

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک

تحلیل شکستگی‌ها و نقش آن‌ها در توسعه کارست، در کوه‌های تپال (شمال باختر شاهرود)

نگارنده: شکوفه امرایی سهرابوندی

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور

دکتر غلامحسین کرمی

بهمن ۱۳۹۷

شماره: ۹۷۰۱۱۰۱۳
تاریخ: ۱۰/۱۱/۹۷

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 شکوفه امرایی سهرابوندی با شماره دانشجویی ۹۴۰۲۷۸۴ رشته زمین شناسی گرایش تکنونیک تحت عنوان تحلیل شکستگی ها و نقش آن-ها در توسعه کارست در کوه های تپال (شمال باختر شاهرود) که در تاریخ ۹۷/۱۱/۰۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ~~جسم~~ ~~توسیع~~) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر پرویز امیدی	۱- استاد راهنمای اول
-	-	-	۲- استاد راهنمای دوم
	دانشیار	دکتر غلامحسین کرمی	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر عزیزاله طاهری	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر رمضان رضائی اومالی	۵- استاد ممتحن اول
	استاد	دکتر ناصر حافظی مقدس	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۱۰/۱۱/۹۷

مورد 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 اثر

تقدیم به دستان پر مهر مادرم که اگر چه از نعمت لمس آن ماحر و موم ولی همراشانشان برایم ابدیست

روح شاد بهترین مادرم

و تقدیم به تنهایی های پر از حسنگی پدرم

.....

به امید فرج صاحب عصر و زمان، قائم آل محمد

شکر و قدردانی

حد و پاس بیکران پروردگار یکتا را که، هستی مان بخشد و به طریق علم و دانش را، نمونه‌مان شد و به هم نشینی رحروان علم و دانش مفتخرمان

نمود. پس از یاری خدا، به بار نشستن این تحقیق ممکن نبود مگر در سایه راهبانی‌های خردمندانه استاد فرزانه جناب آقای دکتر پرویز

امیدی.

و پاس کویم مهربانی و لطف ایشان را که سرشار از علم و معرفت است...

علم آموزی از ایشان؛ همچون چراغی مسیر دانش آموختگی را بر ایمان فروزان کرد...

آری در مقابل علم ایشان با تمام توان خود سربسته تعظیم فرو می‌نهم...

و اما مهربانی‌ها و راهبانی‌های مشاور عزیزم جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی بسی جای شکر دارد، پاس بیکرانم تقدیم به

ایشان...

؛ همچنین مراتب از اساتید داور جناب آقایان دکتر رمضان رمضان‌ی اومالی و دکتر ناصر حافظی مقدس که قبول زحمت نموده و داوری

این پایان نامه را بر عهده گرفته و قطعاً نظرات این بزرگواران در هر چه بهتر شدن این پایان نامه شمر شمر خواهد بود شکر می‌کنم، لازم دارم

حضور ناینده تحصیلات تکمیلی آقای دکتر عزیزاله طاهری را ارج نهاده و پاس کویم. در نهایت کمال شکر از سرکار خانم سعیدی ک با

مهربانی بینهایتشان، همیشه در کنارمان بوده و، پنجمین سرکار خانم فارسی و آقایان مهندس میرباقری و قوشه‌ای به دلیل بکاری های بی دریغ

شان داریم.

و قدردانی از خانواده عزیزم که قلم از وصف مهر و محبت آن‌ها ناتوان است...

تاجی از جنس پدر؛ برادری به قدر پدر دلسوز و خواهرانی پر از محبت مادانه، دوست دارم آن عزیزانم...

و تشکر از تمامی دوستان همراهم که همواره دوستیشان در جان من روان است...

تعمدنامه

اینجانب شکوفه امرایی سهرابوندی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته تکتونیک دانشکده زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل شکستگی ها و نقش آن ها در توسعه کارست در کوه های تپال (شمال باختر شاهرود) تحت راهنمایی آقای دکتر پرویز امیدی متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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

منطقه مورد مطالعه، در شمال باختری شهر شاهرود، بخشی از نیمه جنوبی البرز خاوری واقع می‌باشد. مطالعات چینه نگاری در این منطقه، وجود واحدهای سنگی مزوزوئیک (سازندها) و سنوزوئیک (سازندها) با راستای کلی شمال خاوری-جنوب باختری را تأیید می‌نماید. سیمای زمین ریخت شناسی منطقه به‌طور عمده تحت تأثیر عوامل ساختاری (چین‌ها و گسل‌ها) و جنس واحدهای سنگی و پدیده‌های کارستی می‌باشد؛ طی برداشت‌هایی که در عملیات میدانی انجام شد، موقعیت سطح محوری برای ناودیس تپال N62E/85NW و تاقدیس تپال N54E/84NW به‌دست آمد. همچنین بر اساس طبقه‌بندی فلوتی (Fleuty, 1964) بر مبنای زاویه بین یالی هر دو (تاقدیس و ناودیس تپال) در رده چین‌های باز (open) و بر اساس میل لولا و زاویه شیب سطح محوری در رده چین‌های ایستاده با پلانژ متوسط قرار می‌گیرند. بررسی دو گسل اصلی تپال شمالی (N53E/79NW) و جنوبی (N74E/66NW)، حاکی از سازوکار امتداد لغز چپ‌بر برای تپال شمالی و جنوبی می‌باشد. همچنین در این محدوده گسل‌های فرعی و کوچک راست‌الغز با روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شمال‌خاور-جنوب‌باختر قابل مشاهده است. بررسی درزه‌های منطقه طی ۱۲ ایستگاه درزه‌نگاری انجام شد و درنهایت با توجه به ارتباط زایشی این شکستگی‌ها با چین‌خوردگی تپال، در رده‌بندی‌های مرتبط با چین‌خوردگی دسته‌بندی شدند. بیشترین تراکم شکستگی با راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شمال‌خاور-جنوب‌باختر تعیین شد، غالب شکستگی‌ها با ماهیت برشی و کششی در منطقه دیده می‌شوند. به‌طور کلی چهار دسته شکستگی در منطقه دیده می‌شود که شامل: الف: دسته اول (J1) با موقعیت میانگین N09E/75SE ب: دسته دوم (J2) با موقعیت میانگین N35W/77SW ج: دسته سوم (J3) با موقعیت میانگین N17W/67SW د: دسته چهارم (J4) با موقعیت میانگین N54W/63SE می‌باشند. به منظور توصیف ارتباط چین‌خوردگی با درزه‌های اصلی برداشت‌هایی از یال‌های چین صورت گرفت و موقعیت محور چین ۱۷/۰۶۲ (ناودیس) و

۱۱/۰۴۹ (تاقدیس) تعیین گردید بر این اساس موقعیت درزه‌ها نسبت به محور چین شکستگی‌ها برشی، عرضی و طولی در این ایستگاه‌ها قابل تشخیص است. بر اساس توصیف درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی بیشتر سطوح در رده درزه‌های مایل و امتدادی و شیبی تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته بندی درزه ها در سازندها شامل: چهار سری درزه با موقعیت میانگین‌های N41E/32NW, N44E/35SE , N32W/58SW و N17E/63SE برای سازند دلیچای، سازند لار نیز پنج دسته با موقعیت میانگین N21W/57NE, N04E/68E, N25W/81SW, N64E/83NW و N86W/67SW ، برای آهک های کرتاسه به ترتیب N15E/81NW, N56W/72SW, N02W/76SE, N34W/70NE، برای سازند فجن چهار دسته درزه با موقعیت میانگین N49E/62SE, N23W/67SW, N08E/69NW و N71E/62SE و سازند زیارت چهار دسته درزه با موقعیت میانگین N38W/71NE, N49W/67SW و N81E/75SE و دسته درزه چهارم قابل تفکیک به دو دسته N07E/68SW و N11W/81SW مشخص شد. مقایسه‌ای میان درزه‌های برداشت شده از هر سازند نیز صورت گرفت که بر این اساس بیشترین تعداد شکستگی در آهک‌های کرتاسه و لار تعیین شد و در نهایت مشخص شد که علاوه بر تاثیر فاصله از ساختارهای تکتونیکی بر فراوانی درزه، جنس لایه‌ها نیز بر فراوانی درزه‌ها موثر می‌باشد. از موارد حائز اهمیت در منطقه، توسعه کارست می‌باشد. با توجه به گستردگی رخنمون‌های آهکی و همچنین درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه، عوارض کارستی متعددی از جمله حفرات انحلالی، دره‌های خشک، کارن‌ها و غار قابل مشاهده می‌باشد که نشان از توسعه کارست آهکی در منطقه مورد مطالعه دارد. دسته درزه‌هایی که محور چین را بصورت مایل قطع می‌کنند در هدایت آب به پایین دست نقش دارند. تقاطع دسته درزه‌ها می‌تواند به عنوان نقطه ضعف برای عبور آب به سمت پایین دست در نظر گرفته شود. شیب اکثر درزه‌ها زیاد است که نشانگر اهمیت آن‌ها در ایجاد حفرات انحلالی و همچنین ایجاد کارن‌ها است. این درزه‌ها به راحتی آب‌های سطحی را در زمین فرو برده و به کانال‌های زیرزمینی انتقال می‌دهند. اغلب درزه‌ها در اثر انحلال به کارن‌های درزه‌ای تبدیل می‌شوند که در آهک‌های کرتاسه به وفور دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاهرود، چین خوردگی تپال، البرز شرقی، فلوتی، کارست،

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- "تحلیل سامانه ای شکستگی در سازندهای فجن و زیارت در محدوده کوه‌های تپال، شمال باختر شاهرود"، بیست و یکمین همایش انجمن زمین شناسی ایران؛ دانشگاه پیام‌نور قم آبان‌ماه ۱۳۹۷.

-۲

-۳

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه ۲
- ۲-۱- تعریف مساله و اهداف تحقیق ۲
- ۳-۱- تاریخچه مطالعات پیشین ۳
- ۴-۱- روش انجام تحقیق ۶

فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی

- ۱-۲- زمین‌ساخت البرز ۸
- ۲-۲- ریخت‌شناسی ۹
- ۳-۲- چینه‌شناسی ۱۱
- ۱-۳-۲- سازند شمشک ۱۱
- ۲-۳-۲- سازند دلیچای ۱۲
- ۳-۳-۲- سازند لار ۱۲
- ۴-۳-۲- آهک‌های کرتاسه ۱۳
- ۵-۳-۲- سازند فجن ۱۴
- ۶-۳-۲- سازند زیارت ۱۵
- ۷-۳-۲- نهشته‌های کواترنری ۱۵

فصل سوم: زمین‌شناسی ساختمانی

- ۱-۳-چین خوردگی ۲۰
- ۲-۳-شکستگی‌ها ۲۶
- ۱-۲-۳-انواع شکستگی ۲۷
- طبقه‌بندی شکستگی‌ها نسبت به لایه‌بندی ۲۷
- طبقه‌بندی شکستگی‌ها از لحاظ توسعه ۲۸
- طبقه‌بندی شکستگی‌ها از لحاظ ژنتیکی ۲۸
- ۲-۲-۳-ارتباط شکستگی‌ها با پدیده‌های ساختمانی ۳۰
- سیستم شکستگی‌های همراه با چین خوردگی ۳۰
- سیستم شکستگی‌های همراه با گسلش ۳۱
- ۳-۲-۳-ریخت‌شناسی سطح گسل و ارتباط آن با ساز و کار ۳۴
- ۴-۲-۳-بررسی گسل‌ها ۳۹
- گسل تپال شمالی ۳۹
- گسل تپال جنوبی ۴۶
- گسل F_1 ۵۰
- گسل F_2 ۵۲
- گسل F_3 ۵۵
- گسل F_4 ۵۷
- گسل F_5 ۵۹
- گسل F_6 ۶۱
- ۳-۲-۵-بررسی درزه‌ها ۶۳
- بررسی درزه‌ها در سازند دلیچای ۶۶

۶۹	بررسی درزه‌ها در سازند لار
۷۶	بررسی درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه
۸۳	الگوی پراکنش درزه‌ها در سازندهای مزوزوئیک
۸۴	بررسی درزه‌ها در سازند فجن
۸۶	بررسی درزه‌ها در سازند زیارت
۸۸	الگوی پراکنش درزه‌ها در سازندهای سنوزوئیک

فصل چهارم: بررسی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

۹۳	۱-۴- تعریف و اهمیت کارست
۹۳	۲-۴- پدیده کارستی شدن
۹۴	۳-۴- طبقه‌بندی سیستم‌های کارستی
۹۴	سیستم‌های کارستی افشان
۹۵	سیستم‌های کارستی مجرای
۹۵	۴-۴- طبقه‌بندی مناطق کارستی
۹۶	۵-۴- طبقه‌بندی هیدروژئولوژیکی سازندهای منطقه
۹۶	سازندهای با تراوایی بالا
۹۷	سازندهای با تراوایی متوسط
۹۷	سازندهای با تراوایی کم
۹۷	۶-۴- اثر عوامل ساختاری در ناهمواری‌های کارستی
۹۸	۱-۶-۴- تأثیر چین‌خوردگی در توسعه کارست
۹۹	۲-۶-۴- تأثیر گسل بر توسعه کارست
۱۰۰	۳-۶-۴- تأثیر درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی در توسعه کارست
۱۰۲	۷-۴- توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

۱-۷-۴- اشکال ناشی از ساختارهای تکتونیکی در توسعه کارست ۱۰۲

۲-۷-۴- مقایسه توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه ۱۰۷

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۱-۵- مطالعه چین خوردگی ۱۱۲

۲-۵- مطالعه گسل ها ۱۱۲

۳-۵- مطالعه درزه ها ۱۱۵

۴-۵- بررسی کارست در منطقه تپال ۱۲۰

پیشنهادها ۱۲۱

پیوست ۱۲۲

منابع ۱۲۸

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳- خصوصیات هندسی ناودیس تپال در پیمایش $A-A'$ ۲۴
- جدول ۲-۳- مشخصات هندسی تاقدیس تپال ۲۵
- جدول ۳-۳- تقسیم‌بندی مقادیر فشردگی و زاویه بین یالی (نقل از Twiss and Moores., 2007)..... ۲۶
- جدول ۴-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل تپال شمالی، ایستگاه ۱ ۴۱
- جدول ۵-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل تپال شمالی، ایستگاه ۲ ۴۴
- جدول ۶-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_1 ۵۲
- جدول ۷-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_2 ۵۴
- جدول ۸-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_3 ۵۶
- جدول ۹-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_4 ۵۸
- جدول ۱۰-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_5 ۶۰
- جدول ۱۱-۳- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_6 ۶۳
- جدول ۱-۵- توصیف درزه‌ها در سازند دلیچای نسبت به چین‌خوردگی تپال ۱۱۷
- جدول ۲-۵- توصیف درزه‌ها در سازند لار نسبت به چین‌خوردگی تپال ۱۱۸
- جدول ۳-۵- توصیف درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه نسبت به چین‌خوردگی تپال ۱۱۸
- جدول ۴-۵- توصیف درزه‌ها در سازند فجن ۱۱۹
- جدول ۵-۵- توصیف درزه‌ها در سازند زیارت ۱۱۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۲
- شکل ۱-۲- نقشه واحدهای ساختاری ایران (نقل از : Berberian and king, 1981) ۸
- شکل ۲-۲- تصویر سه‌بعدی از منطقه مورد مطالعه ۱۰
- شکل ۳-۲- تصویری از شکستگی‌ها به همراه نمایی از حفره‌های کارستی در آهک‌های کرتاسه ۱۱
- شکل ۴-۲- تصاویری از سازندهای مزوزوئیک در منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۳
- شکل ۵-۲- ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس) ۱۴
- شکل ۶-۲- تصاویری از سازندهای سنوزوئیک در منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۶
- شکل ۷-۲- ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس) ۱۶
- شکل ۸-۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۷
- شکل ۱-۳- نمایش تاقدیس و ناودیس تپال بر روی نقشه زمین‌شناسی شاهرود ۲۰
- شکل ۲-۳- تصویر SRTM تهیه‌شده منطقه مورد مطالعه ۲۱
- شکل ۳-۳- برداشت لایه‌بندی ۲۲
- شکل ۴-۳- استریوگرام ناودیس تپال ۲۴
- شکل ۵-۳- استریوگرام تاقدیس تپال ۲۵
- شکل ۶-۳- نمودار فلوتی بر اساس سطح محوری و میل لولا (Fleuty, 1964) ۲۶
- شکل ۷-۳- جهت‌گیری انواع مختلف شکستگی‌ها نسبت به استرس‌های اصلی (Fossen, 2010) ۲۸
- شکل ۸-۳- الف- محورهای تقارن در ارتباط با چین‌خوردگی (Fossen, 2010). ب- توسعه‌ی انواع مختلف شکستگی‌ها در ارتباط با چین‌خوردگی (Ramsay & Huber, 1987) ۳۱
- شکل ۹-۳- موقعیت شکستگی‌ها نسبت به گسل اصلی (Fossen, 2010) ۳۳
- شکل ۱۰-۳- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی‌های برشی نوع R (Fossen, 2010) ۳۴
- شکل ۱۱-۳- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی‌های برشی نوع R' (Fossen, 2010) ۳۵
- شکل ۱۲-۳- بلوک دیاگرام شکستگی‌های کششی (Fossen, 2010) ۳۶
- شکل ۱۳-۳- نمایش پله‌های گسلی به صورت بلوک دیاگرام (Allmendinger, 1989) ۳۷
- شکل ۱۴-۳- نمایش بلوک دیاگرامی از ساختارهای V یا هویجی شکل (Doblas, 1997) ۳۸
- شکل ۱۵-۳- نمایش بلوک دیاگرامی از مناظر نامتقارن (Doblas, 1997) ۳۸
- شکل ۱۶-۳- تصویر ماهواره‌ای از گسل تپال شمالی (برگرفته از Google earth) ۴۰
- شکل ۱۷-۳- تصاویر صحرایی از گسل تپال شمالی ۴۱
- شکل ۱۸-۳- استریوگرام‌های سطح گسل تپال شمالی در ایستگاه ۱ ۴۲

- شکل ۳-۱۹- جابجایی آبراهه توسط گسل تپال شمالی (برگرفته از تصاویر Google earth) ۴۲
- شکل ۳-۲۰- تصاویر صحرایی از گسل تپال شمالی ایستگاه ۲ ۴۴
- شکل ۳-۲۱- استریوگرام‌های سطح گسل تپال از ایستگاه ۲ ۴۵
- شکل ۳-۲۲- رخنمونی از سطح گسل تپال شمالی در ایستگاه ۲ ۴۵
- شکل ۳-۲۳- تصویر ماهواره ای گسل تپال جنوبی (برگرفته از Google earth) ۴۷
- شکل ۳-۲۴- تصاویر صحرایی از گسل تپال جنوبی ۴۷
- شکل ۳-۲۵- استریوگرام‌های سطح گسل تپال جنوبی ۴۸
- شکل ۳-۲۶- شکستگی‌های سطح گسل تپال جنوبی ۵۰
- شکل ۳-۲۷- تصاویر صحرایی از گسل F_1 ۵۱
- شکل ۳-۲۸- استریوگرام‌های سطح گسل F_1 ۵۲
- شکل ۳-۲۹- تصاویر صحرایی از گسل F_2 ۵۳
- شکل ۳-۳۰- استریوگرام‌های سطح گسل F_2 ۵۴
- شکل ۳-۳۱- تصاویر صحرایی از گسل F_3 ۵۵
- شکل ۳-۳۲- استریوگرام‌های سطح گسل F_3 ۵۶
- شکل ۳-۳۳- تصاویر صحرایی از گسل F_4 ۵۷
- شکل ۳-۳۴- استریوگرام‌های سطح گسل F_4 ۵۸
- شکل ۳-۳۵- تصاویر صحرایی از گسل F_5 ۵۹
- شکل ۳-۳۶- استریوگرام‌های سطح گسل F_5 ۶۰
- شکل ۳-۳۷- تصاویر صحرایی از گسل F_6 ۶۲
- شکل ۳-۳۸- استریوگرام‌های سطح گسل F_6 ۶۳
- شکل ۳-۳۹- نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه ۶۵
- شکل ۳-۴۰- نمودارهای نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۱ ۶۶
- شکل ۳-۴۱- نمودارهای نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۲ ۶۷
- شکل ۳-۴۲- تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده از دو ایستگاه سازند دلیچای ۶۸
- شکل ۳-۴۳- صفحات کل درزه‌ها در سازند دلیچای ۶۸
- شکل ۳-۴۴- تصویر سیکلوگرافیک دسته درزه‌ها و میانگین سطح محوری تاقدیس تپال ۶۹
- شکل ۳-۴۵- دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۱ ۷۰
- شکل ۳-۴۶- دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۲ ۷۱
- شکل ۳-۴۷- دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۳ ۷۲
- شکل ۳-۴۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۴ ۷۳
- شکل ۳-۴۹- تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند لار ۷۴
- شکل ۳-۵۰- تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند لار ۷۵
- شکل ۳-۵۱- صفحات کل درزه‌ها در سازند لار ۷۵

- شکل ۳-۵۲ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۱..... ۷۷
- شکل ۳-۵۳ تصویر صحرایی از شکستگی با بازشدگی ۳۰ سانتی‌متر. ۷۸
- شکل ۳-۵۴ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۲..... ۷۹
- شکل ۳-۵۵ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۳..... ۸۰
- شکل ۳-۵۶ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۴..... ۸۱
- شکل ۳-۵۷ دیاگرام‌های مربوط به برداشت درزه در آهک‌های کرتاسه ۸۲
- شکل ۳-۵۸ تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در آهک‌های کرتاسه ۸۳
- شکل ۳-۵۹-تصاویری از درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه..... ۸۳
- شکل ۳-۶۰-استریوگرام‌های صفحات کل شکستگی‌ها..... ۸۴
- شکل ۳-۶۱ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در سازند فجن ۸۵
- شکل ۳-۶۲ تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند فجن ۸۵
- شکل ۳-۶۳ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در سازند زیارت ۸۷
- شکل ۳-۶۴. تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند زیارت ۸۷
- شکل ۳-۶۵- استریوگرام‌های درزه‌های مربوط به سازندهای سنوزوئیک..... ۸۸
- شکل ۳-۶۶-نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه ۸۹
- شکل ۴-۱- سیستم‌های کارستی افشان و مجرایبی (karami, 2002) ۹۴
- شکل ۴-۲- تصویری از کارن‌های موجود در آهک‌های کرتاسه، دید به سمت غرب ۱۰۳
- شکل ۴-۳- تصاویری از حفرات انحلالی موجود در منطقه ۱۰۴
- شکل ۴-۴- تصاویری از دره‌های خشک در منطقه مورد مطالعه ۱۰۵
- شکل ۴-۵- تصویر ماهواره‌ای از قسمتی از منطقه مورد مطالعه به همراه سطوح گسترده مشخص شده در ارتفاعات آهک‌های کرتاسه (برگرفته از Google earth) ۱۰۶
- شکل ۴-۶- تصویر غار یافت شده در آهک‌های کرتاسه، دید به سمت شمال ۱۰۷
- شکل ۴-۷- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه که منطقه به سه قسمت تقسیم شده (برگرفته از Google earth) ۱۰۸
- شکل ۴-۸- تصویر ماهواره‌ای از بخش اول (A) منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت غار آهکی، (برگرفته از Google earth) ۱۰۹
- شکل ۴-۹- تصویر ماهواره‌ای از بخش دوم (B) منطقه مورد مطالعه که در آن سطوح گسترده با پلیگون سبز مشخص شده (برگرفته از Google earth) ۱۱۰
- شکل ۴-۱۰- تصویر ماهواره‌ای از بخش سوم (C) منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Google earth) ۱۱۰
- شکل ۵-۱- نمایش گسل‌های اصلی و فرعی مطالعه شده در منطقه ۱۱۳
- شکل ۵-۲- استریوگرام ترسیم شده مرتبط با گسل‌های فرعی به همراه گسل اصلی تپال شمالی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها..... ۱۱۵

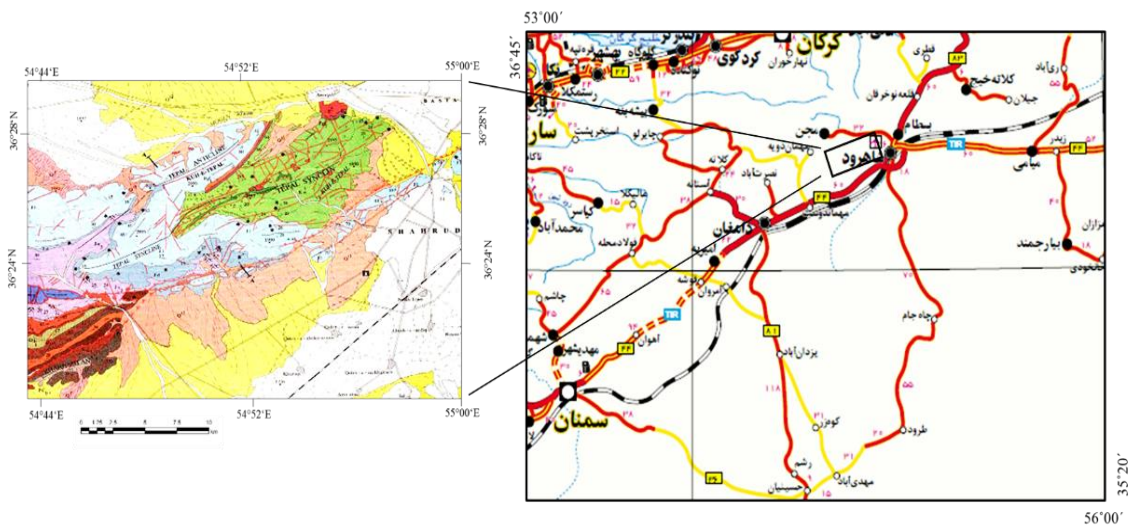
- شکل ۴-۵- نموداره‌ای گل سرخی ترسیم شده از سطوح درزه به تفکیک سازند ۱۱۶
- شکل ۵-۵- استریوگرام ترسیم شده از قطب سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند دلیچای ۱۱۸
- شکل ۶-۵- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند لار ۱۱۸
- شکل ۷-۵- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از آهک‌های کرتاسه ۱۱۹
- شکل ۸-۵- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند فجن ۱۱۹
- شکل ۹-۵- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند زیارت ۱۲۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از رخنمون‌های سنگی را در ارتفاعات غرب و شمال غربی شاهرود شامل می‌شود و از دامنه جنوبی ارتفاعات تپال تا دره مجن ادامه می‌یابد. جاده‌های آسفالت‌ده دامغان به شاهرود، شاهرود به بسطام، همچنین جاده فرعی کارخانه سیمان و راه‌های جیپ‌رو داخل دره‌ها مجموعاً دستیابی به برونزدهای ناحیه مورد مطالعه را امکان‌پذیر نموده است (شکل ۱-۱).



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

۱-۲- تعریف مساله و اهداف تحقیق

شکستگی‌ها از جمله ساختارهای زمین‌شناسی هستند که اکثراً توسط نیروهای زمین‌ساختی کنترل می‌شوند. این ساختارها بیان‌کننده تغییر شکل‌کننده پوسته بوده و از جنبه‌های گوناگون حائز اهمیت می‌باشند. آرایش هندسی شکستگی‌ها و تحلیل آن‌ها ابزار مناسبی برای دستیابی به الگوی حرکتی و دینامیکی یک منطقه است. آنچه در نقشه زمین‌شناسی گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ (شهرابی و همکاران ۱۳۶۹) آمده و همچنین مشاهدات نگارنده، حاکی از این است که واحدهای سنگ‌چینه‌ای سازند شمشک، آهک‌های سازند دلیچای (ژوراسیک میانی)، آهک و دولومیت‌های سازند لار (ژوراسیک بالایی)، آهک‌های کرتاسه بالایی، ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز فجن (پالئوسن)، سازند زیارت (ائوسن زیرین) و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در این منطقه رخنمون دارند. لازم به ذکر است که مخروط افکنه‌های جوان

کواترنری بسترهایی از این منطقه را پوشانده است. مشاهدات روی زمین، به علاوه‌ی بررسی‌های دور سنجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای، بر وجود شکستگی‌های فراوان درروی واحدهای سنگی کربناته منطقه دلالت دارد که البته فراوانی آن‌ها برروی آهک‌های کرتاسه بالایی، چشمگیر و همراهی درزه‌ها با گسل-های کوچک و بزرگ قابل مشاهده است. درهم‌ریختگی آرایش هندسی شکستگی‌ها در آهک‌های مزوزوئیک به ویژه آهک‌های کرتاسه بالایی در مقایسه با آهک‌های سازند زیارت که از درجات قابل توجهی از نظم برخوردار است نیز در رخنمون‌های قابل مشاهده، توجه زمین شناسان را به خود جلب می‌نماید. همچنین لازم به یادآوری است که آهک‌های منطقه به درجات مختلف متأثر از فرایند انحلال و پدیده کارست هستند که آهک‌های کرتاسه از میزان بسیار بالاتری برخوردار است. اگرچه چشمه‌ای در پیرامون منطقه دیده نشده ولی حفر چندین چاه بهره‌برداری از آب زیرزمینی در این منطقه حاکی از وجود آب‌های زیرزمینی در سامانه کارست منطقه و تخلیه به آبرفت‌های مجاور از طریق مجاری زیرزمینی است. در این پژوهش، مطالعه شکستگی‌های سازندهای آهکی مزوزوئیک (دلیچای، لار و آهک‌های کرتاسه بالایی) و نیز سازندهای فجن و زیارت هدف اصلی است. در این راستا الگوی (آرایش) هندسی و فراوانی شکستگی‌ها در سازندهای مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد تا تفاوت‌ها و یا شباهت‌های آن‌ها آشکار شود. بدیهی است به منظور بررسی منشأ شکستگی‌ها مطالعه‌ی الگوی چین‌خوردگی، همچنین گسل‌های منطقه ضرورت دارد تا نقش هر یک از آن‌ها در ایجاد و توسعه شکستگی‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. وجود شکستگی‌ها نقش کلیدی در توسعه پدیده کارست در واحدهای آهکی دارد. بررسی نقش شکستگی‌ها در ایجاد و توسعه کارست یکی دیگر از اهداف این پژوهش است.

۳-۱- تاریخچه مطالعات پیشین

از جمله مطالعات انجام شده در این منطقه می‌توان به نقشه زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۸۰) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ گرگان (شهرابی و همکاران ۱۳۶۹) اشاره کرد که توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور چاپ و منتشر شده است. در این

نقشه‌ها اطلاعات زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. مطالعات دیگری نیز در این منطقه و موضوع‌های مرتبط در سایر مناطق نیز صورت گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: شفیعی‌زاده و امامی (۱۳۸۵)، در پژوهش خود بر روی سازند دلیچای در باختر شاهرود بر اساس مطالعه آمونیت‌ها سن بازوسین-آکسفوردین را برای این سازند پیشنهاد داده و محیط ته نشست سازند دلیچای را به بخش‌های ژرف دریای باز نسبت داده‌اند.

اعراب و همکاران (۱۳۸۸)، در پژوهش خود آثار دگر ریختی کواترنری در باختر شاهرود را مورد بررسی قرار داده‌اند.

مینویی و همکاران (۱۳۸۸)، نقش شکستگی‌ها را در توسعه کارست کوه‌های شاهو (استان کردستان) بررسی و شواهدی برای شکل‌گیری حفرات انحلالی در راستای شکستگی‌ها ارائه نمودند.

رادفر و رحیمی (۱۳۹۰) در مطالعات خود بیان داشتند که چین‌خوردگی در البرز خاوری در پهنه شمال-شمال باختری شاهرود در اثر کوتاه شدگی با فشارش شمالی جنوبی و همچنین عملکرد گسل‌های اصلی سامانه گسلی شاهرود ایجاد شده و چین‌های با روند خاوری باختری در این منطقه را مرتبط با گسلش می‌دانند.

قنادیان و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی شکستگی‌ها در سازند مزدوران (محدوده روستای مزدوران) در شمال شرق ایران پرداختند که بر طبق بررسی‌های میدانی بیان داشتند این سازند تحت تاثیر سه دسته شکستگی قرار گرفته است.

اسکندری گوجه قملاق و اسلامی (۱۳۹۱) شکستگی‌های ناودیس تنگ شمشیربر در شمال غرب دامغان را مورد بررسی قرار داده و براساس نتایج حاصل، شکستگی‌های دارای امتداد میانگین N40W تراکم بالایی در گستره‌ی ناودیس نشان داده و شکستگی‌های با راستای میانگین N25E با فراوانی کمتر، ساختار مزدوج آن‌ها را تشکیل می‌دهند که این امر در ارتباط با موقعیت گسل شمال البرز قابل تأمل است.

صفری (۱۳۹۱) برای تشخیص حفرات زیرسطحی به منظور اکتشاف منابع آب زیرزمینی از روش گرانی-سنجی استفاده نموده و آنومالی‌های موجود را مورد تفسیر قرار داده‌اند.

شریفی (۱۳۹۱) با استفاده از روش ژئوالکتریک به اکتشاف آب‌های زیرزمینی کارستی در منطقه جنوب غربی تپال شاهرود پرداخته است.

شمس ضامنجان و همکاران (۱۳۹۱)، الگوی شکستگی‌های تاق‌دیس سبزپوشان در جنوب شیراز را مورد مطالعه قرار داده و با بررسی ارتباط بین شکستگی‌ها و چین خوردگی، الگوی شکستگی‌های این تاق‌دیس را چهار دسته شکستگی توصیف کرد.

حسینی و امیدی (۱۳۹۳) علاوه بر گسل راندگی شاهرود، گسل کواترنری شاهرود و گسل‌های دیگری را در محدوده ارتفاعات شمال شاهرود شناسایی نموده که جنبش این گسل‌ها می‌تواند در شکل‌گیری شکستگی‌ها در منطقه پیشنهادی سهیم باشد.

پورکریم و همکاران (۱۳۹۴) تحلیل هندسی شکستگی‌ها در زون افیولیتی چالدران را مورد بررسی قرار داده و محدوده مورد پژوهش را یک پهنه برشی راستگرد معرفی کردند که شکستگی‌های منطقه با الگوی جهت‌گیری شکستگی‌های مرتبط با گسل‌های امتدادلغز راستگرد مطابقت دارند.

فرضعلی زاده و همکاران (۱۳۹۴) سیستم شکستگی‌های مرتبط با گسل سیه باز را مورد بررسی قرار داده و از مقایسه سیستم درزه‌ها و گسل‌ها چنین برداشت کردند که درزه‌های تشکیل شده در منطقه کاملاً متأثر از حرکت گسل‌های اصلی محدوده بوده‌اند و از الگوی خاص سامانه گسل امتدادی راست لغز تبعیت می‌کنند.

مژگان فر و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی الگوی شکستگی‌های سازند مزدوران در زون گسلی کارده، شمال شرق مشهد پرداخت و بیان داشت که چهار دسته شکستگی منطقه را تحت تاثیر قرار داده است.

جمالی دهنوی و همکاران (۱۳۹۶)، به تحلیل ساختاری منطقه گسلی دهاقان (جنوب باختری اصفهان) پرداختند و با توجه به نتایج این مطالعه، شواهد قابل توجهی در واحدهای رسوبی جوان، نشان دهنده فعال بودن دگرشکلی و کج شدگی فعال نوزمین ساختی در منطقه است، همچنین آهک‌های کرتاسه

بالایی که در سرتاسر منطقه رخنمون دارند تحت تأثیر شکستگی‌های ناشی از این گسل تا اندازه‌ای کارستی شده‌اند.

۱-۴- روش انجام تحقیق

مراحل انجام تحقیق در این پژوهش به صورت زیر است:

- ۱- مطالعات کتابخانه‌ای اعم از مقالات، پایان‌نامه‌ها و سایر منابع مرتبط
- ۲- بررسی داده‌های دور سنجی منطقه شامل تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی جهت شناسایی و تشخیص ساختارهای منطقه مورد مطالعه و همچنین تهیه نقشه
- ۳- انجام مطالعات صحرایی به منظور اندازه‌گیری‌های ساختاری شامل برداشت شکستگی‌ها در محدوده مطالعاتی جهت شناسایی آثار گسلش سطحی و تعیین نحوه حرکت گسل‌ها، همچنین بررسی توسعه کارست و ارتباط آن با وضعیت ساختاری منطقه؛ لازم به ذکر است که برداشت موقعیت عناصر ساختاری با کمپاس کلارک به صورت شیب و جهت شیب (Dip, Dip direction) برای ساختارهای صفحه‌ای و میل و جهت میل (Plunge, Plunge Direction) برای ساختارهای خطی است.
- ۴- پردازش و تحلیل داده‌ها در مدل کردن شکستگی‌ها با استفاده از روش‌های متداول زمین‌شناسی ساختاری، در این راستا از نرم‌افزارهای تخصصی Tectonics FP, Dips, Win-Tensor استفاده شده است.
- ۵- تدوین پایان‌نامه با اطلاعات ساختاری و محوریت موضوع مورد نظر و تهیه نقشه‌ای با مقیاس مناسب از منطقه مورد مطالعه، در تهیه نقشه، از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود مانند نقشه زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۸۰) و چهارگوش گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ (شهرابی و همکاران، ۱۳۶۹) به عنوان نقشه پایه استفاده شده و همچنین یافته‌های جدید ساختاری بر روی آن اضافه شده است. قابل ذکر است که در این بخش از نرم‌افزارهای مرتبط مانند Global Mapper، Arc GIS و ... استفاده شده است.

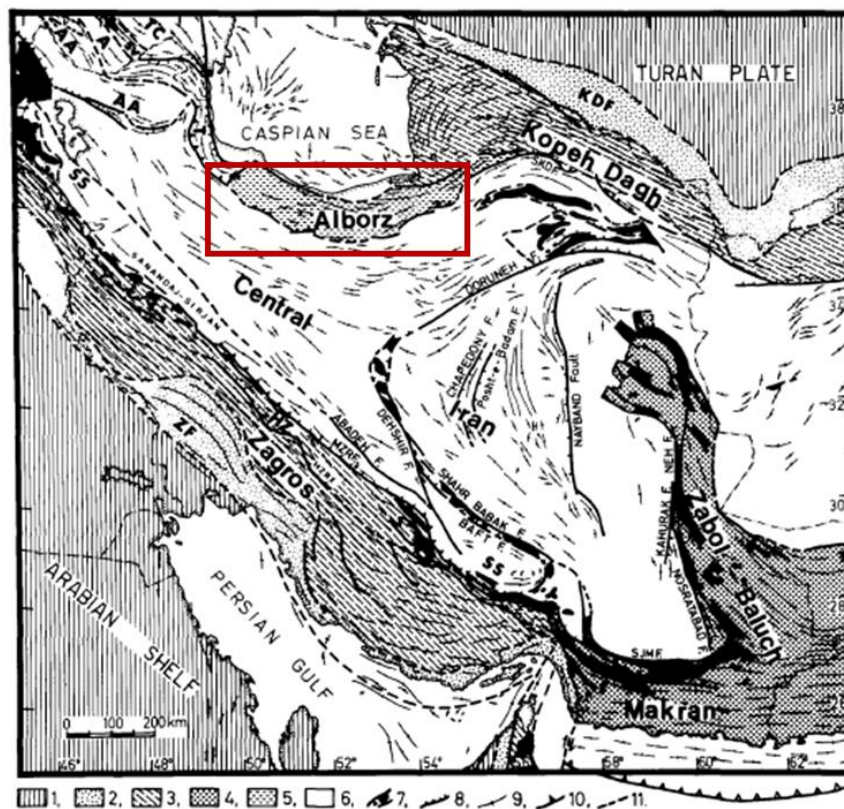
فصل دوم

زمین شناسی عمومی

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

۱-۲- زمین ساخت البرز

بر اساس نقشه واحدهای رسوبی ساختاری ایران (Berberian and king, 1981) رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی دریای خزر بصورت مجموعه کوه‌هایی که در منتهی‌الیه شمالی ایران با روند خاوری-باختری از آذربایجان تا خراسان و با پیچ و خم قابل توجه امتداد دارد، واقع شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نقشه واحدهای ساختاری ایران، کادر مستطیل موقعیت رشته کوه البرز را نشان می‌دهد (نقل از: Berberian and king, 1981)

در مورد الگوی دگرریختی در کوهزاد البرز نظرات مختلفی ارائه شده است از جمله می‌توان به نظر آلن (Allen et al., 2003) اشاره کرد که رشته کوه البرز را الگوی مناسبی از هم‌زمانی دگرشکلی فشارشی و

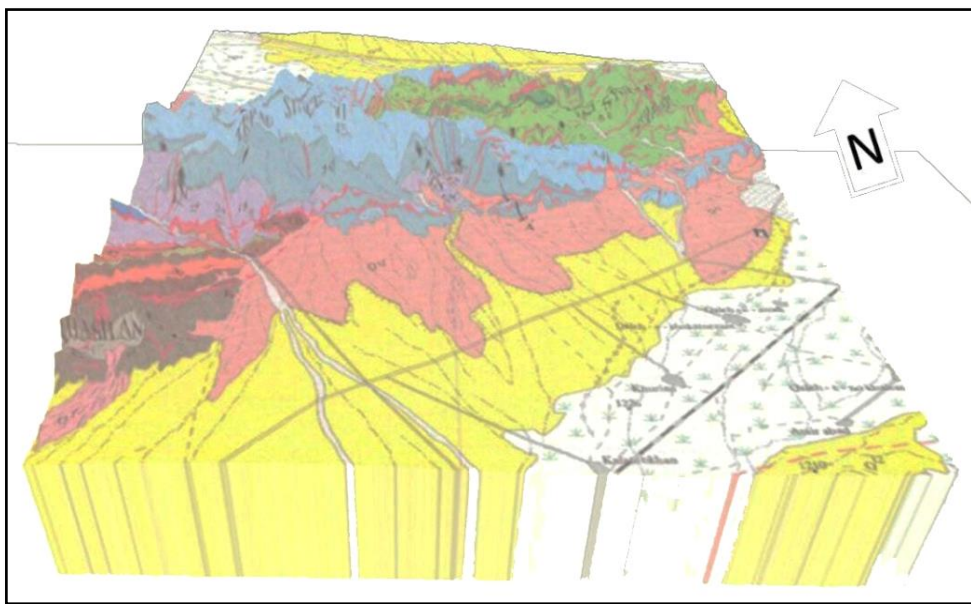
امتداد لغز می‌داند. در شکل‌گیری ساختارهای چین‌خورده البرز عواملی مانند برخورد صفحه ایران و توران، عملکرد گسل‌های راندگی و سرانجام عملکرد گسل‌های امتداد لغز شمال‌باختری-جنوب‌خاوری در البرز باختری، و شمال‌خاوری-جنوب‌باختری در البرز خاوری، نقش دارند (Allen et al., 2003). همچنین گسل‌های راندگی در ساختار البرز تاثیر بسیار سازنده داشته‌اند. علوی (۱۹۹۶) بر اساس مشاهدات خود ساختار البرز را در قالب ساختارهای دوپلکس از نوع Antiformal Stack در نظر گرفته است و اما دیگر زمین‌شناسان همچون (Stocklin, 1974) و (Allen et al., 2003) برای این پهنه ساختاری در شمال ایران، معتقد به مدلی چون ساختار گل هستند و بر همین اساس، تا کنون برش‌های ساختاری گوناگونی با اندکی تغییرات نسبت به مدل اولیه (Stocklin, 1974) بازسازی و ارائه شده است. بر این اساس، رشته کوه البرز متشکل از چین‌ها و گسل‌های راندگی با دو سوی حرکتی است. گسل‌های راندگی موجود در بخش شمالی به سوی جنوب شیب دارند و برعکس، گسل‌های موجود در بخش جنوبی دارای شیب به سمت شمال هستند که بیانگر یک ساختار گل مثبت است.

گسل‌های راست‌الغز و راندگی در کوه‌های البرز به فراوانی دیده می‌شود که اکثراً به موازات کوه‌ها بوده و بیشتر چین‌ها نیز با فعالیت دوباره این گسل‌ها شکل گرفته‌اند. گسل‌های اصلی راندگی و امتداد لغز روند خاوری-باختری تا شمال خاوری-جنوب‌باختری دارند که به ترتیب در بخش‌های باختری-مرکزی و خاوری البرز قرار گرفته‌اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۲- ریخت‌شناسی

از نگاه ریخت‌شناسی، گستره مطالعاتی شامل نواحی مرتفع و بخش‌های پست می‌باشد که غالباً به صورت رخنمون‌های سنگی و دیواره‌ساز، ستبر لایه تا توده‌ای بوده و پوشش واریزه‌ای در آن‌ها فراوان است. بطوریکه ارتفاعات شمال و شمال‌باختری شاهرود را واحدهای سنگی مزوزوئیک شامل سازندهای لار و آهک‌های کرتاسه تشکیل داده است. وجود مارن در سازند دلیچای سبب شده این سازند مقاومت کمتری نسبت به فرسایش داشته باشد بنابراین توپوگرافی ملایم‌تری نسبت به سازندهای لار و کرتاسه از خود

نشان دهد. همچنین سازندهای سنوزوئیک شامل فجن و زیارت نیز در این منطقه رخنمون دارند. دشت جلالی و نیز بخش‌هایی که شهر شاهرود بر روی آن بنا شده، نواحی پست را تشکیل می‌دهند و عمدتاً توسط نهشته‌های کواترنری پوشیده شده‌اند. مرتفع‌ترین قسمت چین‌خوردگی در میان آهک‌های لار بر روی تاقدیس تپال با ارتفاع ۲۹۹۰ متر می‌باشد. ریخت‌شناسی پیرامون شاهرود به صورت سه‌بعدی از تلفیق نقشه زمین‌شناسی و داده‌های ماهواره‌ای از نوع SRTM در نرم‌افزار Global Mapper شبیه‌سازی شده و در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- تصویر سه‌بعدی از منطقه مورد مطالعه و پیرامون آن به منظور نمایش ریخت‌شناسی منطقه، ترکیبی از نقشه زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و داده‌های SRTM

قابل ذکر است که رخنمون‌های منطقه تحت تاثیر پدیده کارست نیز قرار گرفته اند. اثر پدیده کارست در سازندهای منطقه متفاوت بوده و در برخی به نسبت توسعه یافته و بعضی سازندها پتانسیل کمتری برای میزبانی این پدیده دارند(شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- تصویری از شکستگی‌ها به همراه نمایی از حفره‌های کارستی در آهک‌های کرتاسه

۲-۳- چینه‌شناسی

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته‌ی پیشین، به ویژه نقشه‌های زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (وزیری و مجیدی فر، ۱۳۸۰) و چهارگوش گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ (شهرابی و همکاران، ۱۳۶۹) چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همین‌طور مشاهدات صحرایی نگارنده، واحدهای سنگ چینه‌ای آهک‌های شمشک، دلیچای (ژوراسیک)، آهک و دولومیت‌های سازند لار (ژوراسیک بالایی)، آهک‌های کرتاسه بالایی، ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز فجن (پالئوسن)، زیارت (ائوسن زیرین) و ولکانیک‌های ائوسن در این منطقه رخنمون دارند، همچنین مخروط افکنه‌های جوان کواترنری بسترهایی از این منطقه را پوشانده است.

۲-۳-۱ - سازند شمشک

آسرتو (Aserto, 1996) برش الگوی این سازند را در شمال تهران معرفی نمود. وی این سازند را به چهار واحد تقسیم کرده است که به ترتیب از پایین به بالا شامل سنگ ماسه‌های پایینی، سری زغال‌دار پایینی، ماسه سنگ بالایی و سری زغال‌دار بالایی است. سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه از سنگ‌ماسه ارغوانی نازک تا ضخیم‌لایه و شیل‌های نازک‌لایه ذغال‌دار سبز سازمان یافته است. بخش‌هایی

از رخنمون این سازند در غرب منطقه و در مسیر شاهرود به دامغان و جاده منتهی به معدن متروکه دهملا دیده می‌شود که در شکل ۲-۴-الف قابل مشاهده می‌باشد.

۲-۳-۲- سازند دلپچای

سازند دلپچای به سن ژوراسیک میانی در ناحیه مورد مطالعه اساساً از سنگ آهک‌های متوسط لایه خاکستری روشن با مارن‌های آمونیت‌دار تشکیل شده و دارای رخنمون‌های کم ارتفاع و پست با ضخامت حدود ۲۸۴ متر می‌باشد. این سازند بواسطه‌ی یک ناپیوستگی فرسایشی موازی بر روی سازند شمشک (Js₃) قرار گرفته و در مرز بالایی خود به طور هم‌شیب و تدریجی توسط سنگ‌آهک‌های سازند لار پوشیده می‌شود (آقانباتی ۱۳۸۳). آمونیت‌ها در سازند دلپچای باختر شاهرود دارای سن بازوسین-آکسفوردین می‌باشند (شفیع‌زاده و امامی، ۱۳۸۵). طی بررسی‌های میدانی صورت گرفته، شواهدی از فسیل‌های آمونیت در میان رخنمون‌های این سازند مشاهده شد که جزو فسیل‌های شاخص ژوراسیک می‌باشد. شکل ۲-۴-ب تصویری از سازند دلپچای در منطقه مورد مطالعه به همراه آمونیت یافت شده را نشان می‌دهد.

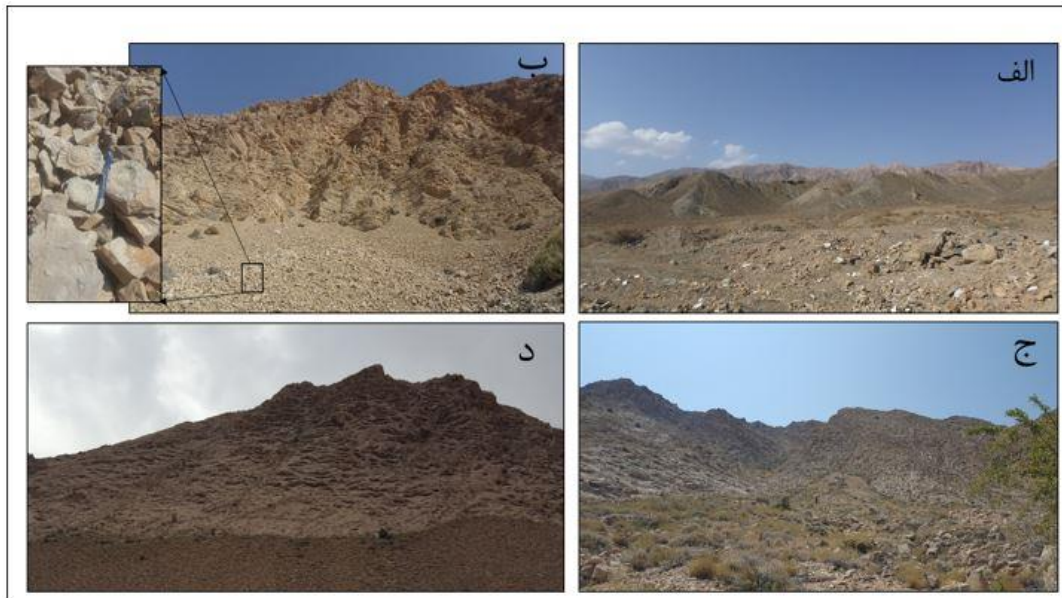
۲-۳-۳- سازند لار

آسرتو (Aserto, 1996) با استفاده از نام دره لار (برش الگو) نام سازند لار را بر روی این سنگ آهک‌ها نهاده و این سازند را به صورت سنگ آهک‌های کوه‌سازی معرفی کرد که دارای سن ژوراسیک بالایی هستند. سازند لار در منطقه مورد مطالعه از سنگ‌آهک‌های خاکستری روشن حاوی تعداد کمی آمونیت تشکیل شده است. این سنگ آهک‌ها ابتدا ضخیم لایه بوده که تدریجاً به سنگ آهک‌های توده‌ای و دیواره ساز تبدیل می‌شوند. ضخامت سازند لار در این منطقه به ۶۰۰ متر نیز می‌رسد. بخش بالایی سنگ آهک‌های لار به نسبت توده‌ای و مقاوم بوده و دارای قلوه سنگ‌های چرتی است. قسمت اعظمی از منطقه مورد مطالعه را سازند لار تشکیل داده که بر روی نهشته‌های دلپچای قرار دارند. رخنمون‌های سازند لار در قسمت غربی منطقه قابل مشاهده می‌باشد که از بهترین راه‌های دسترسی می‌توان به

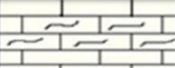
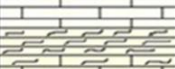
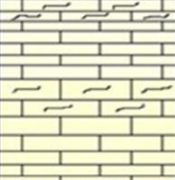


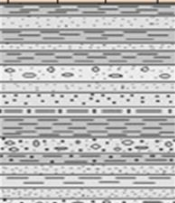
مسیر شاهرود به بسطام و مجن و جاده های خاکی منتهی به تاقدیس تپال و همچنین مسیر شاهرود به دامغان و جاده منتهی به معدن متروکه دهلا می توان اشاره کرد. تصویری از رخنمون این سازند در شکل ۲-۴- پ آورده شده است.

۲-۳-۴ - آهک های کرتاسه

ترکیب سنگ های کرتاسه بالایی در منطقه مورد مطالعه شامل مارن های سبز زیتونی و سنگ آهک خاکستری روشن با مارن های سبز روشن در ابتدا و سپس سنگ آهک های خاکستری متمایل به قهوه ای ضخیم لایه، توده ای و صخره ساز که به شدت هوازده و فرسایش یافته می باشد. این واحدها کریستالیزه نیز هستند و در اثر قطرات باران و آب های جاری حفرات متعدد کارستی در آنها ایجاد شده که قابل مشاهده است. شکل ۲-۴-ت تصویر صحرایی از رخنمون این واحد را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد.



شکل ۲-۴-تصاویری از سازندهای مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه، الف: سازند شمشک، ب: سازند دلچای به همراه تصویری از فسیل آمونیت یافت شده در این سازند، ج: نمایی از رخنمون ضخیم لایه سازند لار، د: آهک های کرتاسه ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲-۵- آورده شده است.

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Mesozoic	cretaceous	upper			Thin to medium bedded crystalline limestone and marly limestone
					Thin bedded white limestone and marly limestone
					Thin to medium bedded milky to white marly limestone
	Jurassic	upper	Lar		Medium to thick bedded limestone
		Middle	Deichay		alternation of limestone and marl, whit Amunite
		Lower	Shemshak		Sandstone, Shale, Siltstone, conglomerate, coaly shale and coal
Triassic	upper				

شکل ۲-۵- ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)

۲-۳-۵- سازند فجن

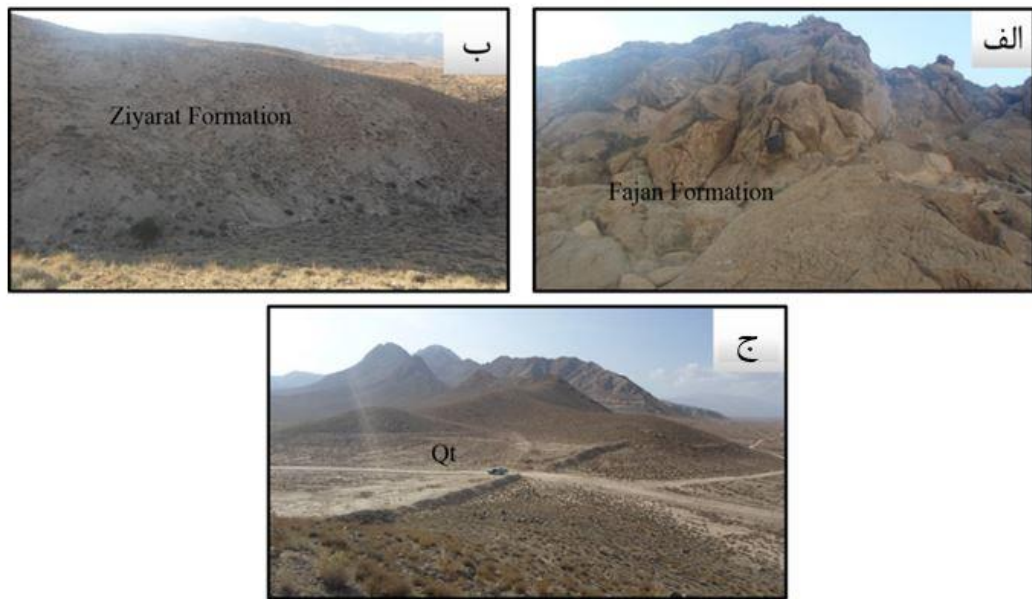
برش الگوی این سازند را دلنباخ (Dellenbach, 1964) در ۱۰۰ کیلومتری خاور تهران به ضخامت ۱۵۰۰ متر اندازه گیری کرده که سن آن مربوط به پالئوسن می باشد. در محل برش الگو، کنگلومرای فجن ضخامت متغیری از کنگلومرای چندزادی، ماسه سنگ های سرخ رنگ و مارن ماسه ای است. این سازند در منطقه مورد مطالعه شامل کنگلومرای خاکستری روشن، سنگ ماسه متوسط لایه به رنگ سبز روشن و مارن ماسه ای قرمز رنگ است. سازند فجن ضخامت تقریبی ۲۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه دارد. مرز زیرین این سازند را واحدهای آهکی کرتاسه تشکیل داده است. تصویری از رخنمون این سازند در شکل ۲-۶- الف آورده شده است.

۲-۳-۶- سازند زیارت

برش الگوی این سازند را دلنباخ (Dellenbach, 1964) در خاور تهران اندازه‌گیری کرده است. جنس و لیتولوژی سازند زیارت به سن ائوسن زیرین در ناحیه مورد مطالعه لایه نخودی تا خاکستری رنگ سنگ آهک نومولیت‌دار و سنگ آهک ماسه‌ای نومولیت‌دار تشکیل شده است. ضخامت تقریبی برای این سازند در منطقه مورد مطالعه ۸۰ متر در نظر گرفته شده است. مرز پائینی این سازند را سازند فجن تشکیل داده که به طور هم‌شیب توسط سازند زیارت پوشیده می‌شود. شکل ۲-۶-ب نمایی از رخنمون این سازند را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۲-۳-۷- نهشته‌های کواترنری

جوان‌ترین رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های کواترنری می‌باشند که به صورت رسوبات سخت نشده و یا با فشردگی اندک بخش‌هایی از منطقه را در بر گرفته‌اند. این واحدها شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و مارن‌های گراولی (Qt_1) می‌باشند که در قسمت بالادست رودخانه مجن و در کنار دره‌ها تشکیل شده‌اند، در بخش‌هایی نیز شامل پادگانه‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی (Qt_2) می‌باشند. تصویری از رسوبات Qt_1 در شکل (۲-۶-پ) قابل مشاهده است.



شکل ۲-۶. تصاویری از سازندهای مزوزوئیک در منطقه‌ی مورد مطالعه، الف: سازند فجن، ب: سازند زیارت، ج: رسوبات کواترنری

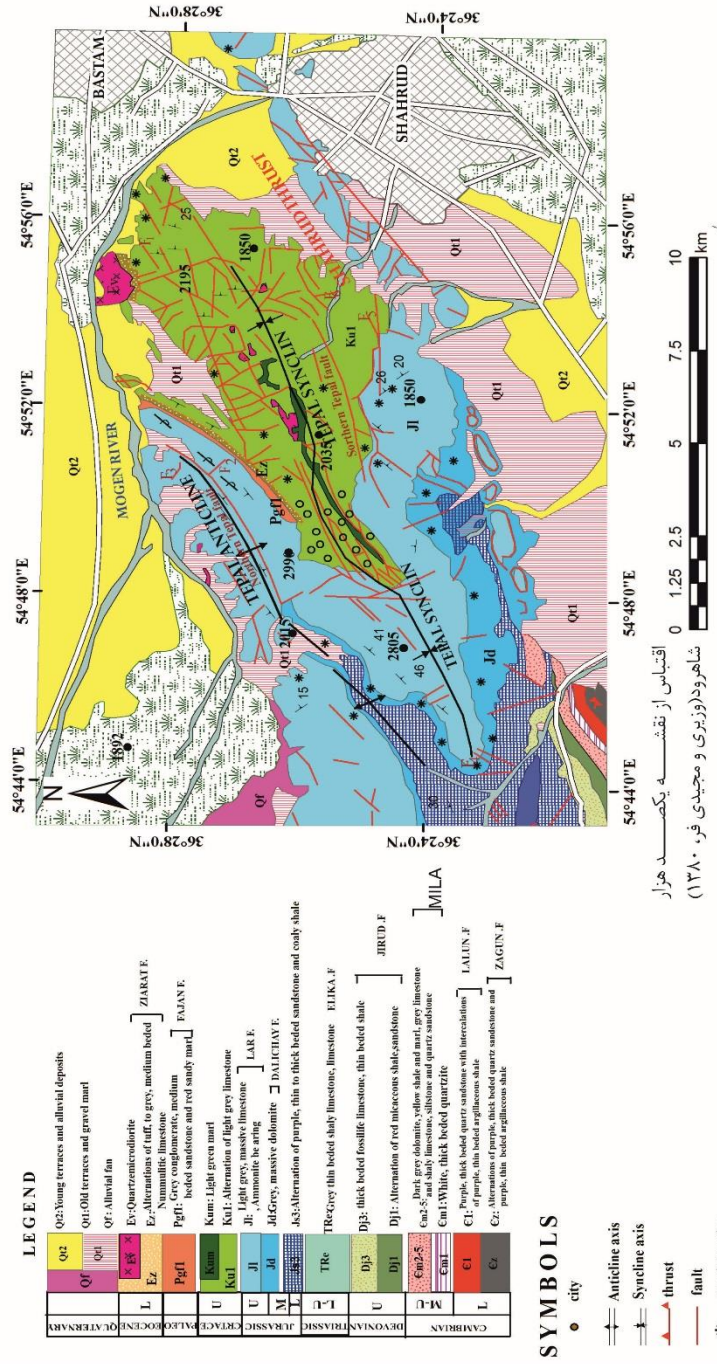
ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه مورد مطالعه، در

شکل ۲-۷- آورده شده است.

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Cenozoic	Quaternary				High level piedmont and alluvial fan Grey and dark Green marl, unconsolidated conglomerate
		Eocene	Ziarat		Yellowish limestone and marl
	Tertiary	Paleocene	Fajan		Red sandstone, conglomerate and Shale

شکل ۲-۷- ستون چینه نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)

Geological Map of Tepal area



شکل ۲-۸- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

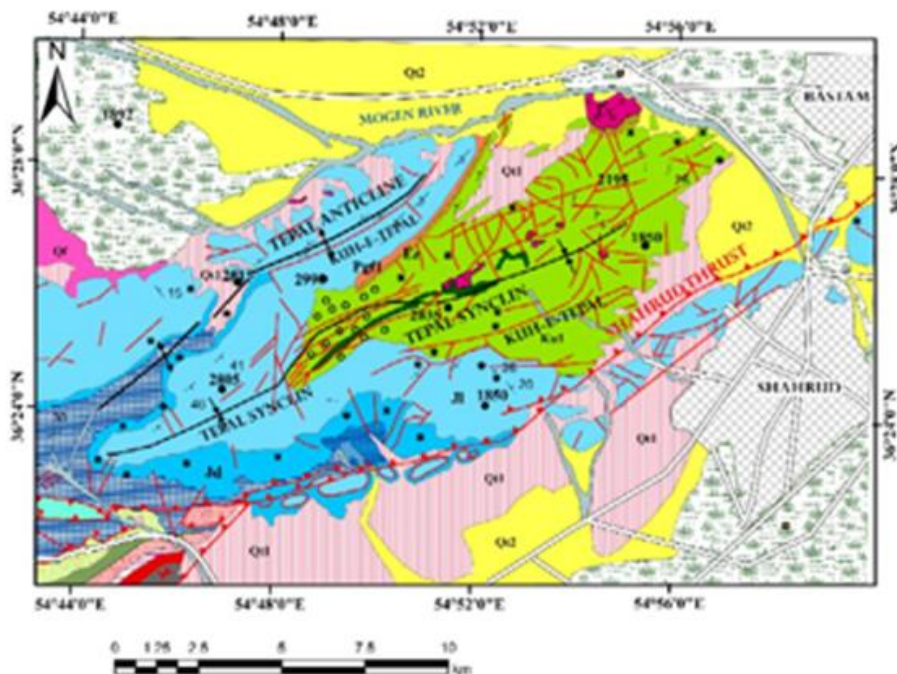
فصل سوم

زمین‌شناسی ساختاری

از آنجایی که در بررسی مطالعه شکستگی‌ها، شناخت ساختار واحدهای سنگی که شکستگی‌ها بر روی آن‌ها مطالعه و اندازه‌گیری می‌شود ضروری است و از طرف دیگر در مرحله بررسی منشأ شکستگی‌ها و ارتباط منشأ آن‌ها با چین‌خوردگی و یا گسلش، ابتدا به تشریح ویژگی‌های هندسی چین‌خوردگی و معرفی گسل‌های مهم منطقه پرداخته می‌شود.

۱-۳- چین‌خوردگی

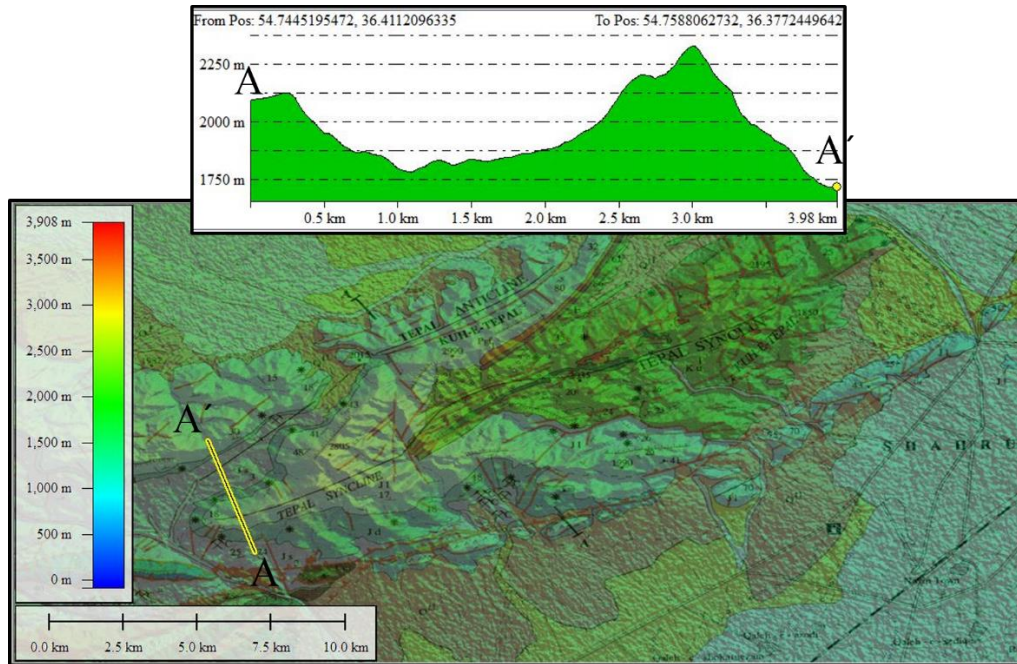
آثار چین‌خوردگی در واحدهای سنگی منطقه را می‌توان در رخنمون لایه‌های رسوبی مایل، همچنین چین‌های کامل در ابعاد بزرگ مشاهده نمود که در نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با نام‌های تاق‌دیس و ناودیس تپال معرفی شده است (شکل ۱-۳). همچنین چین‌های با ابعاد کوچک را در برخی سازندها مانند دلیچای می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۱-۳- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی شاهرود که تاق‌دیس و ناودیس تپال بر روی آن مشخص شده

اندازه‌گیری چین‌های منطقه با برداشت موقعیت صفحه لایه‌بندی در پیمایش A-A' (شکل ۲-۳) صورت پذیرفت. سپس موقعیت محور، سطح محوری و زاویه بین یالی با استفاده از روش‌های استریوگرافیک

تعیین و جایگاه آن‌ها در طبقه‌بندی فلوتی (Fleuty, 1964) مشخص گردید.



شکل ۳-۲- تصویر SRTM تهیه‌شده منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Global mapper و برش عرضی مربوط به پیمایش صورت گرفته

تاق‌دیس و ناودیس تپال نتیجه چین‌خوردگی سازندهای شمشک، دلیچای، لار و آهک‌های کرتاسه می‌باشد که در پیمایش عرضی A-A' برداشت شده‌اند. اندازه‌گیری لایه‌بندی بر روی لایه‌های سازندهای شمشک و دلیچای انجام گرفته است. تصاویری از برداشت لایه‌بندی در چین‌خوردگی تپال در شکل ۳-۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۳- برداشت لایه‌بندی الف- لایه‌بندی در سازند آهک‌های کرتاسه (دید به جنوب)، ب- لایه‌بندی در سازند دلیچای (دید به جنوب شرق)، ج- لایه‌بندی در سازند شمشک (دید به غرب).

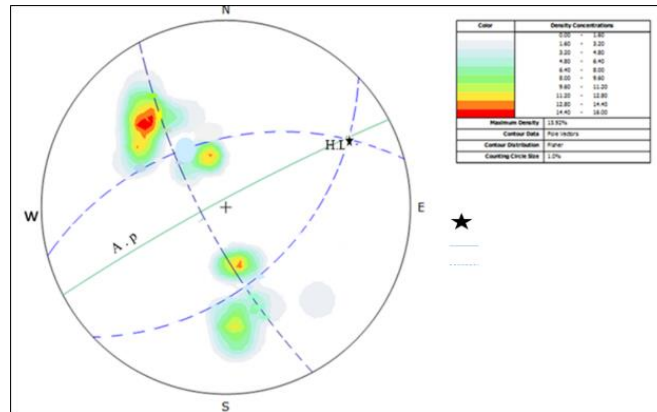
داده‌های این برداشت‌ها در جدول‌های پیوست ۱ و ۲ آمده است. بر اساس استریوگرام‌های رسم شده از داده‌ها در شکل ۳-۴ و ۳-۵- موقعیت عناصر هندسی تاقدیس و ناودیس تپال در جدول‌های شماره ۳-۱ و ۳-۲ آمده است. بر اساس موقعیت خط لولای، سطح محوری و زاویه بین یالی، موقعیت آن‌ها در قراردادهای فلوتی جزو چین‌های باز و ایستاده با پلانژ متوسط می‌باشند (شکل ۳-۶).

ناودیس تپال در مجاورت جنوب شرقی تاقدیس تپال قرار گرفته و دارای روند غالب شمال شرقی- جنوب غربی است. این چین با روند غالب ساختاری البرز همخوانی دارد. این ناودیس در منطقه مورد مطالعه از لحاظ چینه‌شناسی در سازندهای ژوراسیک بالایی توسعه یافته که این می‌تواند دلیلی بر توسعه این چین در دوره‌های پایانی ژوراسیک و کرتاسه باشد. میانگین شیب برای یال شمال غربی چین در حدود ۴۷ درجه و برای یال جنوب شرقی آن در حدود ۵۱ درجه بوده که با توجه به این اعداد زاویه بین یالی (i) برای ناودیس تپال برابر با ۸۲ درجه است. بر این اساس ناودیس تپال در طبقه‌بندی فلوتی جزو چین‌های با پلانژ متوسط قرار می‌گیرد (جدول ۳-۱). با توجه به وضعیت شرح داده‌شده در بالا و همچنین تصویر

استریوگرافیک به دست آمده برای چین (شکل ۳-۲)، به نظر می‌رسد که ناودیس تپال دارای تقارن نسبی می‌باشد. مشخصات سطح محوری چین نیز با توجه به اثر سطح محوری تعیین شده ۸۵/۳۳۲ به دست آمد. بنابراین چین مذکور دارای تمایل به سمت شمال شرقی می‌باشد که با توجه به طبقه‌بندی فلوتی (شکل ۳-۶) این چین جزو چین‌های ایستاده با پلانژ متوسط می‌باشد.

به منظور شناسایی و دستیابی به هندسه این ناودیس، یک پیمایش عرضی انجام شد. برداشت‌های لایه‌بندی با فرمت Dip/Dip direction در مسیر پیمایش و رخنمون‌های قابل برداشت انجام گرفت. در نهایت جهت تعیین مشخصات هندسی ناودیس (محور و سطح محوری)، با استفاده از کنتورهای فراوانی قطب لایه‌بندی؛ مختصات محور، سطح محوری و زاویه بین یالی ناودیس، از نرم‌افزارهای Dips، Stereonet استفاده شد. در ادامه به روند دستیابی به این مشخصات می‌پردازیم.

پیمایش A-A' حدود ۴ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدا و انتهای آن در شکل ۳-۱ قابل مشاهده می‌باشد. راه دسترسی به ابتدای پیمایش، جاده فرعی مسیر معدن متروکه ده‌ملا است. این پیمایش شامل سازندهای شمشک، لار و دلیچای می‌باشد. مشخصات میانگین یال شمال غربی ۵۱/۳۴۶ و جنوب شرقی ۴۷/۱۳۶ برآورد شد (Dip/Dip direction). برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی در یال‌های شمالی غربی و جنوبی شرقی بر روی استریوگرام پیاده‌سازی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۴). داده‌های مربوط به این پیمایش در پیوست ۱ آورده شده است. بر این اساس زاویه بین یالی (I) ۸۲ درجه و زاویه چین خوردگی (ϕ) ۹۸ درجه، موقعیت محور ناودیس در این پیمایش ۱۷/۰۶۲ و موقعیت سطح محوری ۸۵/۳۳۲ اندازه‌گیری شد (جدول ۳-۱).



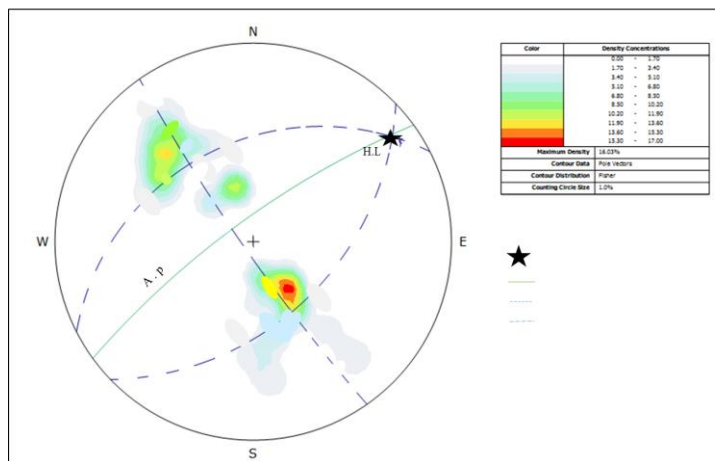
شکل ۳-۴. استریو گرام ناودیس تپال که موقعیت سطح محوری، خط لولا و زاویه بین یالی را نشان داده است.

جدول ۳-۱. خصوصیات هندسی ناودیس تپال در پیمایش A-A'

موقعیت محور	موقعیت سطح محوری	میانگین یال جنوب شرقی	میانگین یال شمال غربی	پیمایش
38/067	N62E/85NW	N46E/47SE	N75E/51NW	A-A'

تاقدیس تپال در توالی‌های ژوراسیک قرار گرفته و دارای محوری با راستای تقریبی شمال شرقی جنوب غربی بوده که با روند غالب البرز شرقی مطابقت دارد. از لحاظ چینه شناسی در سازندهای ژوراسیک ایجاد شده، و با توجه به اینکه ناودیس تپال (در مجاورت تاقدیس) دارای چینه‌هایی با سن ژوراسیک پایانی می‌باشد، می‌توان تشکیل و توسعه این چین را به بعد از ژوراسیک نسبت داد. قسمت هسته تاقدیس را بخش شیلی گروه شمشک تشکیل داده که به دلیل مقاومت کم شیل در برابر فرسایش، این تاقدیس نسبت به زمینه‌ای اطراف مورفولوژی با ارتفاع کمتر را ایجاد کرده است. سازندهای آهکی لار و دلیچای سیمای صخره ساز این تاقدیس را تشکیل داده‌اند. اطلاعات مربوط به لایه‌بندی در یال‌های شمال غربی و جنوب شرقی بر روی استریوگرام پیاده‌سازی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۵). داده‌های مربوط به برداشت لایه‌بندی در تاقدیس تپال در پیوست ۲ آورده شده است. میانگین یال جنوب شرقی ۴۷/۱۳۶ و یال شمال غربی ۳۷/۳۳۳ محاسبه شد، همچنین موقعیت محور ۱۱/۰۴۹ سطح محوری ۸۴/۳۲۴ به

دست آمد. بر این اساس میانگین شیب برای یال جنوب شرقی ۴۷ درجه و برای یال شمال غربی ۳۷ درجه به دست آمد. بنابراین، می توان زاویه بین یالی (I) در حدود ۹۶ درجه و زاویه چین خوردگی (ϕ) ۸۴ درجه را برای این تاقدیس محاسبه کرد که با توجه به طبقه بندی فلوتی (Fleuty, 1964) این چین رده چین های باز قرار می گیرد. با توجه به وضعیت شرح داده شده برای یال ها و همچنین وضعیت به دست آمده برای این چین خوردگی توسط استریونت می توان گفت که این چین دارای تقارن نسبی می باشد. جدول ۳-۲- مشخصات به دست آمده برای تاقدیس تپال را به نمایش می گذارد.



شکل ۳-۵. استریو گرام تاقدیس تپال که موقعیت سطح محوری، خط لولا و زاویه بین یالی را نشان داده است.

جدول ۳-۲. مشخصات هندسی تاقدیس تپال

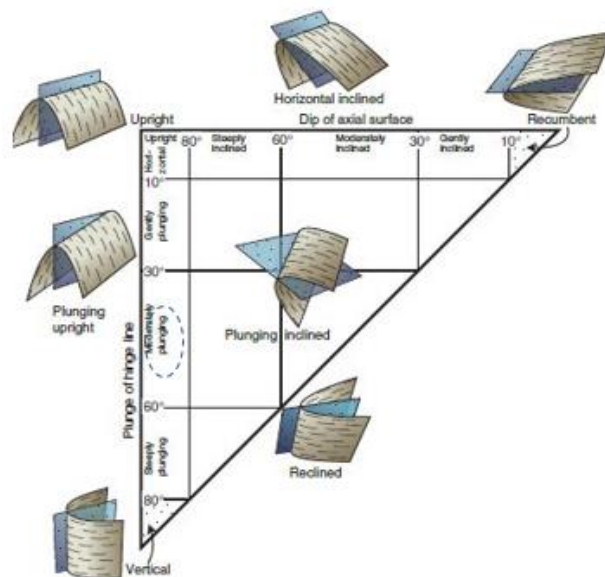
موقعیت محور	موقعیت سطح محوری	میانگین یال جنوب- شرقی	میانگین یال شمال- غربی
۱۱/۰۴۹	N54E/84NW	N46E/47SE	N63E/37NW

فشرده گی چین ها: این خصوصیت به وسیله زاویه بین یالی (i) و زاویه ی چین خوردگی (Q) تعیین می شود. هر چه شدت چین خوردگی بیشتر باشد، زاویه بین یالی کاهش پیدا می کند. چین ها از این منظر به دسته هایی تقسیم می شوند که در جدول ۳-۳ آمده است. بر این اساس تاقدیس و ناودیس تپال جزو چین های باز محسوب می شوند.

جدول ۳-۳. تقسیم‌بندی مقادیر فشردگی و زاویه بین یالی (I) (Fleuty, 1964)

Description	Q	I
Gentel	$0 \leq Q < 60$	$180 \geq I > 120$
Open	$0 \leq Q < 110$	$120 \geq I > 70$
Close	$110 \leq Q < 150$	$70 \geq I > 30$
Tight	$150 \leq Q < 180$	$30 \geq I > 0$
Isoclinal	$Q=180$	$I=0$

همچنین بر اساس شیب سطح محوری و زاویه میل محور تاقدیس و ناودیس تپال در رده چین‌های ایستاده با زاویه میل متوسط قرار می‌گیرند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۶- نمودار فلوتی برای توصیف چین‌ها بر اساس سطح محوری و میل لولا (Fleuty, 1964).

۳-۲- شکستگی‌ها

واژه شکستگی (Fracture) یک اصطلاح کلی است که همه‌ی سطوح انفصال ثانوی ایجادشده در سنگ‌ها را در برمی‌گیرد و از اصطلاح لاتین Fractus به معنی شکسته شده (Broken)، اقتباس شده است (Twiss & Moores, 1992).

شکستگی‌ها از معمول‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند که بر اثر گسیختگی شکننده در سنگ‌ها ایجاد می‌شوند. در امتداد سطوح شکستگی چسبندگی بین اجزاء تشکیل‌دهنده سنگ کاهش یافته یا از بین می‌رود (Twiss & Moores, 1992). این ساختارها از نظر اندازه، تغییرات وسیعی دارند و از خطواره‌های بسیار بزرگ به طول صدها یا هزاران کیلومتر تا درزه‌های بسیار کوچک به طول یک میلی‌متر، تغییر می‌کنند. آن‌ها با کنترل شکل سیستم آبراهه‌ها و خطواره‌های قاره‌ای به شدت بر مورفولوژی سطح زمین تأثیر می‌گذارند. بررسی ماهیت این شکستگی‌ها و ارتباط آن‌ها با تنش‌های ایجادکننده، به منظور درک فعالیت‌های زمین‌ساختی گذشته و حال اهمیت دارد.

۳-۲-۱- انواع شکستگی

بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی که بر روی سنگ‌ها و فرآیندهای تکامل آن‌ها صورت گرفته است، شکستگی‌ها به دو دسته‌ی شکستگی‌های ناشی از فرآیندهای سیستماتیک و شکستگی‌های غیر سیستماتیک تقسیم می‌شوند. شکستگی‌های سیستماتیک بنابر تعریف صفحاتی صاف و بدون تقعرند و توزیع مرتبی از خود نشان می‌دهند، از جمله شاخص‌های این شکستگی‌ها موازی بودنشان است. شکستگی‌های غیر سیستماتیک توزیع نامرتب و سطح به صورت منحنی دارند، این شکستگی‌ها با درزه‌های دیگر برخورد دارند اما از آن‌ها عبور نمی‌کنند و بیشتر تحت تأثیر فرسایش گسترش می‌یابند (Twiss, R. Moores, E. M., 2007).

طبقه‌بندی شکستگی‌ها نسبت به لایه‌بندی

با توجه به رابطه هندسی با لایه‌بندی / برگوارگی، شکستگی‌های سیستماتیک به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. درزه‌های امتدادی، درزه‌هایی هستند که امتداد آن‌ها به موازات امتداد لایه‌بندی است. درزه‌های شیبی، درزه‌هایی هستند که امتداد آن‌ها بر امتداد لایه‌بندی عمود است. درزه‌های اریب یا مورب زاویه‌ای بین موازی و عمود با امتداد لایه‌بندی دربردارنده آن‌ها می‌سازند. دسته آخر از درزه‌های

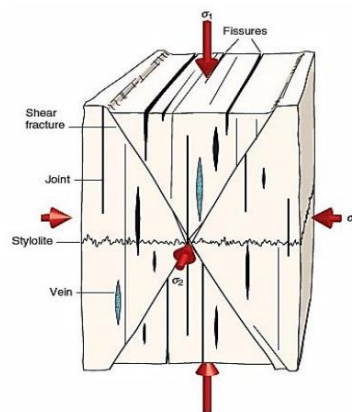
سیستماتیک درزه‌های طبقه‌ای هستند که در آن‌ها سطح درزه موازی سطح لایه‌بندی سنگ‌ها است (Singhal, B & Gupta, R., 2010).

طبقه‌بندی شکستگی‌ها از لحاظ توسعه

بسته به میزان توسعه، شکستگی‌ها را می‌توان به دو نوع دسته‌بندی کرد: مرتبه اول و مرتبه دوم. اگر درزه چندین لایه سنگی را قطع کند درزه مرتبه اول و اگر محدود به یک لایه سنگی باشد درزه مرتبه دوم نامیده می‌شود. همچنین بسته به روند امتداد شکستگی با توجه به محور چین‌خوردگی منطقه، شکستگی به عنوان طولی (موازی)، عرضی (عمود بر) و یا آن‌هایی که مایل است، تعیین شده‌اند (Singhal, B & Gupta, R., 2010).

طبقه‌بندی شکستگی‌ها از لحاظ ژنتیکی

از لحاظ ژنتیکی، شکستگی‌های سیستماتیک را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- جهت‌گیری انواع مختلف شکستگی‌ها نسبت به استرس‌های اصلی (Fossen, 2010).

شکستگی برشی، شکستگی‌هایی هستند که به واسطه‌ی فشاری که به آن وارد می‌شود حرکت نسبی در راستای سطح شکست را متحمل می‌شوند. واژه شکستگی برشی برای شکستگی‌هایی بکار برده می‌شود که جابجایی اندکی در حدود میلی‌متر یا کسری از میلی‌متر در راستای آن‌ها انجام شده باشد. درحالی‌که اگر طول شکستگی زیاد باشد و روی سطح شکستگی جابجایی و لغزش قابل‌ملاحظه‌ای صورت

گرفته باشد از واژه گسل برای شکستگی برشی استفاده می‌کنیم. فصل مشترک این دسته از شکستگی‌ها معمولاً منطبق بر محور σ_2 است. این شکستگی‌ها نسبت به محور σ_1 (تنش اصلی بیشینه) زاویه حاده (معمولاً ۳۰ درجه) می‌سازند.

شکستگی‌های کششی، شکستگی‌هایی هستند که، محور کشش (σ_3) عمود بر دیواره آن‌ها می‌باشد؛ و جابجایی در جهت عمود بر امتداد صفحه شکست، از خود نشان می‌دهند که میزان آن اندک است، و در مقیاس میکروسکوپی قابل مشاهده نیست.

شکاف‌ها (Fissure) از انواع شکستگی‌های کششی هستند که از هوا پر شده است. شکستگی‌های کششی که با کانی‌ها پر شده باشند رگچه (Vein) خوانده می‌شوند (Fossen, 2010).

اصول رئولوژیکی نشان می‌دهد که هیچ طبقه‌بندی دقیقی برای تمایز شکستگی کششی و برشی وجود ندارد. در واقع، انجام همه درجه‌بندی‌ها از یک دسته‌بندی به دیگری صورت می‌گیرد. با این حال ویژگی‌های زیر ممکن است در تفکیک آن‌ها کمک کند (Singhal & Gupta, R., 2010).

شکستگی‌های برشی ممکن است جابجایی اندکی به موازات سطح شکستگی از خود نشان دهد که این جابجایی در گسیختگی‌های کششی وجود ندارد. شکستگی‌های برشی معمولاً در سیستم‌های مزدوج (Conjugate) رخ می‌دهند که ممکن است توسط تحلیل‌های آماری نشان داده شود. معمولاً شکستگی‌های کششی بازشدگی از خود نشان می‌دهند و این در حالی است که شکستگی‌های برشی فاقد بازشدگی‌اند. در این زمینه خش لغزها و معیارهای دیگر از حرکت نسبی ممکن است در مورد درزه‌های برشی مشاهده شود. عموماً شکستگی‌های برشی به صورت دسته‌های مزدوج مورب و گسیختگی‌های کششی به صورت دسته‌های عمود بر هم و متقاطع قابل مشاهده‌اند. همیشه جهت بزرگ‌ترین استرس فشاری اصلی نیمساز زاویه‌ی دو وجهی بین شکستگی‌های برشی و به موازات شکستگی‌های کششی است.

۳-۲-۲- ارتباط شکستگی‌ها با پدیده‌های ساختمانی

اصولاً شکستگی‌ها همراه با ساختارهای دیگر ایجاد می‌شوند و در صورتی که این ارتباط مستند شود، شکستگی‌ها می‌توانند اطلاعات با ارزشی در مورد ساختارهای مرتبط ارائه دهند. با توجه به اینکه نیروهای عمل‌کننده بر سنگ‌ها و لایه‌های زمین موجب شکل‌گیری شکستگی‌ها می‌شوند، بنابراین می‌توان نحوه‌ی ارتباط شکستگی‌ها را با دیگر ساختارهای زمین در طی فرآیند دگرشکلی توده سنگ یا لایه، تعیین کرد و بر اساس روند، گسترش، مورفولوژی و رژیم زمین‌ساختی محلی آن را به دو دسته‌ی زیر تقسیم کرد:

الف- شکستگی‌های همراه با چین‌خوردگی

ب- شکستگی‌های همراه با گسلش

سیستم شکستگی‌های همراه با چین‌خوردگی

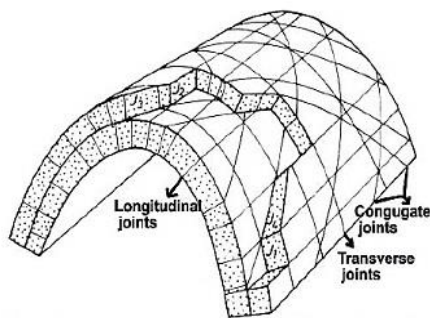
تاریخچه‌ی تنش- کرنش در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه‌ی شکستگی‌ها در آن بسیار پیچیده است، اما الگوهای ساختاری حاکم بر هر منطقه و روابط حاکم بر این الگوها در شناخت و درک این عوامل بسیار سودمند هستند؛ بنابراین مادامی که وضعیت و شدت شکستگی‌ها با شکل و روند چین هم‌خوانی داشته باشد می‌توان آن‌ها را در رده‌ی شکستگی‌های مرتبط با چین قرار داد. در بسیاری از حالات شکستگی‌های متعددی در حوالی چین‌ها مشاهده می‌شوند. این شکستگی‌ها بر اثر نیروهایی که لایه‌ها را چین داده‌اند، به وجود آمده‌اند. هانکوک (Hancock, 1988) با روشی مشابه با تعیین اندیس میلر برای بلورها، شکستگی‌های موجود در چین‌ها را بر اساس محورهای تقارن تعریف نمود. سه جهت عمود بر هم a ، b ، c جهات محوری بر اساس مفاهیم تقارن است که معمولاً مرتبط با شکل‌های لایه‌بندی در چین‌ها است. محور a خطی است که بر هر نقطه از سطح لایه چین‌خورده عمود است. محور b منطبق بر سطح لایه چین‌خورده و موازی محور چین‌خوردگی است. محور c نیز خطی است که بر هر دو محور a و b عمود است. محل و موقعیت محورهای a و c برخلاف محور b بر اساس شکل چین‌خوردگی در مکان‌های مختلف متفاوت است (شکل ۳-۸-الف). بنابراین می‌توان شکستگی‌های ایجادشده در طی

فرآیند چین خوردگی را که از آغاز دگرشکلی تشکیل و تا آخرین مراحل دگرشکلی با آن همراه هستند را به سه گروه عمده تقسیم نمود:

الف- شکستگی‌های مزدوج یا مایل که نسبت به جهت حداکثر کوتاه شدگی زاویه‌ی کمتر از ۴۵ درجه و معمولاً در حد ۳۰ درجه می‌سازند و غالباً به صورت دو دسته شکستگی مزدوج تشکیل می‌شوند که به صورت قرینه نسبت به محور چین خوردگی قرار می‌گیرند.

ب- شکستگی‌های طولی یا کششی، شکستگی‌هایی هستند که به موازات سطح محوری چین و عمود بر روند کوتاه‌شدگی به وجود می‌آیند.

ج- شکستگی‌های عرضی که روند آن‌ها عمود بر محور چین و به موازات روند حداکثر کوتاه‌شدگی است. این شکستگی‌ها را می‌توان به عنوان شکستگی‌های کششی در نظر گرفت زیرا هنگامی که طبقات، در جهت عمود بر محور چین تحت فشار قرار گرفته و چین‌ها را به وجود می‌آورند، در امتداد محور چین تحت کشش واقع می‌شوند، بنابراین در امتداد عمود بر محور چین، شکستگی‌های کششی به وجود می‌آید. شکل (۳-۸-ب) انواع شکستگی‌های مرتبط با چین را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸-الف- محورهای تقارن در ارتباط با چین خوردگی (Fossen, 2010). ب- توسعه‌ی انواع مختلف شکستگی‌ها در ارتباط با چین خوردگی (Ramsay & Huber, 1987).

سیستم شکستگی‌های همراه با گسلش

برخی از شکستگی‌ها می‌توانند ناشی از فعالیت گسل‌ها باشند و در مناطق گسلی بر روی واحدهای سنگی قابل‌رؤیت هستند. برخی از این شکستگی‌ها بدون جابجایی باقی‌مانده و برخی دیگر ممکن است

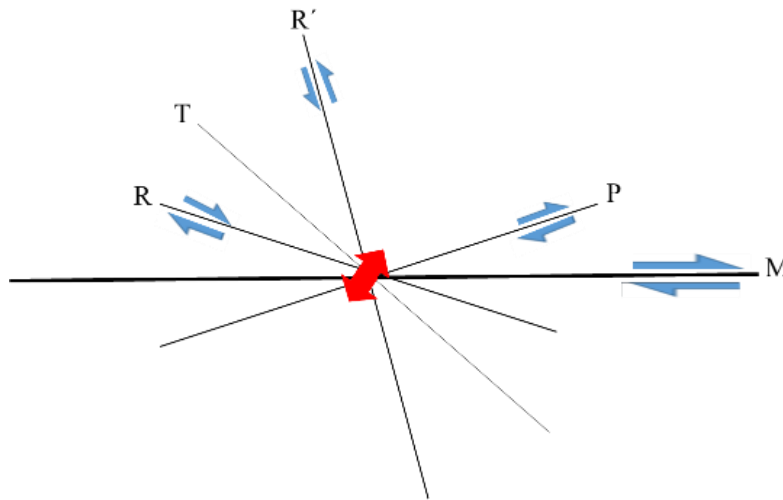
به تبع فعالیت در منطقه‌ی گسل جابجایی‌هایی نه‌چندان بزرگ را متحمل شوند و گسل‌های کوچک و فرعی نسبت به گسل اصلی بسازند. با توجه به اینکه میدان‌های تنش ایجادکننده‌ی گسل و شکستگی-های مرتبط با آن مشابه می‌باشد، بنابراین ارتباط بین شکستگی‌ها و گسل‌ها می‌تواند عامل مؤثری در جهت تعیین دقیق‌تر جهات تنش‌های مؤثر باشد. از انواع شکستگی‌های مرتبط با گسل می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

در اکثر موارد شکستگی‌هایی که در اطراف گسل‌ها دیده می‌شوند بیشتر از انواع شکستگی‌های برشی هستند که سطوح آن‌ها به موازات سطوح گسل‌ها می‌باشد.

گاهی دو دسته شکستگی که با یکدیگر زاویه‌ی تقریباً ۶۰ درجه می‌سازند، همراه برخی از گسل‌ها دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها که فراوانی کمتری دارند، شکستگی برشی مزدوج نامیده می‌شوند. شکستگی‌های کششی از دیگر شکستگی‌هایی هستند که همراه گسل‌ها مشاهده می‌شوند. این دسته از شکستگی‌ها با زاویه‌ی حاده در بین شکستگی‌های مزدوج قرار می‌گیرند.

از میان شکستگی‌های ثانویه‌ی همراه با گسل، شکستگی‌های برشی یکی از مهم‌ترین عوارضی هستند که در مناطق شکننده حضور دارند. این گروه از شکستگی‌ها نسبت به گسل اصلی معمولاً در زوایای خاصی قرار گرفته و سازوکار حرکتی آن‌ها با سازوکار گسل اصلی مرتبط است. این ارتباط را می‌توان در الگوهای ماند برشی‌های ریدل موردبررسی قرارداد. این برشی‌ها که همراه با گسل خوردگی ایجاد می‌شوند ممکن است در سطح لغزش، هندسه‌ی منظمی را از خود نشان دهند که در تعیین سمت حرکت گسل بسیار کارآمد خواهند بود. یک ویژگی مهم و عمومی شکستگی‌های ثانویه بر روی سطح گسل این است که این شکستگی‌ها روی سطح گسل تکرار می‌شوند و با سطح گسل اصلی زاویه می‌سازند. اثر این شکستگی‌ها به صورت یک خط بر روی سطح گسل نمایان می‌شود، این خط ناشی از تقاطع شکستگی‌های ثانویه و سطح گسل است که بر روی سطح لغزش در جهتی تقریباً عمود بر خط خش‌ها توسعه می‌یابند (Doblas, 1997). شکستگی‌های ثانویه بر اساس اینکه نسبت به گسل اصلی، چه زاویه و سازوکاری داشته باشند، نام‌های مختلفی به خود می‌گیرند (Fossen, 2010) و به برشی‌های نوع R،

R' و P تقسیم می‌شوند (Petit, 1987). شکل ۳-۹- موقعیت شکستگی‌های مرتبط با یک گسل امتداد لغز راست‌بر را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۹- موقعیت شکستگی‌ها نسبت به گسل اصلی (Fossen, 2010).

شکل‌گیری شکستگی‌های ثانویه روی سطح گسل و نیز زاویه‌ای که این شکستگی‌ها با سطح گسل می‌سازند به خواص مکانیکی سنگ (زاویه‌ی اصطکاک داخلی و نیروی چسبندگی) و شرایط فیزیکی بستگی دارد. در سنگ‌هایی با جنس‌های مختلف این شکستگی‌ها با زوایای خاصی نسبت به روند گسل اصلی قرار خواهند گرفت که این زاویه تابع زاویه‌ی اصطکاک داخلی سنگ (Φ) می‌باشد. روابط ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ این ارتباط را به خوبی نشان می‌دهد.

$$R = \Phi/2 \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

$$R' = 90 - \Phi/2 \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$$P = -\Phi/2 \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

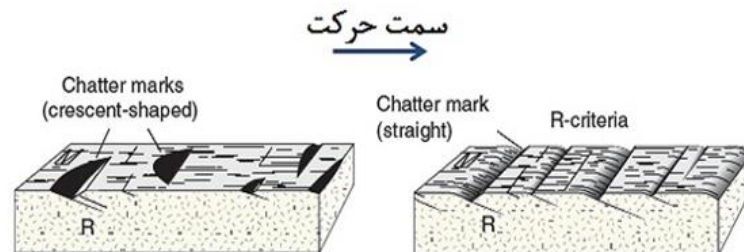
با قرار دادن مقدار زاویه‌ی اصطکاک داخلی برای سنگ‌ها در روابط فوق، می‌توان زاویه‌ای که این شکستگی‌ها با سطح گسل می‌سازند را به صورت تئوری محاسبه کرد. در الگوی کلی، زاویه‌ی اصطکاک داخلی متوسط برای توده سنگ‌ها معمولاً ۳۰ درجه در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین با قرار دادن زاویه‌ی ۳۰ درجه در روابط بالا، شکستگی‌های برشی نوع R و P با زاویه‌ی ۱۵ درجه و شکستگی R' با زاویه‌ی

۷۵ درجه نسبت به گسل اصلی توسعه می‌یابند. این شکستگی‌ها به دو نوع مثبت و منفی تقسیم‌بندی می‌شوند. شکستگی‌های نوع مثبت، شکستگی‌هایی هستند که حرکت دست روی سطح گسل در راستای حرکت بلوک گم‌شده آسان است و احساس نرمی می‌شود. شکستگی‌های نوع منفی، شکستگی‌هایی هستند که حرکت دست روی سطح گسل در راستای حرکت بلوک گم‌شده آسان نیست و احساس زبری می‌شود. شکستگی‌های برشی نوع R در گروه مثبت و شکستگی‌های برشی نوع R' در گروه منفی طبقه‌بندی می‌شوند.

۳-۲-۳- ریخت‌شناسی سطح گسل و ارتباط آن با ساز و کار

الف- شکستگی‌های نوع R:

گاهی اوقات بر روی سطح گسل اصلی، شکستگی‌های ثانویه‌ای که با سطح گسل زاویه‌ی کمی می‌سازند توسعه پیدا می‌کنند. این شکستگی‌ها که تقاطع آن‌ها با سطح گسل اکثراً عمود بر خراش‌های گسلی روی سطح گسل است، برشی‌های نوع R نام‌گذاری می‌شوند. این شکستگی‌ها برشی‌های هم‌سو با حرکت گسل هستند که با زاویه‌ای به اندازه $\theta/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می‌یابند. گاهی اوقات برشی‌های R یک انحنای مقعر به سمت صفحه گسل دارند که در نتیجه‌ی آن، اشکال هلالی یا حفره‌ای فرورفته در سطح گسل ایجاد می‌شود (شکل ۳-۱۰). سمت تحدب این اشکال هلالی (Crescent-Shaped) خلاف جهت حرکت بلوک گم‌شده را نشان می‌دهد (Petite, 1987).

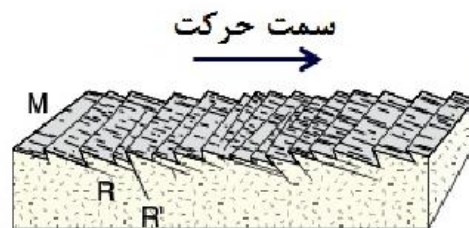


شکل ۳-۱۰- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی‌های برشی نوع R (Fossen, 2010).

ب- شکستگی‌های برشی نوع R':

شکستگی‌های نوع آنتی‌ریدل، برشی‌های غیرهمسو با حرکت گسل هستند که با فراوانی کمتر در پهنه‌های هم‌پوشانی شکستگی‌های نوع ریدل به وجود می‌آیند.

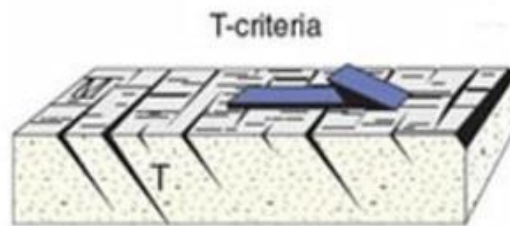
این برشی‌ها با زاویه‌ای به اندازه‌ی $90 - \theta/2$ نسبت به گسل اصلی توسعه می‌یابند. مورفولوژی مژرس و دندانهای بر روی سطح گسل، ناشی از حضور این برشی‌ها بر روی سطح گسل است. این برشی‌ها با برشی‌های نوع R زاویه‌ای حدود 60° درجه می‌سازند و سیستم شکستگی‌های برشی مزدوج را تشکیل می‌دهند (شکل ۳-۱۱). در مواقعی که پیدا کردن شاخص‌های حرکت بر روی R و R' غیرممکن باشد، این شکستگی‌ها بر اساس زاویه‌ای که با سطح گسل می‌سازند تفسیر می‌شوند.



شکل ۳-۱۱- نمایش بلوک دیاگرام شکستگی‌های برشی نوع R' (Fossen, 2010)

پ- شکستگی‌های نوع T :

آن دسته از شکستگی‌های ثانوی روی سطح گسل که فاقد خراش هستند و معمولاً زاویه‌ی بین 30° تا 90° درجه با سطح گسل اصلی می‌سازند را شکستگی‌های نوع T می‌نامند. این شکستگی‌ها بازشدگی از خود نشان می‌دهند و گاهی اوقات توسط کانی‌های ثانوی مختلف پر می‌شوند. اثر آن‌ها در سطح گسل می‌تواند به صورت خطی یا منحنی باشد. در صورتی که این شکستگی‌ها با سطح گسل زاویه‌ی 90° درجه بسازند، اثرشان در سطح گسل به صورت منحنی ظاهر می‌گردد، در این صورت با نام شکستگی هلالی شکل (Crescentic shape) معرفی می‌شوند که سمت تقعرشان جهت حرکت بلوک گم‌شده را نشان می‌دهد. این شکستگی‌ها به‌تنهایی بر روی سطح گسل حضور ندارند ولی معمولاً به صورت ردیفی بر روی سطح گسل نمایان می‌شوند و جهت حرکت بلوک گم‌شده را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲. بلوک دیاگرام شکستگی‌های کششی (Fossen, 2010)

شناسایی سینماتیک گسل‌ها اساس تجزیه و تحلیل تکتونیک شکننده است. ابزارهای متنوعی برای تعیین سازوکار گسل‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به نشانه‌های چینه نگاری، ریخت‌شناسی واحدهای سنگی طرفین سطح گسل، جابجایی آبراهه‌ها و ساختارهایی مانند چین‌های کشیده سطح گسل اشاره کرد. یک راه مناسب برای شناسایی جهت حرکت گسل در مواردی که جابجایی لایه کلید وجود ندارد و لغزش گسل توسط ساختارهای زمین‌شناسی مشخص نمی‌شود، مشاهده‌ی مستقیم سطح گسل و استفاده از ساختارهای تشکیل‌شده روی سطح آن به منظور شناسایی جهت حرکت گسل است. استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطوح گسلی می‌تواند به تشخیص سازوکار گسل کمک کند. اصولاً شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل تحت تأثیر عواملی مانند رفتار مکانیکی سنگ‌ها (چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی) و نوع سنگ قرار می‌گیرند و به انواع متنوعی از ساختارهای ثانوی همراه با گسل از قبیل پله‌های گسلی، شکستگی‌های هلالی شکل، خطواره‌های رشته‌ای ناشی از رشد فیبرهای کانایی، شکستگی‌های ریدل و ... اطلاق می‌شود. در تمام مطالعات زمین‌ساختی که تاکنون انجام شده است ریخت‌شناسی سطح گسل کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

دابلز (Doblas Miguel 1997) ۶۱ شاخص سینماتیکی سطح گسل را معرفی کرد و این آثار مورفولوژیکی را در ۱۱ گروه بزرگ طبقه‌بندی کرد و به بررسی هر یک از این شاخص‌ها پرداخت. این ۱۱ گروه شامل موارد زیر است:

۱- نشانه‌های هلالی یا ساختار V شکل (Crescentic markings) ۲- پله‌های گسلی (fault Steps)

۳- شکستگی‌ها (Fractures) ۴- ساختارهای ردیفی (Trains of inclined planar structures) ۵- مواد کشیده شده (Trailed material) ۶- برآمدگی‌های نامتقارن (Asymmetric elevations) ۷- عناصر تغییرشکل‌یافته (Deformed elements) ۸- جهت یافتگی کانیایی (orientations) ۹- (Mineralogical) مناظر نامتقارن (Asymmetric plan-view features) ۱۰- حفره‌های نامتقارن (Asymmetric Cavities) ۱۱- چین‌های نامتقارن (Asymmetric Folds)

در ادامه‌ی بحث، شماری از این شاخص‌ها را با ارائه بلوک دیاگرام به‌طور خلاصه شرح می‌نماییم. قابل‌ذکر است که شکستگی‌های ریدل به‌عنوان یک ابزار بسیار مهم در تعیین سمت حرکت گسل‌ها، در مبحث سیستم شکستگی‌های وابسته به گسل خوردگی تشریح شد.

الف-پله‌های گسلی (Fault Steps)

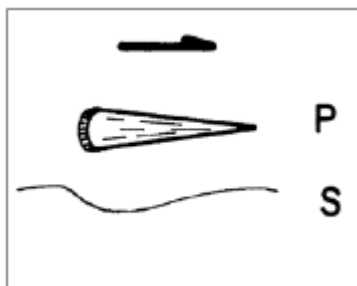
پله‌های گسلی در سطح گسل و در جهت حرکت گسل تشکیل می‌شوند. این ساختارها معمولاً عمود بر خش‌لغزها ایجاد شده و یکی از نشانگرهای نوع مثبت (نشانگرهایی که حرکت دست روی سطح گسل در راستای حرکت بلوک گم‌شده آسان است و احساس نرمی می‌شود و در جهت عکس آن حالت زبری در کف دست احساس می‌شود) می‌باشند (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳- نمایش پله‌های گسلی به صورت بلوک دیاگرام (Allmendinger, 1989).

ب- ساختارهای V شکل (Vmarkings)

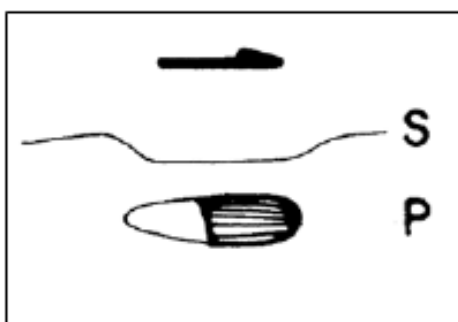
ساختارهای V یا هویجی شکل نیز از جمله ساختارهایی هستند که بر روی سطوح لغزش گسل‌ها قابل مشاهده می‌باشند. زاویه حاده یا نوک V شکل این ساختارها سمت حرکت بلوک گم‌شده را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۴) این ساختار در نتیجه‌ی برشی شدن دانه‌ها در مناطق گسلی ایجاد می‌شود.



شکل ۳-۱۴- نمایش بلوک دیاگرامی از ساختارهای V یا هویجی شکل (Doblas, 1997).

ت- مناظر نامتقارن (Asymmetric plan-view features)

این مناظر در سطح گسل به صورت حفرات طولی در مقیاس‌های سانتی‌متر تا متر بر روی سطوح گسلی قابل مشاهده می‌باشند. از ویژگی‌های مهم مناظر نامتقارن این است که بخشی از حفره که دیواره‌ی آزاد را تشکیل می‌دهد فاقد خراش گسلی است و قسمتی از حفره که دیواره‌ی درگیر را تشکیل می‌دهد دارای خراش گسلی است. خراش‌های گسلی تشکیل شده در این بخش در اثر حرکت دو بلوک گسلی در کنار هم ایجاد شده است. سمت حرکت به سمت دیواره‌ای است که خراش بر روی آن است. این مناظر در شکل ۳-۱۵ قابل مشاهده می‌باشند.



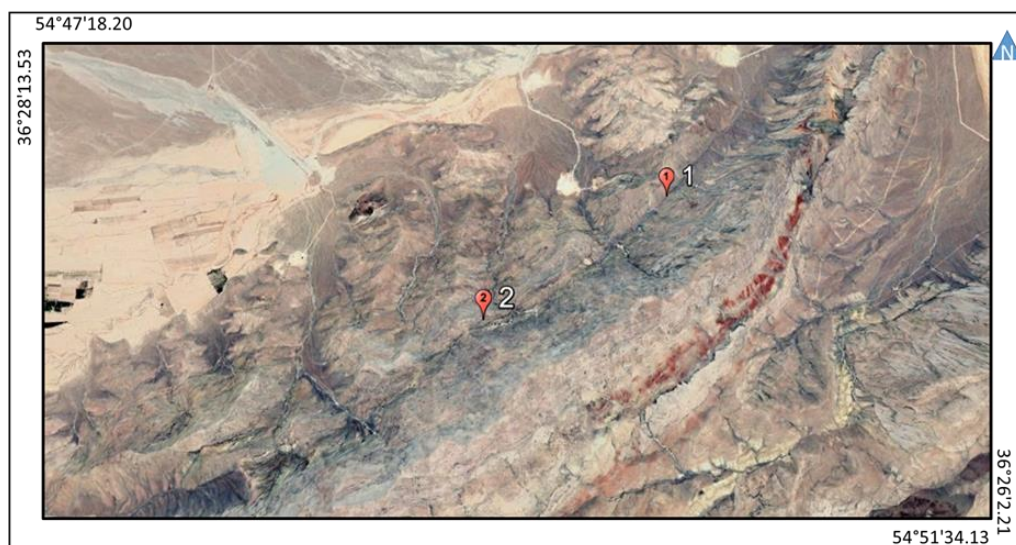
شکل ۳-۱۵- نمایش بلوک دیاگرامی از مناظر نامتقارن (Doblas, 1997)

در ادامه این فصل به بررسی گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه که در بازدیدهای صحرایی قابل شناسایی بودند پرداخته می‌شود. بدین منظور ویژگی هندسی این گسل‌ها (امتداد کلی، شیب و جهت شیب سطوح گسلی و جهت لغزش گسل‌ها)، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از شاخص‌های قابل اعتماد سوی حرکت گسل در محدوده مورد مطالعه در ایستگاه‌های قابل برداشت، بررسی شده که در ادامه به بررسی اطلاعات به دست آمده در منطقه پرداخته می‌شود.

۳-۲-۴- بررسی گسل‌ها

گسل تپال شمالی

این گسل از بزرگترین گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه است. طول این گسل بر اساس نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاهرود بیش از ۶ کیلومتر اندازه‌گیری گردیده و با روند عمومی شمال‌خاور-جنوب‌باختر یال جنوب‌شرقی تاقدیس تپال را قطع می‌نماید. در این پژوهش ضمن نام‌گذاری این گسل با عنوان گسل تپال شمالی (به اعتبار کوه‌های تپال و جایگاه آن)، به بررسی ویژگی‌های هندسی و سینماتیکی آن پرداخته شده است. خطواره این گسل در تصاویر ماهواره‌ای به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۶). بهترین راه دسترسی به این گسل جاده آسفالته شاهرود به بسطام و مجن بعد از روستای امیریه، سپس جاده‌های خاکی منشعب به دره‌های تاقدیس تپال می‌باشد. با توجه به اینکه این گسل تنها از بین سازند لار عبور کرده و لایه‌بندی هم در این سازند دیده نمی‌شود، برای تعیین نوع گسل به دنبال وجود نشانه‌های ریخت‌شناسی سطح گسل بازدیدهای صحرایی در دو ایستگاه صورت پذیرفت که حاصل آن برداشت بهترین رختمون‌ها از صفحات گسلی، خش خط‌های گسلی و همچنین شکستگی‌های سطح گسل می‌باشد. اگرچه سطح گسل در چند رختمون تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش قرار گرفته است.



شکل ۳-۱۶- تصویر ماهواره‌ای از گسل تپال شمالی و موقعیت ایستگاه‌های برداشت از آن (برگرفته از Google earth)

هندسه و سازوکار گسل تپال شمالی

بررسی ویژگی‌های گسل تپال شمالی، در دو ایستگاه به‌طور مجزا بر روی آهک‌های لار صورت گرفت و در هر ایستگاه سعی شده است به کمک شواهد معتبر هندسه و سازوکار گسل تعیین شود.

ایستگاه ۱

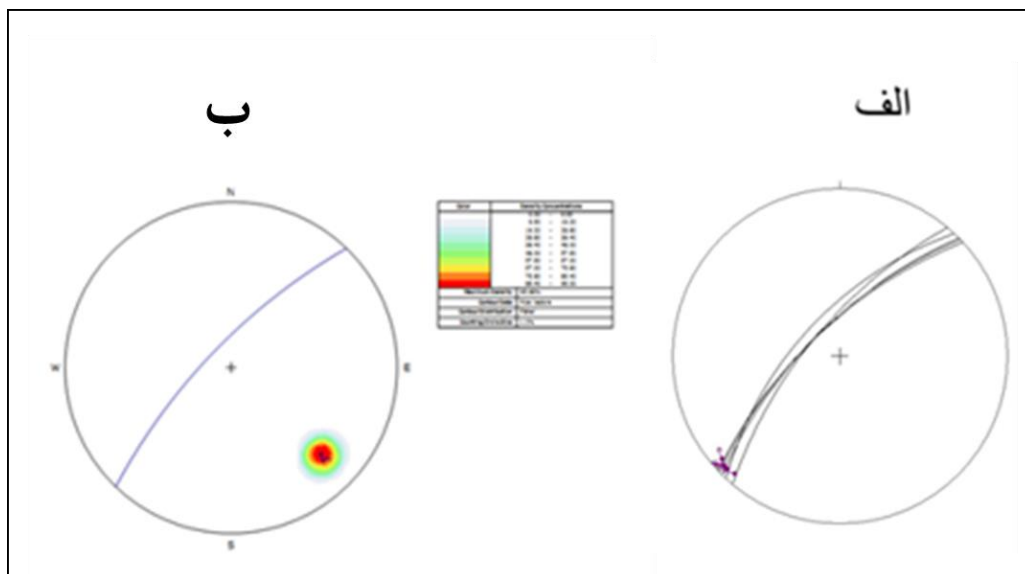
گسل تپال شمالی در این ایستگاه با مختصات جغرافیایی $36^{\circ}26'50.78''$ درجه شمالی و $54^{\circ}49'39.89''$ و روند غالب شمال‌خاوری-جنوب‌باختری مورد برداشت قرار گرفت. در این ایستگاه تعیین سازوکار گسل بر مبنای خش‌لغزهای یافت شده در سطح گسل صورت گرفت. تصاویری از برداشت‌های صحرائی در این ایستگاه در شکل (۳-۱۷) قابل مشاهده است. وجود شواهدی مبنی بر خراش‌های گسلی با ریک پایین و نزدیک به افقی در شکل (۳-۱۷ج) گویای عملکرد امتدادلغز برای این گسل می‌باشد که با توجه به آثار حرکتی خراش‌های گسلی در سطح گسل جهت حرکت بلوک گمشده به سمت راست می‌باشد که نشانگر مولفه حرکت چپ‌بر گسل تپال شمالی در این ایستگاه می‌باشد. تصاویر استریوگرافیک برداشت‌های سطح گسل به همراه موقعیت خش‌لغزها در شکل (۳-۱۸) آورده شده است. داده‌های برداشت‌شده در عملیات صحرائی در ایستگاه ۱ نیز در جدول ۳-۴- درج شده است.



شکل ۳-۱۷- تصاویر صحرایی از گسل تپال شمالی، الف- تصویر صحرایی از روند گسل دید به سمت شمال شرق ب- صفحه گسلی که برداشت روی آن صورت گرفته، ج- خش‌لغزهای سطح گسل

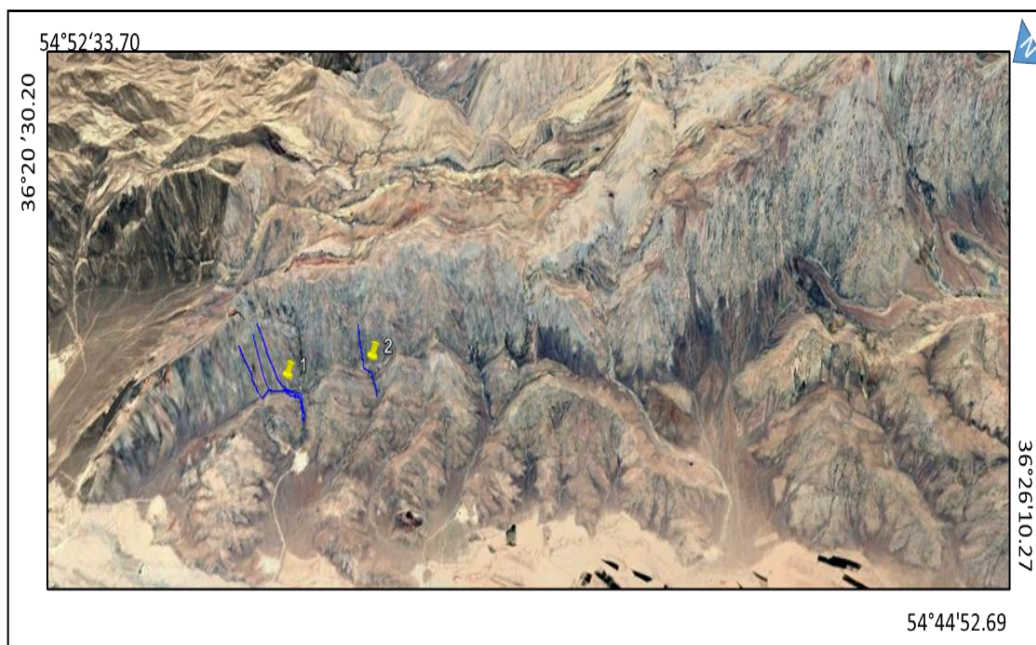
جدول ۳-۴- داده های برداشت شده از سطح گسل تپال شمالی، ایستگاه ۱
*جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۰	۳۱۳	۴	۴	۷۵	۳۱۰	۴
۲	۷۵	۳۱۷	۴	۵	۷۵	۳۱۳	۴
۳	۷۵	۳۱۶	۴	۶	۷۵	۳۱۵	۴



شکل ۳-۱۸- استریوگرام‌های سطح گسل تپال شمالی در ایستگاه ۱، الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی به همراه خش لغزها، ب: نمودار کنتور قطب صفحات اندازه‌گیری شده، همراه با میانگین سطوح گسلی با موقعیت N42E/74NW

همچنین با بررسی تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به شواهدی از جمله جابجایی آبراهه‌ها در مسیر حرکت گسل دست یافت. شکل ۳-۱۹- جابجایی چپ‌بر آبراهه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۹- جابجایی آبراهه توسط گسل تپال شمالی (برگرفته از تصاویر Google earth)

با توجه به مشاهدات صحرایی، تصاویر ماهواره‌ای و با استناد به بررسی شواهد حرکتی (خش لغزهای با

ریک کمتر از ۱۰ درجه) و تصاویر استریوگرافیک، گسل تپال شمالی در این ایستگاه دارای روند شمال-خاوری-جنوب‌باختری و حرکت امتداد لغز چپ‌بر می‌باشد. همچنین میانگین وضعیت هندسی محاسبه‌شده برای این ایستگاه ۷۴/۳۱۴ و میانگین وضعیت هندسی به‌دست‌آمده برای دسته خش لغز یافت شده روی سطح گسل ۰۷/۲۲۵ می‌باشد.

ایستگاه ۲

در این ایستگاه صفحه‌ای بزرگ از گسل تپال در موقعیت "۳۶°۲۷'۲۲,۰۶" و "۵۴°۵۰'۳۹,۳۸" جغرافیایی یافت شد (شکل ۳-۲۰) که مشاهدات صحرایی روی این گسل حاکی از فرسایش و هوازگی بوده که آثار خش لغزها را از بین برده بنابراین به منظور تعیین جهت و سوی برش بر روی گسل، از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل استفاده شد، بدین منظور شکستگی‌های روی سطح گسل برداشت گردید. داده‌های برداشت‌شده در عملیات صحرایی در ایستگاه ۲ نیز در جدول ۳-۵- درج شده است. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و زاویه بین صفحات شکستگی‌ها با سطح گسل اصلی در شکل (۳-۲۱) قابل مشاهده است. یکی از شکستگی‌های مذکور آثار جابجایی چپ‌بر از خود نشان می‌دهند، یک دسته از این شکستگی‌ها (دو شکستگی موازی هم) با موقعیت ۶۰/۰۶۰ و ۵۵/۰۶۰ دارای باز شدگی و پرشدگی می‌باشند. با استناد به شکل این شکستگی‌ها و زاویه آن‌ها با سطح گسل (۸۸ درجه)، می‌توان این دسته را در گروه شکستگی‌های T قرار داد. نوک زاویه حاده شکستگی‌های کششی جهت خلاف حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد. با توجه به این مطلب، این دسته شکستگی سازوکار امتداد لغز راست‌بر را نشان می‌دهند، به این دلیل مولفه‌ی حرکتی چپ‌بر روی سطح گسل در این ایستگاه حاکم بوده است. علاوه بر آن شکستگی با موقعیت ۶۵/۰۸۰ در سطح گسل اندازه‌گیری گردیده که زاویه این شکستگی با گسل ۷۲ درجه است که در رده شکستگی‌های R' جای می‌گیرد (شکل ۳-۲۲).

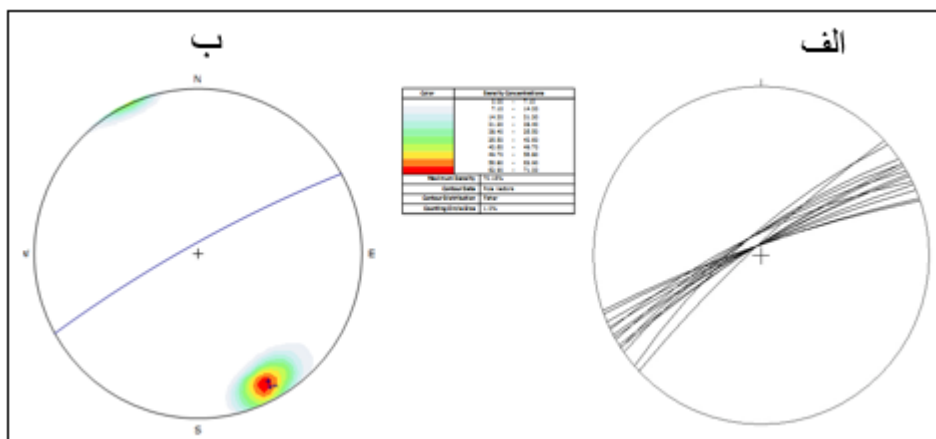


شکل ۳-۲۰- تصاویر صحرایی از گسل تپال شمالی ایستگاه ۲، الف- تصویر صحرایی از روند گسل دیده به سمت شمال شرق ب- صفحه گسلی که برداشت روی آن صورت گرفته، ج- شکستگی‌های سطح گسل

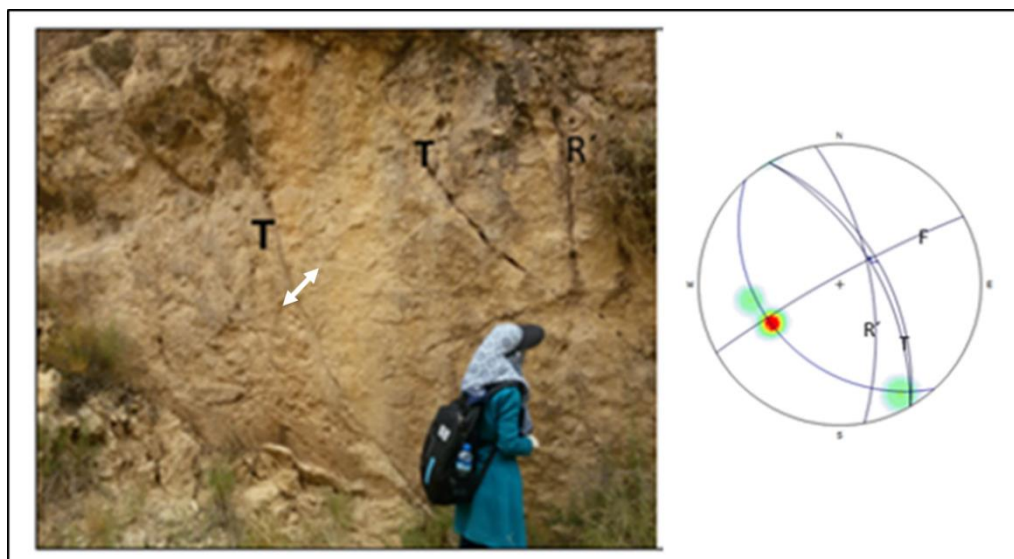
جدول ۳-۵- داده های برداشت شده از سطح گسل تپال شمالی، ایستگاه ۲
*جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	No.	Dip	Dip.Dir.
۱	۸۵	۳۳۵	۹	۸۵	۳۴۰
۲	۸۵	۳۳۲	۱۰	۸۵	۳۳۱
۳	۸۵	۳۱۷	۱۱	۸۵	۳۲۷
۴	۸۵	۳۴۰	۱۲	۸۰	۳۱۹
۵	۸۵	۳۲۸	۱۳	۸۵	۳۳۵
۶	۸۰	۳۲۵	۱۴	۸۰	۳۲۷
۷	۸۵	۳۴۱	۱۵	۸۰	۳۳۰

۸	۸۵	۳۳۷	۱۶	۸۰	۳۳۴
---	----	-----	----	----	-----



شکل ۳-۲۱ استریوگرام‌های سطح گسل تپال از ایستگاه ۲، الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی به همراه خوش لغز- ها، ب: نمودار کنترل قطب صفحات اندازه‌گیری شده از صفحه گسل، همراه با میانگین سطوح گسلی N61E/84NW



شکل ۳-۲۲-رخنمونی از سطح گسل تپال شمالی در ایستگاه ۲، به همراه تصاویر سیکلوگرافیک سطح گسل با موقعیت میانگین N61E/82NW و شکستگی‌های T (بر اساس قاعده نوک زاویه حاده شکستگی کششی) و شکستگی R' (بر اساس زاویه با سطح گسل)

برداشت‌های انجام‌شده گسل تپال شمالی در این ایستگاه نیز نشان‌دهنده این است که دارای روند شمال شرقی جنوب غربی بوده و میانگین وضعیت هندسی به‌دست‌آمده برای صفحه گسلی در این

ایستگاه ۸۳/۳۳۱ است. همچنین با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی شکستگی‌های برداشت شده از سطح گسل می‌توان در این ایستگاه نیز سازوکار امتداد لغز با مولفه چپ‌بر را برای گسل تپال شمالی تأیید نمود.

همچنین بر اساس شواهد به دست آمده از ایستگاه ۲۱، گسل تپال شمالی یک گسل امتداد لغز چپ‌بر می‌باشد، که میانگین صفحه گسلی به دست آمده برای این گسل ۷۹/۳۲۳ بوده و تنها یک دسته خش لغز یافت شد که دارای موقعیت هندسی ۰۷/۲۲۵ می‌باشند

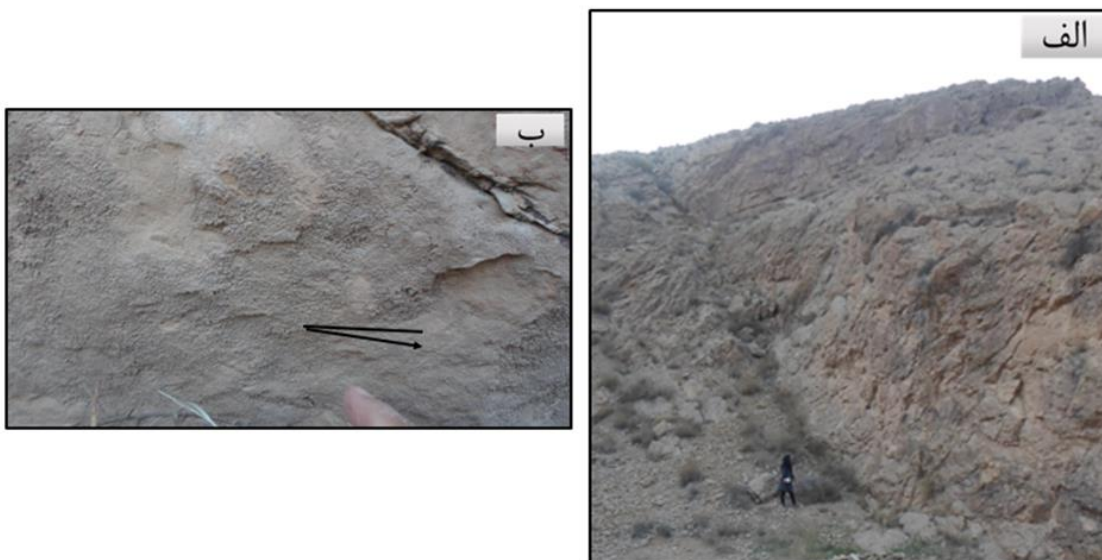
گسل تپال جنوبی

این گسل از بزرگترین خطواره‌های گسلی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در این پژوهش، ضمن نامگذاری آن به نام گسل تپال جنوبی (به اعتبار کوه‌های تپال و جایگاه آن) به بررسی ویژگی‌های هندسی و سینماتیکی آن پرداخته شده است. این گسل در نقشه‌ی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاهرود به صورت یک خطواره بزرگ در میان آهک‌های کرتاسه و سازند لار، یال جنوبی ناودیس تپال و هم‌روند با چین خوردگی تپال نشان داده شده و همان‌طور که در تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۳-۲۳) نیز مشهود است، این گسل با روند کلی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری آهک‌های کرتاسه را حدود ۷ کیلومتر قطع کرده و در ادامه از سازند لار نیز عبور کرده است. قسمت اعظم این گسل در آهک‌های کرتاسه و بخش کوچکی از این گسل باعث برش در سازند لار شده است. بهترین راه دسترسی به این گسل مسیر شاهرود به دشت جلالی و مسیر پردیس مهندسی دانشگاه صنعتی شاهرود به کوه‌های تپال می‌باشد. رخنمون این گسل در مسیر آبراهه‌ای که به سطح محوری ناودیس تپال نزدیک می‌شود به خوبی قابل برداشت است (شکل ۳-۲۴ الف). بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی شاهده‌ی مبنی بر جابجایی آبراهه توسط گسل را نشان نمی‌دهد و بریده شدن گسل توسط آبراهه نشان از فاز حرکت قدیم‌تر گسل نسبت به تشکیل آبراهه می‌باشد. با توجه به اینکه اثر گسل تپال جنوبی از دو واحد سنگی عبور کرده اما راه دسترسی به رخنمون آن در سازند لار صعب‌العبور است، تنها شاخص در تعیین سازوکار، استفاده از شاخص‌های

ریخت‌شناسی سطح گسل در آهک‌های کرتاسه می‌باشد. از شواهد روی این گسل می‌توان به وجود خش‌لغزها (شکل ۳-۲۴ ب)، آثار شکستگی‌ها در سطح گسل و پله‌های گسلی اشاره کرد.



شکل ۳-۲۳- تصویر ماهواره ای قسمتی از منطقه مورد مطالعه که خطواره گسل تپال جنوبی روی آن مشخص شده است (برگرفته از Google earth).



شکل ۳-۲۴- الف: سطح گسل (دید به سمت جنوب غربی)، ب-خش‌لغزهای با ریک ۹ درجه بر روی واحدهای آهکی کرتاسه.

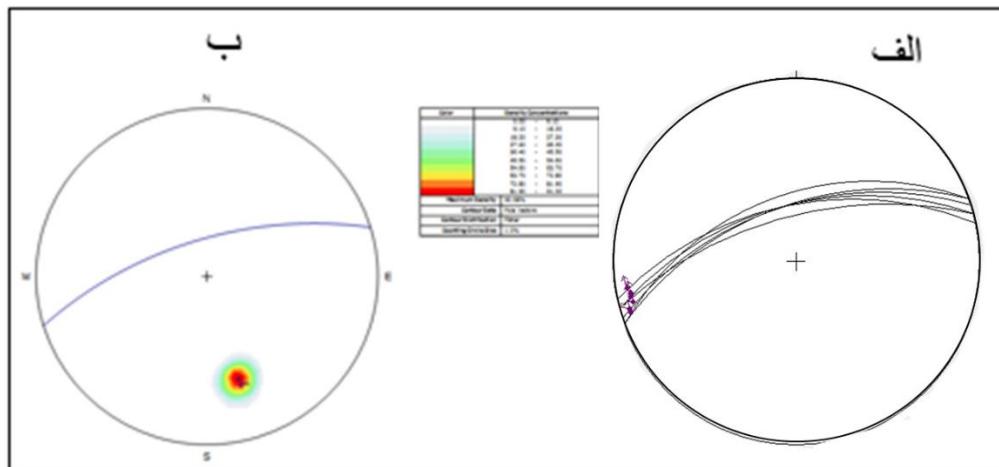
هندسده و سازوکار گسل تپال جنوبی

بررسی‌ها بر روی گسل تپال جنوبی در یک محدوده ایستگاهی صورت گرفت. برداشت‌های صحرایی مربوط به وضعیت هندسی این گسل در جدول ۳-۸- نشان داده شده است. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها موقعیت میانگین را برای این گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۵). این گسل، یک گسل شمال‌خاوری - جنوب‌باختری با شیب زیاد است. به منظور تعیین سازوکار گسل، به دنبال شواهد ریخت‌شناسی، مشاهدات صحرایی انجام گرفت.

جدول ۳-۸ داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل تپال جنوبی

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

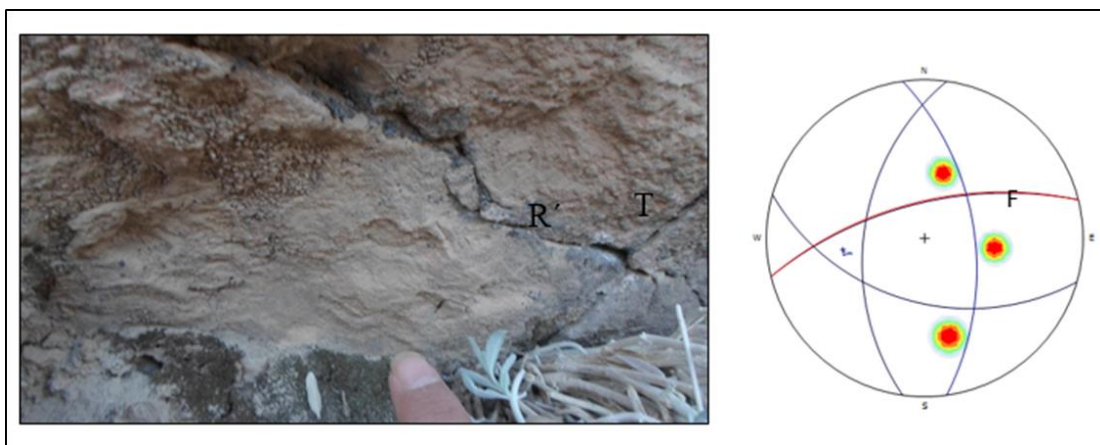
No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۶۵	۳۴۸	۴	۴	۶۵	۳۴۲	۴
۲	۶۵	۳۴۵	۴	۵	۶۵	۳۴۰	۴
۳	۷۰	۳۴۵	۴	۶	۶۰	۳۴۰	۴



شکل ۳-۲۵- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحات گسلی با موقعیت N74E/66NW

به منظور تعیین جهت و سوی برش بر روی گسل از شاخص‌های ریخت‌شناسی روی سطح گسل

استفاده شد. در بازدید صحرایی صورت گرفته برای این گسل خراش‌هایی روی سطح گسل مشاهده شد که زاویه ریک حدود ۱۰ درجه ساعتگرد برای این خش‌لغزها اندازه‌گیری گردید. استریوگرام‌های مربوط به موقعیت خراش‌های گسلی در شکل (۳-۲۵) قابل مشاهده است، همچنین پله‌های گسلی که در تصویر (۳-۲۴ ب) دیده می‌شود نیز حرکت چپ‌بر را برای گسل نشان می‌دهند. شکستگی‌های ثانویه‌ای که روی سطح گسل ایجاد شده (شکل ۳-۲۴) یکی از شواهد سطح گسل است که به تعیین نوع گسل کمک می‌کند. استریوگرام‌های مربوط به برداشت شکستگی‌ها شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و زاویه بین صفحات شکستگی با سطح گسل اصلی ترسیم گردید (شکل ۳-۲۶). بررسی‌های صحرایی روی این شکستگی‌ها، همچنین استریوگرام ترسیم‌شده برای این شکستگی‌ها، شکستگی با موقعیت هندسی ۴۶/۱۹۶ آثار بازشدگی روی سطح گسل ایجاد نموده‌اند. با توجه به اینکه هیچ‌گونه آثار جابجایی در سطح شکستگی‌ها ثبت نشد، می‌توان این دسته از شکستگی‌ها را در زمره شکستگی‌های کششی قرار داد. زاویه بین این شکستگی با میانگین سطح گسل اصلی ۳۲ درجه اندازه‌گیری گردید. نوک زاویه حاده جهت خلاف حرکت بلوک گمشده (حرکت به سمت راست) را نشان می‌دهد لذا می‌توان مولفه حرکتی چپ‌بر را برای این گسل در نظر گرفت. شکستگی دیگر با موقعیت هندسی ۴۸/۲۷۸ زاویه ۶۵ درجه با سطح گسل اصلی می‌سازد. این شکستگی که مورفولوژی مژرس و دندان‌های بر روی سطح گسل ایجاد کرده شکستگی T را جابجا کرده و آثار جابجایی راست‌بر از خود نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۶). بنابراین گسل تپال جنوبی یک گسل امتدادلغز چپ‌بر می‌باشد.



شکل ۳-۲۶- الف- شکستگی‌های سطح گسل، ب- استریوگرام ترسیم‌شده از صفحات شکستگی‌ها به همراه میانگین سطح گسل تپال جنوبی

بررسی‌های انجام‌شده روی سطح گسل اعم از بررسی خش‌لغزها که دارای ریک تقریباً افقی بوده حرکت راست‌الغز گسل را مشخص کرده و با توجه به شواهد مربوط به شکستگی‌ها حرکت چپ‌بر را می‌توان برای این گسل تعیین کرد که میانگین وضعیت هندسی آن $۶۵/۳۴۳$ و موقعیت هندسی خراش-های گسلی $۰۹/۲۵۸$ می‌باشد.

گسل F_1

یکی از گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه گسل F_1 با راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و درازای حدود ۱ کیلومتر در شرق منطقه می‌باشد که بهترین رخنمون از آن در مسیر جاده شاهرود به بسطام و مجن و در میان آهک‌های کرتاسه در اطراف کارخانه سیمان شاهرود در موقعیت طول $۲۸^{\circ}۲۰',۴۸$ و عرض ۳۶° و $۱۲,۴۱'۵۶''۵۴$ جغرافیایی دیده می‌شود (شکل ۳-۲۷).

هندسه و سازوکار گسل F_1

مشاهدات صحرائی در پیمایش برای این گسل نشان می‌دهد که این گسل نیز دارای روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری بوده و باعث برش در آهک‌های کرتاسه شده است. با توجه به اینکه این گسل تنها در رخنمون یک سازند دیده‌شده و به دلیل عدم وجود لایه‌بندی، به منظور تعیین سازوکار گسل به دنبال شواهد ریخت‌شناسی عملیات صحرائی صورت گرفت که حاصل آن دستیابی به بهترین رخنمون از سطح

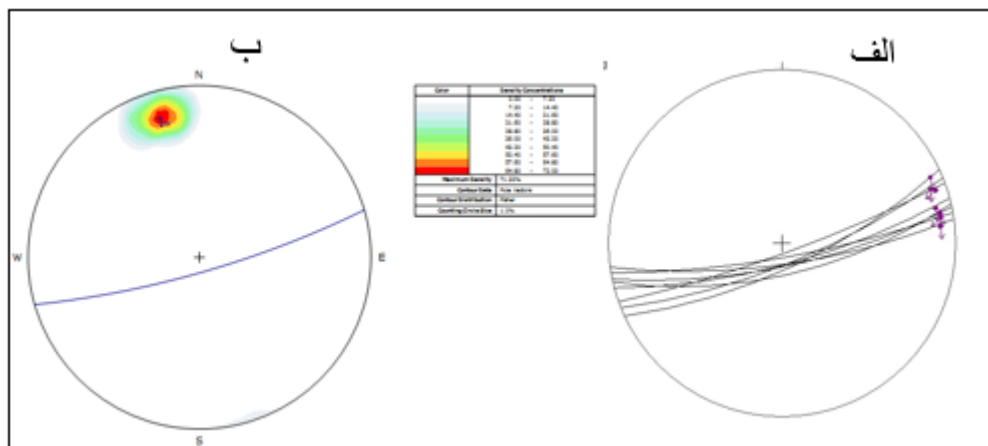
گسل همراه با خش‌لغزهایی برای تعیین حرکت گسل بود. داده‌های برداشت‌شده از رخنمون این گسل در جدول ۳-۶- درج شده است. شکل ۳-۲۷- تصاویر صحرایی برداشت صفحه و خش‌لغزهای مشاهده‌شده بر روی این صفحه را نشان می‌دهد. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب صفحات به همراه موقعیت میانگین، نشان‌دهنده روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری برای گسل بوده و شیب بالای صفحه گسلی را تایید می‌کنند (شکل ۳-۲۸). در بازدید صحرایی صورت گرفته، می‌توان خراش‌های گسلی روی سطح گسل مشاهده نمود. زاویه ریک خش‌لغزها ۹ درجه پادساعتگرد اندازه‌گیری گردید (شکل ۳-۲۷ ب). در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک پایین سازوکار راست‌الغز در نظر گرفت. همچنین خراش‌های گسلی حرکت بلوک گمشده را به سمت راست نشان می‌دهند که همین امر حاکی از چپ‌بر بودن مولفه حرکتی گسل F_1 می‌باشد.



شکل ۳-۲۷- الف: سطح گسل (دید به سمت جنوب غربی)، ب-خش‌لغزهای با ریک ۹ درجه بر روی واحدهای آهکی کرتاسه.

جدول ۳-۶- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F_1
 *جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۷۵	۱۶۷	۴	۵	۸۵	۱۶۰	۴
۲	۸۳	۱۷۰	۴	۶	۸۰	۱۶۵	۴
۳	۷۹	۱۶۸	۴	۷	۸۰	۱۷۲	۴
۴	۸۰	۱۵۸	۴	۸	۷۸	۱۵۵	۴



شکل ۳-۲۸ الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی F_1 به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحات گسلی N74E/80SE.

با استناد به مشاهدات صحرایی، بررسی خش‌های یافت شده بر روی صفحه این گسل (ریک کمتر از ۱۰ درجه خش‌های سطح گسل) و جهت حرکت تعیین شده با توجه به این خش‌ها می‌توان حرکت راست‌الغز چپ‌بر را برای این گسل تعیین کرد. میانگین وضعیت هندسی گسل ۸۰/۱۶۴ و میانگین موقعیت برای خش‌ها ۰۹/۰۷۷ به دست آمده است.

گسل F_2

گسل F_2 به عنوان یکی دیگر از گسل‌های فرعی منطقه، با درازای حدود ۷۰۰ متر در بین واحدهای آهکی لار واقع شده است. این گسل در محدوده‌ی ورقه‌ی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاهرود به صورت یک خطواره

نشان داده شده که دارای راستای کلی شمال‌باختر-جنوب‌خاور می‌باشد. به منظور تعیین سازوکار گسل F₂ به دنبال شواهد ریخت‌شناسی سطح گسل عملیات صحرایی صورت پذیرفت که حاصل آن دستیابی به بهترین رخنمون از سطح گسل در موقعیت طول ۱۲،۳۲"۲۷°۳۶ و عرض ۳۸،۸۳"۵۰'۵۴°۵۰ جغرافیایی همراه با خش‌لغزها و پله‌های گسلی برای تعیین حرکت گسل بود (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹ الف: سطح گسل (دید به سمت شمال غربی)، ب-خش‌لغزها و پله‌های گسلی.

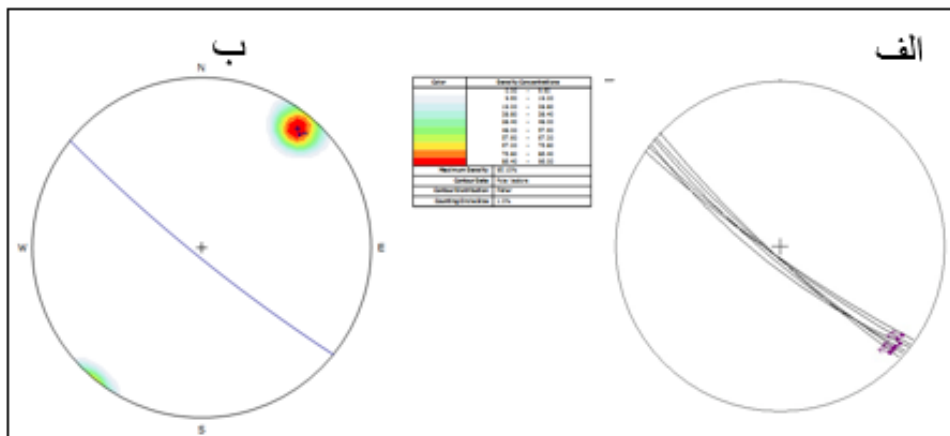
هندسه و سازوکار گسل F₂

هندسه و سازوکار گسل F₂ در ۱ ایستگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. رخنمون برداشت از سطح این گسل واحدهای آهکی لار می‌باشد. برداشت‌های صحرایی مربوط به وضعیت هندسی گسل F₂ در جدول ۳-۷-نشان داده شده است. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها موقعیت میانگین را برای این گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۳۰). با توجه به این نمودارها گسل F₂ یک گسل با روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور با شیب به سمت جنوب‌باختر می‌باشد. در بازدید صحرایی صورت گرفته، می‌توان شواهد ریخت‌شناسی گسلی روی سطح گسل مشاهده نمود، از جمله خراش‌های گسلی با ریک تقریباً افقی و پله‌های گسلی که حرکت گسل

F₂ راستالغز تعیین نموده و با توجه به جهت حرکت تعیین شده به وسیله این خش خطها و پله‌های گسلی (سمت حرکت بلوک گمشده را سمت راست نشان می‌دهند) می‌توان حرکت چپ‌بر را برای این گسل تعیین کرد.

جدول ۳-۷- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F₂
*جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۸۵	۲۲۳	۴
۲	۸۵	۲۲۱	۴
۳	۸۵	۲۱۷	۴
۴	۸۰	۲۱۸	۴
۵	۸۵	۲۱۵	۴
۶	۸۳	۲۲۰	۴



شکل ۳-۳۰ الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی F₂ به همراه خراش‌های گسلی.
ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحات گسلی N51W/85SW

با استناد به مشاهدات صحرائی و شواهد مذکور می‌توان گسل F₂ را یک گسل راستالغز با مولفه چپ‌بر دانست. همچنین میانگین وضعیت هندسی گسل ۸۴/۲۱۹ و میانگین موقعیت برای خش خطها

۰۷/۱۳۰ به دست آمده است.

گسل F₃

گسل F₃ یکی از گسل‌های فرعی منطقه مورد مطالعه است که در میان آهک‌های لار با طولی حدود ۶۰۰ متر بر روی یال شمال‌باختری تاقدیس تپال ایجاد شده است. بهترین راه دسترسی به این گسل جاده شاهرود به بسطام و مجن و جاده‌های خاکی منتهی به دره‌های تاقدیس تپال می‌باشد. به منظور تعیین هندسه و سازوکار گسل F₃ عملیات صحرایی صورت گرفت که حاصل آن دستیابی به بهترین رخنمون از این گسل در موقعیت "۲۷°۵۴' ۳۶° طول و عرض" ۳۳,۲۰' ۵۴°۵۰' جغرافیایی و شواهدی مبنی بر خراش‌های گسلی به منظور تعیین هندسه و سازوکار گسل F₃ می‌باشد. تصویر صحرایی از رخنمون گسل در شکل ۳-۳۱ قابل مشاهده می‌باشد.



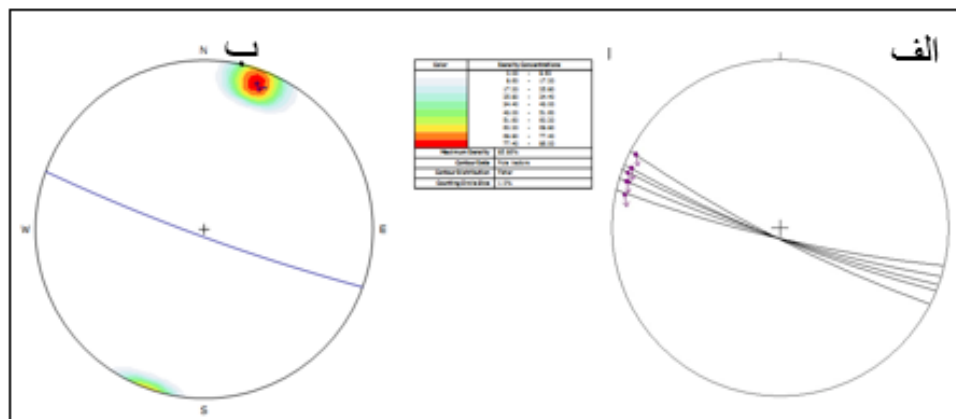
شکل ۳-۳۱ الف: سطح گسل F₃ (دید به سمت جنوب غرب)، ب-خس لغزهای سطح گسل.

هندسه و سازوکار F₃

هندس و سازوکار گسل F₃ در ۱ ایستگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برداشت‌های صحرایی مرتبط با این صفحه گسلی در جدول ۳-۸- درج شده است. استریوگرام های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها میانگین صفحات گسلی را برای گسل F₃ نشان داده که روند غالب را شمال‌باختری-جنوب‌خاوری با شیب زیاد به سمت جنوب‌باختری نشان می‌دهد (شکل ۳-۳۲).

جدول ۳-۸ داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F₃
*جهت حرکت فرادیواره: ۱-روبه بالا(معکوس) ۲-روبه پایین(نرمال) ۳-راست بر ۴-چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۸۵	۲۰۰	۳
۲	۸۵	۱۹۳	۳
۳	۸۵	۱۹۷	۳
۴	۸۵	۲۰۷	۳
۵	۸۵	۲۰۲	۳



شکل ۳-۳۲- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی F₃ به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحات گسلی N70W/85SW

در بازدید صحرایی صورت گرفته، خراش‌های گسلی با ریک تقریباً افقی روی سطح گسل مشاهده شد. در این صورت می‌توان برای این سطح با توجه به زاویه ریک پایین سازوکار راست‌الغز در نظر گرفت.

همچنین خراش‌های گسلی حرکت بلوک گمشده را به سمت چپ نشان می‌دهند که همین امر حاکی از راست‌بر بودن مولفه حرکتی گسل F₃ می‌باشد. بنابراین با استناد به مشاهدات صحرائی، بررسی ریخت‌شناسی سطح گسل (ریک تقریباً افقی خش خط‌های سطح گسل)، حرکت راست‌الغز گسل F₃ با مولفه راست‌بر در میان آهک‌های لار محرز می‌باشد. میانگین وضعیت هندسی به دست آمده برای این گسل ۸۵/۲۰۰ و میانگین موقعیت برای خش خط‌ها ۰۶/۲۸۹ بوده است.

گسل F₄

این گسل در انتهای باختری کوه‌های تپال و در ارتفاعات سازند دلیچای هم‌روند با چین‌خوردگی تپال ایجاد شده است، که در نقشه زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ به صورت یک خطواره با طولی حدود ۵۰۰ متر نشان داده شده است. بهترین راه دسترسی به این گسل جاده آسفالت‌شاهرود دامغان و جاده‌های فرعی معدن متروکه دهملا و منتهی به دره‌های کوه‌های تپال می‌باشد. به منظور تعیین هندسه و سازوکار گسل F₄ عملیات صحرائی صورت گرفت که حاصل آن دستیابی به بهترین رخنمون این گسل در موقعیت "۲۲°۵۳'۲۷" طول و عرض "۳۷°۴۴'۳۷" جغرافیایی به همراه خراش‌های گسلی می‌باشد (شکل ۳-۳۳).



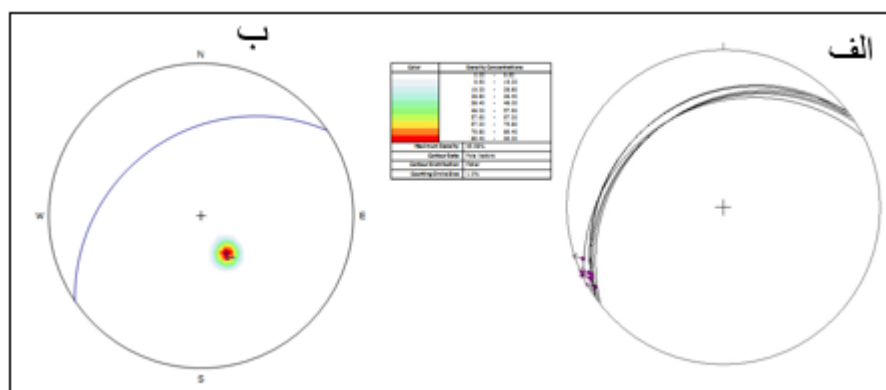
شکل ۳-۳۳- الف: سطح گسل F₄ (دید به سمت شمال شرق)، ب: خش لغزهای سطح گسل

هندسه و سازوکار گسل F4

جهت برآورد هندسه و شناسایی سازوکار گسل F4 در ارتفاعات سازند دلیچای عملیات صحرایی صورت گرفت. برداشت‌های صحرایی مرتبط با این صفحه گسلی یافت شده در جدول ۳-۹- درج شده است. بررسی‌های صحرایی بر روی ریخت‌شناسی سطح گسل F4 خراش‌هایی با ریک تقریباً افقی را نشان می‌دهد. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها موقعیت میانگین را برای صفحه گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۳۴) و با توجه به این نمودارها، گسل F4 یک گسل با روند غالب شمال‌خاوری-جنوب‌باختری با شیب کم به سمت شمال‌باختری می‌باشد.

جدول ۳-۹- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F4
* جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۳۵	۳۲۷	۴	۴	۳۵	۳۳۳	۴
۲	۳۰	۳۲۵	۴	۵	۳۵	۳۲۵	۴
۳	۳۰	۳۲۳	۴	۶	۳۵	۳۲۲	۴



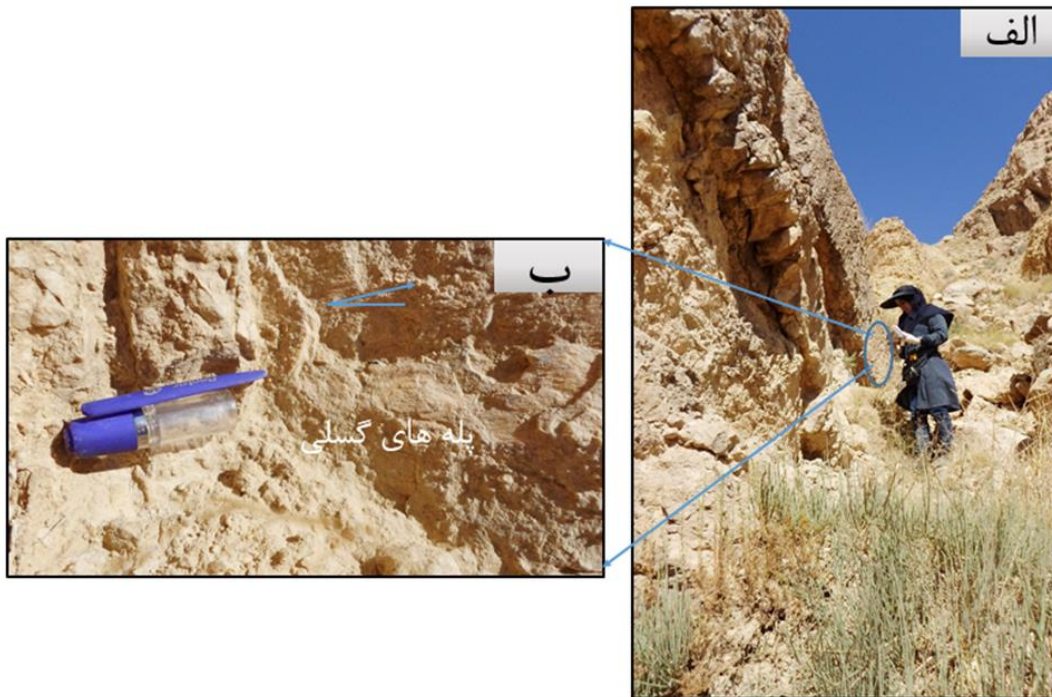
شکل ۳-۳۴- الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی F4 به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحات گسلی N56E/32NW

ریک پایین و تقریباً افقی خراش‌های گسلی یافت شده روی سطح گسل حاکی از حرکت راست‌الغزی گسل F4 می‌باشد. همچنین با توجه به جهت حرکت مشخص شده برای بلوک گمشده خش‌لغزها حرکت

راست‌بر را نشان می‌دهند که این خود حرکت چپ‌بر را برای گسل F₄ تأیید می‌کنند. همچنین میانگین وضعیت هندسی گسل ۳۵/۳۲۶ و میانگین موقعیت برای خش‌خطها ۰۷/۲۴۵ به‌دست آمده است.

گسل F₅

گسل F₅ یکی از گسل‌های منطقه با روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری در میان آهک‌های کرتاسه بر روی یال جنوب‌شرقی ناودیس تپال دیده می‌شود. رخنمون این گسل تنها در یک محدوده کوچک با موقعیت "۲۴'۴۹,۹۲° ۳۶° طول و عرض "۵۴°۵۳'۴۳,۷۲ جغرافیایی قابل‌مشاهده بود (شکل ۳-۳۵ الف). بهترین راه دسترسی به این گسل مسیر شاهرود به دشت جلالی و مسیر پردیس مهندسی دانشگاه صنعتی شاهرود به کوه‌های تپال می‌باشد. با توجه به اینکه اثر گسل F₅ از یک واحد سنگی عبور کرده تنها شاخص در تعیین سازوکار، استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل است. از شواهد روی این گسل می‌توان به وجود خش‌لغزها و پله‌های گسلی اشاره کرد که در تصویر (۳-۳۵ ب) قابل‌مشاهده است.



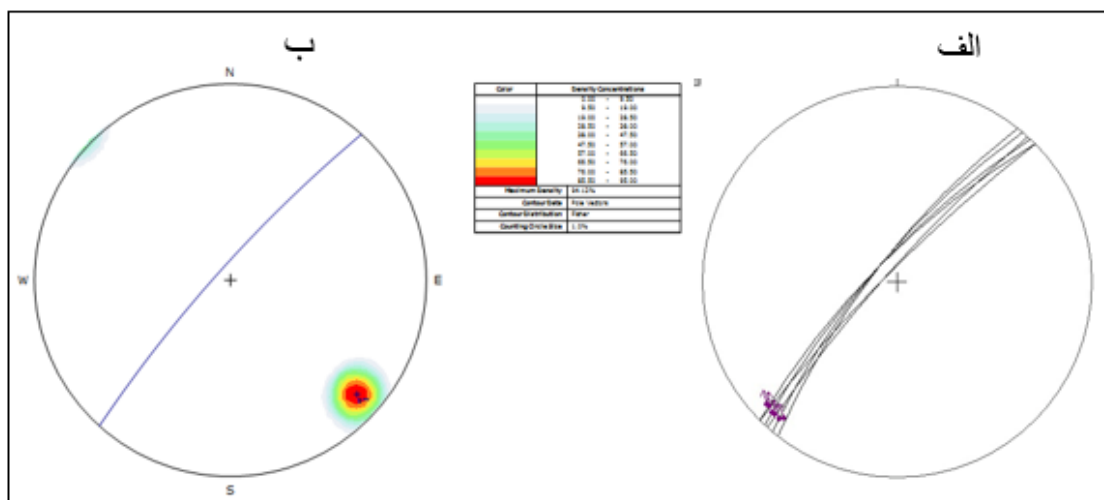
شکل ۳-۳۵- تصاویر صحرائی از گسل F₅ الف: نمایی از امتداد دیواره‌ی گسلی (دید به سمت جنوب‌غرب)، ب: نمایی از خش‌لغزها و پله‌های گسلی

هندسه و سازوکار گسل F₅

در پیمایش بر روی این گسل، سطح گسل در یک ایستگاه قابل برداشت بود. برداشت‌های صحرائی مربوط به وضعیت هندسی گسل F₅ در جدول ۳-۱۰- نشان داده شده است. استریوگرام های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آن‌ها موقعیت میانگین ۸۲/۳۱۲ را برای این گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۳۶)، با توجه به این تصاویر گسل F₅، یک گسل شمال خاوری - جنوب‌باختری با شیب زیاد به سمت شمال باختر است. به منظور تعیین سازوکار گسل، به دنبال شواهد ریخت‌شناسی، مشاهدات صحرائی انجام گرفت.

جدول ۳-۱۰- داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F₅
 *جهت حرکت فرادیواره: ۱- روبه بالا (معکوس) ۲- روبه پایین (نرمال) ۳- راست بر ۴- چپ بر

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۸۰	۳۱۳	۴	۴	۸۵	۳۱۵	۴
۲	۸۰	۳۱۵	۴	۵	۸۵	۳۱۲	۴
۳	۸۰	۳۰۸	۴	۶	۸۰	۳۱۰	۴

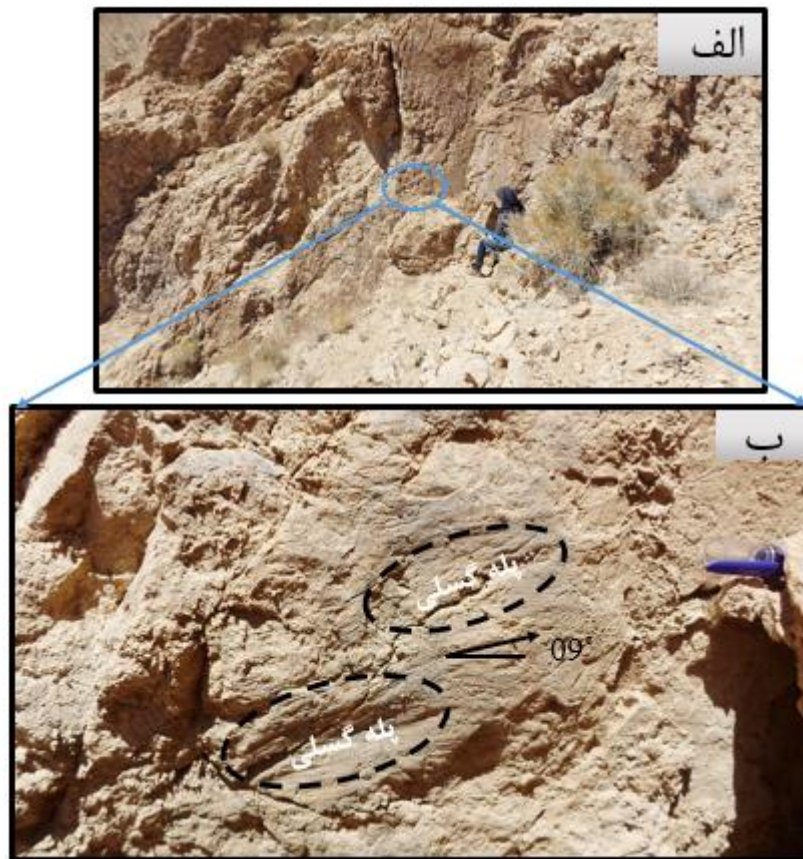


شکل ۳-۳۶- نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی اندازه‌گیری شده از سطوح گسلی F₅ به همراه خراش‌های گسلی. ب: نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی به همراه میانگین صفحه گسل N42E/82NW

با استناد به مشاهدات صحرایی، از جمله خراش‌های گسلی با ریک تقریباً افقی و پله‌های گسلی یافت شده در سطح گسل حرکت گسل F₅ راست‌الغز بوده و با توجه به جهت حرکت تعیین شده به وسیله این خش خطها و پله‌های گسلی (سمت حرکت بلوک گمشده را سمت راست نشان می‌دهند) می‌توان حرکت چپ‌بر را برای این گسل تعیین کرد. همچنین میانگین وضعیت هندسی گسل ۸۲/۳۱۲ و میانگین موقعیت برای خش خطها ۰۸/۲۲۳ به دست آمده است.

گسل F₆

گسل F₆ یکی دیگر از گسل‌های منطقه مورد مطالعه است که دارای روند شمال خاوری-جنوب باختری می‌باشد. این گسل که در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاهرود به صورت یک خطواره با طولی حدود ۱ کیلومتر نشان داده شده بر روی یال جنوب شرقی ناودیس تپال در رخنمون آهک‌های کرتاسه ایجاد شده است. بهترین رخنمون از سطح این گسل در ایستگاهی با مختصات "۲۵'۳۶,۷۱ ۳۶° طول و عرض "۵۴'۱۵,۵۳ ۵۴° جغرافیایی مشاهده شده است (شکل ۳-۳۷). راه دسترسی به این گسل مسیر شاهرود به دشت جلالی و مسیر پردیس مهندسی دانشگاه صنعتی شاهرود به سمت کوه‌های تپال می‌باشد. با توجه به اینکه اثر گسل F₆ از یک واحد سنگی عبور کرده و لایه بندی در این محدوده رویت نشد، تنها شاخص در تعیین سازوکار گسل F₆، استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی سطح گسل است. از شواهد روی این گسل می‌توان به وجود خش لغزها و پله‌های گسلی اشاره کرد که در تصویر ۳-۳۷-الف قابل مشاهده است. همچنین برداشت‌های صحرایی مربوط به وضعیت هندسی گسل F₆ در جدول ۳-۱۱- نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۷- تصاویر صحرایی از گسل F6، الف: نمایی از دیواره‌ی گسلی (دید به سمت شمال)، ب: نمایی از خش‌لغزها و پله‌های گسلی

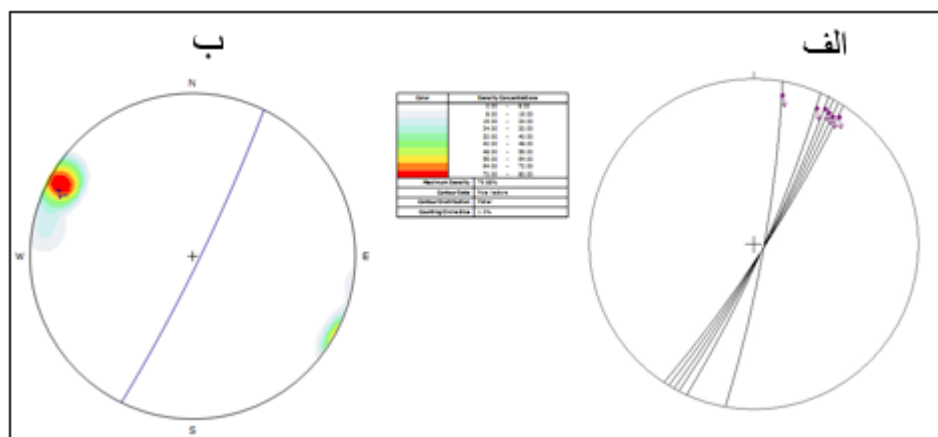
هندسه و سازوکار گسل F₆

استریوگرام‌های مربوط به برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای همراه با موقعیت خراش‌های گسلی و نمودار هم‌تراز قطب برداشت‌شده برای این گسل در شکل (۳-۳۸) آورده شده است. با توجه به نمودار صفحات ترسیم‌شده برای داده‌ها (شکل ۳-۳۸) مشخص شد که این گسل، یک گسل شمال خاوری-جنوب باختری با شیب به سمت جنوب خاوری است. در نتیجه‌ی رسم نمودار هم‌تراز برای قطب صفحات اندازه‌گیری شده در طول گسل F₆، مشخص شد که این گسل از نظر هندسی دارای موقعیت میانگین ۸۵/۱۱۶ است که میانگین موقعیت خش‌لغزهای برداشت‌شده از سطح آن می‌باشد.

جدول ۱۱-۳ داده‌های برداشت‌شده از سطح گسل F₆

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

No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*	No.	Dip	Dip.Dir.	Sense*
۱	۸۵	۱۱۴	۴	۴	۸۵	۱۲۱	۴
۲	۸۵	۱۱۹	۴	۵	۸۵	۱۱۷	۴
۳	۸۵	۱۲۳	۴	۶	۸۵	۱۰۰	۴



شکل ۳-۳۸- استریوگرام‌های سطح گسل F₆، الف: نمودار سیکلوگرافیک صفحات گسلی به همراه خش لغزها، ب: نمودار کنتور قطب صفحات اندازه‌گیری شده از گسل F₆، همراه با میانگین سطوح گسلی با موقعیت N26E/85SE

با توجه به جهت حرکت تعیین شده به وسیله پله‌های گسلی که حرکت بلوک گمشده را به سمت راست نشان می‌دهند و همچنین بررسی سمت حرکت با استفاده از خراش‌های گسلی با ریک کمتر از ۱۰ درجه (سمت حرکت بلوک گمشده، سمت راست) حرکت راستا لغز با مؤلفه‌ی چپ بر برای گسل F₆ محرز می‌شود.

۳-۲-۵ - بررسی درزه‌ها

به منظور تحلیل و بررسی درزه‌های منطقه، درزه‌ها در دو گروه برای سازندهای دوران مزوزوئیک و

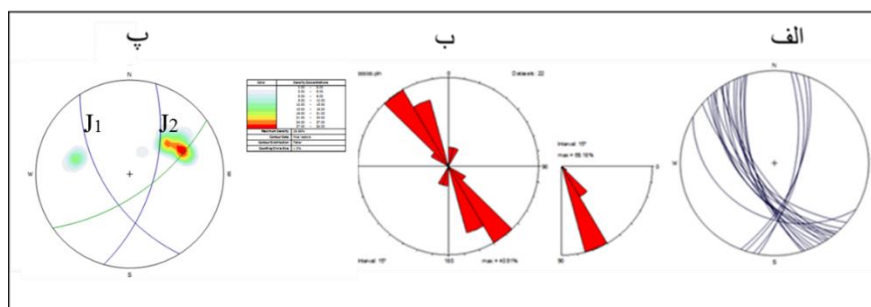
سنوزوئیک مورد بررسی قرار گرفت. سازندهای منطقه از قدیم به جدید شامل واحدهای مزوزوئیک- (شمشک، دلیچای، لار و آهک‌های کرتاسه) و واحدهای سنوزوئیک (فجن و زیارت) می‌باشند. بیشترین رخنمون مربوط به سازندهای لار و آهک‌های کرتاسه است که شاهد گسترش آن‌ها در قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه می‌باشیم. برداشت‌های صحرایی به منظور بررسی دقیق درزه‌ها (موقعیت هندسی درزه، روند غالب)، به تفکیک سازندهای منطقه انجام شد و در نهایت تصاویر سیکلوگرافیک و نمودارهای گل‌سرخ‌ی مربوط به این درزه‌ها که بیانگر امتداد غالب درزه‌ها در هر ایستگاه می‌باشد ترسیم گردید. همچنین با توجه به ویژگی توده‌ای بودن سازند لار و در برخی ایستگاه‌ها برای آهک‌های کرتاسه لایه-بندی وجود نداشته بنابراین تحلیل نوع درزه‌ها در برخی ایستگاه‌ها براساس لایه بندی و برخی دیگر بر اساس سطح محوری تاقدیس و ناودیس تپال (بر اساس موقعیت درزه‌ها) بوده است. موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه در نقشه تهیه شده از منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۳-۳۹).

بررسی درزه‌ها در سازند دلیچای

با توجه به رخنمون سازند دلیچای و همچنین با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عملیات صحرایی دو محدوده‌ی ایستگاهی برای برداشت درزه در این سازند در نظر گرفته شد.

ایستگاه S1

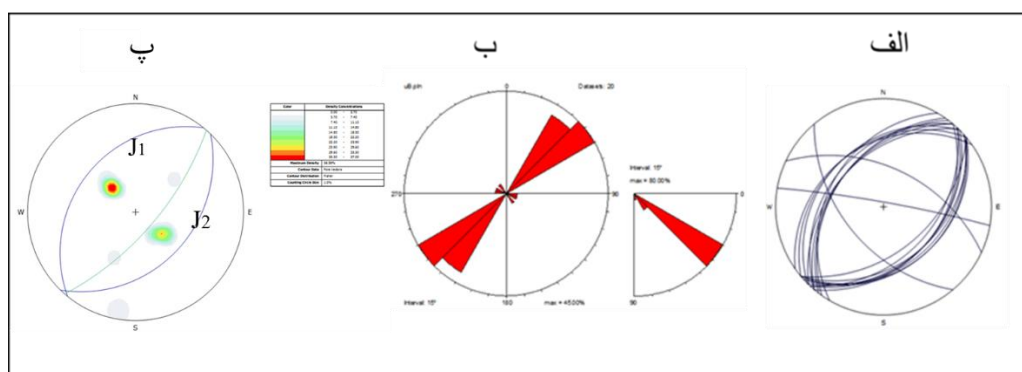
این ایستگاه با موقعیت طول $33^{\circ} 26' 1.33''$ و عرض $54^{\circ} 44' 39.18''$ جغرافیایی در رخنمون سازند آهکی دلیچای واقع شده است. برداشت‌های مربوط به این ایستگاه در پیوست ۳ آورده شده است. تصاویر استریوگرافیک و نمودار گل سرخی رسم شده برای درزه‌های این ایستگاه ترسیم گردید (شکل ۳-۴۰). با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای درزه‌ها روند غالب شکستگی‌ها NW-SE و NE-SW مشخص شد. بر اساس آنچه از نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به دست آمده، دو دسته درزه معرفی گردید. یک دسته با موقعیت میانگین N32W/58SW گسترش و فراوانی بیشتری داشته و دسته دیگر با موقعیت میانگین N16E/61SE فراوانی کمتر نسبت به دسته دیگر دارد. موقعیت میانگین لایه‌بندی در این ایستگاه N55E/65SE است. هیچ‌گونه آثاری از خراش بر سطح شکستگی‌ها دیده نشد. عمده درزه‌ها دارای بازشدگی هستند. بر اساس نمودارها، دسته درزه J1 با میانگین موقعیت N32W/58SW در بازه امتدادی ۳۱۳ تا ۳۴۳ درجه و شیبی بین ۴۵ تا ۷۵ درجه را دارا می‌باشند. دسته درزه دوم J2 با میانگین موقعیت N16E/61SE در بازه امتدادی ۱۰ تا ۲۲ درجه با شیبی بین ۶۰ تا ۶۵ درجه قرار دارند. به دلیل اینکه زاویه بین امتداد لایه بندی با امتداد هر دو دسته درزه اریب است درزه‌ها در این ایستگاه از نوع مورب می‌باشند.



شکل ۳-۴۰- نمودارهای نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۱، الف- تصویر سیکلوگرافیک سطوح درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطوح میانگین دسته درزه‌ها و میانگین لایه‌بندی

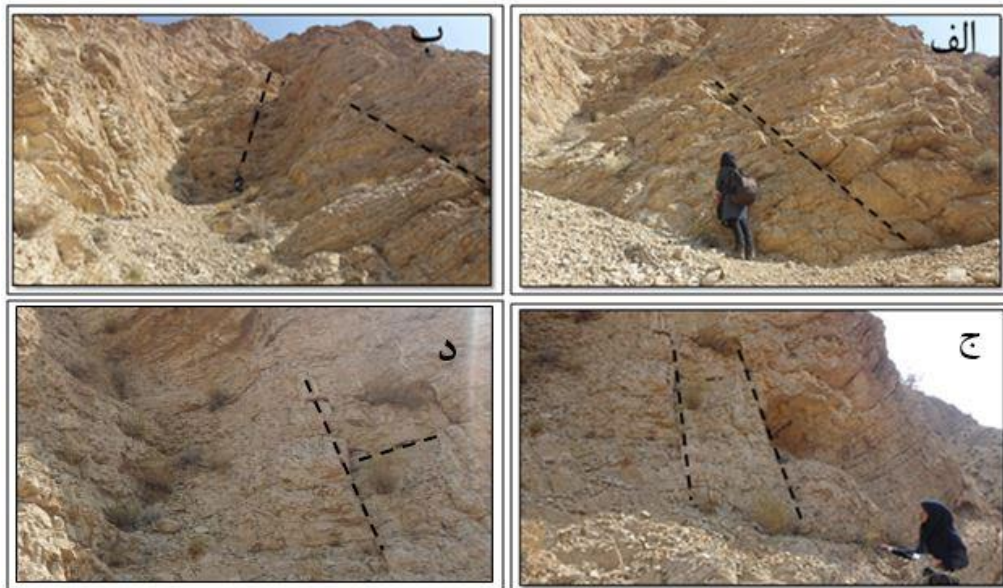
ایستگاه S2

این ایستگاه با موقعیت طول $23^{\circ}13'23''$ و عرض $54^{\circ}44'36.53''$ جغرافیایی در رخنمون سازند آهکی دلیچای واقع شده است. برداشت‌های مربوط به این ایستگاه در پیوست ۴ آورده شده است. شکل ۳-۴۱ نمودارهای هم مساحت صفحات درزه‌ها، گل سرخی و تمرکز قطب مربوط به درزه‌های برداشت شده در این ایستگاه را نشان می‌دهد. براساس تصاویر استریوگرافیک و نمودار گل سرخی رسم شده برای درزه‌های این ایستگاه، دو دسته درزه J_1 و J_2 با موقعیت میانگین $N44E/35SE$ و $N39E/32NW$ در این ایستگاه دیده می‌شود. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای امتداد درزه‌ها در این ایستگاه، مشخص شد که غالب درزه‌ها دارای روند میانگین 30° تا 54° درجه بوده که شیبی بین 30° تا 45° درجه را دارا می‌باشند و تعداد اندکی دارای روند NW-SE می‌باشد. نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها نیز شیب اکثر صفحات را به سمت شمال غرب و جنوب شرق نشان می‌دهد (شکل ۳-۴۱ ج). موقعیت میانگین لایه بندی در این ایستگاه $N41E/69SE$ می‌باشد. هر دو دسته درزه اول (J_1) و دوم (J_2) هم‌روند با امتداد لایه بندی تشکیل شده‌اند لذا از نوع درزه‌های طولی محسوب می‌شوند. قابل ذکر است که در محدوده این ایستگاه، گسل F_4 با روند شمال شرقی-جنوب غربی و شیب میانگین 33° درجه بررسی شده، که با توجه به توضیحات مذکور، درزه‌ها در این ایستگاه هم‌روند با این گسل می‌باشند.



شکل ۳-۴۱- نمودارهای نشان دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۲، الف- تصویر سیکلوگرافیک سطوح درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطوح میانگین دسته درزه‌ها و میانگین لایه بندی

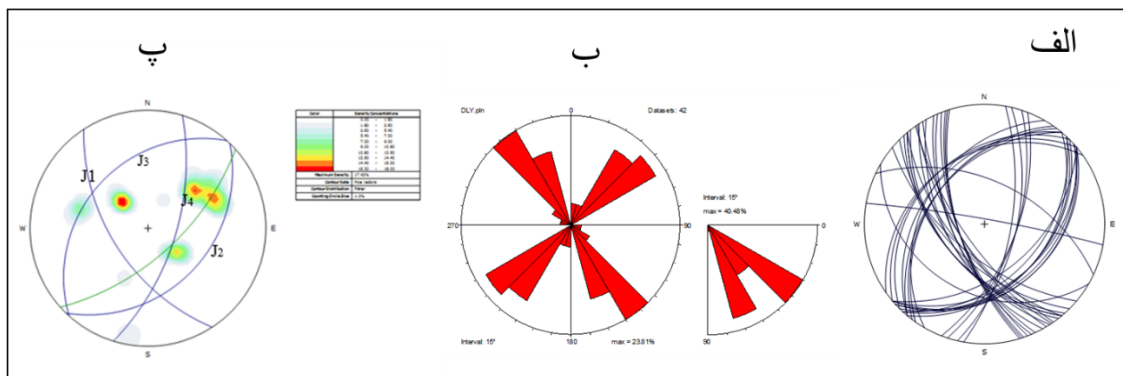
تصاویری از درزه‌های برداشت شده از دو ایستگاه سازند دلیچای در شکل ۳-۴۲ آورده شده است.



شکل ۳-۴۲- تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده از دو ایستگاه سازند دلیچای، الف-دید به جنوب شرق، ب-دید به جنوب-شرق، ج-دید به شرق، د-دید به شمال

الگوی پراکنش درزه‌ها در سازند دلیچای

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها در سازند دلیچای کلیه درزه‌ها در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۳-۴۳). در مجموع از دو ایستگاه که در آن‌ها برداشت درزه‌ها انجام شده، چهار سری درزه با موقعیت میانگین‌های (J1) N32W/58SW، (J2) N44E/35SE، (J3) N41E/32NW و (J4) N17E/63SE قابل تعریف می‌باشند. دسته درزه اول (J1) جز دسته درزه‌های عرضی به شمار می‌روند. دسته درزه‌های دوم (J2) و دسته درزه سوم (J3) هم‌روند با میانگین لایه بندی تشکیل شده اند و جزو شکستگی‌های طولی محسوب می‌شوند و دسته درزه چهارم (J4) جز درزه‌های مورب به شمار می‌روند.



شکل ۳-۴۳ الف- صفحات کل درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیئی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه میانگین سطوح لایه‌بندی

همچنین برای تعیین ارتباط این دسته درزه‌ها با تاقدیس و ناودیس تپال، تصویر سیکلوگرافیک دسته درزه‌ها و موقعیت سطح محوری تاقدیس تپال آورده شده است (شکل ۳-۴۴). با توجه به اینکه امتداد دسته درزه اول نسبت به سطح محوری عمود می‌باشد این دسته جزو درزه‌های عرضی، دسته درزه دوم و سوم نیز به موازات سطح محوری تاقدیس تپال است این دو دسته را شکستگی‌های طولی یا کششی نسبت به تاقدیس تپال در نظر می‌گیریم.



شکل ۳-۴۴ تصویر سیکلوگرافیک دسته درزه‌ها و میانگین سطح محوری تاقدیس تپال

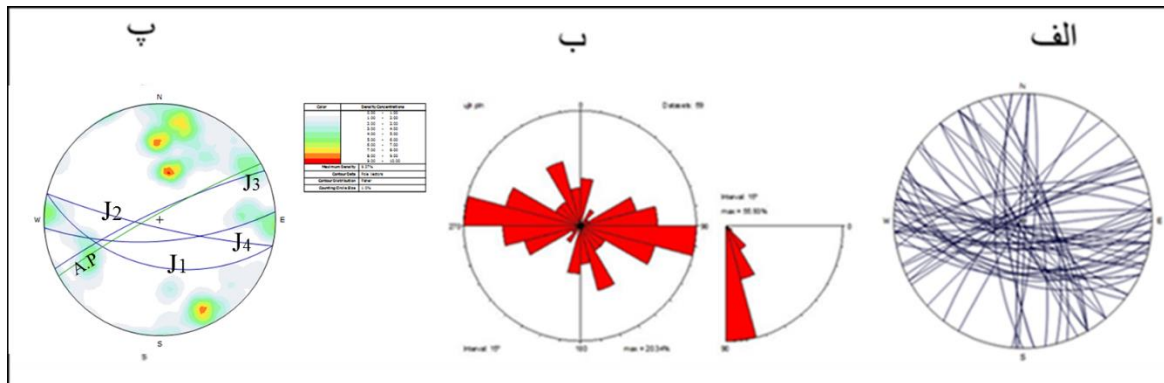
بررسی درزه‌ها در سازند لار

با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی، اعم از راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی، ۴ ایستگاه در میان آهک‌های لار در نظر گرفته شد که عملیات صحرایی برای برداشت درزه‌ها در این ایستگاه‌ها صورت گرفت، با توجه به اینکه سازند لار دارای ویژگی توده‌ای و فاقد لایه‌بندی بوده لذا برای تشخیص نوع درزه‌ها از سطح محوری تاقدیس و ناودیس تپال استفاده شده است. در ادامه به بررسی هر ایستگاه به‌طور جداگانه پرداخته می‌شود.

ایستگاه S1

این ایستگاه با موقعیت طول $36^{\circ}27'42,09''$ و عرض $54^{\circ}51'12,18''$ جغرافیایی در رخنمون سازند آهکی لار واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۵۹ درزه به عنوان نمونه برداشت شده که در پیوست ۵ درج شده است. هیچ‌گونه اثری از خش‌لغز بر روی این درزه‌ها مشاهده نشد. شکستگی‌های موجود در این

ایستگاه اغلب کشش و برش از خود نشان می‌دهند. شکل ۳-۴۵ تصویر استریوگرافیک صفحات درزه‌ها، نمودارهای گل سرخی امتدادی و شیبی و نمودار قطب درزه‌های مربوط به درزه‌های این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم‌شده برای امتداد درزه‌ها در این ایستگاه، مشخص شد که چهار دسته درزه با موقعیت میانگین N65E/81NW, N73W/82SW, N76W/47SW و N86E/69SW وجود دارد. همچنین نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۳-۴۵ ب) غالب شیب درزه‌ها را در بازه ۷۵ تا ۹۰ درجه نشان می‌دهد. دسته درزه اول (J_1) و دوم (J_2) و چهارم در بازه امتدادی ۲۵۷ تا ۳۰۰ درجه با شیبی بین ۴۵ تا ۸۵ درجه ایجاد شده‌اند. دسته سوم (J_3) در بازه امتدادی ۳۳۰ تا ۳۵۰ درجه با شیبی بین ۶۵ تا ۸۸ درجه ایجاد شده‌اند.



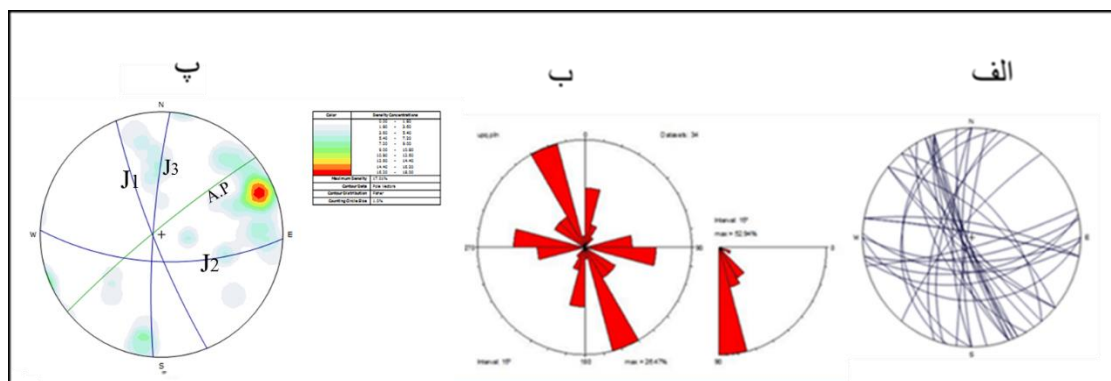
شکل ۳-۴۵ دیگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۱، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری میانگین تاقدیس تپال

دسته درزه اول (J_1)، دسته درزه دوم (J_2) و دسته درزه سوم (J_3) شکستگی‌هایی هستند که با محوری تاقدیس تپال زاویه کمتر از ۴۵ درجه می‌سازند بنابراین شکستگی‌های مایل به شمار می‌روند این دسته درزه‌ها شکستگی‌های برشی محسوب می‌شوند. دسته درزه سوم (J_3) نیز هم‌روند با سطح محوری تاقدیس و ناودیس تپال می‌باشد شکستگی‌های طولی یا کششی منطقه محسوب می‌شوند

ایستگاه S₂

این ایستگاه با موقعیت طول $۳۶^{\circ}۲۸'۰۳,۸۸''$ و عرض $۵۴^{\circ}۵۰'۴۷,۱۲''$ جغرافیایی در رخنمون سازند لار واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۳۴ درزه به عنوان نمونه برداشت شده است. داده‌های برداشت شده

مربوط به این ایستگاه در پیوست ۶ درج شده است. درزه‌ها در این ایستگاه کشش را متحمل شده و برخی نیز پرشدگی دارند. نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این درزه‌ها در شکل ۳-۴۶ قابل مشاهده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار گل سرخی ترسیم شده برای درزه‌های برداشت شده از این ایستگاه، سه دسته درزه با موقعیت میانگین $N06E/83W$, $N81W/78NE$, $N23W/82SW$ دیده می‌شود که دسته اول بیشترین گسترش را در این ایستگاه دارند. بر اساس آنچه از نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و همچنین رز دیاگرام شیبی ترسیم شده اکثر درزه‌ها شیبی بین ۷۵ تا ۹۰ درجه را نشان می‌دهند (شکل ۳-۴۶ ب). دسته درزه اول (J_1) بیشترین گسترش را داشته و در بازه امتدادی ۲۳۰ تا ۲۴۷ درجه با شیب بین ۶۵ تا ۸۵ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J_2) گسترش کمتری نسبت به دسته درزه اول دارد و در بازه امتدادی ۲۶۷ تا ۲۸۵ درجه و دارای شیب متغیر از ۳۰ تا ۸۵ درجه می‌باشند. دسته سوم (J_3) با نسبت کمتری نسبت به دسته دوم در بازه امتدادی ۳۶۰ تا ۰۱۶ درجه با شیبی بین ۳۵ تا ۸۵ درجه ایجاد شده‌اند. با توجه به اینکه سازند لار دارای ویژگی توده ای است و در این ایستگاه فاقد لایه‌بندی بوده لذا برای تشخیص نوع درزه‌ها از سطح محوری تاقدیس و ناودیس تپال استفاده شده است.

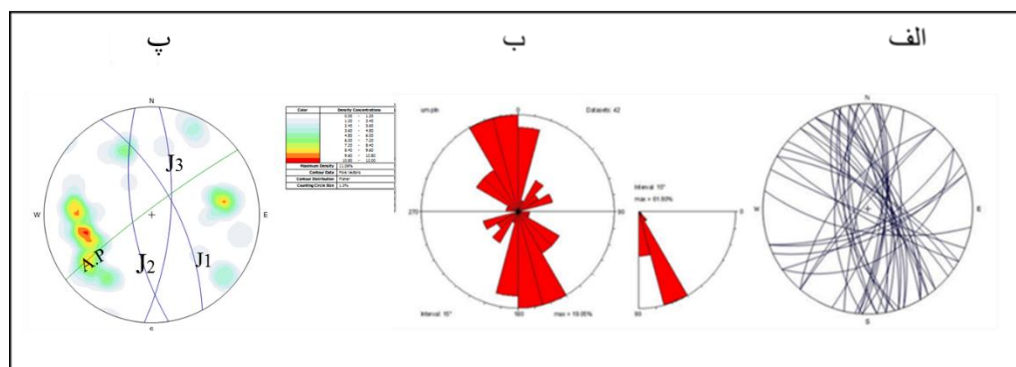


شکل ۳-۴۶ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۲، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری تاقدیس با توجه به اینکه دسته اول (J_1) عمود بر سطح محوری تاقدیس تپال ایجاد شده این شکستگی‌ها جزو شکستگی‌های عرضی این ایستگاه محسوب می‌شوند که کشش نیز در آن‌ها مشاهده شده است. دسته درزه دوم (J_2) و دسته درزه سوم (J_3) با زاویه حدود ۴۵ درجه نسبت به محور چین‌خوردگی بصورت

مزدوج ایجاد شده‌اند این دو دسته درزه را می‌توان جزو شکستگی‌های مزدوج برشی در نظر گرفت.

ایستگاه S₃

این ایستگاه با موقعیت طول $36^{\circ}26'47,89''$ و عرض $54^{\circ}49'49,56''$ جغرافیایی در بین سازند آهکی لار واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۲ درزه به عنوان نمونه برداشت شد که داده‌های مربوط به آن در پیوست ۷ درج شده است. چهار دسته درزه در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این درزه‌ها در شکل ۳-۴۷-آمده است. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای شکستگی‌های برداشت شده از این ایستگاه، چهار دسته شکستگی دیده می‌شود. دسته درزه اول (J₁) با موقعیت N28W/65NE از گسترش و فراوانی بیشتری برخوردار است، این دسته درزه در بازه امتدادی ۳۴۵ تا ۳۳۰ درجه با شیبی بین ۵۵ تا ۸۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J₂) با موقعیت میانگین N09W/69NW با گسترشی تقریباً مساوی نسبت به دسته اول در بازه امتدادی ۳۴۵ تا ۳۶۰ درجه با شیبی بین ۵۵ تا ۷۵ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه سوم (J₃) با موقعیت میانگین N04E/70 SE دارای امتدادی بین ۰۰ تا ۰۱۸ درجه با شیبی بین ۵۵ تا ۷۰ درجه می‌باشند. (شکل ۳-۴۷ ب و ج).

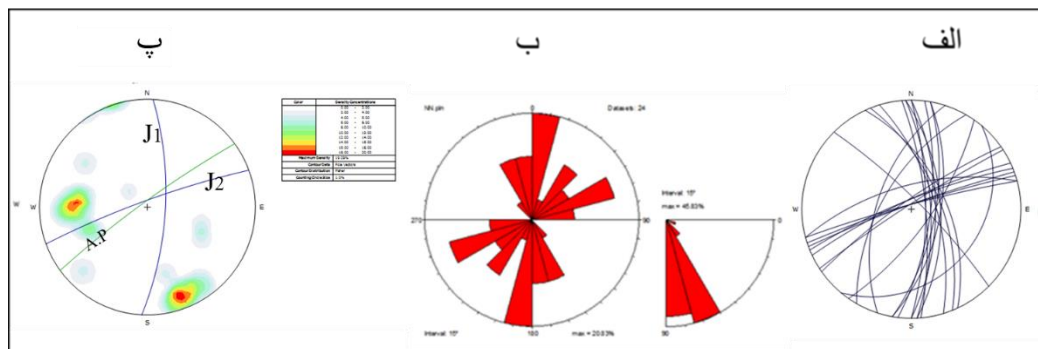


شکل ۳-۴۷ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۳، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری تاقدیس تپال همانطور که ذکر شد شکستگی‌های این ایستگاه را می‌توان به دو دسته کلی تفکیک کرد. دسته اول شکستگی‌های NW-SE با شیب به سمت شرق و دسته دوم شکستگی‌های با امتدادی تقریباً شمالی جنوبی که با شیب به سمت غرب و شرق ایجاد شده‌اند. هر سه دسته درزه J₁، J₂ و J₃ با توجه به زاویه

با سطح محوری چین خوردگی و محور چین، از نوع درزه‌های مایل (برشی) به شمار می‌روند.

ایستگاه S₄

این ایستگاه با موقعیت طول $36^{\circ}26'19,08''$ و عرض $54^{\circ}48'41,52''$ جغرافیایی، در سازند آهکی لار واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۴ درزه به عنوان نمونه برداشت شد که در پیوست ۸ درج شده است. سه دسته درزه در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این شکستگی‌ها در شکل ۳-۴۸- آمده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک صفحات و نمودار گل سرخی ترسیم شده برای شکستگی‌های برداشت شده از این ایستگاه، دو دسته درزه با موقعیت میانگین $N03E/72E$ و $N70E/83NW$ مشخص شد که نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و رز-دیگرام شیبی نشان از شیب زیاد درزه‌ها دارد که در بازه شیبی ۷۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند (شکل ۳-۴۸). دسته درزه اول (J_1) با موقعیت میانگین $N03E/72E$ با گسترش بیشتر نسبت به دسته دوم، در بازه امتدادی ۳۴۴ تا ۰۱۰ درجه و شیبی بین ۵۵ تا ۷۵ درجه ایجاد شده است. دسته درزه اول (J_2) با موقعیت میانگین $N70E/83NW$ در بازه امتدادی ۵۵ تا ۷۶ درجه و شیبی بین ۷۵ تا ۸۶ درجه ایجاد شده‌اند.



شکل ۳-۴۸ دیگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه ۴، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری تاقدیس تپال همانطور که ذکر شد در این ایستگاه دو دسته شکستگی دیده می‌شود. با توجه به زاویه بین دسته درزه اول (J_1) با روند $NNE-SSW$ و موقعیت میانگین $N03E/72E$ و محور تاقدیس تپال، درزه‌های مایل محسوب می‌شوند. دسته درزه دوم (J_2) شکستگی‌های با روند $NE-SW$ هستند و موقعیت میانگین

N70E/83NW هستند که تقریباً هم‌روند با سطح محوری تاقدیس تپال ایجاد شده‌اند، بنابراین شکستگی‌های طولی به شمار می‌آیند.

تصاویر صحرایی مربوط به برداشت‌های صحرایی در سازند لار در شکل‌های ۴۹-۳ و ۵۰-۳ قابل مشاهده است.



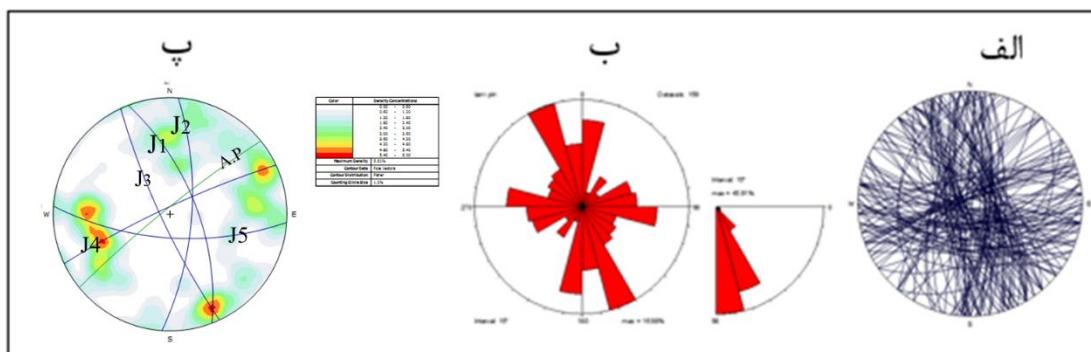
شکل ۴۹-۳ تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند لار، الف-دید به غرب، ب-دید به شمال، پ-دید به شمال غرب



شکل ۳-۵۰ تصاویری از درزه‌های برداشت شده در سازند لار، الف-دید به شمال غرب، ب- دید به شمال غرب، ج-دید به شمال

الگوی پراکنش شکستگی‌ها در سازند لار

به منظور شناسایی و دسته‌بندی شکستگی‌ها در سازند لار کلیه شکستگی‌ها در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۳-۵۱). در مجموع از ۴ ایستگاه که در آن‌ها برداشت شکستگی‌ها انجام شده، ۱۵۹ شکستگی به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت که با بررسی‌های انجام شده مشخص شد پنج دسته درزه (J1، J2، J3، J4 و J5) در این سازند قابل تعریف است، که به ترتیب دارای موقعیت میانگین N21W/57NE، N04E/68E، N25W/81SW، N64E/83NW و N86W/67SW می‌باشند.



شکل ۳-۵۱ الف- صفحات کل شکستگی‌ها ب- نمودار گل سرخی شبیبی و امتدادی شکستگی‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری تاقدیس تپال

دسته درزه اول، دوم و پنجم با توجه به امتداد آن‌ها با امتداد سطح محوری تاقدیس تپال، در رده درزه‌های مایل قرار می‌گیرند. دسته درزه سوم نیز امتدادی عمود با تقریب ± 8 درجه نسبت به سطح محوری را دارا می‌باشد که بر این اساس در رده درزه‌های عرضی قرار می‌گیرد و دسته درزه چهارم نیز تقریباً هم‌روند با سطح محوری ایجاد شده‌اند بنابراین این دسته درزه طولی (کششی) محسوب می‌شوند.

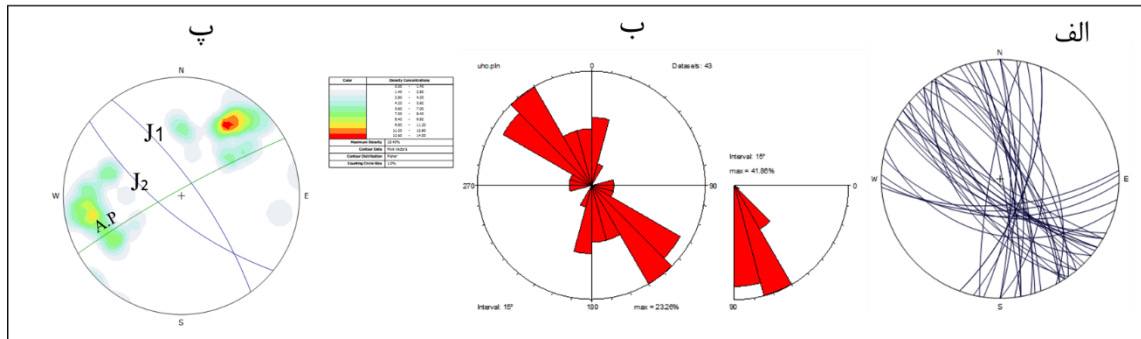
بررسی درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه

با استناد به تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی، اعم از راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی، و با توجه به گسترش رخمون آهک‌های کرتاسه در منطقه مورد مطالعه، ۴ ایستگاه برای برداشت درزه در نظر گرفته شد که عملیات صحرایی برای برداشت درزه‌ها در این ایستگاه‌ها صورت گرفت، در ادامه به بررسی هر ایستگاه به‌طور جداگانه پرداخته می‌شود.

ایستگاه S1

ایستگاه S1 با موقعیت طول $37^{\circ}27'28''$ و عرض $54^{\circ}56'25''$ جغرافیایی، در رخمون آهک‌های کرتاسه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۳ درزه به عنوان نمونه برداشت شده که در پیوست ۹ نشان داده شده است. درزه‌ها در این ایستگاه شکل ۳-۵۲ تصویر استریوگرافیک صفحات درزه‌ها، نمودارهای گل سرخی امتدادی و شیبی، و نمودار قطب درزه‌های مربوط به درزه‌های برداشت شده در این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم شده برای امتداد درزه‌ها و نمودار قطب درزه‌ها در این ایستگاه، مشخص شد که در این ایستگاه، دو دسته درزه با موقعیت‌های میانگین $N36W/75NE$ و $N51W/71SW$ گسترش و فراوانی بیشتری دارند. دسته درزه اول (J_1) در بازه امتدادی $315-300$ با شیبی بین 55 تا 88 درجه و دسته درزه دوم (J_2) در بازه امتدادی $315-300$ با شیبی بین 55 تا 85 درجه ایجاد شده‌اند. همچنین نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۳-۵۲) ترسیم شده برای درزه‌ها در این ایستگاه، مشخص شد که امتداد درزه‌ها در این ایستگاه به‌طور غالب از روند NW-SE پیروی می‌کنند و اکثر درزه‌های برداشت شده در این ایستگاه شیبی بین 60 تا 85 درجه دارند. نمودار

هم‌تراز قطب درزه‌ها نیز اکثر صفحات را با شیب زیاد به سمت شمال شرق و جنوب غرب نشان می‌دهد (شکل ۳-۵۲ ج).



شکل ۳-۵۲ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه S1، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری ناودیس تپال در این ایستگاه دو دسته شکستگی دیده می‌شود که با توجه به موقعیت برداشت، مشخص شد برداشت‌های مربوط به ایستگاه S1 بر روی یال شمال غربی ناودیس تپال می‌باشد. با توجه به زاویه ایجاد شده بین دسته درزه اول (J1) و سطح محوری ناودیس تپال، این دسته درزه‌های مایل محسوب می‌شوند و دسته درزه دوم (J2) درزه‌های عرضی موجود در این ایستگاه هستند که با زاویه تقریباً عمود نسبت به سطح محوری ایجاد شده اند.

شکستگی بارزی که در محدوده‌ی این ایستگاه مشاهده شد شکستگی با امتداد NNE-SSW با میزان بازشدگی حدود ۳۰ سانتی‌متر با سطحی هوازده بود که تصویر برداشت صحرائی و نمایی از بازشدگی در این شکستگی به همراه استریوگرام‌های مربوط به این درزه در شکل ۳-۵۳ قابل مشاهده است.

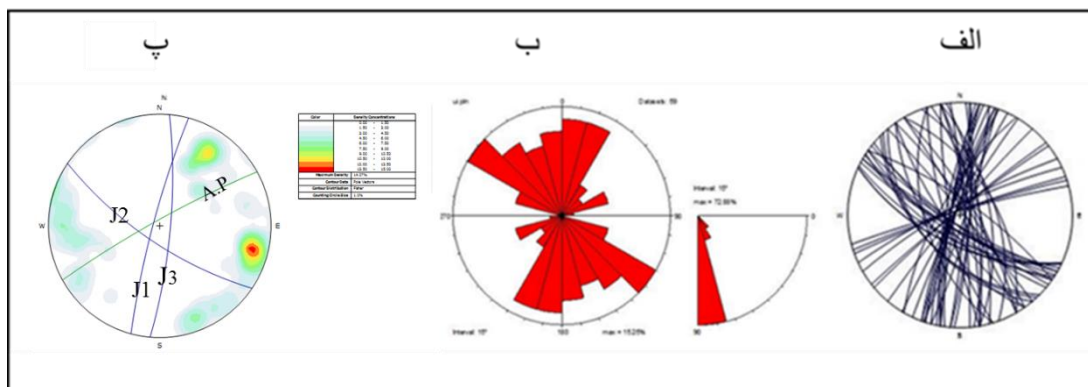


شکل ۳-۵۳ تصویر صحرایی از شکستگی با بازشدگی ۳۰ سانتی متر به همراه تصویر سیکلوگرافیک و نمودار هم‌تراز قطب شکستگی (دید عکس به جنوب غرب).

ایستگاه S2

این ایستگاه با موقعیت طول $36^{\circ}27'36,57''$ و عرض $54^{\circ}54'53,62''$ جغرافیایی، در آهک‌های کرتاسه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۵۹ درزه به عنوان نمونه برداشت شد. داده‌های مربوط به این ایستگاه در پیوست ۱۰ آورده شده است. چهار دسته درزه در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این درزه‌ها در شکل ۳-۵۴ آمده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار گل سرخی ترسیم شده برای درزه‌های برداشت شده از این ایستگاه، سه دسته درزه با موقعیت میانگین $N57W/73SW$ ، $N15E/84SE$ و $N05E/79SE$ وجود دارد. همچنین مشخص شد که اغلب درزه‌های این ایستگاه از روند $NNE-SSW$ و $NW-SE$ پیروی می‌کنند. دسته درزه اول (J_1) با موقعیت $N57W/73SW$ از گسترش و فراوانی بیشتری برخوردار است، این دسته در بازه امتدادی ۴۵ تا ۶۰ درجه با شیبی بین ۶۵ تا ۸۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J_2) با موقعیت

میانگین N15E/84SE با گسترشی کمتر نسبت به دسته اول در بازه امتدادی ۰۰ تا ۳۰ درجه با شیبی بین ۷۰ تا ۸۵ درجه هستند. دسته درزه سوم (J₃) با موقعیت میانگین N05E/79 SE دارای امتدادی بین ۳۶۰ تا ۰۱۴ درجه با شیبی بین ۷۰ تا ۸۷ درجه را دارا می‌باشند. نمودار گل سرخی شیبی نیز شیب اکثر صفحات را ۷۵ تا ۹۰ درجه نشان می‌دهد (شکل ۳-۵۴ب).

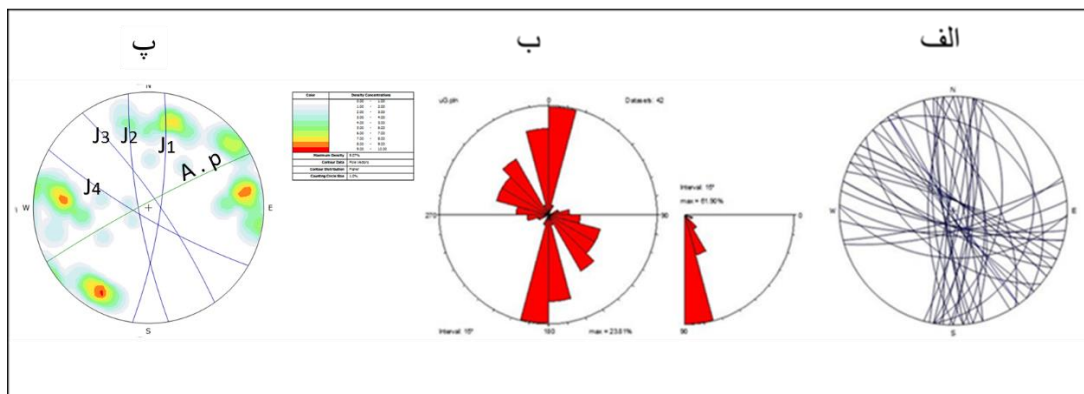


شکل ۳-۵۴ دیگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه S₂، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری ناودیس تپال در این ایستگاه سه دسته شکستگی دیده می‌شود. با توجه به اینکه هر سه دسته درزه‌های (J₁)، (J₂) و (J₃) نسبت به محور ناودیس تپال زاویه کمتر از ۴۵ درجه دارند درزه‌های مایل یا برشی هستند که در این ایستگاه نسبت به ناودیس تپال ایجاد شده‌اند. همچنین دسته درزه‌های اول و دوم را می‌توان در رده درزه‌های مزدوج برشی دانست.

ایستگاه S₃

این ایستگاه با موقعیت طول ۳۶°۲۷′۵۲٫۹۳″ و عرض ۵۴°۵۳′۳۸٫۹۴″ جغرافیایی، بر روی یال شمال غربی ناودیس تپال و در بین رخنمون آهک‌های کرتاسه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۲ درزه به عنوان نمونه برداشت شد. داده‌های مربوط به این ایستگاه در پیوست ۱۱ درج شده است. دو دسته درزه در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این درزه‌ها در شکل ۳-۵۵ آمده است. با توجه به نمودار گل سرخی ترسیم‌شده برای درزه‌های برداشت‌شده از این ایستگاه، چهار دسته درزه با موقعیت میانگین N10W/80W، N08E/78E،

N60W/70NE و N35W/80SW دیده شد. دسته درزه اول (J_1) بیشترین گسترش را در میان شکستگی-های برداشت شده در این ایستگاه دارد و در بازه امتدادی ۳۵۶ تا ۰۱۵ با شیبی بین ۶۰ تا ۸۰ ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J_2) که تقریباً هم‌روند با دسته درزه اول با جهت شیب عکس ایجاد شده‌اند، در بازه امتدادی ۳۴۲ تا ۰۰۳ با شیب زیاد بین ۸۰ تا ۸۵ درجه تشکیل شده‌اند. دسته درزه سوم (J_3) و چهارم (J_4) گسترشی خیلی کمتر نسبت به درزه‌های گروه اول و دوم دارند. دسته درزه سوم در بازه امتدادی ۳۱۵ تا ۳۳۰ با شیب ۴۵ تا ۷۵ درجه تشکیل شده‌اند. بر اساس نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها بیشتر درزه‌ها در این ایستگاه دارای شیب نزدیک به قائم می‌باشند. همچنین نمودار گل سرخی شیبی نیز شیب اکثر درزه‌ها را بین ۷۵ تا ۹۰ درجه نشان می‌دهد (شکل ۳-۵۵ ب).

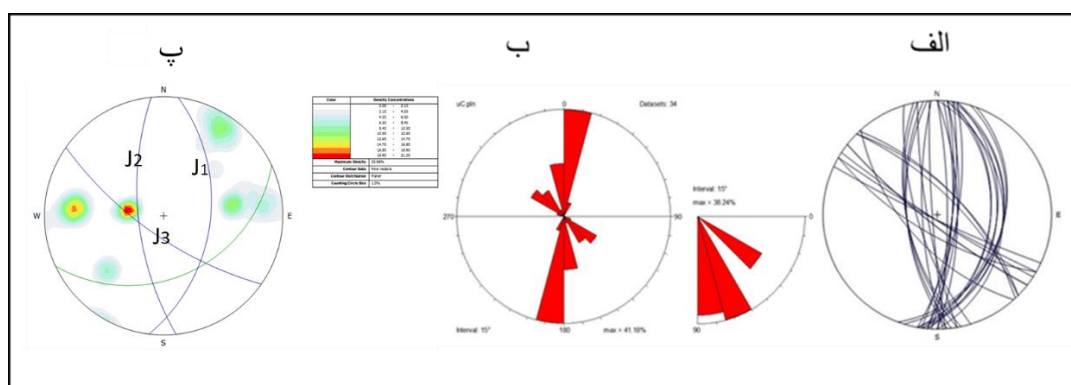


شکل ۳-۵۵ دیگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه S_3 ، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری ناودیس تپال در این ایستگاه چهار دسته شکستگی دیده می‌شود که هر چهار دسته درزه نسبت به محور ناودیس تپال زاویه کمتر از ۴۵ درجه دارند بنابراین هر چهار دسته درزه اصلی در رده درزه‌های مایل (مزدوج برشی) به شمار می‌روند. با توجه به نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها، می‌توان دسته درزه اول (J_1) و سوم (J_3) را یک گروه مزدوج برشی و دسته درزه‌های دوم (J_2) و چهارم (J_4) را یک گروه مزدوج برشی دیگر دانست که نسبت به محور ناودیس تپال به صورت قرینه ایجاد شده‌اند.

ایستگاه S_4

این ایستگاه با موقعیت طول $۳۶^{\circ}۲۵'۰۲,۶۷''$ و عرض $۵۴^{\circ}۵۴'۲۰,۸۰''$ جغرافیایی، در جنوب

شرق منطقه مورد مطالعه بر روی یال جنوب شرقی ناودیس تپال در میان آهک‌های کرتاسه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۳۴ درزه به عنوان نمونه برداشت شد. داده‌های برداشت شده مربوط به این ایستگاه در پیوست ۱۲ درج شده است. میانگین موقعیت لایه‌بندی در این ایستگاه N70E/45SE می‌باشد. هیچ‌گونه اثری از جابجایی بر روی شکستگی‌ها مشاهده نشده و شکستگی‌ها در این ایستگاه هم دارای برش بوده و هم دچار پرشدگی شده‌اند. سه سیستم درزه در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این درزه‌ها در شکل ۳-۵۶ آمده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار گل سرخی ترسیم شده برای درزه‌های برداشت شده از این ایستگاه، سه دسته درزه با موقعیت‌های میانگین N55W/71SW, N06W/66SW, N07E/47SE مشاهده می‌شود. دسته درزه اول (J1) N07E/47SE بیشترین گسترش را داشته و دارای راستای تقریباً شمالی جنوبی می‌باشند، این درزه‌ها در بازه امتدادی ۰ تا ۱۵ درجه با شیبی بین ۳۰ تا ۴۰ درجه و ۶۰ تا ۷۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J2) N06W/66SW گسترش کمتری نسبت به دسته اول داشته اما امتدادی در راستای تقریبی دسته اول بصورت شمالی-جنوبی دارند و در بازه امتدادی ۳۴۷ تا ۳۶۰ درجه با شیبی بین ۶۰ تا ۸۰ درجه را دارا می‌باشند. دسته درزه سوم (J3) N55W/71SW که از گسترشی کمتر نسبت به دو دسته اول برخوردار است در بازه امتدادی ۳۰۰ تا ۳۲۰ درجه و با شیبی بین ۶۰ تا ۸۵ درجه تشکیل شده‌اند. گل سرخی شیبی (شکل ۳-۵۶) اکثر درزه‌ها را با شیبی در بازه ۶۰ تا ۹۰ درجه دارند.

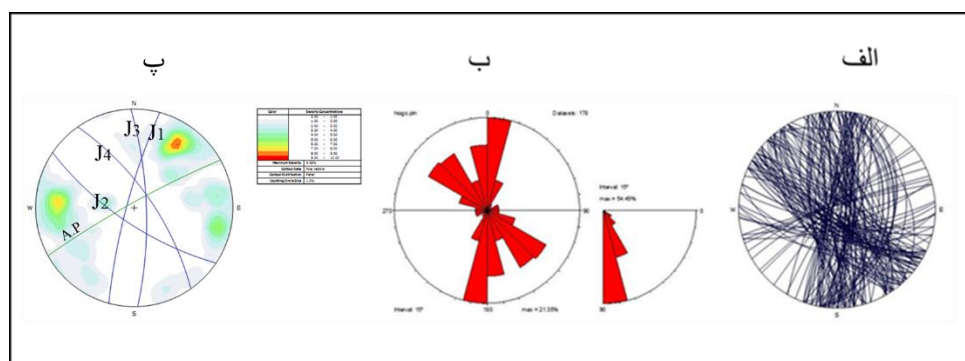


شکل ۳-۵۶ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه S4، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه میانگین لایه‌بندی

در این ایستگاه نیز همانند ایستگاه قبلی، سه دسته شکستگی دیده می‌شود که دو دسته آن تقریباً شمالی-جنوبی می‌باشند. با توجه به زاویه دسته اول (J_1) و دسته سوم (J_3) با میانگین لایه بندی در این ایستگاه، دو دسته مذکور در رده درزه‌های مورب محسوب می‌شوند. دسته درزه دوم (J_2) نیز درزه‌های شیبی این ایستگاه را تشکیل می‌دهند که امتدادی عمود بر امتداد میانگین لایه بندی دارند.

الگوی پراکنش درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه کلیه درزه‌ها در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۳-۵۷). در مجموع از ۴ ایستگاه که در آن‌ها تعداد ۱۷۸ درزه به عنوان نمونه برداشت صورت گرفته است، که چهار دسته درزه (J_1 ، J_2 ، J_3 و J_4) در این سازند قابل تعریف است که به ترتیب دارای موقعیت میانگین $N34W/70NE$ ، $N02W/76SE$ ، $N56W/72SW$ ، $N15E/81NW$ می‌باشند. با توجه به زاویه‌ها نسبت به محور ناودیس تپال، هر چهار دسته درزه اول، دوم سوم و چهارم درزه‌های مایل (برشی) منطقه محسوب می‌شوند که نسبت به ناودیس تپال ایجاد شده‌اند قابل ذکر است که درزه‌های دیگر نیز در میان آهک‌های کرتاسه ایجاد شده‌اند از جمله درزه‌های کششی که با توجه به گسترش کمتر آن‌ها، جز دسته‌های اصلی در استریوگرام دیده نمی‌شوند.



و

شکل ۳-۵۷ دیگرگرام‌های مربوط به برداشت درزه در آهک‌های کرتاسه الف- صفحات کل درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها به همراه سطح محوری ناودیس تپال

تصاویر صحرائی مربوط به برداشت درزه در آهک‌های کرتاسه در شکل ۳-۵۸ و ۳-۵۹ قابل مشاهده

است.



شکل ۳-۵۸- تصاویری از درزه ۶-های برداشت شده در آهک‌های کرتاسه، الف-دید به شرق، ب-دید به شمال غربی، پ-دید به جنوب غربی

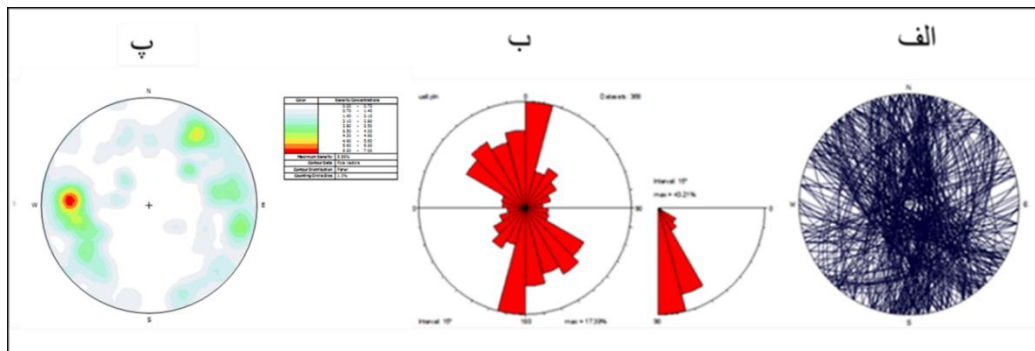


شکل ۳-۵۹- تصاویری از درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه، الف- درزه‌های کششی برشی دید به شرق، ب-پرشدگی در درزه-ها به وسیله کلسیت، ج- آثار کلسیت شدگی در آهک‌های کرتاسه بصورت سنگ‌شدگی

الگوی پراکنش درزه‌ها در سازندهای مزوزوئیک

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها کلیه درزه‌های برداشت شده از سازندهای لار، دلیچای و آهک‌های کرتاسه در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۳-۶۰). در مجموع از ۱۰ ایستگاه که در آنها برداشت حدود ۳۶۸ درزه به عنوان نمونه انجام شده (بیشتر این شکستگی‌ها از آهک‌های کرتاسه و لار

برداشت شده است)، غالب درزه‌ها دارای امتداد NNW-SSE, N-S و NW-SE می‌باشند.



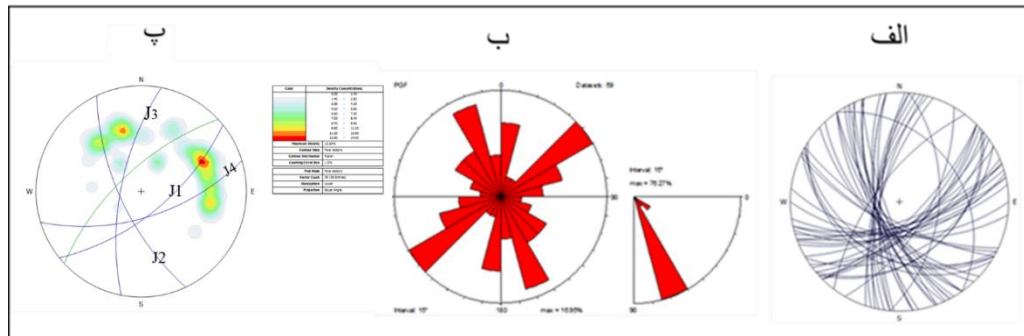
شکل ۳-۶۰ الف- صفحات کل شکستگی‌ها، ب- نمودار گل‌سرخ امتدادی و شیبی، ج- نمودار هم‌تراز قطب شکستگی‌ها

بررسی درزه‌ها در سازند فجن

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها، با استناد به تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی، اعم از راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی، عملیات صحرایی برای برداشت درزه‌ها در این سازند صورت گرفت، در ادامه به بررسی سیستم درزه‌های این سازند می‌پردازیم.

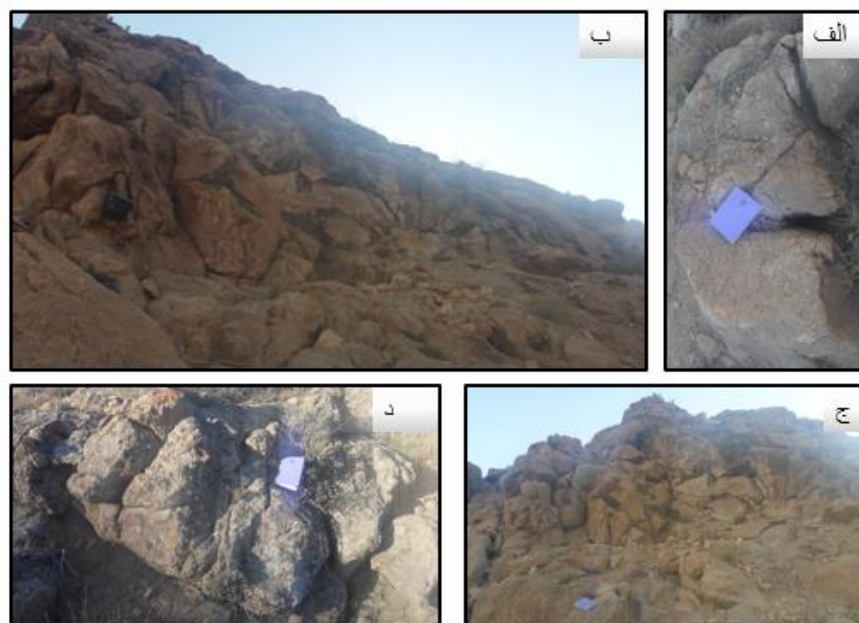
در این سازند تعداد ۵۹ درزه به عنوان نمونه برداشت شد که در پیوست ۱۳ درج شده است. نمودارهای سیکلوگرافیک، گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی معرفی‌کننده این شکستگی‌ها در شکل ۳-۶۱ آمده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک صفحات و نمودار گل‌سرخ ترسیم‌شده برای شکستگی‌های برداشت‌شده از این ایستگاه، چهار دسته درزه با موقعیت میانگین $N08E/69NW$ ، $N23W/67SW$ ، $N49E/62SE$ و $N71E/62SE$ مشخص شد که نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و رز دیاگرام شیبی نشان می‌دهد که غالب شکستگی‌ها در این سازند شیبی در بازه ۶۰ تا ۷۵ درجه را دارا می‌باشند که در شکل ۳-۵۹ قابل ملاحظه است. دسته درزه اول (J_1) در بازه امتدادی ۰۴۲ تا ۰۶۰ درجه با شیبی بین ۵۵ تا ۷۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه دوم (J_2) در بازه امتدادی ۳۳۰ تا ۳۴۸ درجه با شیبی بین ۵۰ تا ۷۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه اول (J_3) در بازه امتدادی ۰۰۰ تا ۰۱۵ درجه با شیبی بین ۴۵ تا ۷۰ درجه ایجاد شده‌اند. دسته درزه چهارم (J_4) در بازه امتدادی ۰۶۰ تا ۰۷۵ درجه با شیبی بین ۵۰ تا ۷۰ درجه

ایجاد شده‌اند.



شکل ۳-۶۱- دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در سازند فجن، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها

همانطور که ذکر شد در این ایستگاه چهار دسته شکستگی دیده می‌شود. با توجه به اینکه امتداد میانگین لایه بندی در این ایستگاه N45E/65NW می‌باشد. دسته درزه اول (J1) هم‌روند با لایه‌بندی در این ایستگاه است لذا دسته درزه اول در رده درزه‌های امتدادی قرار می‌گیرند. همچنین دیگر دسته درزه‌ها J2، J3 و J4 بر اساس زاویه با میانگین لایه بندی در این ایستگاه، جزو درزه‌های مورب یا مایل محسوب می‌شوند. تصاویر صحرایی مربوط به برداشت‌های صحرایی در شکل ۳-۶۲ قابل مشاهده است.

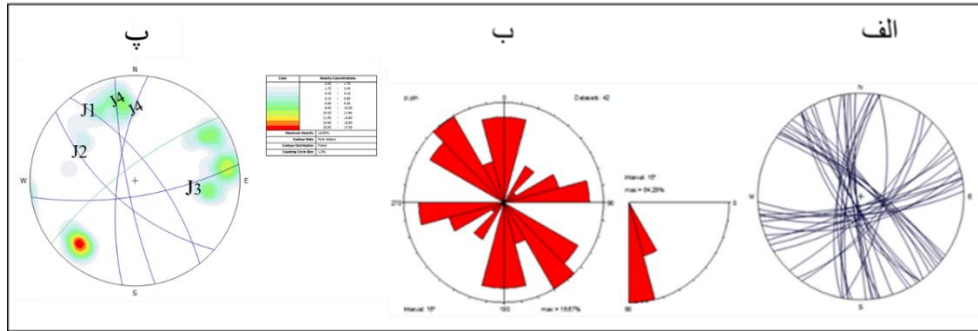


شکل ۳-۶۲- تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند فجن، الف-دید به طرف زمین، ب-دید به شمال، ج-دید به شمال‌غرب، د-دید به طرف زمین

بررسی درزه‌ها در سازند زیارت

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها، با استناد به تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی، اعم از راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی، عملیات صحرایی برای برداشت درزه‌ها در این سازند صورت گرفت، در ادامه به بررسی سیستم درزه‌های این سازند می‌پردازیم. در این سازند تعداد ۴۲ درزه به عنوان نمونه برداشت شد که در پیوست ۱۴ درج شده است. نمودارهای سیکلوگرافیک، گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این شکستگی‌ها در شکل ۳-۶۳ آمده است. با توجه به تصاویر سیکلوگرافیک صفحات و نمودار گل سرخی ترسیم شده برای شکستگی‌های برداشت شده از این ایستگاه، چهار دسته درزه با موقعیت میانگین $N38W/71NE$ ، $N49W/67SW$ و $N81E/75SE$ و دسته درزه چهارم قابل تفکیک به دو دسته $N07E/68SW$ و $N11W/81SW$ مشخص شد که نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و رز دیاگرام شیبی نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در این سازند شیبی در بازه ۷۵ تا ۸۸ درجه را دارا می‌باشند که در شکل ۳-۶۳ قابل ملاحظه است.

دسته درزه اول (J_1) با موقعیت $N38W/71NE$ از گسترش و فراوانی بیشتری برخوردار است، این دسته در بازه امتدادی ۳۱۷ تا ۳۳۰ درجه با شیبی بین ۶۵ تا ۸۵ درجه ایجاد شده اند. دسته درزه دوم (J_2) با موقعیت میانگین $N49W/67SW$ با گسترشی کمتر نسبت به دسته اول در بازه امتدادی ۳۰۰ تا ۳۱۷ درجه با شیبی بین ۶۰ تا ۸۰ درجه هستند. دسته درزه سوم (J_3) با موقعیت میانگین $N81E/75SE$ دارای امتدادی بین ۰۶۳ تا ۰۹۰ درجه با شیبی بین ۶۰ تا ۸۰ درجه را دارا می‌باشند. دسته درزه چهارم قابل تفکیک به دو دسته $N07E/68SW$ و $N11W/81SW$ می‌باشد که در بازه امتدادی ۳۴۵ تا ۰۱۷ با شیبی بین ۶۰ تا ۸۰ به سمت غرب ایجاد شده‌اند.



شکل ۳-۶۳ دیاگرام‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت آماری درزه‌ها در سازند زیارت، الف- تصویر سیکلوگرافیک درزه‌ها، ب- نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی درزه‌ها، ج- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها

میانگین لایه بندی در این ایستگاه N57E/66NW می‌باشد. همانطور که گفته شد چهار دسته شکستگی در میان درزه‌های برداشت‌شده از سازند زیارت دیده می‌شود که با توجه به عمود بودن امتداد لایه‌بندی با امتداد دسته درزه اول، این دسته در رده درزه‌های شیبی قرار می‌گیرند. دسته درزه دوم نیز با تقریب $\pm 10^\circ$ درجه جزو درزه‌های شیبی به شمار آورد. با توجه به اینکه دسته درزه‌های سوم و چهارم نیز بر اساس زاویه موربی که با میانگین لایه‌بندی ایجاد کرده‌اند، بنابراین در رده درزه‌های مایل یا مورب قرار می‌گیرند. تصاویر صحرائی مربوط به برداشت‌های صحرائی در شکل ۳-۶۴ قابل مشاهده است.

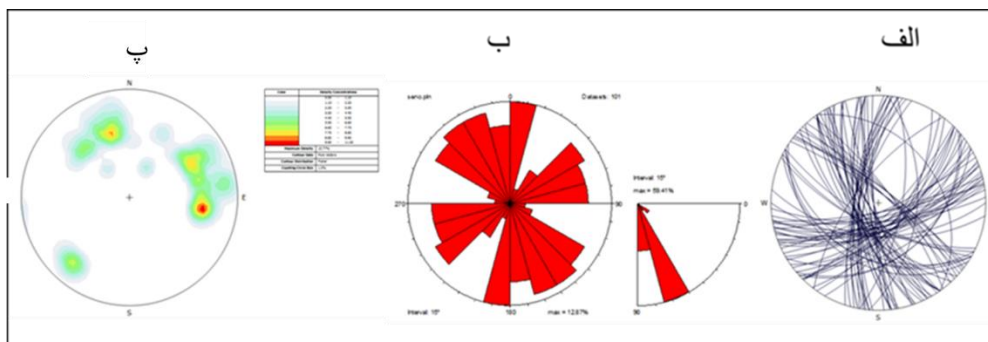


شکل ۳-۶۴. تصاویری از درزه‌های برداشت‌شده در سازند زیارت، الف-دید به شمال، ب-دید به جنوب، ج-دید به طرف

زمین

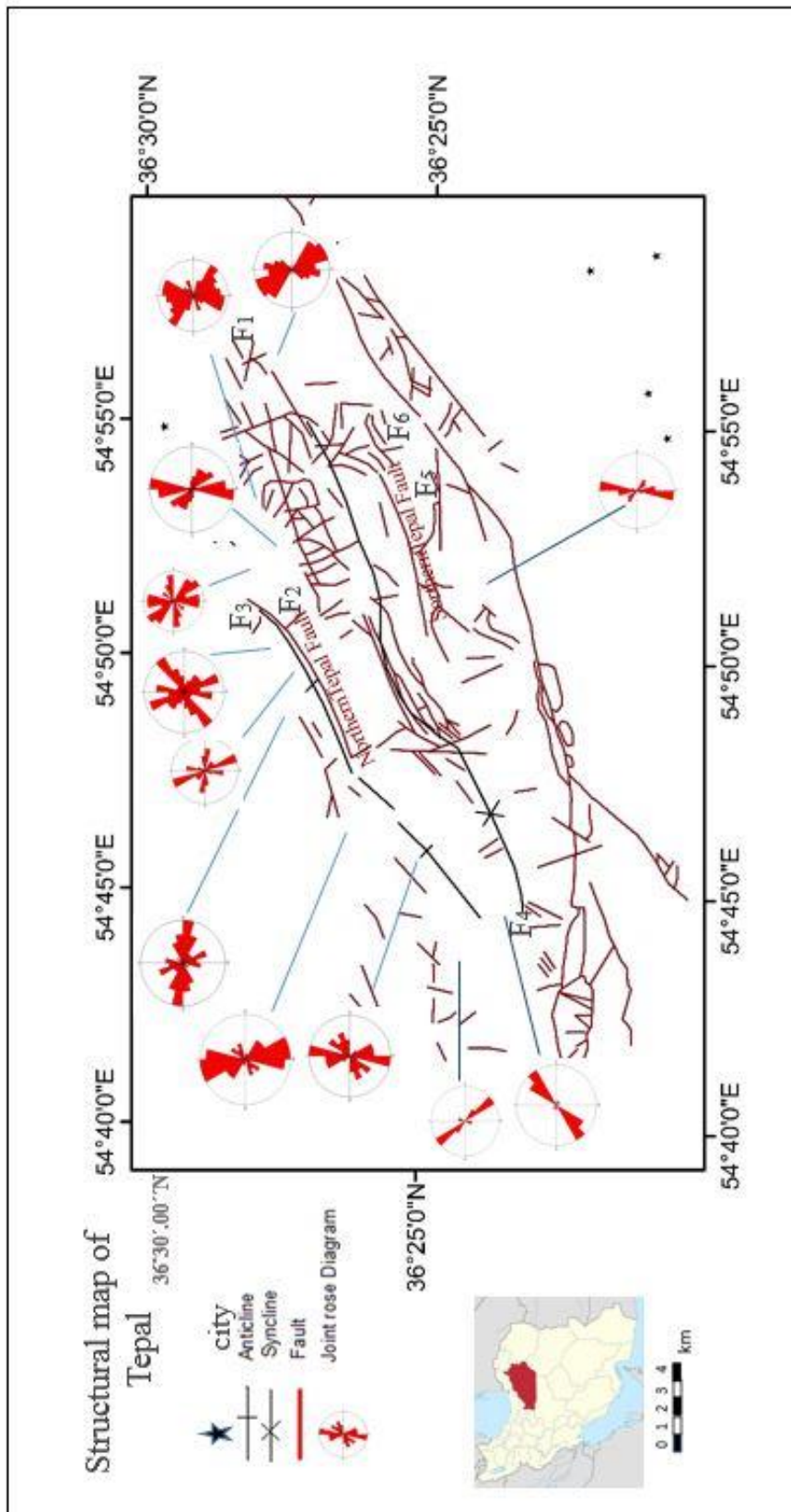
الگوی پراکنش درزه‌ها در سازندهای سنوزوئیک

به منظور شناسایی و دسته‌بندی درزه‌ها، کلیه درزه‌های برداشت شده از سازندهای فجن و زیارت در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۳-۶۵). در مجموع ۱۰۱ درزه بعنوان نمونه برداشت شد که در کل پنج دسته درزه با روند غالب NW-SE, NNE-SSW و NE-SW قابل تعریف می‌باشند.



شکل ۳-۶۵ درزه‌های مربوط به سازندهای سنوزوئیک، الف) صفحات کل شکستگی‌ها، ب) نمودار هم‌تراز قطب شکستگی‌ها، ج) نمودار گل‌سرخ شیبی و امتدادی

دسته درزه اول و دوم و چهارم با امتدادی مورب نسبت به امتداد میانگین لایه بندی، درزه‌های مورب یا مایل محسوب می‌شوند. دسته درزه سوم با توجه به اینکه امتدادی عمود بر امتداد لایه‌بندی دارد در رده درزه‌های شیبی و دسته درزه پنجم امتدادی هم‌راستا با میانگین لایه‌بندی دارد لذا در رده درزه‌های امتدادی قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۶۶- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه

فصل چهارم

بررسی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

بدون شناخت دقیق وضعیت زمین‌شناسی یک منطقه از قبیل سازندهای مختلف زمین‌شناسی، وضعیت سنگ‌شناسی، لایه‌بندی، درزه و شکاف‌ها، گسل‌ها و چین‌ها امکان بررسی کارست آن وجود ندارد. حرکت آب در درون سنگ‌های آهکی تنها از طریق درز و شکاف‌ها، سطوح لایه‌بندی و گسل‌ها امکان‌پذیر است، زیرا توده‌ی سنگ آهک به عنوان یک واحد نفوذناپذیر توانایی انتقال آب را ندارد.

در نواحی کارستی معمولاً جریان آب زیرزمینی مستقل از توپوگرافی است و عمدتاً به وسیله سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی کنترل می‌گردد. این جریان‌ها معمولاً در زیر دره‌ها و حاشیه‌های کوهستان وجود دارند. با این وجود توپوگرافی نیز دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا توپوگرافی یک منطقه، مشخص‌کننده‌ی سطح اساس فرسایش بوده و در نتیجه جهت کلی جریان آب زیرزمینی در یک منطقه را مشخص می‌سازد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

لیتولوژی سنگ‌های کربناته، بر مقدار تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن آن‌ها تأثیر دارد. تخلخل مجرای نوع دیگر تخلخل موجود در سنگ‌های آهکی می‌باشد که به نوع و درجه شکستگی‌ها و میزان کارستی شدن سنگ بستگی دارد. درز و شکاف‌ها به خاطر به وجود آوردن تخلخل ثانویه در آهک‌ها نقش مهمی را در انتقال آب بازی می‌نماید. فرایندهای تکتونیکی مخصوصاً گسل‌ها و شکستگی‌ها در تسهیل و تشدید کارستی شدن و ابعاد کمی و کیفی فرایندهای هیدروژئولوژیکی نقش اساسی ایفا می‌کنند (White, 1988). گسل‌ها گاهی موجب تغییر مسیر رودها، ایجاد آبراهه‌ها (مثلاً گسلش یک سفره آبدار محبوس سبب برداشته شدن فشار و حرکت آب به سمت سطح و جاری شدن آن می‌شود)، پدید آمدن چشمه‌های مختلف و ایجاد اشکال هیدروژئولوژیکی گوناگونی می‌گردند. زمین‌های آهکی اغلب شامل درزه‌ها و شکاف‌هایی هستند که به تدریج بر اثر نفوذ آب باران حاوی گاز کربنیک، انحلال پیدا کرده و پدیده کارستی شدن را پدید می‌آورند. با عنایت به مطالب مذکور، ملاحظه می‌شود که مطالعه ساختارهای تکتونیکی در حوضه‌های کارستی از اهمیت بالایی برخوردار است.

۴-۱- تعریف و اهمیت کارست

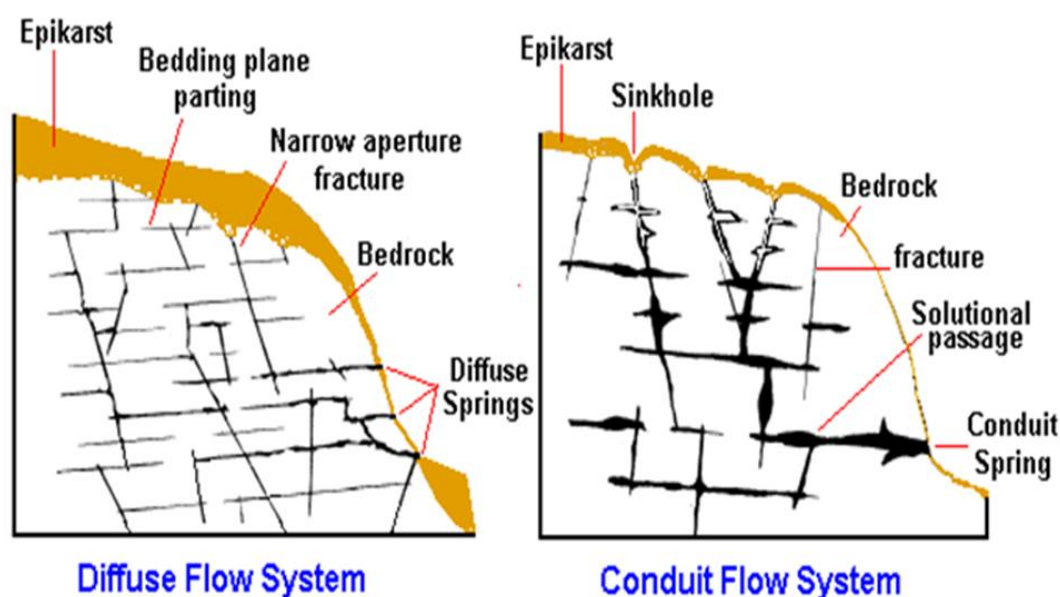
کارست به گستره‌ای با مورفولوژی مشخص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ گفته می‌شود که از حلالیت زیاد برخی از سنگ‌ها در آب طبیعی ایجاد شده است (Karami, 2002). نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته به ویژه سنگ آهک توسعه پیدا می‌کنند و علاوه بر این بر روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند از قبیل سنگ گچ و نمک ایجاد می‌شوند. سازندهای کارستی مساحت قابل توجهی دارند به طوری که حدود ۱۲ درصد از سطح خشکی‌ها را می‌پوشانند (Ford and Williams 2007). در ایران حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور را سازندهای کارستی می‌پوشاند. علاوه بر اهمیت سازندهای کارستی در ذخیره و تأمین منابع آب، این سنگ‌ها، در ذخایر کانی‌ها، نفت و گاز نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. طبق یک برآورد ۲۵ درصد مردم دنیا از منابع آب موجود در مناطق کارستی استفاده می‌کنند (Ford et al, 1988).

۴-۲- پدیده کارستی شدن

فرایند کارستی شدن ناشی از نفوذ آب باران به داخل توده سنگ‌های کربناته تراوا و قابل حل می‌باشد بنابراین، علاوه بر انحلال‌پذیری، قابلیت تراوایی نیز یکی از عوامل بسیار مهم در طی فرایند کارستی شدن می‌باشد. یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته، درز و شکاف‌دار بودن این سنگ‌ها است؛ به عبارت دیگر فرآیند کارستی شدن با عمل شیمیایی انحلال توده سنگ در امتداد بازشدگی‌های ثانویه سنگ‌ها و انتقال کلسیت قابل حل، به وسیله فرآیندهای خوردگی که در مراحل اولیه فرآیند، ابعاد کوچکی دارند شروع می‌شود. مجاری کارستی با عریض شدن این بازشدگی‌های ثانویه در سنگ‌ها تشکیل می‌شوند؛ بنابراین مهم‌ترین مجاری آب در فرآیند کارستی شدن تشکیل و شرایط برای ایجاد جریان متلاطم فراهم می‌شود (Millanivic, 1981).

۳-۴- طبقه‌بندی سیستم‌های کارستی

شاستر و وایت (Shuster and White, 1971) سیستم جریان در کارست را به دو نوع افشان (Diffuse) و مجرای (Conduit) تقسیم کرده است که البته بین دو نوع سیستم جریان ذکر شده حالت‌های حد واسط زیادی نیز مشاهده شده است. شکل (۴-۱) تصویری شماتیک از سیستم‌های جریان کارستی افشان و مجرای را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- سیستم‌های کارستی افشان و مجرای (karami, 2002)

سیستم‌های کارستی افشان

در سیستم جریان افشان، آب زیرزمینی درون شکستگی‌ها و حفرات کوچک جریان دارد و حرکت آب به صورت خطی از خلال شکستگی‌های به هم پیوسته‌ای که بازشدگی کمتر از یک سانتی‌متر دارند صورت می‌گیرد. تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیادی در این نوع چشمه‌ها مشاهده نمی‌شود، در این نوع جریان، چشمه‌ها متعدد، پراکنده، با دبی کم بوده و هدایت هیدرولیکی این سیستم‌ها تقریباً در کل توده به صورت یکنواخت می‌باشد. تغذیه این آبخوان‌ها عمدتاً به صورت مستقیم و از طریق درزه و شکاف‌های ریز موجود در سنگ‌های کربناته دربرگیرنده و پوشش‌های خاک فوقانی صورت می‌گیرد.

مهم‌ترین عارضه‌های ژئومورفولوژیکی قابل مشاهده در سیستم‌های کارستی افشان شامل دره‌های خشک

(Dry valleys)، کارنها (Karrens) و عوارض انحلالی کوچک (Small solutional features) می‌باشند. در این نوع کارست، به علت غیرمتمرکز بودن جریان معمولاً چشمه‌های کارستی کوچک ظاهر می‌شوند.

سیستم‌های کارستی مجرای

در این گونه سیستم‌ها جریان آب در کانال‌های بزرگ و مجاری لوله‌ای شکلی که دارای بازشدگی بیشتر از یک سانتی‌متر می‌باشند صورت می‌گیرد. هدایت هیدرولیکی در این گونه سیستم‌ها نسبت به سیستم افشان بسیار بیشتر بوده و به همین دلیل جریان آب در آن‌ها عمدتاً به صورت آشفته می‌باشد. در حوضه آبرگیر سیستم‌های کارستی مجرای در اکثریت موارد عارضه‌های ژئومورفولوژیکی مهم مانند فروچاله (Sinkhole)، گودی مسدود (Closed depression)، پلیه (Polje) و غار مشاهده می‌شود. تخلیه طبیعی در این سیستم کارستی معمولاً از طریق یک چشمه بزرگ با دبی بالا صورت می‌گیرد. همچنین تغذیه آب در سیستم‌های دارای جریان مجرای بیشتر از طریق درزه‌ها و فروچاله‌های موجود در سنگ‌ها که فاقد پوشش خاک و گیاه می‌باشند صورت می‌گیرد.

۴-۴- طبقه‌بندی مناطق کارستی

یکی از اولین طبقه‌بندی‌های کارست توسط سویجیک (Cvijic, 1926) ارائه شد که این محقق کارست را براساس عامل مورفولوژی به سه نوع کارست کامل (Holo karst)، کارست ناقص (Mero karst) و کارست انتقالی (Transitional karst) تقسیم‌بندی نمود.

کارست کامل: به گستره‌های کارستی اطلاق می‌شود که کاملاً از سنگ‌های کربناته قابل حل تشکیل یافته باشند. این نوع کارست توسط پدیده‌های کارستی سطحی و زیرزمینی و ایجاد پدیده‌های کارستی جدید مشخص می‌شود. سرزمین‌های سنگی و برهنه بدون زمین قابل کشت و یا بدون وجود گیاهان، چهره‌های بسیار خاصی به نواحی کارست کامل می‌دهند.

کارست‌های ناقص: به نواحی کارستی گفته می‌شود که در آن‌ها پدیده‌های کارست کم و عمق کارستی

شدن محدود است. رسوبات کربناته با خاک‌های قابل کشت و گیاهان پوشیده شده و سطوح سنگی برهنه عملاً دیده نمی‌شود. حفره‌های فروکش متداول نبوده و پلایه‌های کارستی وجود ندارند. این نوع کارست معمولاً کارست پوشیده نیز نامیده می‌شود.

کارست‌های انتقالی: در حد واسط کارست‌های کامل و ناقص قرار می‌گیرند. این نوع کارست عمدتاً در سنگ‌های آهکی یافت می‌شوند که توسط رسوبات ناتراوا و با قابلیت انحلال کم از هم تفکیک شده‌اند. برخی دیگر از محققین، مناطق کارستی را با توجه به پیچیدگی‌های موجود در آن، از دیدگاه‌های تکتونوتیکی، مورفولوژی، زمین‌شناسی ساختمانی، زمان تشکیل، سطح اساس فرسایش، موقعیت لایه‌های ناتراوا و پوشش خاک تقسیم‌بندی نموده‌اند. نکته کلیدی در تقسیم‌بندی سیستم‌های کارستی این است که در هر منطقه با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی آن، شرایط زمین‌شناسی از نظر نوع جنس، ساختمان لایه‌ها و شرایط اقلیمی، درجه تحول مشخصی دارد که خود ناشی از عوامل مؤثر بر آن‌ها می‌باشد که خاص آن مناطق است. لذا تقسیم‌بندی‌های متعددی در کارست مشاهده می‌شود؛ که هر یک خاص مناطق مشخص می‌باشد. با توجه به پیچیدگی‌های پدیده‌های کارستی که خود ناشی از عوامل مؤثر بر آن‌ها می‌باشد. محققین مختلف تقسیم‌بندی‌های متفاوتی ارائه نموده‌اند.

۴-۵- طبقه‌بندی هیدروژئولوژیکی سازندهای منطقه

طبقه‌بندی هیدروژئولوژیکی سازندها بر طبق مقدار نفوذپذیری آن‌ها انجام می‌شود. کرمی (۱۳۹۵) سازندهای شمال استان خراسان شمالی را به سه گروه سازندهای با تراوایی بالا، سازندهای با تراوایی متوسط و سازندهای با تراوایی کم تقسیم کرد، بر اساس این طبقه‌بندی و با توجه به ویژگی‌های آن‌ها به لحاظ تراوایی، سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

سازندهای با تراوایی بالا

در منطقه مطالعاتی، آهک‌های کرتاسه و سازند لار عمدتاً از سنگ‌های برهنه (Bare rocks) پوشیده شده و از تراوایی بالایی برخوردارند. این دو سازند به دلیل این که به‌طور قابل توجهی کارستی شده‌اند و

دارای درزه‌ها و شکستگی‌های توسعه‌یافته‌ای هستند، نفوذپذیری ثانویه بسیاری دارند.

سازندهای با تراوایی متوسط

سازند آهکی دلیچای و زیارت در منطقه مورد مطالعه، دارای تراوایی متوسطی هستند که شواهد کارستی شدن در این سازند کمتر دیده می‌شود.

سازندهای با تراوایی کم

در منطقه مورد مطالعه سازندهای با تراوایی کم شامل سازند شمشک و کنگلومرای فجن، می‌باشد که عمدتاً از واحدهای مارنی و شیلی تشکیل شده‌اند. این سازندها به دلیل تراوایی ناچیزی که دارند، در اغلب بارندگی‌ها باعث ایجاد رواناب می‌شوند.

۴-۶- اثر عوامل ساختاری در ناهمواری‌های کارستی

بر اثر نفوذ و چرخش آب در توده‌های کربناته، شبکه‌ای به هم پیوسته از شکاف‌ها و درزه‌های توسعه‌یافته را می‌توان مشاهده نمود که محققین مختلف به آن‌ها نام‌های مختلفی مانند کانال، درزه‌های بزرگ و درزه‌های ثانویه داده‌اند. باید توجه داشت که نقش سیمای ساختاری تنها محدود به کنترل ناهمواری‌های کارستی نمی‌شود، بلکه در واقع در اغلب موارد، کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی نیز تحت تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم این سیمای قرار دارد. نقش شکستگی‌ها و گسل‌ها در کنترل رژیم آب در کارست‌ها بسیار پیچیده است. گسل‌ها ممکن است با افزایش شدت شکستگی در اطراف خود باعث افزایش نفوذپذیری سنگ بستر شوند و به این ترتیب نقش مثبتی را بر روی جریان آب زیرزمینی بگذارند. فرایند کارستی شدن ناشی از نفوذ آب بارندگی به داخل توده سنگ‌های کربناته تراوا و قابل حل می‌باشد. بنابراین، علاوه بر انحلال‌پذیری، قابلیت تراوایی نیز یکی از عوامل بسیار مهم در طی فرایند کارستی شدن می‌باشد. یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته، درز و شکاف دار بودن این سنگ‌ها است. فرایندهای تکتونیکی شدید باعث به وجود آمدن سیستم درز و شکاف زیادی می‌شوند که

آب می‌تواند از این طریق به قسمت‌های عمیق‌تر سنگ نفوذ یابد. فرایندهای ساختاری مؤثر در منطقه مورد مطالعه، مثل چین و گسل و درزه و شکستگی‌ها در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۶-۱ - تأثیر چین خوردگی در توسعه کارست

چین‌ها تأثیر بسیار زیادی بر روی میزان ذخیره آب زیرزمینی از طریق تأثیر در هندسه سفره، میزان ذخیره آب زیرزمینی، الگوی زهکشی و همچنین فرایند کارستی شدن دارند. معمولاً این تصور وجود دارد که با افزایش عمق، میزان فرایند کارستی شدن کاهش می‌یابد ولی این مسئله در چین‌های ناودیس شکل صادق نمی‌باشد. فشارهای ایجاد شده در طی چین خوردگی باعث ایجاد درز و شکاف‌های باز در بالاترین قسمت چین‌های تاقدیسی شکل می‌شوند در حالی که در چین‌های ناودیس شکل معمولاً درز و شکاف‌های بسته ایجاد می‌شود (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

در نتیجه معمولاً در ناودیس‌ها با افزایش عمق، میزان کارستی شدن افزایش می‌یابد و برعکس این حالت در تاقدیس‌ها دیده می‌شود. معمولاً ناودیس‌ها محل تجمع آب زیرزمینی می‌باشند در نتیجه معمولاً چاه‌های بهره‌برداری در آن‌ها حفر می‌شود.

در زون کم‌عمق کارست ناودیس‌ها مسیر اصلی جریان را تشکیل داده‌اند و تاقدیس‌ها به عنوان تقسیم‌کننده‌ی جریان عمل نموده و در نتیجه امکان حرکت آب از یک تاقدیس به تاقدیس مجاور وجود ندارد ولی در زون عمیق کارست، جریان بین تاقدیس‌های مجاور وجود دارد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). ولی این امر نیز یک قاعده کلی نیست و در واقع نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که مناطق ناودیس برای بهره‌برداری آب مساعدتر هستند. بنابراین ملاحظه می‌شود که ارتباط بین ساختارها و آب‌دهی چاه‌ها به خوبی شناخته شده نیست و نتایج یک مطالعه را نمی‌توان به مناطق دیگر تعمیم داد هرچه میزان چین خوردگی در منطقه بیشتر باشد به همان میزان درز و شکستگی بیشتر بوده و توسعه کارست بیشتر می‌شود (Feeter, 1994).

۴-۶-۲ - تأثیر گسل بر توسعه کارست

گسل‌ها اهمیت زیادی در هیدروژئولوژی کارست دارند. تغییر مکان گسل‌ها از چند سانتی‌متر تا چند صد کیلومتر متغیر بوده که گسل‌های کوچک همراه با درزه‌های تکتونیکی و سطوح لایه‌بندی در ایجاد تخلخل آبخوان مؤثرند. کانال‌های کارستی و سیستم غارها اغلب از شبکه گسل‌ها، درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی پیروی می‌کنند (Goldscheider, 2008). گسل‌ها در مقیاس‌های بزرگ قادر به انتقال آب از یک زون کارستی به زون کارستی دیگر می‌شوند (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). تأثیر هیدروژئولوژیک گسل‌ها بر روی منابع آب در محیط‌های آهکی کارستی به سه عامل اصلی: الف- وجود مواد پرکننده و میزان نفوذپذیری آن‌ها، ب- پهنای بازشدگی دیواره‌های گسل و ج- جابجایی دیواره گسل بستگی دارد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). بین نوع گسل نرمال و معکوس و غیره و اثر هیدرولیکی آن ارتباط خاصی وجود ندارد بلکه مهم‌ترین پارامتر پرشدگی یا بازشدگی در راستای گسل می‌باشد (White, 2003).

تعیین نوع گسل نیز از موارد قابل توجه می‌باشد. گسل‌هایی که سازوکار کششی داشته باشند قابلیت بیشتری جهت هدایت آب دارند و برعکس گسل‌های دارای سازوکار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند. گسل‌های نرمال در اثر کشش ایجاد شده‌اند، در نتیجه امکان دارد، به میزان چند سانتیمتر بازشدگی نشان دهند. اگرچه این بازشدگی ممکن است در اثر کلسیت ثانویه و یا برش گسلی پر شده باشد. گسل‌های معکوس و جانبی در اثر نیروهای فشارشی ایجاد شده و می‌توانند به صورت نفوذناپذیر عمل نمایند. گسل‌های تراستی در واقع گسل‌هایی معکوس با زاویه کم می‌باشند و گستردگی زیاد باعث اهمیت بیشتر آن‌ها شده است (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

در برخی موارد گسلش هیچ نقشی در جهت‌گیری و هدایت جریان‌های زیرزمینی ندارد (Kasting, 1977). به‌طور کلی تأثیرات ناشی از گسلش، در کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی ثابت نیست و بستگی به بافت و ساخت سطح گسل دارد. بافت و ساخت سطح گسل تحت تأثیر ترکیب سنگ، شرایط محلی فشار-دما در حین گسلش و ماهیت کشش و یا فشارش نیروها دارد. در شرایط فشار-دمای بالا، در سطوح گسلی مواد ریزدانه‌ای تشکیل می‌شوند (Wiseand et al, 1984) که می‌تواند مانع جریان آب شود، در حالی که

در شرایط فشار -دمای پایین، برش‌های گسلی که نسبت به لایه‌های مجاور نفوذپذیری بیشتری دارند، گسترش می‌یابند؛ بنابراین ملاحظه می‌شود که در مورد گسل‌ها ارائه یک اظهارنظر کلی که قابل‌تعمیم به همه‌جا باشد، موجود نیست (Waters, 1990).

۴-۶-۳- تاثیر درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی در توسعه کارست

سطوح جداکننده‌ی تکتونیکی نظیر سطوح لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها در جریان آب زیرزمینی و توسعه‌ی کارست نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌نمایند. فراوانی درزه‌ها و محدوده و عرض بازشدگی آن‌ها در سنگ‌های کربناته به شدت متغیر بوده و عموماً وابسته به ضخامت لایه‌هاست. در مطالعات اولیه سیستم‌های کارستی، شکستگی‌ها به عنوان کنترل‌کننده اصلی جریان آب در سنگ‌های کربناته شناخته شده‌اند (Huggenberger et al, 2015). تجزیه و تحلیل ساختارها در محل درزه‌ها و مقایسه آن با خطواره‌ها، نشان می‌دهد که شکل کلی کارست ناشی از تأثیر مستقیم زمین‌شناسی ساختاری است. در واقع محور اصلی توسعه کارست به دنبال ساختارهای اصلی شکل می‌گیرد، اما گاهی این توسعه کارست می‌تواند ناشی از عوامل سنگ‌شناسی باشد، سیستم درز و شکاف‌ها معمولاً به هنگام چین‌خوردگی در سنگ‌های سخت (مانند آهک و دولومیت) به وجود می‌آیند و به هنگام حرکات تکتونیکی و نیز بر اثر لغزش‌های بین لایه‌ای گسترش می‌یابند. امتداد درزه‌ها و شکاف‌ها، معمولاً عمود بر لایه‌بندی آهک‌ها می‌باشد اما بر حسب وضعیت و شرایط سازند ممکن است در جهت لایه‌بندی نیز قرار گیرد. درز و شکاف‌ها در میزان تولید و گسترش کارستی شدن نقش عمده‌ای دارند. بنابراین طول درزه‌ها و شکاف‌ها و میزان بازشدگی درزه‌ها و امتداد و شیب آن‌ها در تعیین محل چاه نقش عمده‌ای دارند (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

فورد و همکاران (Ford et al, 1998) بیان نمودند که در اثر انحلال در طول درزه و شکستگی‌ها در سازندهای کربناته، کانال‌هایی در این سنگ‌ها به وجود می‌آید که نقش این کانال‌ها به صورت جزئی در افزایش تخلخل بوده، ولی به واسطه این کانال‌ها میزان نفوذپذیری در سنگ‌های کربناته یک تا سه برابر

افزایش می‌یابد. در واقع علت اصلی نفوذپذیری سنگ‌های کربناته وجود درزه‌هاست که امکان ورود آب و جریان یافتن آن را به داخل توده سنگ فراهم می‌کنند. درزه‌های کششی معمولاً در توسعه کارست مهم‌تر هستند، زیرا خود موجب تفکیک بلوک‌ها می‌شوند.

درزه‌ها بیشتر نقش انتقال آب از سطح زمین به درون زمین را ایفا می‌کنند و در میزان نرخ تغذیه مؤثر هستند اما نقش اساسی در جهت جریان عمومی آب زیرزمینی ندارند، مگر اینکه یک درزه اصلی باشد که معمولاً رفتاری مشابه گسل را از نظر هیدروژئولوژیکی می‌تواند داشته باشد و یا درزه‌های موجود در داخل زون گسلی باشد (Singhal and Gupta, 2010).

تخلخل و نفوذپذیری در امتداد پهنه شکستگی در کربنات‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی با جریان صعودی آب و در نتیجه توسعه کارست افزایش یابد (Ennes-Silva et al, 2015).

نفوذپذیری و قابلیت انحلال توده‌های سنگی، دو عامل مهم در ایجاد و توسعه کارست محسوب می‌شوند. مهم‌ترین عامل هدایت آب در سنگ‌های کربناته، شکستگی‌ها هستند. شکستگی‌ها، موجب نفوذ نزولات جوی به درون سنگ‌ها می‌شوند و حضور آب باعث فراخ‌تر شدن درز و شکاف‌ها شده که در نهایت باعث گسترش کارستی شدن در جهت عمودی، افقی و مایل می‌شود (قبادی و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش میزان شکستگی در سنگ آهک باعث افزایش نفوذ آب و همچنین گسترش بیشتر کارست می‌شود. اغلب شکستگی‌ها در اثر نیروهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند، ولی گاهی هم هوازدگی و تخریب مکانیکی عامل ایجاد این شکستگی‌ها هستند. مسیرهای عبور جریان آب در کارست عمدتاً در امتداد زون‌های گسله، درزه‌ها و مرز لایه‌بندی است و نقش ساختارهای تکتونیکی به‌طور واضحی در توسعه کارست نمایان است.

پاریزک (Parizek, 1971) در مطالعات خود بر روی سیماهای کارستی نشان داد که اکثر فروافتادگی‌های سطحی بر روی شکستگی‌ها و مرز لایه‌ها منطبق هستند، در واقع بسیاری از رخساره‌های کارستی، در نواحی که توسط سیماهای ساختاری، به ویژه شکستگی‌ها، تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، وجود دارند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بیش از ۸۰ درصد دره‌های کارستی بر روی شکستگی‌ها قرار دارند و در واقع

پیشرفت فرسایش در این ساختارها، موجب ایجاد دره‌ها شده است. سنگ‌های واقع در زیر دره‌ها نیز، به دلیل برخورداری از شدت بالای شکستگی، نفوذپذیری بالایی دارند، از این رو پدیده‌های کارستی در مناطق زیر دره‌ها نیز گسترده‌تر از مناطق اطراف است (Parizek, 1976).

۷-۴- توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

متمرکز شدن و توسعه فضاهای انحلالی در مناطق یا مسیرهای خاصی از سازندهای کارستی به معنای توسعه کارست می‌باشد. به منظور ارزیابی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه ابتدا با بررسی دقیق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی محدوده‌های با توسعه‌یافتگی مختلف مورد شناسایی قرار گرفته، سپس با انجام عملیات صحرایی در مسیرهای قابل دسترسی، نتایجی از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به دست آمد و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ادامه، خلاصه‌ای از شواهد بیان‌کننده توسعه کارست در منطقه ارائه می‌شود.

۷-۴-۱- اشکال ناشی از ساختارهای تکتونیکی در توسعه کارست

به دنبال ایجاد گسل‌های راندگی و امتداد لغز حاصل از وضعیت تکتونیکی ناحیه، سیستم‌های درزه و شکاف در منطقه ایجاد گردیده و با انحلال کربنات‌ها، اشکال سطحی و درونی کارست حاصل شده است. در نتیجه، عناصر ساختاری گسل و سیستم‌های درزه و شکاف در سیمای صخره‌ای و کارستی منطقه مورد مطالعه نقش اساسی دارد.

تنوع اشکال کارست سطحی در سازندهای کربناته حاکی از انحلال‌پذیری خوب این سازندها می‌باشد. در بازدید از منطقه، برخی از اشکال مختلف و فراوان کارست سطحی مشاهده شد؛ بنابراین به‌طور صریح می‌توان اظهار داشت که سنگ‌های دربرگیرنده این پدیده‌ها از تراوایی بالایی برخوردارند.

ساختارهای مهم در کارست و مورفولوژی کارست که مستقیماً با زمین‌شناسی ساختمانی در ارتباط هستند عبارت‌اند از: کارن‌ها، دولین‌ها، دره‌های خشک، غار، پولیه‌ها، حفرات انحلالی و سطوح گسترده

در ارتفاعات (Karami 2002).

در ادامه مهم‌ترین عوارض کارستی موجود در منطقه مورد مطالعه به طور مختصر معرفی می‌شود.

الف- کارن‌ها (Karrens): کارن‌ها به شیارهای انحلالی گفته می‌شود که تقریباً در تمام گستره‌های کارستی وجود دارند و از معمول‌ترین و مهم‌ترین اشکال کارستی به شمار می‌روند. در نتیجه انحلال سطحی و در محل درزه‌ها ایجاد می‌شود. عوارض شیارمانندی هستند که وسعت و عمق انحلال، متمایزکننده‌ی آن‌ها از شیارهای انحلالی است. بازشدگی آن‌ها معمولاً چند سانتی‌متر و عمق آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چند متر متغیر می‌باشد. کارن‌های موجود در سنگ‌های برهنه معمولاً دارای گوشه‌های تیز بوده و دیوارهای عمودی دارند. به دلیل هدایت آب باران به داخل سفره‌های کارستی دارای اهمیت فراوان می‌باشد. هر چه کارن‌ها بازتر و خاک داخل آن‌ها کمتر و یا درشت‌دانه‌تر باشد، نفوذپذیری بیشتر است. شکل (۲-۴) تصویری از کارن‌های موجود در آهک‌های کرتاسه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴- تصویری از کارن‌های موجود در آهک‌های کرتاسه، دید به سمت غرب

ب- **حفرات انحلالی (Solutional cavities):** فضاهای خالی انحلالی که عمدتاً در سنگ‌های آهکی خالص ایجاد می‌شوند را حفرات انحلالی می‌نامند. برخی مواقع هم به عنوان گروهی از کارنها محسوب می‌شوند. در اثر بارش‌های حاوی دی‌اکسید کربن ایجاد می‌شوند. در مناطقی که بارش غالب به صورت برف است، امکان توسعه این عوارض مورفولوژیکی بیشتر است. حفرات انحلالی غالباً در کارست‌های توسعه یافته وجود دارند ولیکن به صورت خیلی محدود در سایر نواحی کارستی نیز یافت می‌شوند. شکل ۳-۴- تصاویری از حفرات انحلالی موجود در منطقه را نشان می‌دهد.

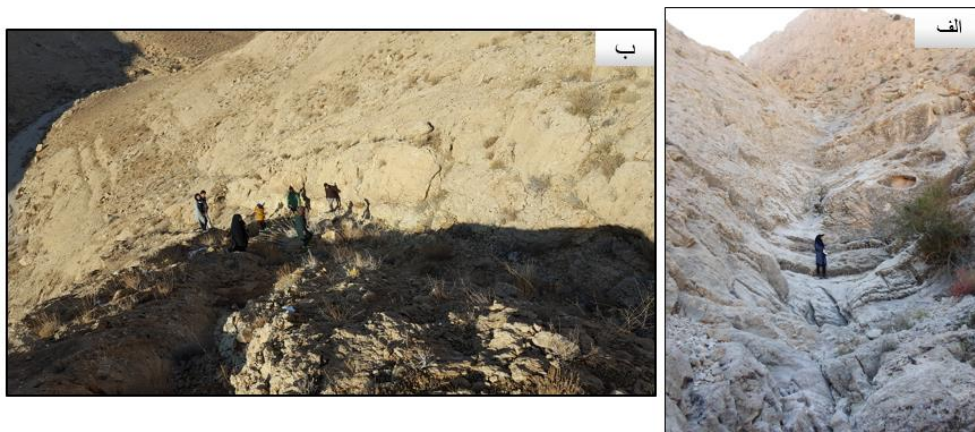


شکل ۳-۴- تصاویری از حفرات انحلالی موجود در منطقه، الف-آهک‌های کرتاسه، دید به سمت جنوب، ب-سازند لار، دید به سمت جنوب غربی،

ج- **دره‌های خشک کارستی (Karstic dry valleys):** لغت دره کارستی اولین بار توسط سیویچیک (Cvijic, 1926) مطرح شده، وی این دره‌ها را به دو دسته کلی دره‌های خشک و دره‌های کور تقسیم‌بندی کرده است. دره‌های خشک دره‌هایی هستند که فاقد آب دائمی می‌باشند و معمولاً در سنگ‌های کربناته با نفوذپذیری بسیار بالا و یا در داخل ماسه‌سنگ‌ها ایجاد می‌شوند و آن‌ها را حالت نهایی دره‌های کور می‌نامند. دره‌های خشک کارستی همان‌طور که از اسم آن‌ها پیداست فاقد جریان می‌باشند و غالباً مسیرهای قدیمی انتقال آب در سنگ‌های کارستی هستند که در راستای آن‌ها فرایند انحلال در مقایسه با فرسایش سطحی بیشتر بوده است. در صورتی که این دره‌ها عمیق بوده و به ویژه به سوی نقطه‌ای

همگرایی داشته باشند، مکان‌های مناسبی برای احداث چاه هستند. در تشکیل دره‌های خشک دو عامل ترکیب شیمیایی و تکتونیک نقش دارند. درزه‌های اصلی که عمود بر لایه‌ها هستند و گسل‌ها باعث تشکیل این دره‌ها می‌شوند.

در منطقه مورد مطالعه دره‌های خشک متعددی دیده می‌شود که تصاویری از آن‌ها در شکل ۴-۴-۴ آورده شده است. بیشتر این دره‌ها تحت تأثیر گسل‌های منطقه قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۴-۴- تصاویری از دره‌های خشک در منطقه مورد مطالعه، الف-آهک‌های لار، دید به سمت جنوب، ب-آهک‌های کرتاسه، دید به سمت شمال

د-سطوح گسترده در ارتفاعات: در کارست‌های توسعه یافته سطوح گسترده‌ای وجود دارد که عمدتاً به صورت گودی‌های مسدود ظاهر می‌شوند. در نواحی کارستی با توسعه یافتگی کم، این قبیل سطوح کمتر به چشم می‌خورد و در صورت وجود، به شکل گودی‌های مسدود ظاهر نمی‌شوند. در منطقه مورد مطالعه، در بخش‌های مرکزی ناودیس نیال در میان آهک‌های کرتاسه سطوح گسترده محدودی وجود دارد که در شکل ۴-۵ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۵- تصویر ماهواره‌ای از قسمتی از منطقه مورد مطالعه به همراه سطوح گسترده مشخص شده در ارتفاعات آهک‌های کرتاسه (برگرفته از Google earth)

غارها (caves): علاوه بر پدیده‌های کارست سطحی، پدیده‌های کارست عمقی نیز در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. پدیده‌های کارست عمقی به دلیل پایین بودن میزان بارندگی و پوشش گیاهی در منطقه از توسعه چندانی برخوردار نمی‌باشد و تنها غارها از بارزترین اشکال کارست عمقی در منطقه محسوب می‌شوند. بر طبق نظر غارشناسان، غار به فضای طبیعی درون زمین گفته می‌شود که یک انسان، حتی یک کودک، بتواند در آن بخزد (Dreybrodt and Siemers, 2000). در شمال شرق منطقه مورد مطالعه در نزدیکی کارخانه سیمان غار آهکی مشاهده شده است. غارهایی که تشکیل و توسعه آن‌ها عموماً در اثر عوامل تکتونیکی می‌باشد سطح مقطع نامنظم داشته و در راستای گسل و درزه و سطوح لایه‌بندی توسعه می‌یابند. شکل ۴-۶- تصویری از این غار را به نمایش می‌گذارد.

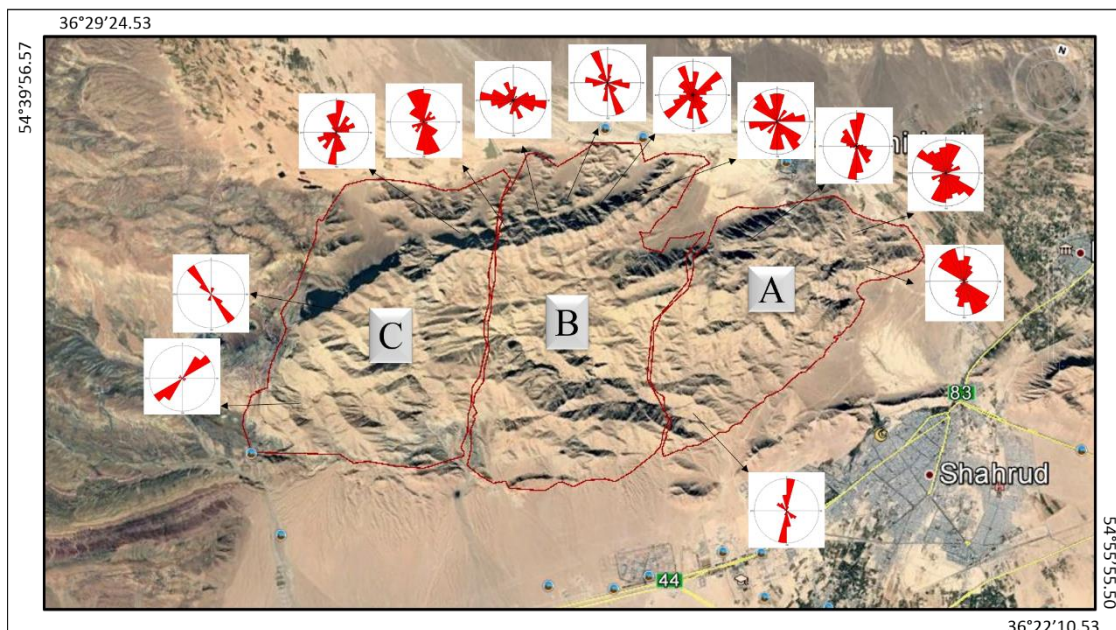


شکل ۴-۶- تصویر غار یافت شده در آهک‌های کرتاسه، دید به سمت شمال

۴-۷-۲- مقایسه توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

با استناد به شواهد صحرایی اعم از بررسی شواهد ساختاری (درزه، شکاف، گسل و چین خوردگی)، شواهد مورفولوژی سازندها و پدیده‌های کارستی مشاهده‌شده در منطقه، می‌توان بیان داشت که این منطقه دارای سیستم کارستی توسعه‌یافته در سازندهای لار و کرتاسه بوده و کارستی شدن در سازند آهکی دلیچای و سازندهای سنوزوئیک موجود در منطقه نیز در حد متوسط و گاه ضعیف می‌باشد. سیمای کوهستانی منطقه را سازند لار، آهک‌های کرتاسه و تا حدودی سازند دلیچای تشکیل داده‌اند. به منظور مقایسه توسعه کارست در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، محدوده مورد نظر از محدوده شمال شرق تا جنوب غرب به سه ناحیه تقسیم‌شده که در ادامه توضیحات مختصری درباره‌ی آن‌ها ارائه می‌شود.

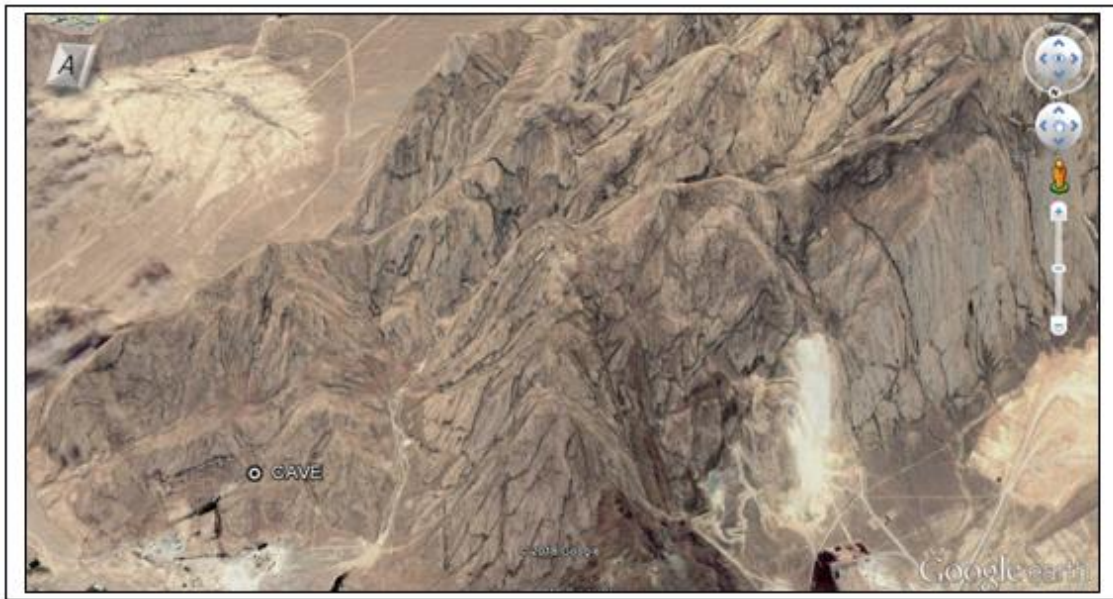
شکل ۴-۷- تصویر ماهواره‌ای مربوط به منطقه مورد مطالعه و شکل‌های ۴-۷- تا ۴-۱۰- نواحی مربوط به تقسیم‌بندی کارست را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه که منطقه به سه قسمت تقسیم شده (برگرفته از Google earth)

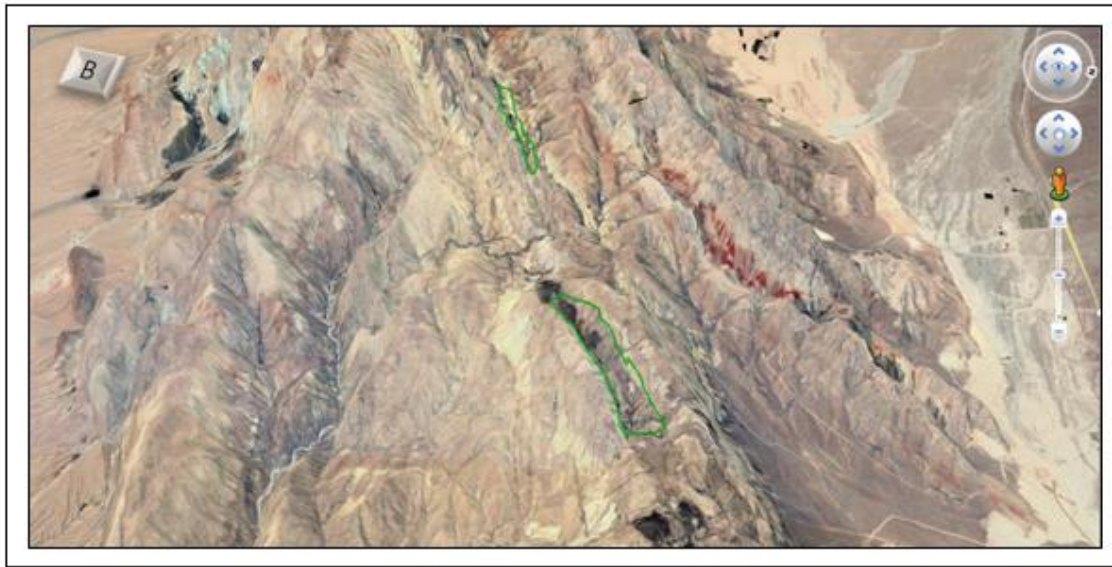
همان‌طور که در شکل ۴-۷- دیده می‌شود:

بخش اول (A) قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در شکل ۴-۸- نشان داده شده است و شامل کارن‌های توسعه‌یافته به همراه دره‌های خشک بوده که تطابق آن‌ها با سیستم درزه‌ها و گسل‌های منطقه، نشان از ارتباط مستقیم این عوارض کارستی با تکتونیک منطقه می‌باشد. همچنین وجود یک غار آهکی که در مطالب بالا به آن اشاره شده بود در این بخش نیز محرز است. با توجه به اینکه این بخش که مربوط به آهک‌های کرتاسه می‌باشد جزئی از ناودیس تپال بوده و با استناد به شواهد مذکور (صحرائی، ماهواره‌ای و مطالعات کتابخانه‌ای)، این بخش را می‌توان جز مناطق با توسعه کارست بالا در نظر گرفت، کما اینکه طی بازدیدهای صحرائی، حفرات انحلالی، کارن‌ها، دره‌های خشک، درزه‌ها و شکستگی‌های فراوانی در این محدوده دیده شده است.



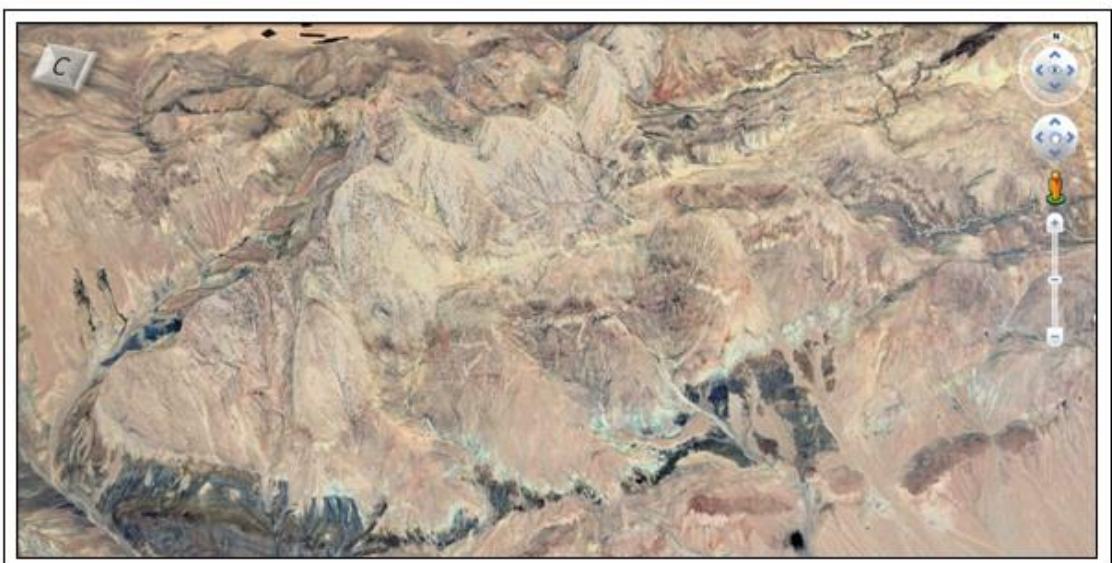
شکل ۴-۸- تصویر ماهواره‌ای از بخش اول (A) منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت غار آهکی، (برگرفته از Google earth)

بخش دوم (B) تقریباً قسمت مرکزی منطقه را شامل می‌شود که جزئی از تاقدیس و ناودیس تپال و شامل سازندهای لار، دلیچای، آهک‌های کرتاسه، زیارت و فجن می‌باشد. در این بخش نیز با توجه به جنس سازندها، پتانسیل برای پدیده کارستی شدن فراهم بوده و همان‌طور که در شکل ۴-۹- دیده می‌شود دره‌های متعددی که ارتباط مستقیم با گسل‌های منطقه دارند را می‌توان در این ناحیه مشاهده کرد. همچنین در این قسمت با بررسی تصویر ماهواره‌ای، سطوح گسترده در ارتفاعات دیده شد که در شکل با پلی گون سبزرنگ مشخص شده است. با توجه به توضیحات مذکور؛ و با استناد به شواهد صحرایی و ماهواره‌ای، انطباق پدیده‌های کارستی در این بخش، اعم از حفرات انحلالی و کارن‌های (به نسبت کمتر از بخش اول) موجود با پدیده‌های تکتونیکی از جمله گسل‌ها و شکستگی‌ها، می‌توان کارست را در این بخش با توسعه‌یافتگی متوسط درجه‌بندی کرد.



شکل ۴-۹- تصویر ماهواره‌ای از بخش دوم (B) منطقه مورد مطالعه که در آن سطوح گسترده با پلی‌گون سبز مشخص شده (برگرفته از Google earth)

بخش سوم (C)، شامل غرب منطقه (شکل ۴-۱۰) است که از لحاظ پدیده‌های تکتونیکی (گسل و شکستگی) نسبت به دو بخش قبلی کمتر تحت تأثیر قرار گرفته، در این بخش نیز با توجه به پتانسیل سازندهای آهکی منطقه و شواهد موجود (صحرایی و ماهواره‌ای) از جمله دره‌های خشک می‌توان این چنین نتیجه گرفت که توسعه یافتگی کارست در این منطقه نسبتاً اندک است.



شکل ۴-۱۰- تصویر ماهواره‌ای از بخش سوم (C) منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Google earth)

فصل پنجم

بحث و نتیجه گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی و با استناد به تحلیل‌های انجام‌شده برای این پژوهش در کوه‌های تپال می‌توان به‌طور خلاصه به نتایج زیر اشاره کرد:

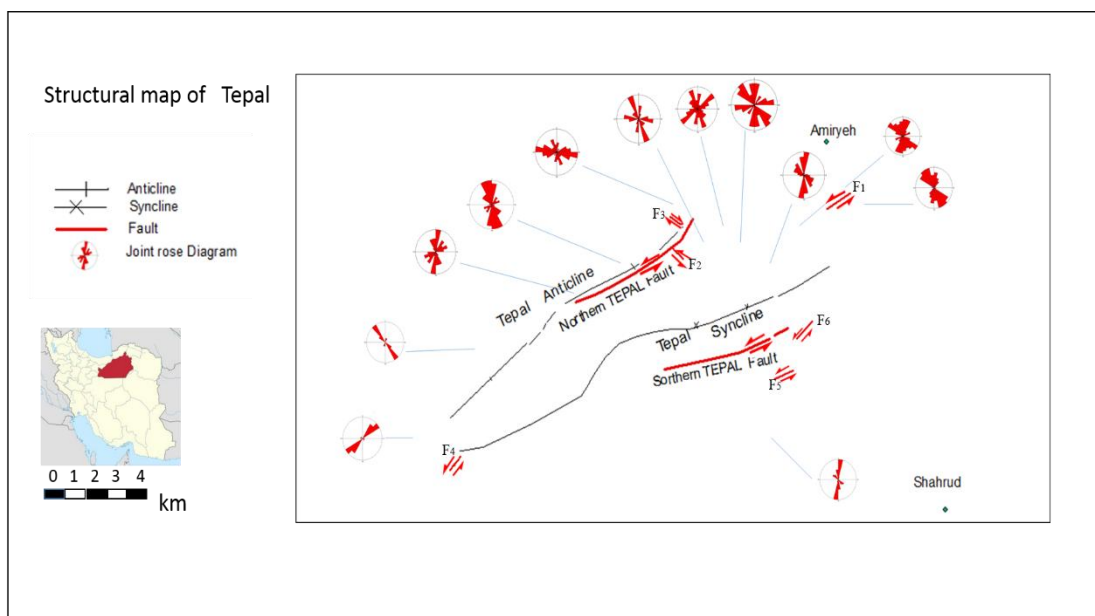
۵-۱- مطالعه چین‌خوردگی

مطالعه وضعیت چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که آثار چین‌خوردگی را می‌توان در واحدهای سنگی منطقه مشاهده نمود. همچنین منطقه شامل چین‌های کامل در ابعاد بزرگ می‌باشد که در نقشه سازمان زمین‌شناسی کشور با نام‌های تاقدیس و ناودیس تپال معرفی شده است. راستای کلی این چین‌خوردگی شمال‌خاوری- جنوب‌باختری بوده و در شمال‌باختری شهر شاهرود واقع شده است. به منظور دستیابی به هندسه چین‌خوردگی تپال، برداشت‌هایی صورت گرفت که نتایج حاکی از آن است که تاقدیس و ناودیس تپال هر دو دارای تقارن نسبی می‌باشند.

بر طبق داده‌های به‌دست‌آمده مشخصات کلی میانگین محور و سطح محوری برای تاقدیس ۱۱/۰۴۹ و ۸۴/۳۲۴ و موقعیت محور و سطح محوری برای ناودیس تپال ۱۷/۰۶۲ و ۸۵/۳۳۲ برآورد شده است. براساس رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴)، تاقدیس و ناودیس تپال در رده چین‌های ایستاده با پلانژ متوسط قرار می‌گیرند. همچنین برحسب زاویه بین یالی و زاویه چین‌خوردگی، تاقدیس و ناودیس تپال در رده چین‌های باز (open) قرار می‌گیرند.

۵-۲- مطالعه گسل‌ها

در این قسمت به‌طور خلاصه به بررسی مطالعات انجام‌شده و اطلاعات بدست‌آمده از مطالب ارائه شده در فصل‌های پیشین در مورد گسل‌های اصلی منطقه (گسل‌های طولی) و برخی گسل‌های فرعی و ارتباط هندسی و جنبشی آن‌ها با گسل‌های اصلی منطقه پرداخته می‌شود (شکل ۵-۱). گسل‌های اصلی تپال شمالی و تپال جنوبی هر دو دارای روند کلی شمال‌خاوری- جنوب‌باختری بوده و در این پژوهش شناسایی و با توجه به موقعیت جغرافیایی نام‌گذاری شده‌اند.



شکل ۵-۱- نمایش گسل‌های اصلی و فرعی مطالعه شده در منطقه

گسل تپال شمالی

گسل تپال شمالی با طول تقریبی ۶ کیلومتر در بخش شمالی منطقه مطالعاتی قرار گرفته است. این گسل با راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و شیب به سمت شمال‌باختر ($N53E/79NW$) دارای سازوکار امتداد لغز چپ‌بر می‌باشد که هم‌روند با تاقدیس تپال در میان آهک‌های سازند لار عبور کرده است.

گسل تپال جنوبی

این گسل با راستای کلی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و شیب به سمت شمال‌باختر ($N74E/66NW$)، تقریباً به موازات گسل تراستی شاهرود و ناودیس تپال با سازوکار امتداد لغز چپ‌بر ایجاد شده و در بخش اعظم طول خود از آهک‌های کرتاسه عبور نموده است. طول تقریبی این گسل ۷ کیلومتر می‌باشد.

گسل‌های فرعی

مطالعات انجام شده در محدوده مورد مطالعه، دو راستای تقریبی شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و شمال-خاوری-جنوب‌باختری را برای گسل‌های فرعی نشان می‌دهد. این گسل‌ها همانند دیگر گسل‌های فرعی

موجود در نوار چین خورده- رانده البرز، محدود به گسل‌های اصلی (با راستای شمال‌خاوری-جنوب-باختری) بوده و به صورت مورب نسبت به آن‌ها قرار گرفته‌اند و درازای آن‌ها در مقایسه با گسل‌های اصلی کمتر می‌باشد. طی بررسی و مشاهدات صورت گرفته بر روی سطوح گسل‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه، با توجه به حضور خراش‌ها و پله‌های گسلی می‌توان حرکت این گسل‌ها را برای روند تقریبی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری از نوع امتدادلغز چپ‌بر و برای راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری از نوع امتدادلغز راست‌بر معرفی نمود.

گسل F1 : N74E/80SE، امتدادلغز با مولفه چپ‌بر

گسل F2 : N51W/85SW ، امتدادلغز با مولفه چپ‌بر

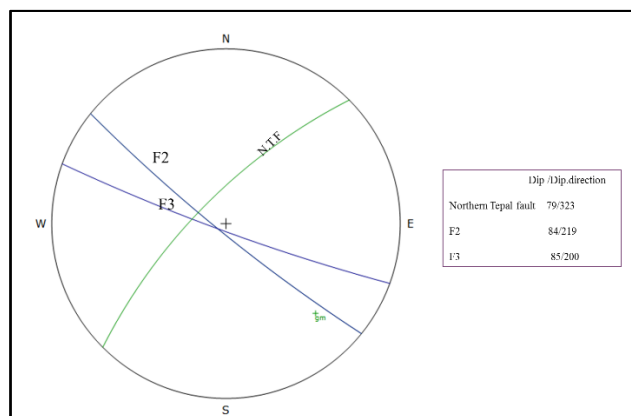
گسل F3 : N70W/85SW، امتدادلغز با مولفه راست‌بر

گسل F4 : N56E/32NW، امتدادلغز با مولفه چپ‌بر

گسل F5 : N42E/82NW، امتدادلغز با مولفه چپ‌بر

گسل F6 : N26E/85SE، امتدادلغز با مولفه چپ‌بر

به منظور تعیین ارتباط برخی گسل‌های فرعی با گسل اصلی تپال شمالی، استریوگرام دو گسل فرعی F2 و F3 و گسل اصلی تپال شمالی ترسیم شد (شکل ۵-۲). زاویه این گسل‌ها نسبت به ترتیب F2 حدود ۸۶ درجه و F3 حدود ۶۹ درجه می‌باشد. با توجه به اینکه طول گسل‌های فرعی مذکور کم است و در محدوده گسل اصلی ایجاد شده‌اند، می‌توان آن‌ها را به صورت شکستگی‌های مرتبط با گسل اصلی دانست.

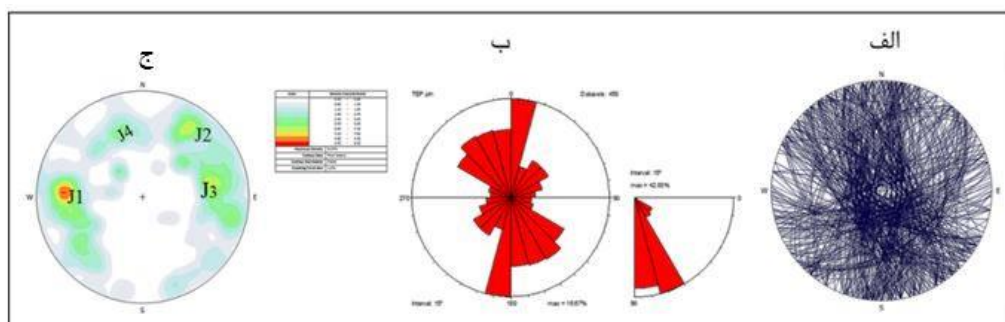


شکل ۵-۲- استریوگرام ترسیم شده مرتبط با گسل‌های فرعی به همراه گسل اصلی تپال شمالی

گسل F2 با سازوکار امتدادلغز چپ‌بر را می‌توان به عنوان شکستگی ریدل R در نظر گرفت و گسل F3 را نیز می‌توان به عنوان شکستگی آنتی ریدل R' با گسل اصلی در نظر گرفت.

۵-۳- مطالعه درزه‌ها

بررسی‌های مربوط به شکستگی‌های موجود در چین‌خوردگی تپال در ۱۲ ایستگاه صورت گرفت که پس از دسته‌بندی درزه‌ها در هر ایستگاه، دسته‌بندی برای هر سازند به‌طور جداگانه صورت گرفت. قسمت اصلی این ایستگاه‌ها از رخنمون‌های آهکی و دولومیتی لار و آهک‌های کرتاسه و بخشی از رخنمون‌های آهکی دلیچای برداشت شده است. این سازندها به واسطه رفتار مکانیکی متفاوتی که نسبت به سازندهای نرم از خود نشان می‌دهند حاوی شکستگی‌های منظم و سیستماتیک هستند. شکل ۵-۳- استریوگرام-های داده‌های برداشت‌شده در کل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد که شامل درزه‌های بررسی شده در سازند-های دلیچای، لار، آهک‌های کرتاسه، فجن و زیارت می‌باشد.



شکل ۵-۳- استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها: الف- تصویر استریوگرافیک سطوح شکستگی، ب- نمودار گل‌سرخ شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها، ج- نمودار تمرکز قطب شکستگی‌ها

موقعیت میانگین چهار دسته شکستگی برای محدوده کوه‌های تپال شامل دسته درزه‌های زیر می‌باشد:

الف: شکستگی (J₁) با موقعیت میانگین N09E/75SE

ب: شکستگی (J₂) با موقعیت میانگین N35W/77SW

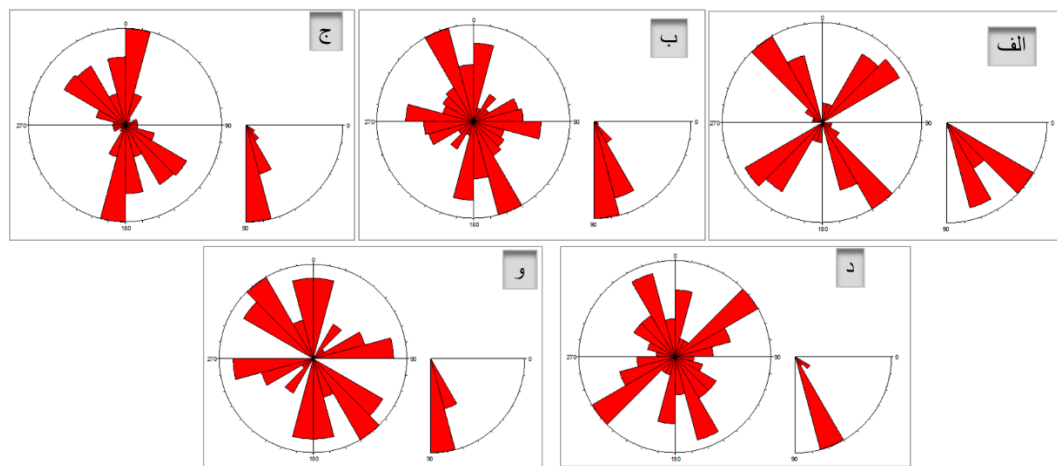
ج: شکستگی (J₃) با موقعیت میانگین N17W/67SW

د: شکستگی (J₄) با موقعیت میانگین N54W/63SE

بیشترین درصد شکستگی منطقه روند غالب NE-SW را نشان می‌دهد، همچنین شکستگی‌های با روند NW-SE نیز از نظر فراوانی در مرتبه دوم قرار دارند.

مطالعه درزه‌های برداشت شده از سازندهای مختلف

در این پژوهش درزه‌های ایجاد شده در سازندهای لار، دلیچای، آهک‌های کرتاسه، فجن و زیارت در ۱۲ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت در نهایت داده‌های برداشت شده از هر سازند در یک نمودار جداگانه ترسیم شد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- نمودارهای گل‌سرخ‌ی ترسیم شده از سطوح درزه به تفکیک سازند: الف- سازند دلیچای، ب- سازند لار، ج- آهک‌های کرتاسه، د- فجن، و- سازند زیارت

بررسی آماری درزه‌ها براساس نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی ترسیم شده از سطوح درزه در هر سازند نشان می‌دهد که آهک‌های کرتاسه دارای بیشترین تعداد درزه می‌باشد. رزیدیاگرام ترسیم شده در این سازند

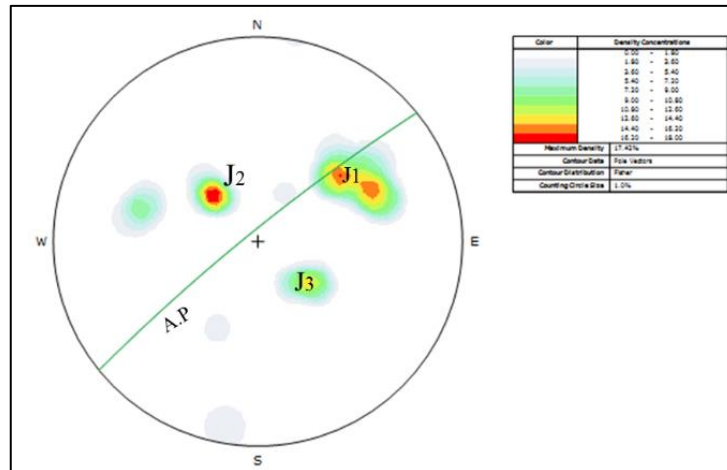
سه روند غالب را نشان می‌دهد، دسته درزه با روند NNE-SSW بیشترین تراکم درزه در این سازند را دارند. سازند لار با تعداد درزه کمتر نسبت به آهک‌های کرتاسه از لحاظ آماری در مرتبه دوم قرار دارند. نمودار گل‌سرخ‌تریسیم شده برای سطوح درزه در این سازند چهار دسته درزه با روند میانگین NW-SE، NNE-SSW، NW-SE و NNW-SSE را نشان می‌دهد. همچنین استریوگرام ترسیم شده از سطوح درزه در سازند دلیچای کمترین تعداد درزه را به نمایش می‌گذارد. نمودار گل‌سرخ‌تریسیم دو دسته غالب را برای این سازند نشان می‌دهد که دارای روند میانگین NW-SE و NE-SW می‌باشند. علاوه بر وجود ساختارهای تکتونیکی چون گسل و چین‌خوردگی، جنس لایه نیز در تراکم درزه‌ها تاثیر گذار است بنابراین انتظار می‌رود فراوانی درزه‌ها در سازندهای آهکی بیشتر باشد که نتایج به دست آمده از نمودار-های شکل ۵-۴- تاییدی بر این مطلب است.

ارتباط درزه‌ها با ساختارهای اصلی منطقه

به منظور بررسی ارتباط شکستگی‌ها با چین‌خوردگی، استریوگرام اطلاعات مربوط به لایه بندی و شکستگی‌های برداشت شده ترسیم شد. استریوگرام‌ها و جداول مربوط در ادامه نشان داده شده است. همچنین در نهایت دسته بندی درزه‌های برداشت شده مربوط به هر سازند در جداول زیر دسته‌بندی شده است :

جدول ۵-۱- توصیف درزه‌ها در سازند دلیچای نسبت به چین‌خوردگی تپال

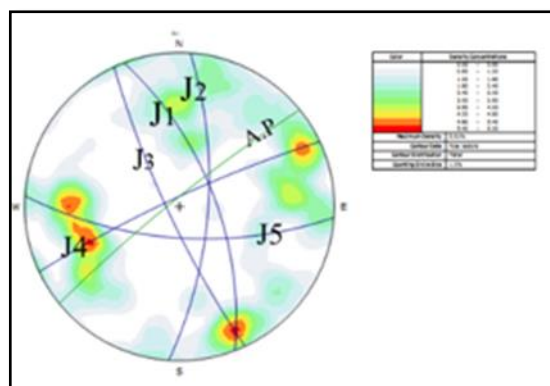
سازند	J ₁	J ₂	J ₃
دلیچای	N32W/58SW عرضی	N44E/32SE طولی (کششی)	N41E/32NW طولی (کششی)



شکل ۵-۵- استریوگرام ترسیم شده از قطب سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند دلیچای به همراه موقعیت سطح محوری چین خوردگی تپال

جدول ۵-۲- توصیف درزه‌ها در سازند لار نسبت به چین خوردگی تپال

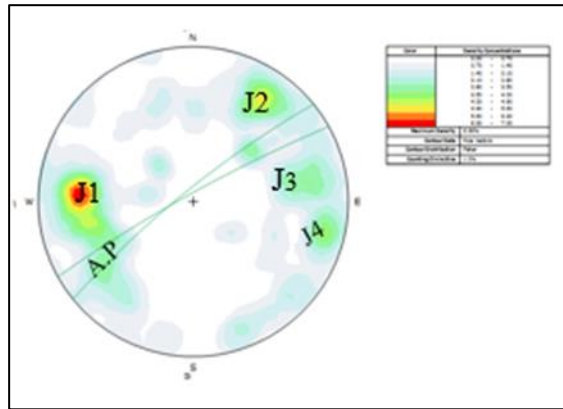
سازند	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
لار	N21W/57NE مایل	N04E/68E مایل	N25W/81SW عرضی	N64E/83NW طولی (کششی)	N86W/67SW مایل



شکل ۵-۶- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند لار به همراه موقعیت سطح محوری چین خوردگی تپال

جدول ۵-۳- توصیف درزه‌ها در آهک‌های کرتاسه نسبت به چین خوردگی تپال

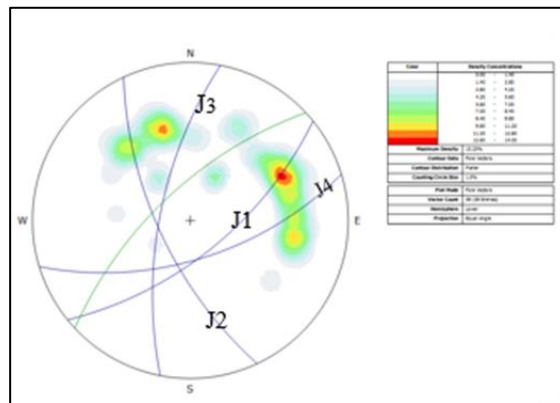
سازند	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
آهک‌های کرتاسه	N15E/81NW برشی	N02W/76SE برشی	N56W/72SW برشی	N34W/70NE برشی



شکل ۵-۷- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از آهک‌های کرتاسه به همراه موقعیت سطح محوری چین‌خوردگی تپال (تاقدیس و ناودیس)

جدول ۵-۴- توصیف درزه‌ها در سازند فجن

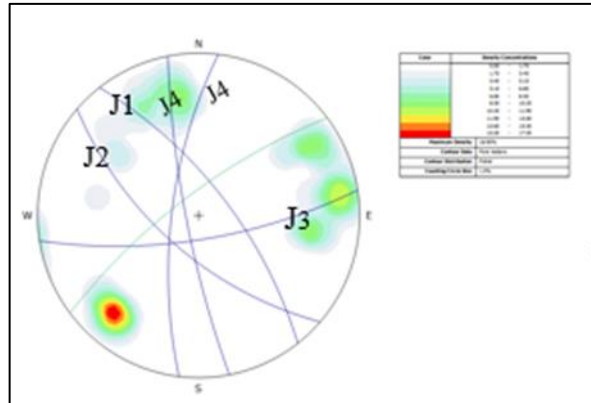
سازند	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
فجن	N49E/62SE امتدادی	N23W/67SW مورب یا مایل	N08E/69NW مورب یا مایل	N71E/62SE مورب یا مایل



شکل ۵-۸- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند فجن به همراه موقعیت میانگین لایه‌بندی

جدول ۵-۵- توصیف درزه‌ها در سازند زیارت

سازند	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
زیارت	N38W/71NE شیبی	N49W/67SW شیبی	N81E/75SE مورب یا مایل	N07E/68SW مورب یا مایل
				N11W/81SW مورب یا مایل



شکل ۵-۹- استریوگرام ترسیم شده از کل سطوح درزه‌های برداشت شده از سازند زیارت به همراه موقعیت میانگین لایه‌بندی

۵-۳-۱- بررسی کارست در منطقه تپال

عوامل متعددی در شکل‌گیری اشکال کارستی نقش دارند که عبارتند از لیتولوژی، ساختارهای تکتونیکی، آب و هوا، وجود آب و منافذ در سنگ‌ها. عامل اساسی در قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته درز و شکاف‌دار بودن آن‌ها است، بنابراین یکی از اهداف از این تحقیق بررسی رابطه بین تکتونیک و اشکال کارستی منطقه بوده است. در این رابطه، ساختار تکتونیکی منطقه، یعنی درزه‌ها و تا حدودی گسل‌ها تحت مطالعه قرار گرفته است. بررسی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه حاکی از این است که سازند لار و آهک‌های کرتاسه بیشترین رخنمون در منطقه را دارا می‌باشند. این دو سازند از سنگ آهک‌های ضخیم لایه که درجه خلوص نسبتاً بالایی برخوردار هستند، تشکیل شده‌اند و شرایط لازم را جهت انحلال و ایجاد تخلخل دارا هستند. از طرف دیگر با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در عملیات صحرائی بیشترین شکستگی و خردشدگی در این دو سازند تظاهر پیدا کرده است. شیب اکثر درزه‌ها زیاد است که نشانگر اهمیت آن‌ها در ایجاد حفرات انحلالی و همچنین ایجاد کارن‌ها است. این درزه‌ها به راحتی آب‌های سطحی را در زمین فرو برده و به کانال‌های زیرزمینی انتقال می‌دهند. اغلب درزه‌ها در اثر انحلال به کارن‌های درزه‌ای تبدیل می‌شوند که در آهک‌های کرتاسه به وفور دیده می‌شود. شیب کم لایه‌های آهکی نسبت به شیب درزه‌ها در منطقه باعث می‌شود که از سرعت جریان آب کم شده و زمان لازم جهت انحلال آهک فراهم گردد. پس می‌توان گفت که گسترش پدیده‌های کارستی نظیر

حفرات انحلالی و کارن‌ها در این دو سازند پتانسیل لازم را جهت بوجود آمدن آبخانه‌های کارستی فراهم کرده است. علاوه بر این سازندهای زیارت و دلیچای نیز در این منطقه دارای سیستم درزه‌هایی بوده که شرایط برای انحلال و تخلخل را ایجاد کرده است. بنابراین با توجه به شواهد اعم از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث و شرایط تکتونیکی منطقه از جمله چین‌خوردگی (تاقدیس و ناودیس)، سیستم-گسل‌های راندگی و امتدادلغز و فراوانی درزه‌ها می‌توان چنین در نظر گرفت که منطقه تپال دارای پتانسیل کارستی می‌باشد که در بیش از نیمی از منطقه توسعه یافته است، بدین‌صورت که تشکیل برخی عوارض کارستی از جمله غار، کارن و انحلال‌های کوچک کارستی در مسیر درزه‌ها و شکستگی‌ها بوده و درواقع شکستگی‌های توسعه یافته تبدیل به کارن و غار و غیره می‌شوند همچنین در قسمت‌های با عوارض تکتونیکی کمتر، توسعه یافتگی به نسبت کمتری دارد که همان‌طور که در فصل چهارم به آن اشاره شد توسعه یافتگی درزه‌ها و عوارض کارستی نام برده شده در بخش A (شرقی‌ترین بخش منطقه) بیشتر و به سمت انتهای غربی منطقه کم‌تر می‌شود. قابل ذکر است که سیستم کارست در منطقه تپال از نوع حد واسط بین مجرای و افشان بوده و براساس طبقه‌بندی سویجیک کارست در این منطقه از نوع کامل می‌باشد.

پیشنهادها

الف- بررسی عامل‌های موثر مانند ترکیب سنگ شناسی، سن و ویژگی‌های سنگ‌چینه‌ای بر تفاوت

توسعه شکستگی در سازندهای مختلف منطقه

ب- بررسی علل تفاوت توسعه کارست در سازندهای آهکی لار، دلیچای و کرتاسه

ج- بازسازی مراحل تکامل منطقه در آزمایشگاه

پیوست

پیوست ۱- داده‌های مربوط به برداشت لایه‌بندی- ناودیس تپال

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	30	350	14	35	002	27	65	134
2	70	315	15	65	140	28	65	129
3	35	337	16	60	145	29	60	128
4	35	334	17	60	146	30	60	131
5	40	343	18	70	138	31	55	126
6	35	355	19	75	145	32	55	119
7	55	345	20	70	140	33	30	132
8	60	336	21	55	158	34	35	133
9	60	349	22	35	160	35	35	357
10	70	351	23	30	166	36	60	115
11	70	356	24	30	161	37	60	361
12	70	358	25	35	163	38		
13	60	359	26	30	159	39		

پیوست ۲- داده‌های مربوط به برداشت لایه‌بندی- تاقدیس تپال

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	75	319	16	55	351	31	30	161
2	70	353	17	40	328	32	35	163
3	20	351	18	30	343	33	30	159
4	45	336	19	50	346	34	65	131
5	20	343	20	60	320	35	65	129
6	20	349	21	45	332	36	60	128
7	35	321	22	65	140	37	60	131
8	30	324	23	60	145	38	55	126
9	35	323	24	60	146	39	55	119
10	30	319	25	70	138	40	30	132
11	30	317	26	75	145	41	35	133
12	40	321	27	70	140	42	35	357
13	30	331	28	55	158	43	60	115
14	45	327	29	35	160	44	60	361
15	25	314	30	30	166			

پیوست ۳- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۱ سازند دلیچای

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	50	230	9	65	100	17	60	230
2	55	225	10	55	237	18	60	245
3	50	232	11	55	241	19	65	251
4	50	228	12	60	247	20	65	253
5	70	235	13	65	239	21	65	252
6	30	210	14	65	249	22	65	236
7	60	220	15	60	103			
8	60	108	16	60	111			

پیوست ۴- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۲ سازند دلیچای

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	30	320	8	35	130	15	50	025
2	30	140	9	30	315	16	50	230
3	32	138	10	30	325	17	35	300
4	35	135	11	35	310	18	30	138
5	35	140	12	40	310	19	45	140
6	85	010	13	40	305	20	40	307
7	40	133	14	35	134	21		

پیوست ۵- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۱ سازند لار

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	65	070	21	75	050	41	45	175
2	65	170	22	75	060	42	45	198
3	45	183	23	70	060	43	70	180
4	85	332	24	65	075	44	70	175
5	75	308	25	65	060	45	65	180
6	85	318	26	65	270	46	75	190
7	70	215	27	80	195	47	75	202
8	80	340	28	75	265	48	65	218
9	60	348	29	65	355	49	85	190
10	85	339	30	88	092	50	70	200
11	80	335	31	80	095	51	55	205
12	85	330	32	40	188	52	65	185
13	75	332	33	45	193	53	70	178
14	75	080	34	40	205	54	55	205
15	75	230	35	87	273	55	75	265
16	80	240	36	50	192	56	85	185
17	88	230	37	87	273	57	50	190
18	85	245	38	80	190	58	85	355
19	85	240	39	85	200	59	88	300
20	85	216	40	85	175			

پیوست ۶- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۲ سازند لار

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	75	010	13	55	290	25	85	230
2	80	220	14	45	168	26	85	245
3	60	285	15	80	165	27	85	248
4	65	040	16	65	180	28	80	247
5	85	010	17	70	250	29	80	245
6	25	283	18	55	170	30	80	235
7	25	270	19	75	310	31	80	250
8	70	170	20	55	240	32	65	250
9	70	270	21	85	010	33	75	220
10	80	270	22	30	180	34	55	050
11	85	278	23	55	182			
12	80	262	24	85	250			

پیوست ۷- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۳ سازند لار

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	70	145	15	60	252	29	80	283
2	70	050	16	70	255	30	65	085
3	70	030	17	70	035	31	70	093
4	80	050	18	70	060	32	70	095
5	70	055	19	75	055	33	75	095
6	80	210	20	55	273	34	70	097
7	85	202	21	55	093	35	55	060
8	65	265	22	75	110	36	60	060
9	65	190	23	85	310	37	65	080
10	65	255	24	80	310	38	65	070
11	70	265	25	65	160	39	60	070
12	75	260	26	60	310	40	75	080
13	60	155	27	70	160	41	65	073
14	40	145	28	75	040	42	70	073

پیوست ۸- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۴ سازند لار

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	65	090	9	85	327	17	70	087
2	25	130	10	80	335	18	70	125
3	85	340	11	80	325	19	60	300
4	55	065	12	85	342	20	55	288
5	60	068	13	70	097	21	65	345
6	75	085	14	65	100	22	60	087
7	75	090	15	60	100	23	80	045
8	85	345	16	65	073	24	80	338

پیوست ۹- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۱ آهک‌های کرتاسه

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	70	230	16	60	178	31	75	073
2	70	237	17	80	080	32	80	090
3	80	080	18	75	217	33	75	098
4	50	090	19	80	280	34	45	062
5	70	075	20	65	210	35	88	080
6	70	215	21	40	195	36	75	215
7	50	235	22	65	110	37	65	176
8	65	207	23	70	060	38	55	230
9	65	060	24	70	083	39	70	210
10	65	110	25	55	220	40	65	103
11	70	057	26	55	190	41	70	050
12	75	070	27	55	182	42	60	237
13	75	090	28	55	055	43	75	215
14	85	225	29	85	210			
15	85	227	30	80	220			

پیوست ۱۰- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۲ آهک‌های کرتاسه

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	75	280	21	75	080	41	75	235
2	80	280	22	80	080	42	80	260
3	70	300	23	80	335	43	85	345
4	85	109	24	80	093	44	80	055
5	75	253	25	80	278	45	85	095
6	75	208	26	80	330	46	85	340
7	85	060	27	60	080	47	85	322
8	85	085	28	55	253	48	85	342
9	75	035	29	87	050	49	50	225
10	85	301	30	65	213	50	80	095
11	50	227	31	60	235	51	65	206
12	55	060	32	60	205	52	80	210
13	70	083	33	50	230	53	75	210
14	75	220	34	80	105	54	70	075
15	55	070	35	85	320	55	75	060
16	60	205	36	80	290	56	85	280
17	80	218	37	80	288	57	85	288
18	80	215	38	80	285	58	80	282
19	70	215	39	85	290	59	85	310
20	75	212	40	85	295			

پیوست ۱۱- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۳ آهک‌های کرتاسه

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	80	075	15	70	210	29	80	105
2	60	085	16	75	195	0	80	030
3	75	195	17	75	205	31	60	080
4	85	265	18	75	090	32	20	050
5	80	255	19	70	100	33	45	100
6	80	260	20	75	097	34	80	225
7	80	165	21	70	092	35	75	190
8	80	262	22	80	045	36	65	270
9	70	265	23	85	282	37	50	057
10	70	175	24	87	240	38	85	230
11	70	163	25	85	235	39	80	035
12	50	220	26	80	020	40	20	100
13	85	275	27	80	025	41	45	182
14	85	100	28	80	035	42	65	183

پیوست ۱۲- داده‌های مربوط به برداشت درزه در ایستگاه ۴ آهک‌های کرتاسه

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	80	090	13	60	263	25	60	228
2	70	210	14	60	265	26	75	093
3	70	253	15	65	047	27	70	095
4	80	218	16	65	045	28	70	090
5	85	266	17	35	095	29	75	095
6	85	213	18	30	090	30	75	098
7	30	110	19	30	098	31	70	100
8	30	107	20	30	100	32	85	205
9	80	260	21	35	100	33	85	210
10	70	045	22	40	095	34	80	218
11	60	260	23	40	097			
12	60	258	24	75	263			

پیوست ۱۳- داده‌های مربوط به برداشت درزه در سازند فجن

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	55	187	21	70	263	41	65	159
2	55	180	22	65	150	42	60	171
3	70	135	23	70	160	43	60	157
4	30	055	24	50	095	44	60	227
5	65	235	25	70	275	45	60	223
6	60	235	26	70	210	46	60	242
7	65	160	27	70	235	47	65	251
8	35	140	28	60	120	48	65	263
9	35	138	29	60	135	49	65	140
10	65	135	30	60	137	50	60	145
11	65	167	31	65	307	51	55	149

12	65	163	32	40	210	52	40	246
13	60	167	33	35	207	53	60	251
14	55	165	34	35	210	54	65	250
15	70	245	35	30	213	55	65	263
16	70	243	36	65	281	56	65	278
17	65	240	37	65	275	57	65	283
18	65	205	38	70	273	58	70	288
19	65	207	39	75	250	59	70	285
20	65	260	40	65	143		65	159

پیوست ۱۴- داده‌های مربوط به برداشت درزه در سازند زیارت

NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection	NO	Dip	DipDirection
1	65	100	15	75	037	29	75	169
2	85	260	16	80	039	0	70	148
3	80	263	17	75	043	31	70	173
4	85	267	18	75	048	32	70	177
5	80	261	19	80	041	33	75	152
6	85	264	20	75	053	34	80	166
7	65	170	21	80	045	35	65	275
8	70	235	22	75	038	36	65	281
9	65	235	23	80	243	37	70	259
10	80	170	24	80	241	38	70	277
11	60	164	25	80	237	39	75	277
12	80	235	26	85	252	40	65	125
13	75	280	27	80	155	41	60	128
14	80	035	28	70	158	42	75	134

منابع

- ❖ اسکندری گوجه قملاق ف.، اسلامی س.، (۱۳۹۱) "تحلیل شکستگی های ناودیس تنگ شمشیربر- شمال غرب دامغان" سی و یکمین همایش علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ اعراب ف.، امیدی پ.، طاهری ع.، (۱۳۸۸) "دگر ریختی کواترنری در باختر شاهرود (البرز خاوری)" مجله علوم زمین، شماره ۸۰، صفحات ۸۹-۹۴.
- ❖ آقا نباتی س.ع.، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ پورکریم م.، محمدی ز.، حاجی حسینلو ح.، (۱۳۹۴) "تحلیل هندسی شکستگی ها در زون افیولیتی چالدران" دومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، ترکیه - استانبول، موسسه سرآمدهمایش کارین.
- ❖ جمالی دهنوی ن.، امیدی پ.، کرمی غ.، (۱۳۹۶) "تحلیل ساختاری تفصیلی منطقه گسلی دهاقان (جنوب باختری اصفهان)" دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ حسینی م.، امیدی پ.، (۱۳۹۳) "تحلیل جنبشی و دینامیکی شکستگی ها در واحدهای سنگی مزوزوئیک(شمال شاهرود)" دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ رادفرع.، رحیمی چاکدل ع.، (۱۳۹۰) "تحلیل هندسی چین خوردگی تپال در حاشیه جنوبی البرز خاوری-شاهرود" فصلنامه زمین شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۲، صفحات ۹۹-۱۰۸.
- ❖ رحیمی ب.، (۱۳۸۱)، پایان نامه دکتری: "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی.
- ❖ شریفی، ف.، (۱۳۹۱)، "اکتشاف آب های زیرزمینی کارستی در منطقه جنوب غربی تپال شاهرود با استفاده از مدل سازی با روش عددی اجزا محدود و معکوس سازی داده های ژئوالکتریک" دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ شفیع زاده م.، سید امامی ک.، (۱۳۸۵) "سنگ چینه شناسی و زیست چینه شناسی سازند دلیچای در باختر شاهرود(البرز خاوری)" مجله علوم زمین، شماره ۵۷، صفحات ۹۸-۱۱۳.
- ❖ شمس ضامنجان س.، رحیمی ب.، گودرزی م.، (۱۳۹۱) "بررسی الگوی شکستگی های تاقدیس سبزپوشان در جنوب شیراز مطالعه موردی" سی و یکمین همایش علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ شهرابی م.، صالحی راد ر.، علوی م.، ژنی ژ.، استامفیلی ژ.، (۱۳۶۹) "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان" سازمان زمین شناسی کشور
- ❖ شهیدی ع.، بایر ا.، فرانسوا برون ت م.، سعیدی ع.، (۱۳۸۸) "فرگشت ساختاری البرز در میان زیستی و نوزیستی" مجله علوم زمین، شماره ۸۱، صفحات ۲۰۱-۲۱۶.

- ❖ صفری، ح.، (۱۳۹۱)، " کاربرد روش گرانی سنجی برای تشخیص حفرات زیر سطحی به منظور اکتشاف منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی سنگ آهک کارستی تپال، (جنوب غرب شاهرود) " دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ فرضعلی زاده ز.، منافی فسقندیس م.، اکبرنژاد ج.، (۱۳۹۴) "تحلیل سیستم شکستگی های مرتبط با گسل سیه باز" اولین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.
- ❖ قاسمی م. ر.، (۱۳۸۷) "پایه های زمین شناسی ساختمانی" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ص.
- ❖ قبادی، م.، عبدی لر، ی.، محبی، ی.، (۱۳۹۰)، اهمیت شناخت ژئومورفولوژیکی سنگ شناسی و فیزیک سنگهای کربناته جهت ارزیابی توسعه کارست در منطقه نهاوند، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، شماره ۴: ۳۱۰-۲۹۹
- ❖ قنادیان م.، رحیمی ب.، حسینی ک.، شبان ع.، (۱۳۹۰) "بررسی الگوی شکستگی های سازند مزدوران شمال غرب روستای مزدوران، شرق کپه داغ" سی امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ قنادیان، م.، رحیمی، ب.، حسینی، ک.، شبان، ع.، (۱۳۹۰)، " بررسی الگوی شکستگی های سازند مزدوران، شمال غرب روستای مزدوران، شرق کپه داغ" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ❖ کریمی وردنجانی ح.، (۱۳۸۹) "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش ها)" انتشارات ارم شیراز ص ۳۳۹.
- ❖ کرمی غ.، جعفری ه.، باقری ر.، (۱۳۹۵) " گزارش مکان یابی محلی مناسب برای استخراج آب های زیرزمینی در مناطق کارستی شمال خراسان شمالی" کارفرمایی آب منطقه ای خراسان شمالی، گزارش ۸۶.
- ❖ گیاهی یزدی ح. ر.، (۱۳۷۸)، "مطالعه سنگ شناسی و محیط رسوبی سازندهای دلیچای و لار در ناحیه البرز خاوری (غرب شاهرود)" دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ مژگان فر م.، قائمی ف.، رحیمی ب.، حافظی مقدس ن.، (۱۳۹۴) "تحلیل مقدماتی الگوی شکستگی های سازند مزدوران در زون گسلی کارده، شمال شرق مشهد" دومین کنفرانس بین المللی ژئوتکنیک و مهندسی لرزه ای شهری، تبریز، شرکت دانش بنیان لرزه پایدار آذربایجان زیر نظر دانشگاه تبریز.
- ❖ مینویی ا.، کرمی غ.، امیدی پ.، (۱۳۸۸) "نقش شکستگی ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی کوه های شاهو، کردستان" دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- ❖ وزیري س. ح.، مجیدی فر م.، (۱۳۸۰) "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود" سازمان زمین شناسی کشور.

- ❖ Alavi M., (1996), "Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in Northern Iran", Journal of Geodynamic, Vol 21, PP 1-33.
- ❖ Allen M.B., Ghassemi M.R., Shahrabi M., and Qorashi M., (2003), "Accommpdation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran", Journal of Structural Geology, Vol 25, PP 627-659.

- ❖ Allmendinger R.W., With Contributions by Gepharth J.W., Marrett R.A., (1989) “Notes on fault slip analysis prepared for the geological society of America short course on << Quantitative interpretation of joints and faults>>” Department of Geological Science, Cornell University, NewYork. And related land-use problems, Pennsylvania State University, Earth and Mineral Science Experiment Station Circular 82, 181 pp.
- ❖ Assereto R., (1966) “The Jurassic shemshak formation in central Elburz (Iran)” Rivista Italiana di Paleontologia e stratigraphia, Vol .72, P.1133-1182.
- ❖ Berberian M., King G.G., (1981), “Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran”, Journal of Earth Science Canadian, Vol 18, PP 210-265.
- ❖ Civijic, j. (1926). Geomorphology, I and II, Beograd, Yugoslavia. Company New York, PP 532.
- ❖ Stocklin J., (1974) “*Northern Iran: Alborz mountains, mesozoic – Cenozoic orogenic belt, data for orogenic studies*” Geological Society, Special Publications, London, Vol. 4, P 213- 234.
- ❖ Dellenbach J, (1964), “Contribution an’ L’ etude geologique de la region situee an’ L’ EST de Tehran (Iran)”, fac Sci Uniiv Strasbourg (France), 117 pp.
- ❖ Djamour Y., Bayer, (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.
- ❖ Doblans M., (1998),”Slickensid kinematic indicators”, Journal of Tectonophysics, Vol 295, PP 187–197.
- ❖ Dreybrodt, W. & Siemers, J. (2000). Cave evolution on two networks of primary fractures in limestone. Huntsville: National Speleological Society.
- ❖ Ennes-Silva, Renata A., et al. "Superposed folding and associated fracturing influence hypogene karst development in Neoproterozoic carbonates, São Francisco Craton, Brazil." Tectonophysics 666 (2015): 244-259.
- ❖ Fetter, C.w. (1994). Applied Hydrogeology. New York; Prentice Hall Publishin.
- ❖ Fleuty M.J, (1964), “The description of fold, Proceedings of the Geologist Association”, Vol 35, PP 461-492.
- ❖ Ford, D. C., & Williams, S. (1989). Karst geomorphology and hydrology. 6.1pp.
- ❖ Ford, D.C., & Williams, P.W. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester.
- ❖ Ford, D.C., Palmer, A.M. and White, W.E., (1988). Landform development karst, GSA Bull, 0-2.
- ❖ Fossen H., (2010) “Structural geology” Cmbridge University Press, NewYork, 463 p.
- ❖ Gansser A., Huber H., (1962), “Geological observations in central Alborz, Iran. Schweizerische Mineralogische and Petrographische Mitteilunge”
- ❖ Goldscheider, N., Meiman, J., Pronk, M., & Smart, S. (2008). Tracer tests in karst hydrogeology and speleology, International Journal of Speleology, 37 (1), 27-40. Bologna (Italy). ISSN 0392- 6672.

- ❖ Hancock P.L., (1988) "Neotectonics: Geology Today" Vol.4, P 57- 61.
- ❖ Huggenberger, Peter, et al. (2015) "The Role of Tectonic Structures and Density-Driven Groundwater Flow for Salt Karst Formation." *Engineering Geology for Society and Territory*-Volume 5. Springer International Publishing, 609-612.
- ❖ Jackson J, Priestly K, Allen M. and Berberian M., (2002), "Active tectonic of the South Caspian Basin", *Journal of Geophysical International*, Vol 148, PP 214-245.
- ❖ Karami Gh., (2002) Assessing the heterogeneity and flow system types in karstic aquifers using pumping test data, ph.D. Thesis, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, 180 pp.
- ❖ Kasting, E.H., (1977), Faults and positive and negative influences on ground water flow and conduit enlargement in: R.R. Dilamarter and S.C. Scallany (eds.) *Hydrologic problems in karst regions*. West Kentucky univ.
- ❖ Milanovic, P.T. (1981). *Karst hydrology*. Colorado: WPR.
- ❖ Milanovic, P.T., (1988) *Karst Hydrogeology*. Water Resources publication.
- ❖ Parizek, R.R. (1971) *Hydrogeology of folded and faulted rocks of the central Appalachian type related land-use problems*, Pennsylvania State University, Earth and Mineral Science Experiment Station Circular 82, 181 pp.
- ❖ Parizek, R.R., (1976), "On the Nature and Significance of Fracture Traces and Lineament in Carbonate and Other Terranes", *Karst Hydrology and Water Resources Symposium*, Sarajevo. Abernethy, B., 1996, "Predicting the Topography"
- ❖ Petit J.P., (1987), "Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks", *Journal of structural geology*, 9, No.5/6, PP 597-608.
- ❖ Ramsay J.G., Huber M.I. (1987) "The Techniques of modern structural geology" Academic Press Limited, Vol. 2 (fold and fracture), 391p.
- ❖ Shuster E.T., White W.B. (1971) Seasonal fluctuations in the Chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology*, 111-128 pp.
- ❖ Singhal, B. & Gupta, R. (2010). *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Berlin: Springer.
- ❖ Twiss R.J., Moores E.M., (1992) "Structural geology" W.H. Freeman and Company, New York, 532p.
- ❖ Twiss, R. Moores, E. M. (2007). *Structural geology*. New York: W.H, freeman and company.
- ❖ Waters, p., (1990). Methodology for lineament analysis for hydrogeological investigations. in:
- ❖ White, W. B. (1988). *Geomorphology and hydrogeology of karst terrains*", Oxford University Press, Oxford.
- ❖ White, W. B. (2003). Conceptual model for carbonate aquifers, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 1 (1) January 2003, p.6.
- ❖ Wise, D.U., Dunn, D.E., Engelder, J.T., Geiser, P.A., (1984) Fault related karst: Suggestion for terminology. *Geology*, 12.

Abstract

The study area, northwest of Shahrood, is a part of south margin of the eastern Alborz. Stratigraphic studies illustrates that there are outcrops of Mesozoic and Cenozoic rock Units in this area with northeast-southwest to east-west structural trend. Geomorphologic View of the studied area is highly affected by Structural features such as folds and faults and karst features as well as lithology. During the field operations, the axial position was obtained for the Tepal N62E / 85NW and for the Teplal anticline N54E / 84NW. Also, according to Fleuty (1964), the anticline and syncline Tepal classified is totally open fold Based on the interlimb angle of fold Fleuty classification (1964) and Based on the dip of axial plane and plunge of hinge line , the folds are classification horizontal Upright & Gently plunging. The study of the two main Northwest Tepal faults (N53E/79NW) and South (N74E/66NW) indicates a left lateral strick slip mechanism for the Northern Tepal and the left lateral for the Southern Tepal. In this area strick slip faults localy have been seen NW-SE and NE-SW. Fracture analysis have been done in 12 stations. Finally, with regard to the genesis associated of these fractures associated with Tepal Folding, were classified in the category with folding. Most Fractures trending NW-SE and NE-SW set. Four main categories of fracture in the shear and tensile is detectable with nature. A- Fractures with an average position (N09E/75SE), B- Fractures with an average position (N35W/77SW), C- Fractures with an average position (N17W/67SW), D- Fractures with an average position (N54W/63SE). In order to describe the anticline and syncline Tepal with the main joints, observations were made on the fold and position of the fold axis was determined at (anticline) 11/049 and (syncline) 17/062. Based on the position of the joints, the longitudinal, transverse, and shear fractures are recognizable in these stations relative to the folds axis. According to the description of the joints, the layers of most of the levels are classified in the category of joints and slopes. The classification of joints in formations includes four series with medium position, N32W/ 58SW, N44E/35SE, N41E/32NW, and N17E /63SE for Delichay Formation, Lar Formation, five series with a mean N21W/57NE, N04E/68N, N25W/81SW, N64E/83NW and N86W/67SW. For the Cretaceous lime N15E/81NW, N56W/72SW, N02W/76SE, N34W/70NE, for four fajan formations, the N49E/62SE, N23W/67SW, N08E/69NW and N71E/62SE, and Ziarat Formation of four junction formations with a mean position of N38W/71NE, N49W/67SW and N81E/75SE, and the fourth class divider divided into two categories

N07E/68SW and N11W/81SW. The comparison between the junctions taken from each formation was determined based on the basis of the highest number of fractures in the limestone kretase and lar limestone formations. Finally, it was determined that, in addition to the effect of the distance between tectonic structures on the frequency of the junctions of the layers, it was also effective on the frequency of the junctions. Of the most important cases in the region, in Karst develop. According to the vastness of outcrop and fractures and joints existing in area, Solutional cavities, Dry valleys, Karen's and cave, karst accidents numerous including can be observe indicating dvelope karst in the study area. The slope of most joints is high indicating their importance in creating solutinal cavities as well as Karens. These joints transfer superficial waters into ground carry them to under ground canals. The most of joints turned into joints karens which can be seen abundantly in kretace limestones.

Keywords (5 to 7 keywords): Shahrood, eastern Alborz, Tepal Mountains, karst



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc.Thesis in Tectonic

**The Analysis of the fractures and their roles in
karst developing in Tepal mountions (North-West
of Shahrood)**

By:Shokoofeh Amraie Sohrabvandi

Supervisor:

Dr. Parviz.Omidi

Advisor:

Dr. GHolamhosein.Karami

January2019