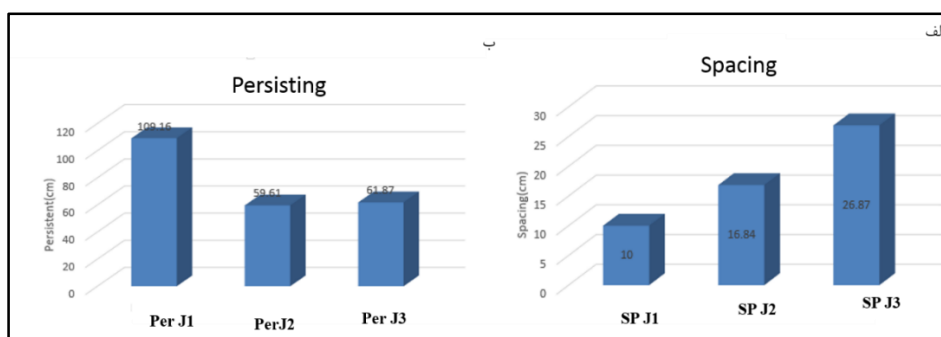
شکل ۳-۷۵: الف- استریوگرام سطوح درزه به همراه قطب صفحات در ایستگاه ۶ ب- نمودار هم‌تراز قطب شکستگی و صفحات میانگین سه دسته شکستگی و سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N70^{\circ}W/40^{\circ}NE$.



۷۶-۳- نمودار گل سرخی امتدادی ب- نمودار گل سرخی جهت شیب ج- نمودار گل سرخی شیبی سطوح درزه

جدول ۳- ۲۶- میانگین آماری ویژگی های درزه در ایستگاه ۶

فاصله داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۱۰	۱۰۹,۱۶
J2	۱۶,۸۴	۵۶,۶۱
J3	۲۹,۸۷	۶۱,۸۷

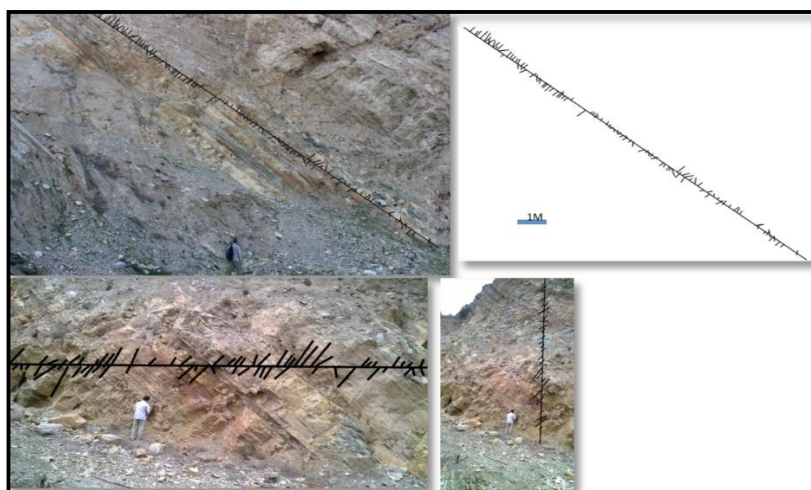


شکل ۷۷-۳- الف- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1,J2,J3 ب- نمودار میانگین تداوم درزه J1,J2,J3

براساس جدول ۹-۳- بر مبنای فاصله داری دسته درزه J1,J2 در رده دسته درزه با فاصله داری نزدیک و دسته درزه J2 در رده متوسط قرار می گیرد. با توجه به جدول ۱۰-۳- دسته درزه J1 در رده دسته درزه با تداوم کم و دسته درزه J2,J3 در رده بسیار کم جای می گیرند. به منظور بررسی تراکم شکستگی اسکن خطی در ایستگاه در نظر گرفته (۷۸-۳) و نتایج در جدول (۲۷-۳) نشان داده شد.

جدول ۳-۲۷- تراکم شکستگی در ایستگاه ۶

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
4.2	64	15	افقی
5	95	19	مایل
2.4	27	11	قائم

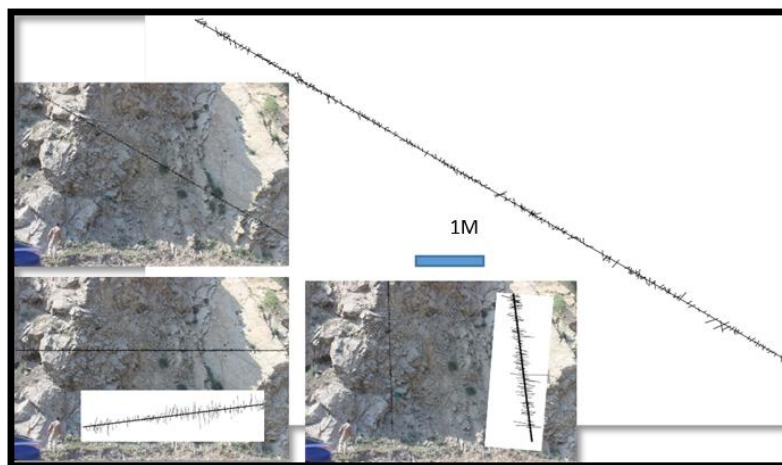


شکل ۳-۷۸- نمونه اسکن خطی (افقی، مایل، قائم) در ایستگاه ۶ سازند الیکا

به منظور بررسی وضعیت تراکم شکستگی در محدوده گسل منگل (شمال البرز) در دو ایستگاه برداشت صورت گرفت و نتایج در جدول ۳-۲۸ و ۳-۲۹ بیان شد. با توجه به اینکه بررسی تراکم بصورت آماری انجام می شود بنابراین سعی شد از خط اسکنی استفاده شود که با بیشترین تمرکز اثر شکستگی برخورد داشته باشد. این اسکن به صورت مایل در نظر گرفته شد. (شکل ۳-۷۹ و ۳-۸۰)

جدول ۳-۲۸- تراکم شکستگی در سازند الیکا اطراف گسل شمال البرز (A.N.F)

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
۱۹,۶	۲۰۰	۱۲	افقی
۱۷,۸۴	۲۳۲	۱۳	مایل
۱۱,۲۵	۹۰	۸	قائم



شکل ۳-۷۹- سازند الیکا در محدوده گسل شمال البرز



شکل ۳-۸۰- نمونه اسکن خطی در سازند الیکا (منطقه پرن)

جدول ۳-۲۹- تراکم شکستگی در سازند الیکا منطقه پرن

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
4.9	68	14	افقی
7.3	110	15	مایل
3.8	23	6	قائم

۳-۱۱-۷- درزه‌ها در سازند روته s7

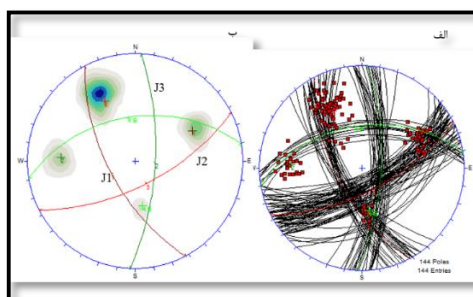
رخنمون سازند روته بعد از منطقه کلرد در دامنه شیم کوه و شمال روستای پرن قابل مشاهده است (شکل ۳-۸۱). این رخنمون حدود ۱۵۰ متر از گسل شمال البرز (مطابق با نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰: ۱۰م) فاصله دارد که در فرودیواره این گسل و گسل چلاو واقع شده است. موقعیت لایه‌بندی $N84^{\circ}E/45^{\circ}NW$ است. شکستگی‌های منطقه غالباً دارای بازشدگی می‌باشند و رشد کانی‌های ثانویه در سطح درزه به خوبی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۸۲). داده‌های برداشت شده از شکستگی‌ها، در این ایستگاه در جدول ۳-۳۰ نشان داده شده است. استریوگرام این شکستگی‌ها در شکل ۳-۸۳ ترسیم شد. تحت تأثیر تنش‌های اعمال شده واحدهای آهکی و شیلی سازند متحمل شکستگی شده است. به هم‌ریختگی چینه‌شناسی در این بخش مشاهده نشد. تنش‌های حاکم بر منطقه منجر به شکستگی، گسیختگی در واحدهای سنگی گردید. ویژگی آماری درزه‌ها در جدول ۳-۳۱ بیان شد. با توجه به نمودار گل‌سرخ در شکل ۳-۸۴ سه دسته شکستگی در منطقه قابل مشاهده است. براساس این نمودار دسته درزه J1 با موقعیت $N28^{\circ}W/62^{\circ}SW$ در بازه امتداد ۵۰-۷۵ درجه و بازه جهت شیب ۲۳۰-۲۷۰ درجه ۵۲/۴ درصد از شکستگی در این ایستگاه را تشکیل می‌دهد. ، دسته درزه J2 با موقعیت $N62^{\circ}E/64^{\circ}SE$ در بازه امتداد ۵۵-۹۰ درجه و بازه جهت شیب ۱۴۰-۱۷۵ درجه حدود ۲۱,۳۷ درصد از شکستگی‌های این ایستگاه می‌باشد، دسته درزه J3 با موقعیت $N03^{\circ}E/69^{\circ}SE$ روند با غالب ۰-۳ درجه و بازه جهت شیب ۹۰-۹۵ درجه حدود ۱۶,۵ درصد از شکستگی‌ها این ایستگاه را تشکیل می‌دهند. وجود سه دسته شکستگی می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که احتمالاً دو مرحله تنش بر منطقه اعمال شده است و در هر فاز دو دسته شکستگی ایجاد گردید تحت تأثیر عملکرد استرس بر منطقه در فاز بعدی، تنش وارده بجای ایجاد شکستگی با روند جدید، در نقطه ضعف که شکستگی با روند قبلی می‌باشد تاثیرگذار بوده و تمرکز تنش موجب گسترش شکستگی قبلی و جابجایی در این سطح گردید. با توجه به نحوه قرارگیری درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی، دسته درزه J1 در رده شیبی، J2 امتدادی و J3 مایل قرار دارند. سه دسته درزه با زاویه، J1 و J2 ۷۸ درجه، J1 و J3 ۵۶ درجه، J2 و J3 ۵۰ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند.



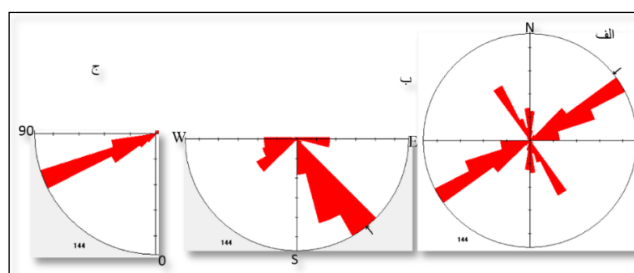
شکل ۳-۸۱- تصویر صحرایی از سازند روته به همراه شکستگی‌های ایجادشده در آن (دید عکس شمال - شمال خاور)



شکل ۳-۸۲- الف-رخنمونی از درزه متقاطع در سازند روته ب- دسته درزه‌های ایجادشده در سازند روته



شکل ۳-۸۳- استریوگرام شکستگی در ایستگاه ۱ (سازند روته) الف- تصویر استریوگرافیک شکستگی سطوح و قطب شکستگی به همراه سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N84^{\circ}E / 45^{\circ}NW$ ب- سطوح میانگین که روند غالب ۳ دسته درزه را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸۴ نمودار گل‌سرخ‌ی ترسیم شده مربوط به سازند روته الف-رز دیاگرام امتدادی ب نمودار گل‌سرخ‌ی جهت شیب ج- نمودار شیبی سطوح درزه

جدول ۳-۳۰ داده‌های برداشت‌شده از سازند آهکی روته

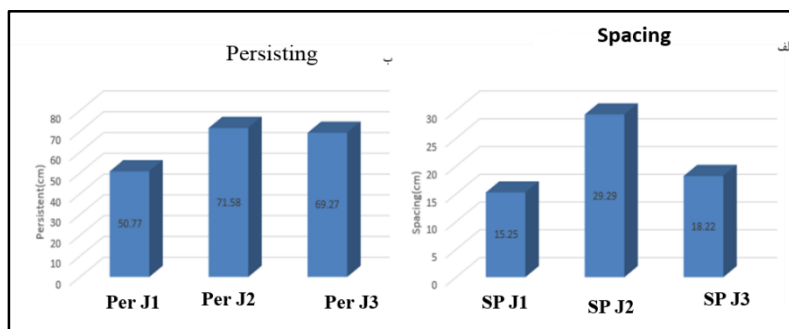
DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
72	162	75	140	65	155	52	165	60	86
65	160	30	138	35	140	62	95	68	95
82	162	72	160	72	144	63	85	68	240
70	98	74	165	70	150	62	242	65	250
72	95	72	162	68	152	60	240	60	235
65	86	70	162	76	150	68	235	52	240
68	102	72	164	74	146	62	254	48	355
70	85	75	150	75	150	60	252	65	170
70	150	70	152	58	140	60	235	72	240
75	150	68	150	65	145	52	240	65	242
60	150	75	152	54	148	60	353	64	255
78	155	65	148	65	152	42	345	64	258
55	170	68	158	62	140	68	85	60	255
68	155	70	152	80	150	42	356	46	358
70	150	72	142	75	150	64	240	48	352
78	154	80	168	80	150	72	90	45	356
70	158	70	154	65	85	68	240	54	358
84	156	55	145	60	250	75	240	65	242
58	235	72	160	60	140	50	148	78	100
60	230	72	160	70	240	45	130	65	155
65	225	60	140	35	155	65	238	60	140
62	150	68	145	58	160	55	142	72	93
70	155	75	110	52	148	74	82	74	86
68	152	40	135	50	350	66	245	55	143
65	158	80	154	55	352	70	97	70	140
68	148	82	150	68	238	74	100	40	355
65	245	70	165	70	238	70	92	80	142
70	248	72	148	58	150	78	94	76	85
65	246	65	96	65	150	80	88		

جدول ۳-۳۱- میانگین آماری ویژگی‌های درزه

فاصله‌داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۱۵,۲۵	۳,۶۸
J2	۲۹,۲۹	۴,۳۳
J3	۱۸,۲۲	۳,۰۴

براساس جدول ۳-۹- بر مبنای فاصله‌داری دسته درزه J1, J3 در رده دسته درزه با فاصله‌داری نزدیک

و دسته درزه J2 در رده متوسط قرار می گیرد. بر مبناء جدول ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2, J3 در رده دسته درزه با تداوم بسیار کم جای می گیرند.

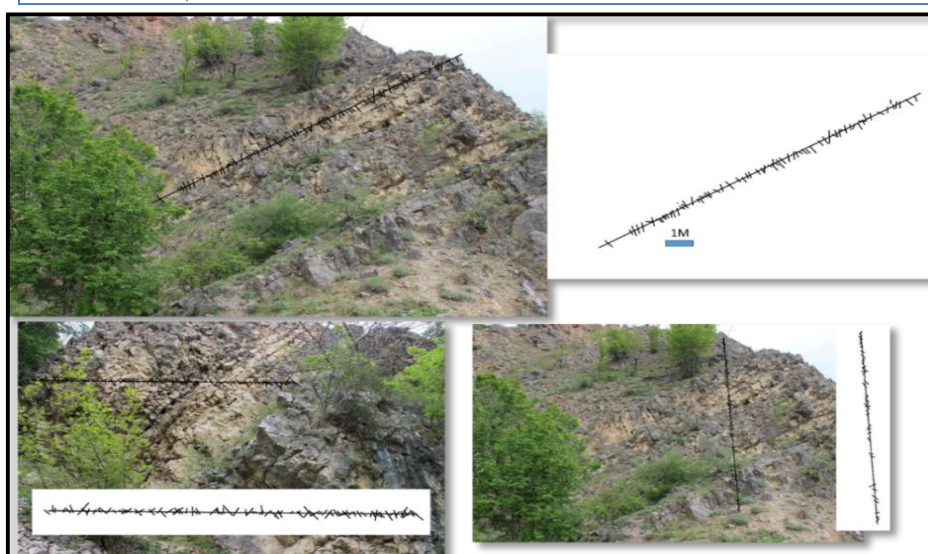


شکل ۳-۸۵- الف- میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2, J3 ب- میانگین تداوم در دسته درزه J1, J2, J3

تراکم شکستگی در این سازند به روش اسکن خطی تعیین گردید (شکل ۳-۸۶). در جدول ۳-۳۲ تعداد برخوردها و نتایج حاصله بر اساس طول اسکن نشان داده شده است. سعی شد خط اسکن به گونه ای در نظر گرفته شود که از تعداد بیشتری خط اثر شکستگی عبور نماید. لذا سه اسکن افقی مایل و قائم در ترسیم شد که دقت در اسکن مایل بیشتر است.

جدول ۳-۳۲- تراکم شکستگی در ایستگاه ۱ (سازند روته).

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
4.2	64	15	افقی
5	95	19	مایل
2.4	27	11	قائم



شکل ۳-۸۶- نمونه اسکن خطی از ایستگاه S7 سازند روته

۳-۱۱-۸- درزه‌ها در سازند روته ایستگاه s8

رخنمون دیگری از واحدهای سازند روته در حاشیه جاده هراز قابل مشاهده می‌باشد (۳-۸۷). این بخش از واحدهای آهکی در فرودیواره گسل شمال البرز با نام محلی گسل منگل (به استناد نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰) آمل و شواهد به دست آمده از مشاهدات صحرایی) واقع شده است. سطوح شکستگی به همراه بازشدگی و پرشدگی در شکل ۳-۸۸ قابل مشاهده است. موقعیت لایه‌بندی سازند روته در این بخش $N40^{\circ}W/12^{\circ}SW$ اندازه‌گیری شد. داده‌های برداشت شده از این شکستگی‌ها در جدول ۳-۳۳ نشان داده شده است. استریوگرام سطوح شکستگی در شکل ۳-۸۹ ترسیم شد. براساس نمودار گل سرخی در شکل ۳-۹۰ دسته درزه J1 با موقعیت در $N50^{\circ}W/62^{\circ}NE$ در بازه امتداد $295^{\circ}-330^{\circ}$ درجه و بازه جهت شیب $20^{\circ}-60^{\circ}$ درجه 57.6° درصد از شکستگی در این ایستگاه را تشکیل می‌دهد. با توجه به نمودار گل سرخی در شکل ۳-۹۰ دسته درزه J2 با موقعیت در $N56^{\circ}E/66^{\circ}SE$ در بازه امتداد $120^{\circ}-145^{\circ}$ درجه و بازه جهت شیب $125^{\circ}-155^{\circ}$ درجه حدود 42.3° درصد، از شکستگی‌های این ایستگاه را در بردارد. زاویه بین دو دسته درزه 62° درجه اندازه‌گیری شد. دسته درزه J2 نسبت به لایه‌بندی در دسته درزه‌های امتدادی قرار دارد و دسته درزه J2 نسبت به لایه‌بندی مایل است. دو دسته درزه با زاویه 75° درجه نسبت به هم تشکیل شده‌اند. بعضی از رخنمون‌های سنگی قابل مشاهده است



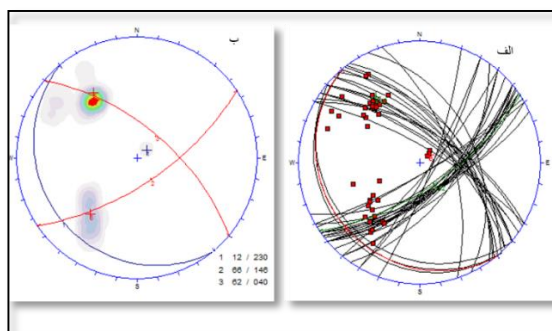
شکل ۳-۸۷- تصویر صحرایی سازند روته لایه‌بندی و شکستگی‌های در این رخنمون قابل مشاهده است.



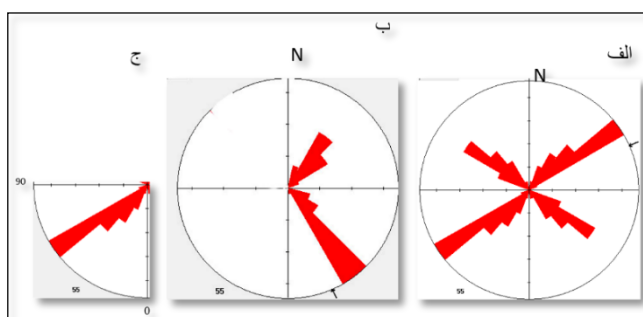
شکل ۳-۸۸- درزه‌های ایجاد شده در سازند روتنه

جدول ۳-۳۳- داده‌های برداشت شده از شکستگی در ایستگاه s8

DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
60	30	50	48	80	130	60	145
75	30	58	50	80	130	60	145
75	30	55	52	65	135	63	145
75	30	55	52	55	140	68	145
60	32	54	53	55	140	80	148
68	35	50	55	60	140	60	150
70	35	40	65	61	140	80	150
70	35	60	72	62	140	63	155
70	35	78	110	65	140	15	220
60	40	75	120	60	142	12	228
60	40	75	120	60	142	10	230
65	40	80	120	62	143	62	130
58	45	55	125	65	143	60	145
65	45	60	130	60	145		

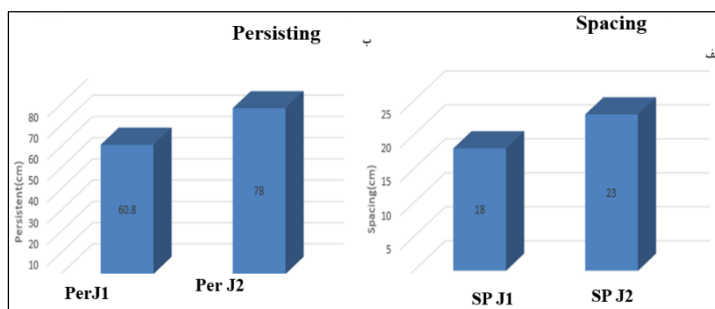


شکل ۳-۸۹- استریوگرام شکستگی‌های در ایستگاه ۲ سازند روته الف- تصویر استریوگرافیک سطوح و قطب شکستگی به همراه سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N40^{\circ}W/12^{\circ}SW$ ب- سطوح میانگین برای دو دسته شکستگی که روند غالب ۲ دسته درزه را در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹۰- رزیدیاگرام ترسیم شده از سطوح درزه در سازند روته: الف- نمودار گل‌سرخ امتدادی ب- نمودار گل‌سرخ جهت شیب ج- نمودار شیبی سطوح درزه

ویژگی‌های آماری درزه در نمودار ستونی شکل ۳-۹۱ و جدول ۳-۳۴ نشان داده شد



شکل ۳-۹۱- الف- نمودار میانگین فاصله عمودی دسته درزه J1, J2 ب- نمودار میانگین تداوم در دسته درزه J1, J2

جدول ۳-۳۴- میانگین آماری ویژگی‌های درزه

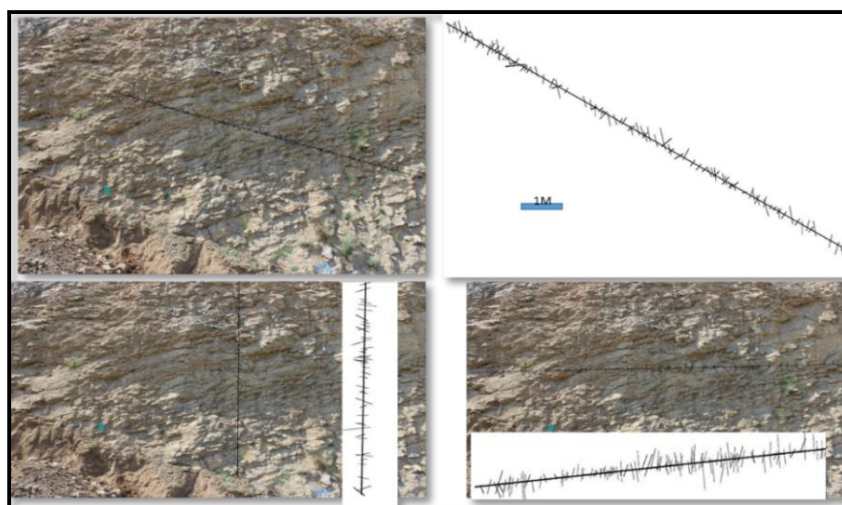
بازشدگی (mm)	طول درزه (cm)	فاصله‌داری (cm)	
۶۰٫۸	۶۰٫۸	۱۸	J1
۲	۷۸	۲۳	J2

براساس جدول ۳-۹- بر مبنای فاصله‌داری دسته درزه J1 در رده دسته درزه با فاصله‌داری نزدیک و دسته درزه J2 در رده متوسط قرار می‌گیرد. و براساس جدول ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2 در رده دسته درزه با طول بسیار کم جای می‌گیرند (جدول ۳-۳۴)

شکل ۳-۳۵- جدول تراکم شکستگی در ایستگاه ۲ سازند روته

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
7.6	107	14	افقی
10.9	109	10	مایل
5.75	46	8	قائم

جهت بررسی تراکم شکستگی در این ایستگاه اسکن خطی به سه روش قائم افقی و مایل در نظر گرفته شد (شکل ۳-۹۲). بهترین خطی که با بیشترین اثر شکستگی برخورد دارد خط اسکن مایل انتخاب گردید. نتایج در جدول ۳-۳۵- نشان داده شده است.



شکل ۳-۹۲- نمونه اسکن خطی در سازند روته

۳-۱۱-۹- سازند دورود s9

شکستگی‌های (درزه‌ها) سازند دورود در یک رخنمون مورد مطالعه قرار گرفت. تصویر صحرایی سازند دورود در شکل ۳-۹۳ نشان داده شده است. داده‌های برداشت شده از شکستگی‌ها در این سازند در جدول ۳-۳۶ نشان داده شده است. به منظور تعیین روند غالب شکستگی نمودار استریوگرام مرتبط با این سازند ترسیم گردید (شکل ۳-۹۴). براساس نمودار گل سرخی امتدادی در شکل ۳-۹۵- الف سه دسته

شکستگی در این سازند قابل تشخیص می‌باشد. موقعیت لایه‌بندی واحدهای دورود $N50^{\circ}W/36^{\circ}SW$ است. دسته درزه J1 با موقعیت $N02^{\circ}W/69^{\circ}E$ ۴۶ درصد، دسته درزه J2 با موقعیت $N82^{\circ}E/56^{\circ}SE$ حدود ۳۲ درصد، از شکستگی‌های این ایستگاه را تشکیل می‌دهند. دسته درزه J3 با موقعیت $N04^{\circ}E/42^{\circ}NW$ ۲۳ درصد از شکستگی‌های این ایستگاه را شامل می‌شود. سه دسته درزه با زوایای J1, J2، ۶۶ درجه J2, J3، ۵۷ درجه و J1, J3، ۲۲ درجه نسبت به هم تشکیل شده‌اند. درزه‌های منطقه غالباً دارای بازشدگی هستند (شکل ۳-۹۷). موقعیت قرارگیری درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی مایل است. ویژگی‌های سطح درزه در جدول ۳-۳۷ نشان داده شده است.

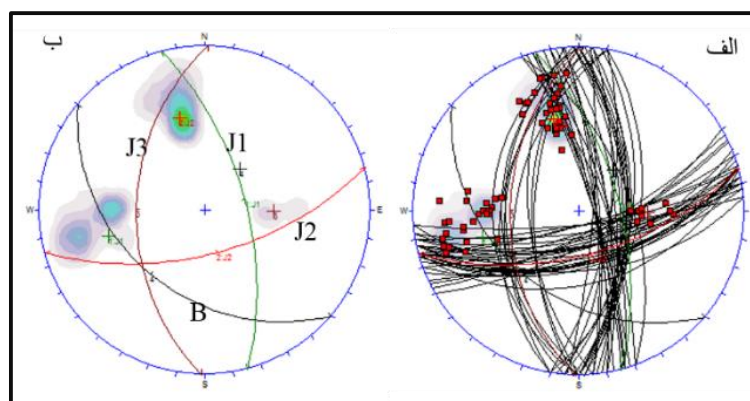


شکل ۳-۹۳- رخنمونی از سازند دورود با موقعیت لایه‌بندی $N50^{\circ}W/36^{\circ}SW$ دید عکس شمال

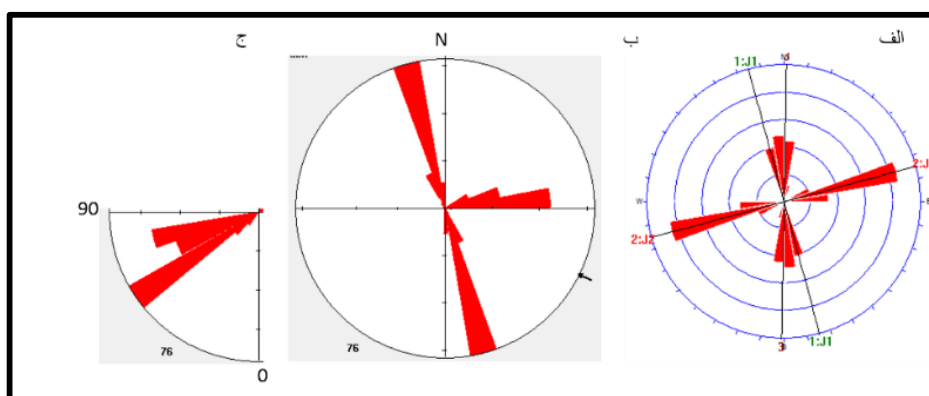
جدول ۳-۳۶- داده‌های برداشت شده از سازند دورود

DIP	DIP.DIR	DIP2	DIP.DIR3	DIP4	DIP.DIR5
55	70	58	90	54	168
55	70	76	90	58	168
55	70	80	94	60	172
85	70	54	98	65	174
78	72	68	100	50	175
80	74	50	100	64	175
85	74	56	100	55	176
78	74	58	102	65	176
80	75	55	106	68	177
80	78	56	106	66	178
78	80	58	115	58	180
80	80	54	164	70	182

78	80	52	164	60	185
65	84	54	165	54	258
85	85	56	165	48	262
78	85	54	165	50	264
62	88	56	165	56	265
58	88	68	165	48	268
42	90	65	168	42	268



شکل ۳-۹۴- الف- استریوگرام شکستگی‌های در سازند دورود الف- تصویر استریوگرافیک سطوح و قطب شکستگی به همراه سطح لایه‌بندی با موقعیت میانگین $N50^{\circ}W/36^{\circ}SW$ ب- سطوح میانگین برای سه دسته شکستگی

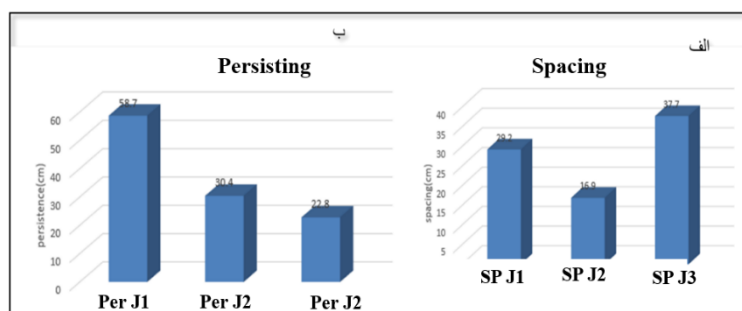


شکل ۳-۹۵- الف- نمودار گل‌سرخ امتدادی ب- نمودار جهت شیب ج- نمودار شیبی سطوح درزه

میانگین آماری ویژگی درزه‌ها در جدول ۳-۳۷ عنوان گردید. براساس جدول ۳-۹ بر مبنای فاصله‌داری دسته درزه J1, J3 در رده دسته درزه با فاصله داری متوسط قرار می‌گیرد دسته درزه J2 در رده فاصله‌داری نزدیک قرار دارد. و براساس جدول ۳-۱۰ دسته درزه J1, J2, J3 در رده دسته درزه با طول بسیار کم جای می‌گیرند. در شکل ۳-۹۷ درزه‌های تشکیل شده در سازند دورود نشان داده شد.

جدول ۳-۳۷- میانگین آماری ویژگی های درزه در سازند دورود

فاصله داری (cm)	طول درزه (cm)	بازشدگی (mm)
J1	۲۹,۲	۵۸,۷
J2	۱۶,۹	۳۰,۴
J3	۳۷,۷	۲۲,۸



شکل ۳-۹۶- الف- نمودار میانگین فاصله عمودی درزه J1, J2, J3- ب- نمودار میانگین طول درزه های J1, J2 و J3

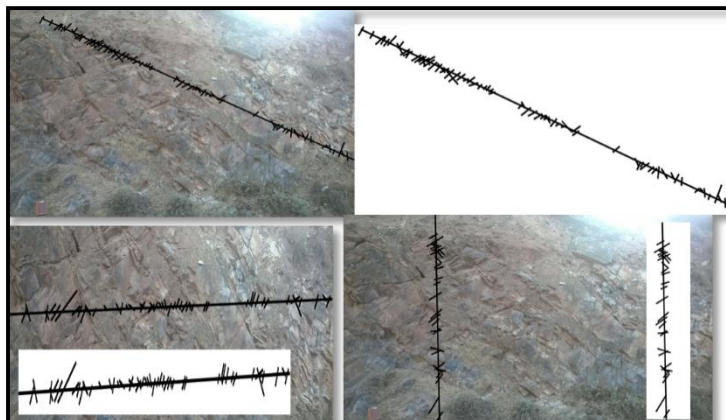


شکل ۳-۹۷- درزه تشکیل شده در واحدهای دورود و پرشدگی سطح درزه

جهت بررسی تراکم شکستگی در این ایستگاه اسکن خطی به سه روش قائم افقی و مایل در نظر گرفته شد (مطابق شکل ۳-۹۸). بهترین خطی که با بیشترین اثر شکستگی برخورد دارد انتخاب شد. نتایج در جدول ۳-۳۸ نشان داده شده است.

شکل ۳-۳۸- جدول تراکم شکستگی در سازند دورود

تراکم	تعداد برخورد	طول اسکن (m)	اسکن
6	48	8	افقی
8.75	70	8	مایل
5.8	29	5	قائم



شکل ۳-۹۸- نمونه‌گیری خط اسکن در سازند دورود به سه روش افقی، مایل و قائم

میزان تراکم درزه‌ها در همه ایستگاههایی که برداشت در آن انجام گرفت به‌مراه طول اسکن خط اسکن و تعداد برخورد درزه با خط اسکن در جدول ۳-۳۹ نشان داده شد

جدول ۳-۳۹- بررسی میزان تراکم درکل ایستگاه‌های برداشت‌شده

ایستگاه	طول اسکن (M)	تعداد برخورد	تراکم
S2 (الیکا سازند)	9	45	5
S3 (الیکا سازند)	14	115	8.21
S4 (الیکا سازند)	30	158	5.2
S5 (الیکا سازند)	6	40	6.6
S6 (الیکا سازند)	19	95	5
N.A.F (الیکا)	13	232	17.84
S7 (روته سازند)	12	74	6.1
S8 (روته سازند)	10	109	10.9
S9 (سازند دورود)	8	70	8.75

۳-۱۳- تاق‌دیس عمارت

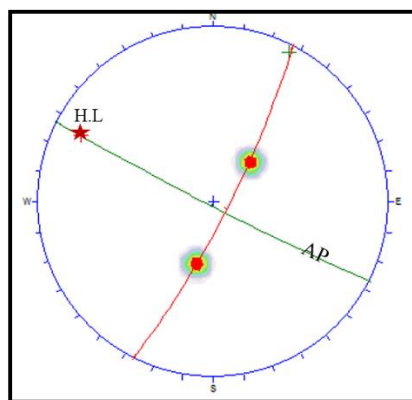
از لحاظ زایشی و هندسی تشکیل درزه و شکستگی علاوه بر گسل‌ها می‌تواند مرتبط با چین‌خوردگی باشد درزه‌های متعددی بروی لایه‌های چین‌خورده مشاهده می‌شود که می‌تواند در اثر نیروهایی که لایه‌ها را چین داده‌اند به وجود بیایند. تاق‌دیس عمارت چین‌خوردگی اصلی منطقه است. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری چین، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی در دو یال شمال خاوری و جنوب

باختری اندازه گیری شد (جدول ۳-۴۰). داده ها در استریوگرام شکل ۳-۹۹ ترسیم شد. موقعیت محور

تاقدیس ۰۷/۲۹۵ و موقعیت سطح محوری $N63^{\circ}W/87^{\circ}SW$ برآورد گردید (جدول ۳-۴۱).

جدول ۳-۴۰ - داده های برداشت شده از صفحات لایه بندی در یال شمالی و جنوبی تاقدیس عمارت

DIP					
	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR	DIP	DIP.DIR
15	240	18	12	45	23
18	218	18	6	35	25
8	230	40	10	65	10
20	240	35	15	65	10
30	225	32	16	55	12
34	223	35	18	65	10
43	228	30	20	58	15
38	230	32	25	68	15
48	235	40	10	64	15
10	7	35	15	65	15
10	12	45	15	35	20
10	10	50	15	38	12
12	6	55	15	45	20
12	8	40	15	40	20
14	10	35	18	60	15
15	10	50	20	65	15

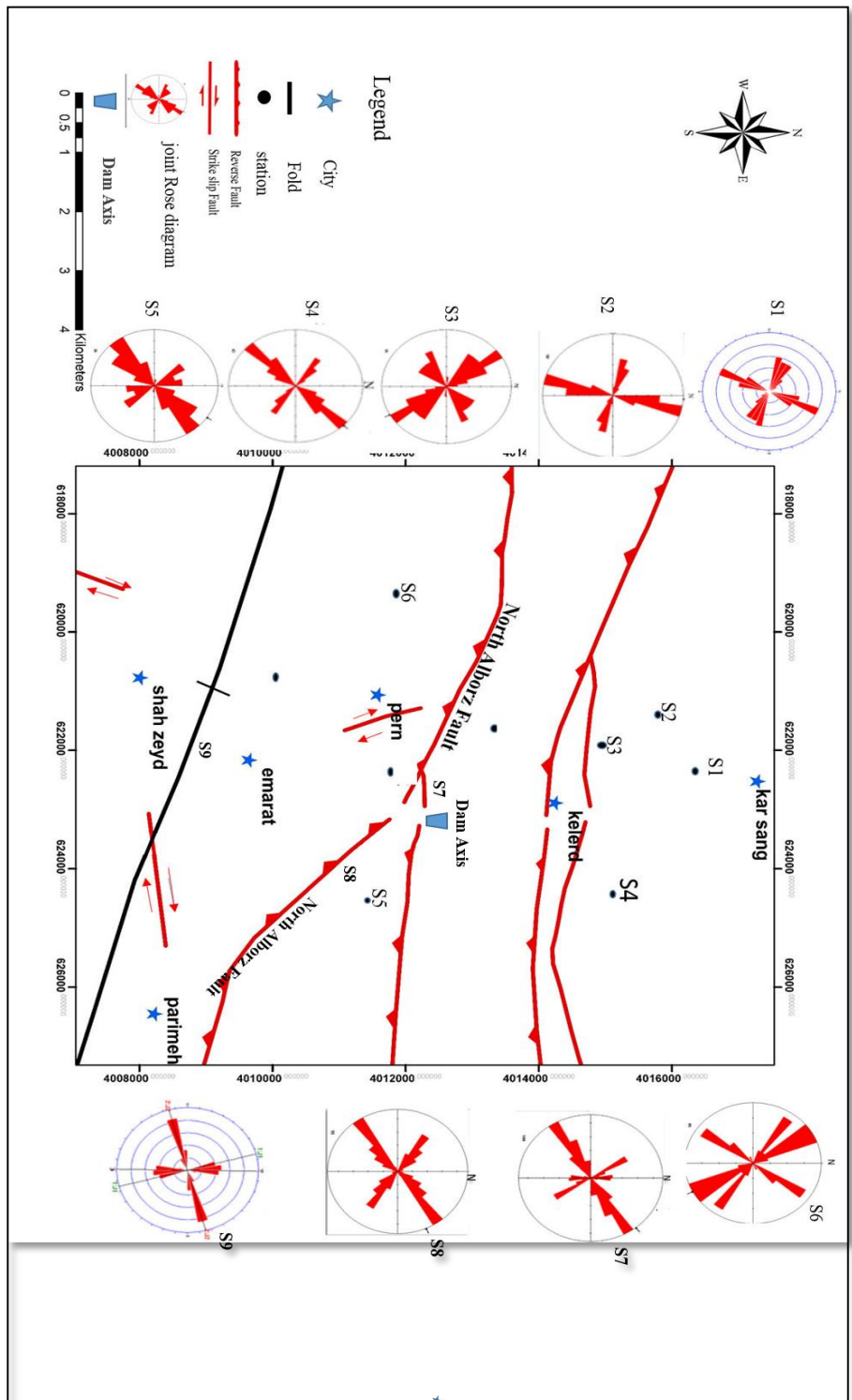


شکل ۳-۹۹ - استریوگرام ترسیم شده تاقدیس عمارت که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در یال شمال و

جنوبی به دست آمد

جدول ۳-۴۱ - خصوصیات هندسی تاقدیس عمارت (داده ها به صورت شیب و امتداد است)

میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	سطح محوری چین	موقعیت محور چین	زاویه بین یالی
۴۰/۰۱۴	۳۴/۲۲۳	۸۷/۲۰۷	۰۷/۲۹۴	۵۳°



شکل ۳-۱۰- نقشه ساختمانی منطقه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل (سارومان زمین شناسی) به همراه نمودار گل سرخی

شکستگی در ایستگاههای برداشت شده

فصل چهارم

بحث و نتیجه گیری

دراین پژوهش شکستگیها و درزه‌های منطقه به تفکیک سازندها و ارتباط آنها با لایه بندی مطالعه گردید. همچنین به بررسی شواهدی از عبور گسل شمال البرز که بزرگترین ساختار تکتونیکی منطقه می باشد. بصورت اجمالی چین خوردگی عمارت نیز مورد مطالعه قرار گرفت. در این بخش درنهایت به بررسی تغییرات فراوانی درزه نسبت به ساختار مهم مثل گسل شمال البرز پرداخته می شود.

۴-۱- مطالعه گسل‌ها

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصله از مطالعات صحرایی و نقشه زمین‌شناسی چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل و به استناد تحلیل داده‌های برداشت شده از ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌توان به‌طور خلاصه به نتایج زیر اشاره نمود:

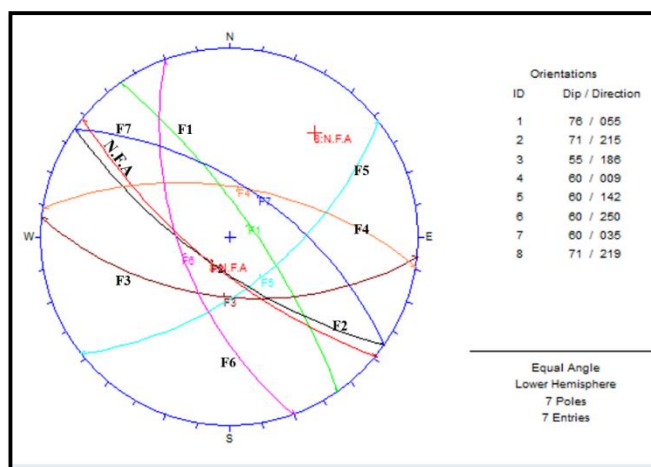
-گسل شمال البرز

گسل شمال البرز به‌صورت یک گسل بزرگ زاویه با سازوکار معکوس و شیب به سمت جنوب با عبور از منطقه چلاو منجر به ایجاد دره‌ای ژرف و عمیق شده است. دره گسلی مذکور به‌صورت عرضی دره عظیم هراز را قطع کرده است. با استناد بر شواهد به‌دست آمده گسل مورد بحث در محدوده مورد مطالعه دارای روند کلی باختر شمال باختری- خاور جنوب خاوری می‌باشد و از روند کلی البرز تبعیت می‌کند. این گسل جزو گسل‌های اصلی و طولی منطقه می‌باشد. براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل گسل شمال البرز در منطقه مطالعاتی به‌عنوان گسل منگل معرفی شده است.

-گسل چلاو

گسل چلاو بصورت شاخه‌ای از گسل شمال البرز، با آثار ریخت شناسی بصورت یک دره ، دارای راستای خاوری-باختری قابل شناسایی است و در روستای پرن به گسله منگل می پیوندد

علاوه بر گسل‌های اصلی منطقه که ذکر شد گسل‌های فرعی و کوچک (با درازا و جابجایی کم) نیز در منطقه مورد مطالعه، شناسایی شد. که در استریوگرام شکل ۴-۱ همراه با گسل شمال البرز رسم شده اند.



شکل ۴-۱- استریوگرام ترسیم شده مرتبط با گسل‌های فرعی به همراه گسل شمال البرز (N.A.F)

زاویه این گسلها نسبت به گسل اصلی در جدول ۴-۱ مشخص گردید. موقعیت هندسی گسل بزرگ شمال البرز در محدوده مورد بررسی $N51^{\circ}W/71^{\circ}SW$ اندازه گیری شد.

جدول ۴-۱- زاویه گسل‌های فرعی منطقه با گسل شمال البرز به همراه روند گسل ها

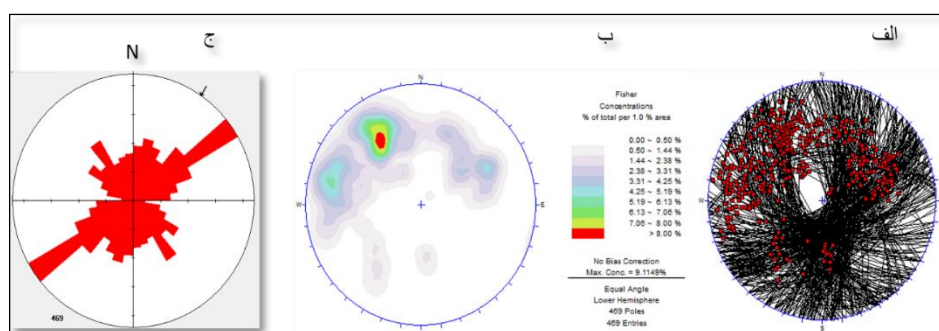
نام گسل	روند گسل	زاویه گسل با گسل اصلی
F1	شمال باختر- جنوب خاور	34°
F2	شمال باختر- جنوب خاور	۰
F3	خاوری -باختری	36°
F4	خاوری -باختری	54°
F5	شمال خاور- جنوب باختر	68°
F6	شمال باختر- جنوب خاور	34°
F7	شمال باختر- جنوب خاور	37°

با توجه اینکه طول گسلهای فرعی کم می باشد، می توان آنها را بصورت شکستگی های برشی مرتبط با گسل شمال البرز دانست. گسل F5 نسبت به گسل شمال البرز بصورت عرضی قرار دارد. با توجه به

استریوگرام ترسیم شده گسل F2 روی گسل شمال البرز قرار دارد و میتوان آن را ادامه گسل اصلی دانست. گسلهای F1,F3,F4,F6,F7 هم روند گسل شمال البرز می باشند.

۴-۲- الگوی پراکنش شکستگیها

به منظور شناسایی و دسته بندی شکستگی ها کلیه داده های برداشت شده از ایستگاه های مورد بررسی در یک استریوگرام ترسیم گردید. (شکل ۴-۲) در مجموع از ۹ ایستگاه که در آن برداشت شکستگی انجام شد ۴ دسته شکستگی قابل تعریف است. قسمت اصلی این ایستگاه ها از رخنمون های آهکی و دولومیتی نظیر سازند الیکا و روته و بخشی هم از رخنمون های تخریبی سازند روته برداشت شده است. شکستگیهای برداشت شده از این سازندها غالبا سیستماتیک و منظم هستند و در دسته های J1,J2,J3,J4 با موقعیت غالب به ترتیب زیر نامگذاری شده اند:



شکل ۴-۲- استریوگرام شکستگی های برداشت شده از کل ایستگاه ها: الف- تصویر استریوگرافیک سطوح شکستگی و قطب صفحات ب- نمودار کنوری قطب شکستگی ج- نمودار گل سرخی امتدادی شکستگی ها

الف: شکستگی (J1) با موقعیت میانگین $N57^{\circ}E/75^{\circ}SE$

ب: شکستگی (J2) با موقعیت $N30^{\circ}W/42^{\circ}SW$

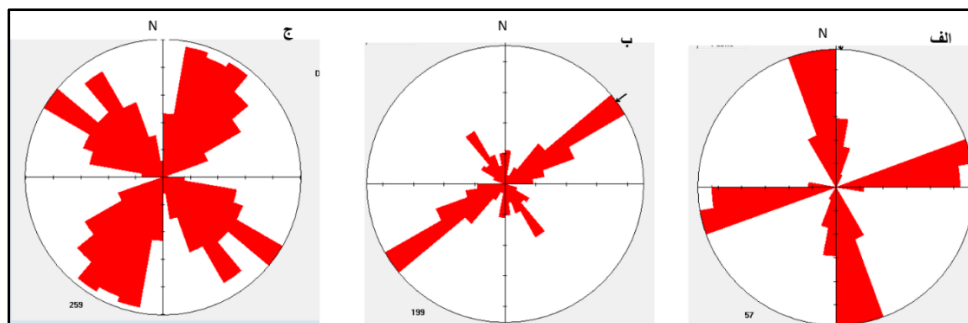
ج: شکستگی (J3) با موقعیت میانگین $N15^{\circ}E/68^{\circ}SE$

د: شکستگی (J4) با موقعیت میانگین $N76^{\circ}W/51^{\circ}NE$

بیشترین درصد شکستگی های منطقه روند غالب شمال خاور - جنوب باختر را نشان می دهد. که دارای بازشدگی و پرشدگی می باشد. شکستگی هایی با روند شمال باختر- جنوب خاور از نظر فراوانی در مرتبه دوم قرار دارند.

-مطالعه درزه ها در سازند های مختلف

در این پژوهش درزه ها ایجاد شده در سازندهای دورود، روته، و الیکا در ۹ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت در نهایت داده های برداشت شده از هر سازند در یک رزیدیاگرام جداگانه ترسیم شد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- نمودار گل سرخی امتدادی درزه ها در سازندهای مختلف: الف- سازند دورود ب- سازند روته ج- سازند الیکا
بررسی آماری درزه ها براساس نمودار گل سرخی ترسیم شده از سطوح درزه در هر سازند نشان می دهد سازند الیکا دارای بیشترین تعداد درزه می باشد رز دیاگرام ترسیم شده از سطوح درزه در این سازند ۳ روند غالب را نشان می دهد دسته درزه با روند غالب شمال خاور- جنوب باختر بیشترین تراکم درزه در این سازند است. همچنین استریوگرام ترسیم شده از سطوح درزه در سازند تخریبی دورود کمترین تعداد درزه را به نمایش می گذارد. نمودار گل سرخی ۳ دسته غالب درزه را برای این سازند نشان می دهد. دسته درزه با روند شمال-شمال باختر- جنوب جنوب خاور بیشترین درصد در این سازند را نشان می دهد. علاوه بر تاثیر وجود ساختارهای تکتونیکی چون گسل و چین خوردگی جنس لایه نیز در تراکم درزه ها تاثیر گذار است بنابراین انتظار می رود فراوانی درزه در سازندهای آهکی بیشتر باشد که نتایج بدست آمده از شکل ۳-۴ تاییدی بر این مطلب است.

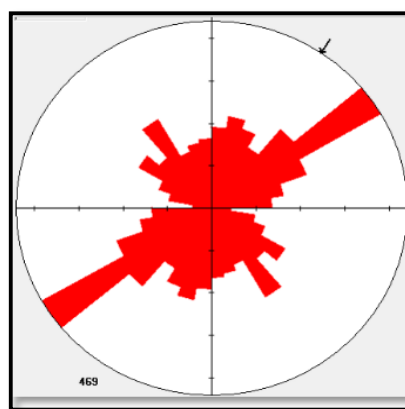
۴-۳- ارتباط درزه‌ها با ساختارهای منطقه

-ارتباط درزه با لایه بندی

بررسی‌های مربوط به شکستگی‌های موجود در ۹ ایستگاه نشانگر سه دسته عمده درزه و یک دسته درزه به موازات لایه‌بندی می‌باشد. ارتباط این سطوح در هر ایستگاه با سطح لایه بندی بررسی شد. بیشترین درصد سطوح درزه، در رده درزه‌های اریب و شیبی نسبت به لایه بندی قرار دارند. قابل ذکر است درصد کمی از سطوح درزه برداشت شده، امتدادی هستند.

-ارتباط درزه با گسل شمال البرز

گسل شمال البرز با موقعیت $N51^{\circ}W/71^{\circ}SW$ رخنمون دارد. به منظور بررسی ارتباط درزه با گسل اصلی منطقه نمودار گل سرخی درزه‌ها ترسیم شد (شکل ۴-۴). بر اساس نتایج بدست آمده و مشاهده نمودار گل سرخی ترسیم شده برای شکستگی‌های منطقه و مقایسه شکستگی‌ها و گسل‌ها با یکدیگر چنین استنباط می‌شود که روند شمال خاور- جنوب باختر ($N15E$ تا $N57E$) بارزترین روند شناخته شده برای شکستگی‌ها در این محدوده است. این راستا، عمود بر راستای بارزترین ساختار تکتونیکی منطقه گسل شمال البرز می‌باشد. بیشترین درصد شکستگی‌های منطقه روند غالب شمال خاور - جنوب باختر را نشان می‌دهد. که دارای بازشدگی و پرشدگی می‌باشد.



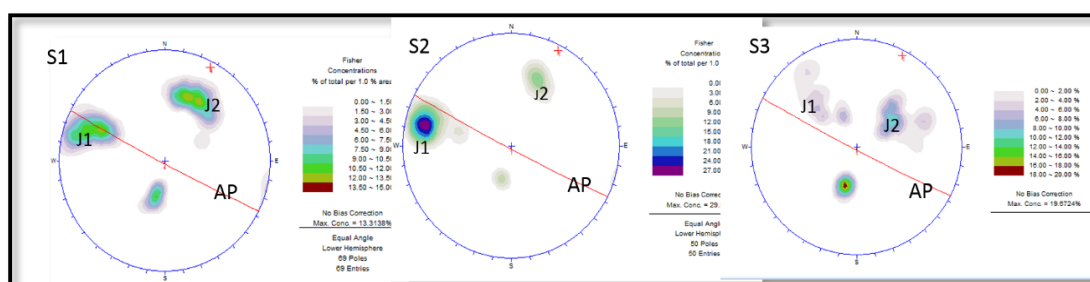
شکل ۴-۴- رز دیاگرام شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه با روند غالب شمال خاوری جنوب باختری

-توصیف درزه نسبت به چین(عمارت)

به منظور بررسی ارتباط شکستگی با چین خوردگی، استریوگرام اطلاعات مربوط به درزه‌ها و لایه بندی در دویال شمال خاوری و جنوب باختری ترسیم شد. در ایستگاه S1 با مشخصات میانگین J2: N62°W/61°SW با مشخصات J1: N23°E/69°S و ایستگاه S2 با مشخصات J2: N61°W/60°SW و J1: N18°E/76°SE در رخنمون دیده شد. نحوه قرارگیری فضایی سیستم درزه‌ها نسبت به چین خوردگی در شکل نشان ۴-۵ داده شده است. با توجه به نحوه قرارگیری درزه J1 و J2 نسبت به عناصر چین خوردگی می توان آنها را در رده کششی‌ها قرار داد. این شکستگی ها بازشدگی از خود نشان می‌دهند. در ایستگاه S3 نحوه قرارگیری فضایی درزه‌های مورد نظر نشان دهنده ۲ تجمع قطب صفحات، و در نتیجه ۲ سیستم درزه با مشخصات J2: N33°W/42°SW; J1: N48°E/42°SE در رخنمون می باشد. درزه J1 بازشدگی از خود نشان می‌دهد و با توجه به نحوه قرارگیری نسبت به محور چین در رده کششی ها قرار دارد. با توجه به نحوه قرارگیری درزه J2 نسبت به محور چین می‌توان این سیستم درزه را در رده برشی‌ها قرار داد (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲- توصیف درزه نسبت به چین(عمارت) به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	J1	J2	J3
S1	عرضی (کششی)	طولی (کششی)	
S2	عرضی (کششی)	طولی (کششی)	
S3	عرضی (کششی)	برشی	

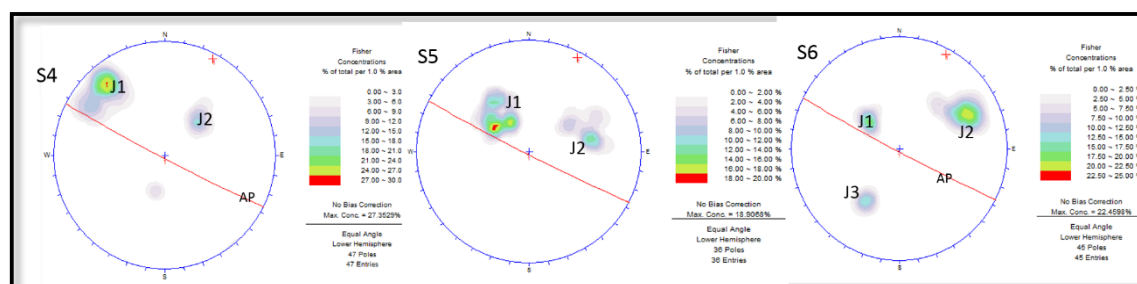


شکل ۴-۵- استریوگرام ترسیم شده از سطوح درزه در هرایستگاه به همراه موقعیت سطح محوری چین عمارت

با توجه به شکل ۴-۶ دو سیستم شکستگی در ایستگاه S4 با مشخصات J1: N33°E/74°SE J2: N43°W/58°SW در رخنمون قابل مشاهده می باشد. با توجه به نحوه قرار گیری این دسته شکستگی ها نسبت به عناصر چین خوردگی می توان آن ها را در رده کششی قرار داد. درزه J1 نسبت به سطح محوری عمود می باشد و در رده شکستگی های عرضی جای دارد. درزه J2 نسبت به سطح محوری چین موازی و در رده درزه طولی می باشد. در ایستگاه S5 دو دسته درزه با مشخصات J1: N56°E/43°SE, J2: N38°W/51°SW در رخنمون تشکیل شده است. دسته درزه J1 از خود باز شدگی نشان می دهد با توجه به قرار گیری عمود نسبت به سطح محوری دارای ماهیت کششی (عرضی) است. حال آنکه درزه J2 نسبت به سطح محوری در رده برشی ها قرار دارد. در ایستگاه S6 سه دسته شکستگی J3: شکستگی های J1, J3 نسبت به عناصر چین خوردگی و باز شدگی درزه ها، کششی بودن این شکستگی ها را تایید می کند براساس نحوه قرار گیری درزه J2 نسبت به سطح محوری این دسته شکستگی در رده برشی قرار می گیرد (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳ توصیف درزه نسبت به چین (عمارت) به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	J1	J2	J3
S4	عرضی (کششی)	طولی (کششی)	
S5	عرضی (کششی)	برشی	
S6	عرضی (کششی)	برشی	طولی (کششی)

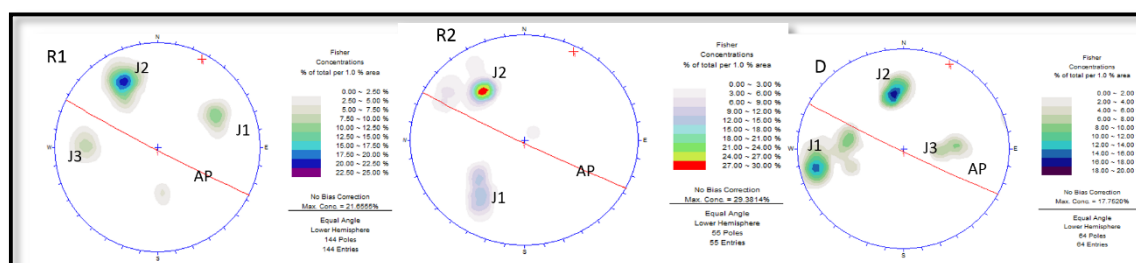


شکل ۴-۶- استریوگرام ترسیم شده از سطوح درزه در هرایستگاه به همراه موقعیت سطح محوری چین عمارت

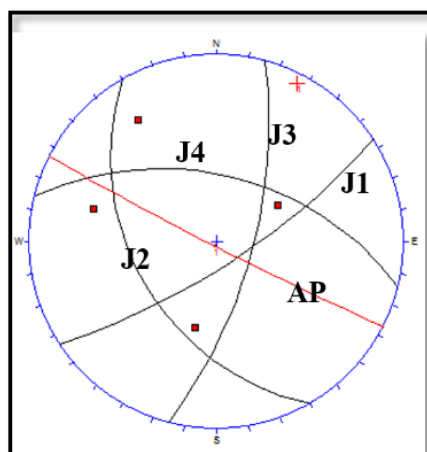
با توجه به شکل ۴-۷ در ایستگاه S7 شکستگی با مشخصات J1: N28°W/62°SW J2: N62°E/64°SE با توجه به شکل ۴-۷ در ایستگاه S7 شکستگی با مشخصات J1: N28°W/62°SW J2: N62°E/64°SE در رخنمون قابل مشاهده است. با توجه به نحوه قرار گیری این شکستگی ها نسبت به سطح محوری و همچنین نسبت به یکدیگر می توان این دودسته شکستگی را در رده برشی ها قرارداد (جدول ۴-۴). با توجه به قرارگیری عمود درزه J3 نسبت به سطح محوری می توان این دسته درزه را در رده کششی عرضی در نظر گرفت. در ایستگاه S8 دو دسته شکستگی با مشخصات J1: N50°W/62°NE J2: N56°E/66°SE قابل مشاهده است. با توجه به نحوه قرار گیری دسته درزه J1 نسبت به عناصر چین می توان این شکستگی را در رده برشی ها قرار داد. درزه J2 نسبت به سطح محوری بصورت عمود است و با توجه به باز شدگی درزه در رده کششی های عرضی در نظر گرفته می شود. ایستگاه S9 سه دسته شکستگی با مشخصات J1: N02°W/69°E J2: N82°E/56°SE J3: N04°E/42°NW را نشان می دهد. با توجه به قرار گیری درزه J1 نسبت به سطح محوری چین م این شکستگی در رده برشی ها قرار دارد. دسته درزه J2 و J3 با توجه به باز شدگی که از خود نشان می دهد و نحوه قرارگیری نسبت به سطح محوری چین در رده کششی ها در نظر گرفته می شوند

جدول ۴-۴ توصیف درزه نسبت به چین (عمارت) به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	J1	J2	J3
R1	برشی	برشی	عرضی (کششی)
R2	برشی	عرضی (کششی)	
D	برشی	عرضی (کششی)	طولی (کششی)



شکل ۴-۷- استریوگرام ترسیم شده از سطوح درزه در هرایستگاه به همراه موقعیت سطح محوری چین عمارت موقعیت درزه ها نسبت به محور چین در استریوگرام شکل ۴-۸ نشان داده شده است.

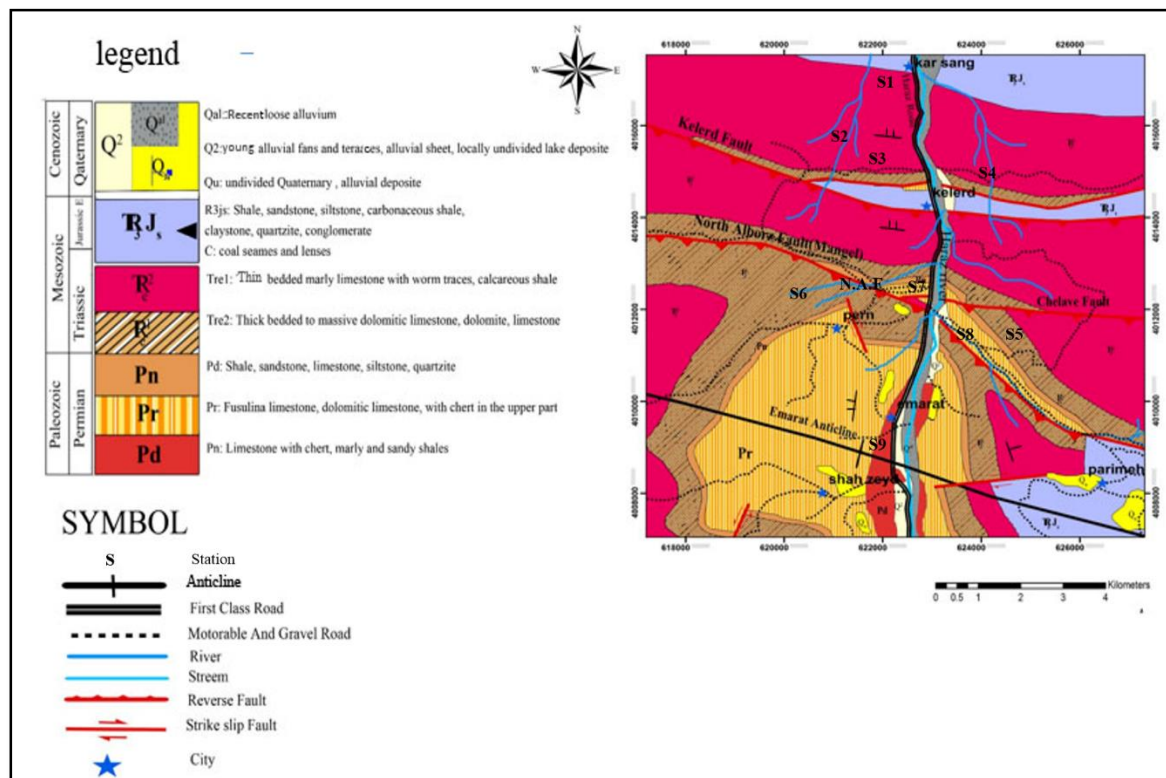


شکل ۴-۸- استریوگرام میانگین صفحات شکستگی به همراه سطح محوری

۴-۴- تغییرات فراوانی شکستگی‌ها نسبت به فاصله از گسل شمال البرز

ساختارهای تکتونیکی مثل گسل و چین خوردگی می تواند بر فراوانی درزهها تاثیر گذار باشد. تراکم درزه با دوری و نزدیکی نسبت به این ساختارها مرتبط می باشد. گسل شمال البرز بعنوان اصلی ترین ساختار در محدوده مورد مطالعه می باشد. در این بخش ارتباط تراکم شکستگی با ساختار تکتونیکی مطالعه گردید. در نقشه شکل ۴-۹ ایستگاه‌های برداشت شکستگی نشان داده شد. در جدول ۴-۵ میزان تراکم بدست آمده از هر ایستگاه قابل مشاهده است. نتیجه بررسی تراکم شکستگی در نمودار شکل ۴-۱۰ ارائه گردید. براساس نمودار ذیل درصد فراوانی با نزدیک شدن به ساختار اصلی (گسل شمال البرز) افزایش می یابد و بیشترین تراکم شکستگی در محدوده گسل البرز را نشان می دهد با توجه به نمودار شکل ۴-۱۰ نقطه پیک منحنی که ۱۷,۸۴ درصد می باشد محدوده گسل شمال البرز می باشد با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه علاوه بر گسل شمال البرز گسل های فرعی و چین خوردگی نیز شناسایی شد، لذا تاثیر این ساختارها نیز بر تراکم شکستگی مورد مطالعه قرار گرفت در شکل ۴-۱۰. در محدوده لولای تاقدیس عمارت (S9) تراکم افزایش می یابد. این افزایش تراکم در اطراف گسل چلاو (S8) نیز دیده می شود. با توجه به نمودار ۴-۱۰ می توان عنوان نمود در مناطقی که ساختارهای تکتونیکی شناسایی

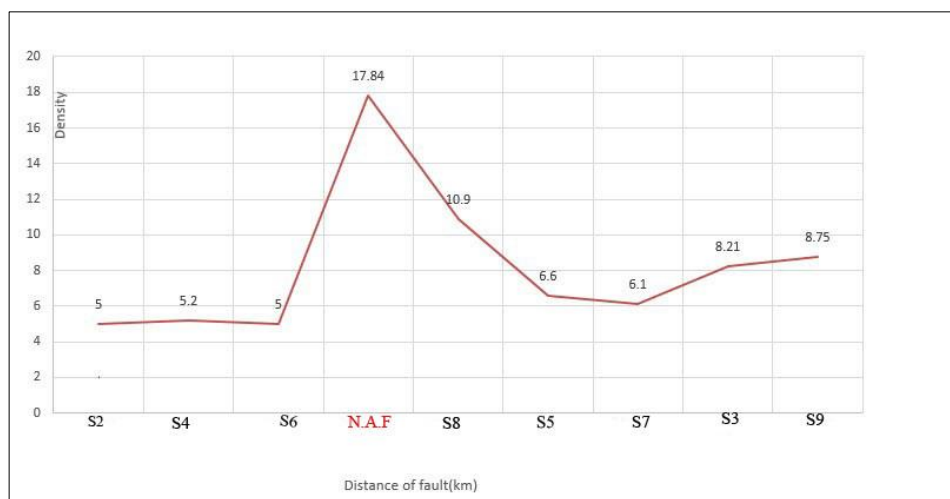
شدند تراکم شکستگی نیز افزایش یافته است. قابل ذکر است که نباید تاثیر لیتولوژی، ضخامت لایه ها و اثر درزه های اولیه احتمالی نادیده گرفته شود.



شکل ۴-۹ ایستگاه های برداشت شکستگی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۴-۵ تراکم محاسبه شده در کل ایستگاه های برداشت شده

ایستگاه	طول اسکن (M)	تعداد برخورد	تراکم
S2 (الیکا سازند)	9	45	5
S3 (الیکا سازند)	14	115	8.21
S4 (الیکا سازند)	30	158	5.2
S5 (الیکا سازند)	6	40	6.6
S6 (الیکا سازند)	19	95	5
N.A.F (الیکا)	13	232	17.84
S7 (روته سازند)	12	74	6.1
S8 (روته سازند)	10	109	10.9
S9 (سازند دورود)	8	70	8.75

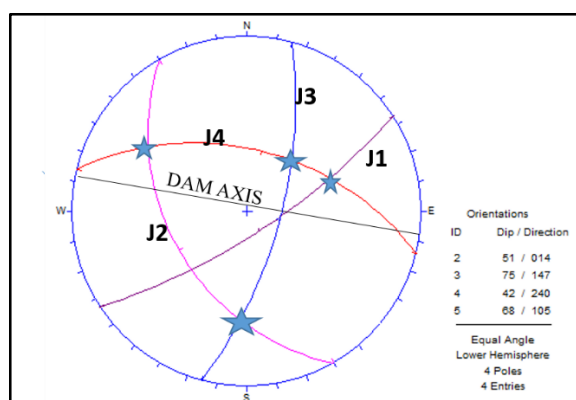


شکل ۴-۱۰ بررسی ارتباط تراکم شکستگی با گسل شمال البرز

۴-۵- ارتباط الگوی شکستگی و فرار آب

از موارد حائز اهمیت در منطقه، سد در حال احداث هراز است. الگوی شکستگی نقش مهمی در مسئله فرار آب از مخزن ایفا می کند در صورتی که تلاقی دسته درزه ها به سمت پایین دست رودخانه باشند می توانند کريدوری برای عبور آب از مخزن ایجاد نمایند. تمام درزه هایی که امتداد آنها شمالی جنوبی می باشد می توانند در جریان آب به سمت پایین دست رودخانه (شمال) نقش ایفا نمایند. البته با توجه به روند محور سد که شرقی غربی است دسته درزه با هر جهت شیب می تواند در فرار آب موثر باشد.

بدین منظور درزه های برداشت شده در یک استریوگرام ترسیم گردید (شکل ۴-۱۱)



شکل ۴-۱۱- استریوگرام ترسیم شده از میانگین درزه های ایجاد شده به همراه محور سد هراز (علامت ستاره محل تلاقی درزه ها را نشان می دهد).

دسته درزه J1 و دسته درزه J2 بدلیل آنکه به صورت مایل محور سد را قطع می کند بنابراین رخنمون کمتری در تکیه گاه خواهد داشت. از طرفی شیب این درزه ها به سمت دریاچه بوده و آبهای ورودی به این سیستم درزه عمدتاً به سمت دریاچه زهکش می شود. دسته درزه J4 منطبق بر سطح لایه بندی است با توجه به اینکه جهت شیب لایه بندی در محدوده مخزن به سمت پایین دست محور سد می باشد نقش موثر و تعیین کننده ای در هدایت آب به پایین دست دارا می باشد. دسته درزه J3 با توجه به اینکه محور سد را بصورت عمود قطع می نماید دارای اهمیت می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در مقایسه با دسته درزه J3 و J4 دسته درزه J1 و J2 نقش چندانی در فرار آب نخواهند داشت. محل تلاقی شکستگی خطوارهای به سمت شمال ایجاد کند مسیر مناسبی برای جریان آب به سمت پایین دست می باشد امتداد دسته درزه J3 و J4 و دسته درزه J1 , J4 می تواند بعنوان نقطه ضعف برای عبور آب به سمت پایین دست در نظر گرفته شود محل تلاقی دسته درزه J3 و J4 به سمت پایین دست محور می باشد که می تواند کريدوری برای عبور آب ایجاد نماید (شکل ۴-۱۱).

۴-۶- پیشنهادات

❖ مقایسه دستاوردهای مطالعات سطحی زمین از شکستگی‌ها با داده های زیر سطحی که در

منطقه موجود است.

❖ برداشت دقیق چین خوردگی در منطقه مثل طاق‌دیس عمارت و بررسی ارتباط شکستگی‌ها

با چین خوردگی با توجه به محدودیت های پوشش جنگلی

❖ بررسی نقش شکستگی‌ها در توسعه کارست و چشمه ها در منطقه

منابع

- آقا نباتی ع، ۱۳۸۳، "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- بربریان، م، قریشی، م، شجاع طاهری، ج، ۱۳۷۵، "پژوهش و بررسی نو زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره سمنان، سازمان زمین شناسی کشور گزارش شماره ۶۳، ۲۶۶ صفحه.
- رحیمی ب، ۱۳۸۱، پایان نامه دکتری: "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی
- شهرباری س، موسوی حرمی، رحیمی پ، ۱۳۸۲، "تکوین و تکامل ساختاری البرز و تحولات رسوبگذاری مرتبط با آن"، فصلنامه علوم دانشگاه تربیت معلم شماره ۳-۴، ص ۱۴۱-۱۶۲.
- عباسی، م، ر، ۱۳۸۶، لرزه زمین ساخت و هندسه دگر ریختی البرز مرکزی- خاوری با نگرشی بر گستره های دارای بیشینه لرزه خیزی
- گزارش جامع سد هراز، زمین شناسی شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۱.
- معماریان ح، تخمچی ب، ۱۳۹۵، "شکستگی در سنگ منشا زمین شناسی و رفتار مهندسی" ، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۱۸ صفحه.
- نبوی م، ح، (۱۳۵۵)، "دیاپچه ای بر زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- Allen M.B, Ghassemi M.R, Shahrabi M., Qorashi M, (2003) "Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in Alborz range, Northern Iran" Journal of Structural Geology, Vol. 25, P.627-659.
- Asserto R, (1963), "The Jurassic shemshak formation in central Elburz (Iran)", Rivista Italiana di Paleontologia e stratigrafia, Vol 72, P.1133-1182.

-
- Berberian, M., King G.C.P., (1981). "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Journal of Earth Science Canadian*, Vol 18, PP 210-256.
 - Berberiane, M., 1983. The southern Caspian Acompressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Can.J. Earth Sci.*, V. 20pp 163-183.
 - Coelho S., Passchier C., (2006) "Riedel-Shear control on the development of pennate veins: field example and analogue modelling" *Journal of Structural Geology* 28, P 1658-1669.
 - Djamour Y., Bayer R., (2005), "Contribution of the geodetic observation (GPS and Leveling) to study the tectonic deformation and seismic hazard on the central Alborz, Iran", *Geophysical Research Abstracts*, Vol 7, P1.
 - Doblas M., (1998) "Slickenside kinematic indicators" *Journal Tectonophysics*, P 187-197.
 - Fossen H., (2010), "Structural Geology", Cambridge University Press, New York, P. 463.
 - Gansser A., Huber H., (1962), "Geological observations in central Alborz, Iran. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*"
 - Goodman R.E., (1989), "Introduction to rock mechanics" Second Edition by John Wiley & Published in Canada, 562 p.
 - Hancock P.L., (1988) "Neotectonics: Geology Today" Vol.4, P57-61.
 - Mauldon M., Dunne W.M., Roherbaugh M.B., (2001). "Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces". *J. Struct. Geol.* 23, 247-256.
 - Nelson, R. A., 2001. "Geological Analysis of Naturally Fractured Reservoirs". *Bulletin* 76, 1200-1208.
 - Pahl, P.J., 1981. "Estimating the mean length of discontinuity spacing traces". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 18, 183-197.
 - Petite J.P., 1987 "Criteria for the sense of movement on fault surface in brittle rock" *Journal of Structural Geology*. P597-608.
 - Priest, S.D., Hudson, J.A., 1981. "Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 18, 183-197.
 - Priest, S.D., 1993. "Discontinuity Analysis for Rock Engineering". Chapman & Hall, London, United Kingdom.

-
- Ramsay, J.G. & Huber, M., (1987). "The Techniques of modern structural geology. V (2) (fold and fractures), 3th Ed, Academic Press Limited 391.P.
 - Ruhrbough, M.B., Dunne, W.M., Mouldon, M., 2002. "Estimating fracture trace intensity, density and mean length using circular scanline and windows". AAPG Bll. 86(12), 2089e2014.
 - Singhal, B.B.S., Gupta, R.P., 2010. "Hydrogeology of Fractured Rocks (Second Edition).
 - Sousli, P., (1976). "Geology northen Haraz Valley in Central Alborz Iran", Gsi, NO.38.
 - Stockline j., (1974). "Northen Iran: Alborz mountains, Mesozoic Cenozoic orogenic belt, data for orogenic studies" Geological Society, Spacial Publications, London, Vol. 4, P 213-234.
 - Twiss, R., Moores, E.M., (2007). "Structural geology". New York: W.H, Freeman and company.
 - Vernant Ph., Nilforoshan F., Chery J., Bayer R., Djamour Y., Masson F., (2004). "Deciphering oblique shorting of central Alborz in Iran using geodetic data", Earth and Planetary Science letters, Vol 228, PP 177-185.
 - Wu, H., Pollared, D.D., (1995). An experimental study of the relationship between joint.
 -

Abstract

The study area is located in south of Amol city as a part of the northern slopes of Central Alborz. Stratigraphic studies of the area illustrates subsequences of Paleozoic and Mesozoic with NW-SE straight. The area is located at north Alborz fault zone From tectonic point of view. Also there is other main faults in this area same as Chelave and Mangel Faults. The main faults of the have been determined as reverse faults with trend NW-SE to E-W and high slope angle. Folding association with fault has been found in Chelave area, which is a sign of NAF crossing area. In the area strike slip minor fault, normal, reverse have been seen in NW-SE, E-W, NE-SW and NNW-SSE. Fractures analysis have been done in 9 stations And finally fractures associated with NAF have been evaluated. NE-SW trend was determined as dominated trend of fractures. Four main fracture sets with shear and tensile genesis can be detected. A- Fractures sets with (N76°W/51°NE) trend, B- Fractures sets with (N57°E/75°SE) trend, C- Fractures with (N15°E/68°SE) trend D- Fractures with (N30°W/42°SW). Fracture density characteristics were using linear scan line at 11 stations. Based on the result, fracture density around NAF is in the fold hinge line area fracture density is measured about 8.75% fracture density around Chelave Fault was achieved about 10.9%. For assessment from the fold limbs were done and the position of the fold axis was determined about 07° /294°. A comparison between the measured joints from each formation was done. Based on the obtained results the most fracture density was determined in Erika Formation. Finally, it was found that beside tectonic elements effect, lithology can be affected fracture density. Based on the geometry of the joints, the J3 and J4 can play a main role in water seepage from the underconstruction Haraz dam.

Key words: North Alborz fault, the fault Mangal, Chelave faults, fracture density.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc.Thesis in Tectonics

Title:

**Structural Analysis of Rock Fractures in Haraz valley
(South of Amol)**

Massome Vahedi

Supervisor

D. P. Omid

Advisor

D. A. Taheri

D. A. Momeni

July 2017