

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی گرایش تکتونیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تحلیل تفصیلی تاقدیس چهچهه (کپه‌داغ)

نگارنده: مجتبی سنخواستی

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

دی ۱۳۹۵



مدیریت تحصیلات تکمیلی

شماره: ۱۲۵۷۶  
تاریخ: ۹۵، ۱۱، ۲۴  
باسمه تعالی  
ویرایش:

فرم شماره ۷: صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مجتبی سنخواستی به شماره دانشجویی ۹۲۰۸۰۹۴ رشته زمین شناسی گرایش تکتونیک تحت عنوان تحلیل ساختاری تفصیلی تاقدیس چهجه (کپه داغ) که در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> امتیاز: <u>۱۸-۷۵</u> )	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/> نظری		

- ۱- عالی (۲۰-۱۹)  
۲- بسیار خوب (۱۸-۱۸/۹۹)  
۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)  
۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)  
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر پرویز امیدی	استادیار	
۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیزا. طاهری	استاد	
۳- استاد ممتحن اول	دکتر محسن خادمی	استادیار	
۴- استاد ممتحن دوم	دکتر رمضان رضانی اومالی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۵، ۱۲، ۹



تقدیم بہ

مادر و پدرم  
ۛ



## تقدیر و تشکر:

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را کزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تا این می کند و سلامت امانت یابی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب ”من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل“:

از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عضو کشیده و کریانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور ی بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر پرویز امیدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر رمضان رمضان و اومالی و دکتر محسن خادمی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم؛

از تمام اساتید و پرسنل محترم دانشکده علوم زمین مخصوصاً از سرکار خانم زحره فارسی و آقای دکتر علی اکبر مومنی به دلیل یاری ها و راهنمایی های بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی ها را برایم آسانتر نمودند،

از خواهر مهربانم نیره سخاوتی و برادر عزیزم مرتضی سخاوتی که در طول انجام این پژوهش یار و همراه من بودند صمیمانه سپاسگزارم.

تشکر ویژه می کنم از آقایان حسین باقری، حسین دوست زاده، حمید تقی نیا، سعید آقاجانی و خانم ها آذرخش، خانی بندانی، شهرستانی، فتحی زاده، روزبهانی و کلیه عزیزانی که در طول انجام این پژوهش دکنار من بودند.

مجتبی سخاوتی

دی ماه ۱۳۹۵

# تعهد نامه

اینجانب مجتبی سنخواستی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته تکنیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل تفصیلی تاقدیس چهچهه (کپه داغ) تحت راهنمایی جناب 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 مورداستفاده 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 بانام « 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 بافت های آن ها ) 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 .

امضای دانشجو

تاریخ: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰

## 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

تاقدیس چهچهه بخشی از حاشیه شمال باختری کپه‌داغ را شامل می‌شود که به لحاظ جغرافیایی در شمال خاوری شهر مشهد قرار گرفته است. مطالعات چینه‌نگاری این منطقه وجود توالی‌های رسوبی مزوزوئیک و ترشیاری را نشان می‌دهد. این تاقدیس با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های میدانی امتداد شمال باختری-جنوب خاوری را نشان می‌دهد که واحدهای دربرگیرنده خود را تحت تاثیر چین‌خوردگی قرار داده است. طی برداشت‌هایی که در هفت پیمایش انجام شد، این تاقدیس با میل ناچیز محور دوطرفه براساس طبقه بندی فلوتی (Fleuty, 1964) بر مبنای زاویه بین یالی در رده باز (open) و بر اساس میل لولا و زاویه شیب سطح محوری در رده ایستاده با میل افقی (Upright horizontal) قرار می‌گیرد. این تاقدیس با ضریب نوک‌دارشدگی ۰,۲۱-۰,۴۵ در رده subangular قرار می‌گیرد. همچنین با نسبت ظاهری ۰,۳۰-۰,۱۶ یک چین عریض (Wide) قلمداد می‌شود. بررسی شکستگی‌های منطقه طی ۲۳ ایستگاه درزه‌نگاری انجام شد و در نهایت باتوجه به ارتباط زایشی این شکستگی‌ها با تاقدیس چهچهه، در رده‌بندی‌های مرتبط با چین خوردگی رده‌بندی شدند. سه دسته اصلی درزه مرتبط با تاقدیس تشخیص داده‌شد. الف- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (N020-040, 80-90SE/NW)، ب- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (-N295-315, 65) و ج- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (N050-065, 75- و N345-013, 75-90NE/SW) که اعظم شکستگی‌ها با ماهیت کششی مشاهده شدند. در نهایت به منظور شناخت مخازن شکسته شده نفتی و گازی مشخصه‌سازی شکستگی‌ها با استفاده از نمونه‌گیری اسکن دایره‌ای شکل، دو ویژگی نسبی تراکم و شدت، در هشت رخنمون محاسبه شد. شاخص کیفیت توده سنگ (RQD)، مشخصه دیگری بود که توسط روش اسکن خطی محاسبه گردید. مقادیر RQD بالای ۹۳ درصد نشان از کیفیت بالای توده‌های سنگی بوده که در محدوده عالی قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه خطی و معکوس بین RQD و شدت شکستگی، شدت و تراکم که به طور نسبی تعریف می‌شود مقادیر بالایی از خود نشان نمی‌دهند. باتوجه به حداقل فاصله ۰,۲۴m برای درزه‌ها، می‌توان شدتی کم را برای آن‌ها در نظر گرفت اما بطور نسبی درزه‌ها از شدت خیلی کم تا خیلی زیاد (باتوجه به مقادیر RQD) طبقه‌بندی شدند. جهت‌گیری تنش‌های اصلی ۵۱، ۵۲ و ۵۳ حاکم بر تاقدیس باتوجه به عناصر آن به ترتیب ۰,۲/۲۰۶، ۰,۷/۱۱۶ و ۸۳/۳۱۱ برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس چهچهه، کپه‌داغ، چگالی شکستگی، شدت شکستگی، شاخص کیفیت توده سنگ

## فهرست مطالب

۱	فصل اول مقدمه
۲	۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی
۳	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق
۳	۳-۱- هدف مطالعه
۴	۴-۱- تاریخچه مطالعاتی
۵	۵-۱- مراحل پژوهش
۷	فصل دوم زمین‌شناسی
۸	۱-۲- زمینساخت کپه‌داغ
۹	۲-۲- چینه‌شناسی تاقدیس چهچه
۱۰	۳-۲- شرح واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه
۱۰	۱-۳-۲- سازند سرچشمه (Sr)
۱۰	۲-۳-۲- سازند سنگانه (Sn)
۱۱	۳-۳-۲- سازند آیتامیر (At, Ats)
۱۲	۴-۳-۲- سازند آبدراز (Ad)
۱۳	۵-۳-۲- سازند آبتلخ (Ab)
۱۳	۶-۳-۲- سازند نیزار (Nz)
۱۳	۷-۳-۲- سازند کلات (Kl)
۱۵	۸-۳-۲- سازند پسته‌لیق (Ps)
۱۵	۹-۳-۲- سازند چهل‌کمان (Ck)
۱۶	۱۰-۳-۲- سازند خانگیران (Kh)
۱۶	۴-۲- رسوبات عهد حاضر
۲۱	فصل سوم تاقدیس چهچه
۲۲	۱-۳- هندسه تاقدیس چهچه
۲۲	۲-۳- مدل ارتفاعی
۲۳	۳-۳- توصیف هندسی تاقدیس چهچه
۲۳	۵-۳-۳- پیمایش A - A'
۲۶	۴-۳-۳- پیمایش B - B'
۲۹	۳-۳-۳- پیمایش C - C'

۳۱	.....	D – D' پیمایش ۲-۳-۳
۳۲	.....	E – E' پیمایش ۱-۳-۳
۳۳	.....	۴-۳-۴ تاقدیس سنگانه
۳۳	.....	F1 – F1' پیمایش ۱-۴-۳
۳۴	.....	F2 – F2' پیمایش ۲-۴-۳
۳۵	.....	۵-۳-۵ سبک یک سطح چین خورده
۴۰	.....	۶-۳-۶ رده بندی فلوتی
۴۱	.....	۷-۳-۷ دینامیک چین خوردگی
۴۳	.....	فصل چهارم درزه؛
۴۴	.....	۱-۴-۱ مکانیزم تغییر شکل ترد و شکننده
۴۴	.....	۲-۴-۲ انواع شکستگی
۴۸	.....	۳-۴-۳ تفاوت های بین شکستگی های برشی و کششی
۴۹	.....	۴-۴-۴ ارتباط درزه ها با پدیده های ساختمانی
۴۹	.....	۵-۴-۵ گسترش درزه ها در ارتباط با چین خوردگی:
۵۱	.....	۶-۴-۶ درزه های مربوط به پیمایش A – A'
۵۱	.....	۱-۶-۴-۱ ایستگاه A1
۵۳	.....	۲-۶-۴-۲ ایستگاه A2
۵۴	.....	۳-۶-۴-۳ ایستگاه A3
۵۵	.....	۴-۶-۴-۴ ایستگاه A4
۵۶	.....	۵-۶-۴-۵ ایستگاه A5
۵۸	.....	۷-۴-۷ درزه های مربوط به پیمایش B – B'
۵۸	.....	۱-۷-۴-۱ ایستگاه B1
۵۹	.....	۲-۷-۴-۲ ایستگاه B2
۶۱	.....	۸-۴-۸ درزه های مربوط به پیمایش C – C'
۶۱	.....	۱-۸-۴-۱ ایستگاه C1
۶۳	.....	۲-۸-۴-۲ ایستگاه C2
۶۴	.....	۳-۸-۴-۳ ایستگاه C3
۶۵	.....	۴-۸-۴-۴ ایستگاه C4
۶۷	.....	۹-۴-۹ درزه های مربوط به پیمایش D – D'
۶۷	.....	۱-۹-۴-۱ ایستگاه D1

۶۸	.....	D2 ایستگاه ۲-۹-۴
۷۰	.....	D3 ایستگاه ۳-۹-۴
۷۱	.....	D4 ایستگاه ۴-۹-۴
۷۲	.....	D5 ایستگاه ۵-۹-۴
۷۴	.....	D6 ایستگاه ۶-۹-۴
۷۵	.....	D7 ایستگاه ۷-۹-۴
۷۷	.....	۱۰-۴-۱ درزه‌های مربوط به پیمایش $E - E'$
۷۷	.....	E1 ایستگاه ۱-۱۰-۴
۷۸	.....	E2 ایستگاه ۲-۱۰-۴
۷۹	.....	E3 ایستگاه ۳-۱۰-۴
۸۱	.....	۱۱-۴-۱ الگوی پراکنش
۸۲	.....	۱۲-۴-۱ خواص و اندازه‌گیری‌های شکستگی
۸۳	.....	۱-۱۲-۴ تراکم شکستگی
۸۴	.....	۲-۱۲-۴ شدت شکستگی
۸۵	.....	۱۳-۴-۱ روش‌های فعلی برای نمونه‌گیری شکستگی
۸۵	.....	۱-۱۳-۴ نمونه‌گیری خط اسکن خطی
۸۵	.....	۲-۱۳-۴ نمونه‌گیری ناحیه‌ای
۸۶	.....	۳-۱۳-۴ نمونه‌گیری پنجره مستطیل
۸۷	.....	۴-۱۳-۴ نمونه‌گیری خط اسکن دایره‌ای شکل
۸۷	.....	۱۴-۴-۱ جمع‌آوری داده‌ها در رخنمون
۸۸	.....	C4 ایستگاه ۱-۱۴-۴
۸۹	.....	A2 ایستگاه ۲-۱۴-۴
۸۹	.....	D3 ایستگاه ۳-۱۴-۴
۹۰	.....	D5 ایستگاه ۴-۱۴-۴
۹۱	.....	E2 ایستگاه ۵-۱۴-۴
۹۲	.....	E3 ایستگاه ۶-۱۴-۴
۹۳	.....	F ایستگاه ۷-۱۴-۴
۹۴	.....	D6 ایستگاه ۸-۱۴-۴
۹۸	.....	۱۵-۴-۱ فاصله‌داری و فرکانس ناپیوستگی و RQD
۱۰۰	.....	F ایستگاه ۱-۱۵-۴
۱۰۰	.....	G ایستگاه ۲-۱۵-۴

۱۰۱.....	D6 ایستگاه ۳-۱۵-۴
۱۰۱.....	E3 ایستگاه ۴-۱۵-۴
۱۰۱.....	C4 ایستگاه ۵-۱۵-۴
۱۰۱.....	D3 ایستگاه ۶-۱۵-۴
۱۰۲.....	D7 ایستگاه ۷-۱۵-۴
۱۰۲.....	D5 ایستگاه ۸-۱۵-۴
۱۰۲.....	E2 ایستگاه ۹-۱۵-۴
۱۰۲.....	A2 ایستگاه ۱۰-۱۵-۴
۱۰۷.....	فصل پنجم بحث نتیجه گیری
۱۱۱.....	پیشنهادات
۱۱۲.....	پیوست
۱۲۲.....	منابع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ (۱) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- شکل ۱-۲- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و نشان‌دهنده قلمرو ساختاری تاقدیس چهچهه ..... ۳
- شکل ۲-۱- تصاویر رخنمون‌هایی از سازندهای سنگانه با دید به سمت خاور (الف) و سازند سرچشمه با دید به سمت شمال باختر (ب)..... ۱۱
- شکل ۲-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای ماسه‌سنگ و شیل آیتامیر. .... ۱۲
- شکل ۲-۳- (الف). تصاویری از رخنمون سازندهای آبدراز و آبتلخ. .... ۱۳
- شکل ۲-۴- (الف). سیمای صخره‌گونه سازند کلات. (ب). ترائشه حفرشده بر روی سازند کلات. دید عکس به سمت جنوب باختری. .... ۱۴
- شکل ۲-۵- نمایی از سازندهای کلات و نیزار دید عکس به سمت شمال باختری (الف) و دیواره طبیعی سازند کلات (ب) ..... ۱۵
- شکل ۲-۶- (الف). تصاویری از رخنمون سازندهای آهکی سازند چهل کمان. و (ب). شیل‌های قرمز پسته‌لیق ..... ۱۶
- شکل ۲-۷- (الف). پادگانه آبرفتی در شمال خاوری روستای چهچهه. دید به سمت شمال خاوری. (ب) آبرفت‌های جوان ..... ۱۷
- شکل ۲-۸- ستون چینه‌نگاری واحدهای چینه‌ای منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس) ..... ۱۸
- شکل ۲-۹- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۲۰
- شکل ۳-۱- مدل ارتفاعی از چین موردنظر با استفاده از تصاویر DEM 30 نمایش داده شده با نرم‌افزار GIS(ArcScene) ..... ۲۳
- شکل ۳-۲- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $A - A'$  ..... ۲۴
- شکل ۳-۳- نیم‌رخ زمین‌شناسی مربوط به پیمایش  $A - A'$  ..... ۲۵
- شکل ۳-۴- تصویر SRTM تهیه‌شده منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Global mapper و برش‌های عرضی مربوط به هر پیمایش ..... ۲۶
- شکل ۳-۵- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $B - B'$  ..... ۲۷
- شکل ۳-۶- نیم‌رخ زمین‌شناسی مربوط به پیمایش  $B - B'$  ..... ۲۸
- شکل ۳-۷- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $C - C'$  ..... ۲۹
- شکل ۳-۸- نیم‌رخ زمین‌شناسی مربوط به پیمایش  $C - C'$  ..... ۳۰
- شکل ۳-۹- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $D - D'$  ..... ۳۱
- شکل ۳-۱۰- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $E - E'$  ..... ۳۲
- شکل ۳-۱۱- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $F1 - F1'$  ..... ۳۴
- شکل ۳-۱۲- استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $F2 - F2'$  ..... ۳۵
- شکل ۳-۱۲- سبک یک سطح چین‌خورده که بوسیله دوزنقه‌ای که به وسیله مماس‌هایی بر نقاط عطف دویال مشخص می‌شود ..... ۳۶
- شکل ۳-۱۴- مقادیر زاویه یال‌ها، زاویه بین یالی و سطح‌محوری که برای هر پیمایش نشان داده شده است. .... ۳۸
- شکل ۳-۱۵- آرایش و نسبت دوایر  $Rh$  و  $Ri$  به منظور محاسبه نوک‌دارشدگی برای هر پیمایش. .... ۳۹
- شکل ۳-۱۶- طبقه‌بندی فلوتی برای چین‌ها بر اساس شیب سطح‌محوری و میل لولا (Fleuty, 1964) ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۷- تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده روند کلی سطح‌محوری، محور و تنش‌های حاکم بر تاقدیس چهچهه. .... ۴۱
- شکل ۴-۱- نمایی از دیاگرام‌هایی از مجموعه شکستگی و سیستم درزه‌ای. .... ۴۵
- شکل ۴-۲- جهت‌گیری فضایی انواع شکستگی نسبت به تنش‌های اصلی وارده به توده سنگی ..... ۴۶



- شکل ۴-۳- انواع شکستگی بر پایه خصوصیات ژنتیکی را نشان می‌دهد. .... ۴۷
- شکل ۴-۴- طرحی از تغییر شکل شکنا در توده سنگ. .... ۴۸
- شکل ۴-۵- رابطه ایده‌آل بین مجموعه شکستگی‌ها و یک لایه چین‌خورده. .... ۵۰
- شکل ۴-۶- نمودارهای نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A1. .... ۵۲
- شکل ۴-۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه A1. .... ۵۲
- شکل ۴-۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A2. .... ۵۳
- شکل ۴-۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه A2. .... ۵۴
- شکل ۴-۱۰- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A3. .... ۵۴
- شکل ۴-۱۱- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه A3. .... ۵۵
- شکل ۴-۱۲- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A4. .... ۵۶
- شکل ۴-۱۳- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه A4. .... ۵۶
- شکل ۴-۱۴- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A5. .... ۵۷
- شکل ۴-۱۵- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه A5. .... ۵۷
- شکل ۴-۱۶- موقعیت پیمایش  $A - A'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچه. .... ۵۸
- شکل ۴-۱۷- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه B1. .... ۵۹
- شکل ۴-۱۸- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه B1. .... ۵۹
- شکل ۴-۱۹- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه B2. .... ۶۰
- شکل ۴-۲۰- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه B2. .... ۶۰
- شکل ۴-۲۱- موقعیت پیمایش  $B - B'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچه. .... ۶۱
- شکل ۴-۲۲- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C1. .... ۶۲
- شکل ۴-۲۳- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C1. .... ۶۲
- شکل ۴-۲۴- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C2. .... ۶۳
- شکل ۴-۲۵- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C2. .... ۶۴
- شکل ۴-۲۶- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C3. .... ۶۴
- شکل ۴-۲۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C3. .... ۶۵
- شکل ۴-۲۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C4. .... ۶۶
- شکل ۴-۲۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C4. .... ۶۶
- شکل ۴-۳۰- موقعیت پیمایش  $C - C'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچه. .... ۶۷
- شکل ۴-۳۱- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D1. .... ۶۷
- شکل ۴-۳۲- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه D1. .... ۶۸
- شکل ۴-۳۳- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D2. .... ۶۹

- شکل ۴-۳۴- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D2..... ۶۹
- شکل ۴-۳۵- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D3..... ۷۰
- شکل ۴-۳۶- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D3..... ۷۱
- شکل ۴-۳۷- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D4..... ۷۱
- شکل ۴-۳۸- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D4..... ۷۲
- شکل ۴-۳۹- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D5..... ۷۳
- شکل ۴-۴۰- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D5..... ۷۳
- شکل ۴-۴۱- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D6..... ۷۴
- شکل ۴-۴۲- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D6..... ۷۵
- شکل ۴-۴۳- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D7..... ۷۵
- شکل ۴-۴۴- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D7..... ۷۶
- شکل ۴-۴۵- موقعیت پیمایش  $D - D'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچه..... ۷۶
- شکل ۴-۴۶- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E1..... ۷۷
- شکل ۴-۴۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه E1..... ۷۸
- شکل ۴-۴۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E2..... ۷۸
- شکل ۴-۴۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه E2..... ۷۹
- شکل ۴-۵۰- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E3..... ۸۰
- شکل ۴-۵۱- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه E3..... ۸۰
- شکل ۴-۵۲- موقعیت پیمایش  $E - E'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچه..... ۸۱
- شکل ۴-۵۳- نمودارهای هم تراز قطبی الف). و صفحات کل شکستگیها ب)..... ۸۱
- شکل ۴-۵۴- مجموعه‌های شکستگی‌های متعدد در جهت‌های مختلف باعث افزایش تعداد تقاطع شکستگی می‌شود..... ۸۳
- شکل ۴-۵۵- نقش افزایش قطر پنجره نمونه‌گیری در سوگیری تراکم محاسباتی به سمت تراکم واقعی..... ۸۴
- شکل ۴-۵۶- شکستگی صفات، از جمله جهت‌گیری، طول، فاصله‌بندی و پرشدگی شکستگی برای هر شکستگی که قطع می‌کند..... ۸۶
- شکل ۴-۵۷- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۴,۵ متر در ایستگاه C4..... ۸۸
- شکل ۴-۵۸- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۵ متر در ایستگاه A2..... ۸۹
- شکل ۴-۵۹- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۴,۲ متر در ایستگاه D3..... ۹۰
- شکل ۴-۶۰- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۸ متر در D5..... ۹۱
- شکل ۴-۶۱- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۳,۵ متر در ایستگاه E2..... ۹۲
- شکل ۴-۶۲- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۴,۲ متر در ایستگاه E3..... ۹۳
- شکل ۴-۶۳- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای با قطر ۱=۶,۲ متر و ۲=۴,۸ متر در ایستگاه F..... ۹۴
- شکل ۴-۶۴- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۷,۴ متر در ایستگاه D6..... ۹۵

- شکل ۴-۶۵- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه ..... ۹۷
- شکل ۴-۶۶- تعیین فاصله بین شکستگی‌ها در امتداد یک نمونه‌گیری خط اسکن ..... ۹۸
- شکل ۴-۶۷- ارتباط بین RQD و فاصله‌داری و فرکانس شکستگی‌ها (نقل از: Hudson, J.A., Harrison, J.P., 1997) ..... ۹۹
- شکل ۴-۶۸- نمونه‌گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه F (الف) و ایستگاه G (ب). ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۶۹- نمونه‌گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه D6 (الف)، ایستگاه E3 (ب)، ایستگاه C4 (ج) و ایستگاه D3 (د). ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۷۰- نمونه‌گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه D7 (الف)، ایستگاه D5 (ب)، ایستگاه E2 (ج) و ایستگاه A2 (د). ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۷۱- نمودار تهیه شده برای مقادیر RQD بر حسب فرکانس و فاصله‌داری ..... ۱۰۳

### فهرست جداول

- جدول ۳-۱- خصوصیات هندسی پیمایش  $A - A'$  ..... ۲۴
- جدول ۳-۲- خصوصیات هندسی پیمایش  $B - B'$  ..... ۲۷
- جدول ۳-۳- خصوصیات هندسی پیمایش  $C - C'$  ..... ۲۹
- جدول ۳-۴- خصوصیات هندسی پیمایش  $D - D'$  ..... ۳۲
- جدول ۳-۵- خصوصیات هندسی پیمایش  $E - E'$  ..... ۳۳
- جدول ۳-۶- خصوصیات هندسی پیمایش  $F1 - F1'$  ..... ۳۴
- جدول ۳-۷- تقسیم‌بندی مقادیر نسبت ظاهری (نقل از Twiss, R. Moores, E. M., 2007) ..... ۳۶
- جدول ۳-۸- مقادیر به‌دست‌آمده نسبت ظاهری برای پیمایش‌های مختلف ..... ۳۷
- جدول ۳-۹- تقسیم‌بندی مقادیر فشردگی و زاویه بین‌بالی (نقل از Twiss, R. Moores, E. M., 2007) ..... ۳۷
- جدول ۳-۱۰- تقسیم‌بندی مقادیر نوک‌دارشدگی (پخش‌شدگی) (نقل از Twiss, R. Moores, E. M., 2007) ..... ۳۸
- جدول ۳-۱۱- مقادیر به‌دست‌آمده از نوک‌دارشدگی برای پیمایش‌ها ..... ۴۰
- جدول ۴-۱- اطلاعات مربوط به تمام ایستگاه‌هایی که در آن‌ها نمونه‌گیری به روش پنجره دایره‌ای صورت گرفت ..... ۹۵
- جدول ۴-۲- مقادیر محاسبه‌شده برای RQD در تمام ایستگاه‌ها ..... ۱۰۳
- جدول ۴-۳- تقسیم‌بندی RQD برای ایستگاه‌ها ..... ۱۰۴
- جدول ۴-۴- تعیین و تقسیم‌بندی شدت شکستگی بر اساس مقادیر RQD ..... ۱۰۵
- جدول ۴-۵- معرفی شدت‌های تعیین شده برای ایستگاه‌های برداشت درزه ..... ۱۰۵



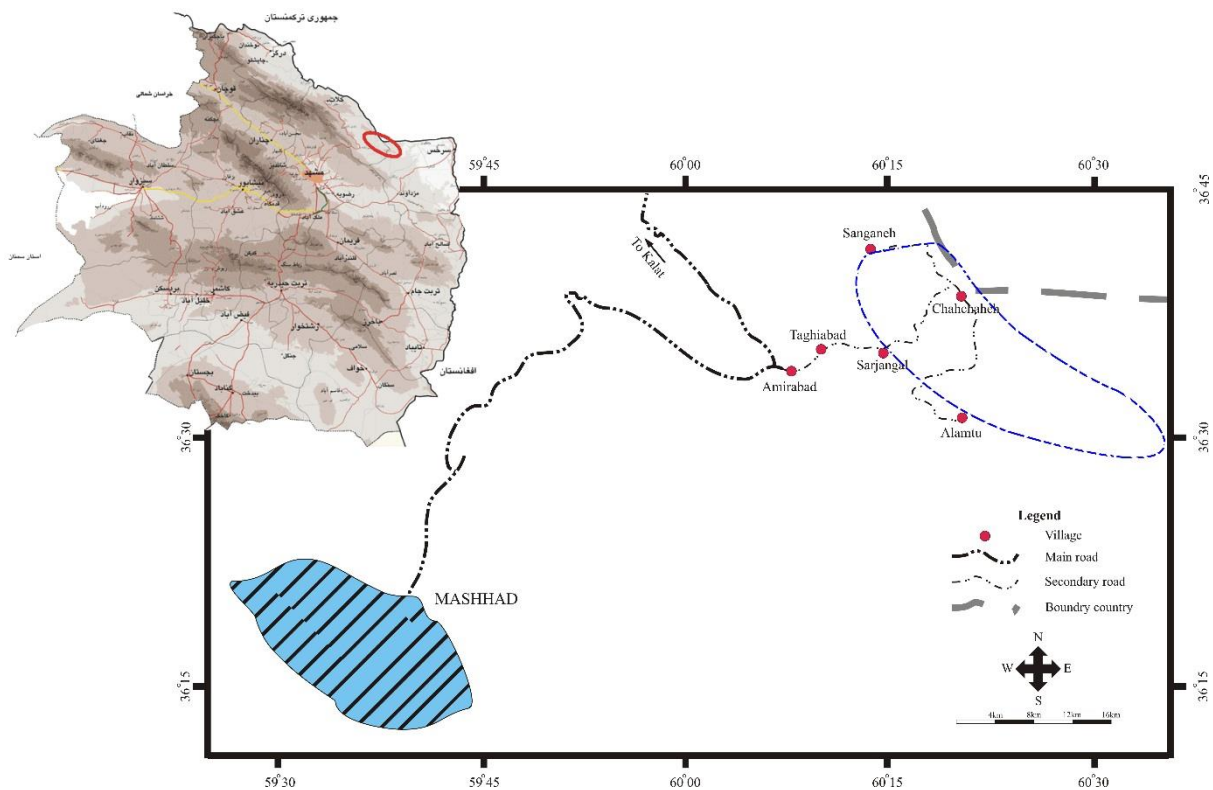
فصل اول

کلیات

**مقدمه:** پوسته زمین بر اثر تحمل نیروهای حاصله از حرکت صفحات لیتوسفری که در جهات مختلف با مقادیر متفاوت به آن وارد می‌شود، دچار دگرشکلی می‌شوند و در نهایت ساختارهایی در ابعاد گوناگون را به وجود می‌آورند. این ساختارها نتیجه به تعادل رسیدن تنش وارد شده و کرنش ایجاد شده می‌باشند. چین‌خوردگی‌ها و شکستگی‌ها (گسل خوردگی و درزه‌ها) از مهم‌ترین ساختارهای تغییر شکل پوسته می‌باشند. چین‌خوردگی حاصل دگرشکلی شکل‌پذیر و شکستگی‌ها نمودی از تغییر شکل شکننا هستند. تاقدیس چهچهه نیز یکی از چندین تاقدیس با روند شمال‌باختری-جنوب‌باختری نوار کپه‌داغ است که با طول تقریبی ۳۰ کیلومتر در شرقی‌ترین گستره کپه‌داغ رخنمون دارد.

### ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

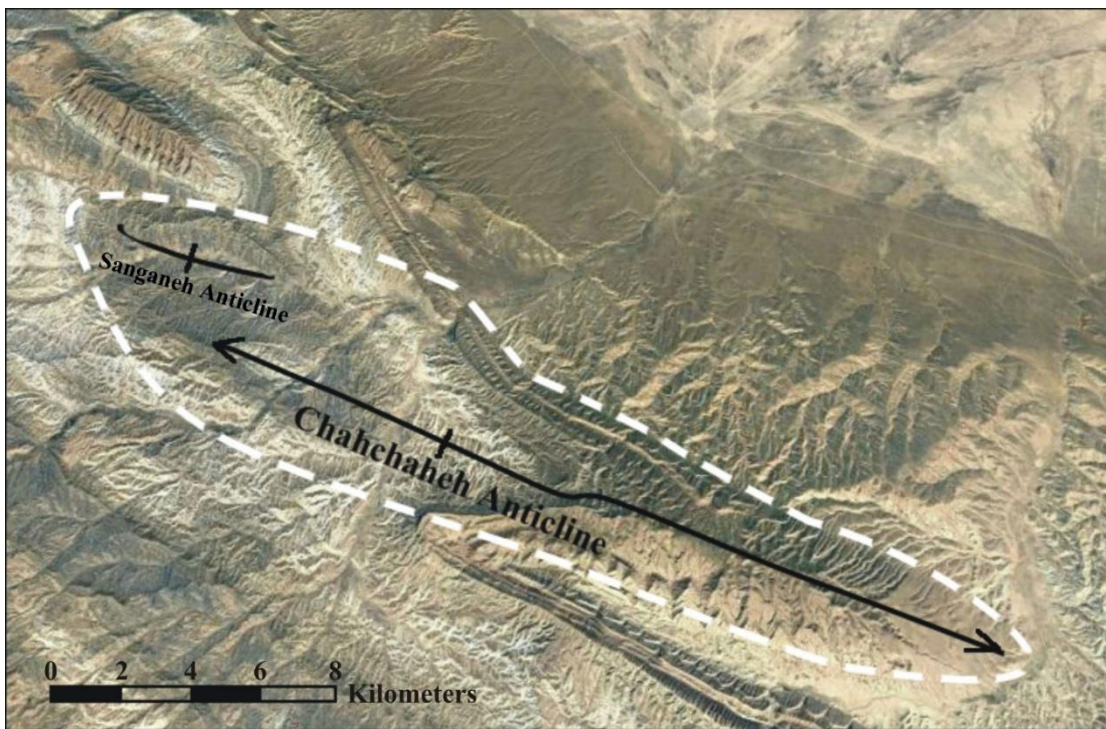
منطقه مورد مطالعه بخش شرقی کپه‌داغ را شامل می‌شود و بین طول‌های  $25^{\circ} 59'$  و  $35^{\circ} 60'$  شمالی و عرض‌های  $15^{\circ} 36'$  و  $45^{\circ} 36'$  جنوبی و محدوده بین روستاهای چهچهه، چهل‌کمان، سرچنگل و سنگانه قرار دارد. راه‌های دسترسی به این منطقه شامل جاده اصلی و آسفالت‌شده مشهد-کلات و راه فرعی و خاکی امیرآباد، تقی‌آباد، سرچنگل و چهچهه می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه. محدوده رخنمون تاقدیس با نقطه‌چین مشخص شده‌است.

## ۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

پهنه رسوبی-ساختاری کپه‌داغ به سبب دارا بودن مخازن گازی و مستعد نفتی مورد توجه زمین‌شناسان نفتی بوده و می‌باشد. لذا انجام مطالعات زمین‌شناسی در پیشبرد اهداف شناختی از این پهنه دارای ضرورت است. مدل‌سازی چین‌خوردگی‌های کپه‌داغ به منظور شناخت مخزن و بررسی شکستگی‌ها در مرکز توجه قرار دارد. انجام این پژوهش ضمن افزایش داده‌های ساختاری مربوط به چین‌ها، زمینه مطالعات بعدی را در این راستا فراهم خواهد آورد. با توجه به همسایگی این چین با تاقدیس خانگیران و همچنین ضرورت شناخت شکستگی‌ها در مخازن نفتی و گازی، نتایج این تحقیق در راستای مدل‌سازی مخزن و مدل‌سازی شکستگی‌های روی مخازن، مورد توجه زمین‌شناسان نفت می‌باشد که عموماً از تلفیق داده‌های سطحی و زیرسطحی حاصل می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و نشان‌دهنده قلمرو ساختاری تاقدیس چهچهه

## ۳-۱- هدف مطالعه

در این مطالعه سعی شده است ویژگی‌های هندسی شامل عناصر هندسی تاقدیس چهچهه (خط لولا، سطح محوری و...) و میزان فشردگی (که بر اساس زاویه بین‌یالی محاسبه می‌شود) مورد تحلیل قرار گیرد و جایگاه آن در طبقه‌بندی‌هایی که مرتبط با این ویژگی‌ها تدوین شده‌اند، مشخص شود. بررسی

آماری شکستگی‌ها و ارتباط زایشی آن‌ها با تاق‌دیس چهره و همین‌طور بررسی فاکتورهای شدت و تراکم در این شکستگی‌ها در خلال این پژوهش در دستور کار قرار گرفته است.

#### ۱-۴-تاریخچه مطالعاتی

Berberian & King (1981)، در مطالعات خود به این نتیجه رسیده‌اند که حوضه کپه‌داغ شامل یک توالی ضخیم از رسوبات ژوراسیک- میوسن می‌باشد که پس از حرکات کوهزایی تریاس میانی، یعنی زمانی که فرآیند برخورد بین ایران و توران پایان یافته تشکیل شده است.

Lyberis & Manby (1999)، با محاسبه ۷۵ کیلومتر کوتاه‌شدگی، خاور کپه‌داغ را به ۷۰ کیلومتر مؤلفه فشارشی محض در راستای  $N030$  و ۳۵ کیلومتر مؤلفه راست‌گرد محض در راستای  $N120$  تقسیم می‌کنند.

Jackson et al (1995)، نرخ همگرایی برای دوره ۵/۵ میلیون ساله (مرز میوسن- پلیوسن) در حدود  $1/3$  -  $1/5$  میلی‌متر در سال می‌دانند. این نرخ همگرایی با حرکت نسبی  $1/3$  میلی‌متر در سال ایران- توران برابر است.

Lyberis & Manby (1999)، همچنین بیان می‌کنند که ارتفاع ۱۱۰۰ متری حاضر رسوبات پلیوسن در جنوب باختر کپه‌داغ نیز بیانگر نرخ بالآمدگی است که نشان‌دهنده ضخیم‌شدگی پوسته در اثر همگرایی بلوک‌های ایران- توران می‌باشد.

پورتقوی (۱۳۹۰)، به بررسی الگوی هندسی چین‌خوردگی در ناحیه پرداخته است. وی عملکرد دگرشکلی ستبر پوسته پس از وارونگی زمین‌ساختی طی فاز کوهزایی پاسادنین و کوتاه‌شدگی در حد ۵ درصد را نتیجه‌گیری کرده است.

افشار حرب (۱۳۷۳)، بیان می‌کند که گسل‌ها در بخش باختری کپه‌داغ گسترش دارند و شامل شش گسل با روند کلی خاوری- باختری می‌باشند. این گسل‌ها در فازهای کوهزایی اخیر فعال بوده و با تغییر سازوکار به صورت معکوس، سبب چین‌خوردگی و گسلش‌راندگی با شیب به سمت شمال شده‌اند.

قنادیان (۱۳۹۰)، به تعیین دقیق الگوی شکستگی‌های منطقه، در انتخاب محل مناسب برای احداث



چاه نفت جدید در ارتباط با ساخت‌های تکتونیکی، با بیشترین تراوایی پرداخته است.

فقهی (۱۳۷۶)، به بررسی ارتباط چین‌خوردگی‌هایی با روندهای مختلف، به‌منظور دریافت فازهای دگرشکلی منطقه پرداخته است.

فروغی (۱۳۹۱)، به بررسی درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی و دستیابی به مکانیسم چین‌خوردگی پرداخته است.

حیدرزاده (۱۳۷۴)، دگرشکلی فشارشی در راستای N-S را باعث چین‌خوردگی و گسلش کپه‌داغ می‌داند.

دریکوند (۱۳۹۱)، ارتباط گسله‌ای منطقه و چین‌خوردگی‌ها را مورد تحلیل قرار داده است.

صابری (۱۳۹۰)، شکل‌گیری تاقدیس مزدوران را بر اثر عملکرد گسل معدن و متعاقب آن ایجاد ساخت گل مثبت دانسته است.

#### ۱-۵- مراحل پژوهش

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

- مطالعات کتابخانه‌ای، اعم از مقالات، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و کلیه منابع مرتبط
- بررسی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای
- انجام مطالعات صحرایی و برداشت داده
- پردازش و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های متداول و استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی
- تدوین پایان‌نامه‌ای بر اساس دستاوردهای جدید و پیاده کردن آن‌ها بر روی یک نقشه زمین‌شناسی با مقیاس مناسب که برای تهیه آن از سیستم‌های GIS و دیگر سیستم‌ها استفاده شد.



# فصل دوم

## زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه در واحد زمینساخت-رسوبی کپه‌داغ قرار گرفته است. به همین منظور در ابتدا توضیحات مختصری به منظور معرفی این زون، تاریخچه‌ی رسوب‌گذاری و تکامل ساختاری ارائه می‌شود.

## ۱-۲- زمین ساخت کپه‌داغ

مطالعات بسیاری در مورد موقعیت ساختاری کپه‌داغ انجام شده است. در غالب گزارش‌ها، محققان کپه‌داغ را لبه جنوبی توران و بخشی از اوراسیا دانسته‌اند. امروزه ایران شامل موزاییک پیچیده‌ای از صفحات تکتونیکی است که در طی مزوزوئیک و سنوزوئیک در کنار هم قرار گرفته‌اند (Davoudzadeh, 1997). اصلی‌ترین اجزاء ساختاری زمین‌درز پالئوتتیس در شمال و زمین‌درز نئوتتیس در جنوب غربی، تعیین‌کننده حرکت (از شمال به جنوب) اوراسیا، ایران و پلیت عربی می‌باشد. زمین‌درز پالئوتتیس در اواخر تریاس طی برخورد پلیت ایران با حاشیه جنوبی اوراسیا تشکیل شد (Alavi, 1991; Wilmsen et al., 2009). این زمین‌درز در اواسط ژوراسیک مجدداً باز شد و در حوضه فرونشست گسترش یافت (Brunet et al., 2003; Fürsich et al., 2009; Taheri et al., 2009). امروزه درباره جایگاه این پهنه و موقعیت آن دو دیدگاه عمده وجود دارد که در ذیل به توضیح مختصری از آن‌ها می‌پردازیم.

الف) نظریه اوراسیایی: بر پایه این نظریه که طرفداران فراوان دارد، در ناحیه آق دربند نهشته‌های لیاس با دگرشیبی آشکار بر روی ردیفی از نهشته‌های آذرآواری با ساخت پیچیده و به سن تریاس میانی - بالایی جای دارند. ردیف‌های تریاس میانی - بالایی، خود بر روی ضخامت زیادی از آواری‌های سُرخ‌رنگ نشسته‌اند که ظاهری شبیه به مولاس‌های پرمین بالایی - تریاس زیرین فلات توران دارند و به‌طور دگرشیب، پی‌سنگ هرسی‌نین را می‌پوشانند و با رخساره‌های کربناتی-سکوی دیگر نواحی ایران تفاوت دارند. بدین‌سان، این گروه از زمین‌شناسان، کپه‌داغ را بخشی از ابرقاره اوراسیا و سنگ‌های اولترامافیک ناحیه مشهد را بقایای اقیانوسی می‌دانند که دو صفحه توران (اوراسیا) و ایران (گندوانا) را از یکدیگر جدا و به‌سوی خاور، در امتداد گسل هرات تا هندوکش ادامه داشته است (آق‌نابتی، ۱۳۸۳).

ب) نظریه گندوانایی: برخلاف طرفداران نظریه اوراسیایی، افتخارنژاد (۱۳۷۰) سنگ‌های پرکامبرین پسین - پالئوزوئیک ناحیه رباط قره‌بیل را همسان سنگ نهشته‌های همزمان در ایران مرکزی و البرز

خاوری می داند و بر این باور است که سکوی ایپی کاتانگایی پالئوزویک صفحه ایران در سرتاسر و یا بخشی از کوه‌های کپه‌داغ وجود دارد. در ضمن رخساره سنگ‌های دونین و کربنیفر پنجره فرسایشی آق‌دربند را همسان سازندهای جیروود و مبارک البرز مرکزی می‌داند و بدین‌سان نتیجه می‌گیرد که پی‌سنگ پهنه کپه‌داغ متعلق به هرسی‌نین توران (اوراسیا) نیست، بلکه دنباله‌ای از پی‌سنگ آفریقا - عربستان است و لذا مرز میان سکوی ایران و پهنه هرسی‌نین توران را در شمال کوه‌های کپه‌داغ و در خارج از ایران می‌داند. جدا از دو نظریه اوراسیایی و گندوانایی، وجود توربیدیت‌های دانه‌ریز، رادیولاریت، چرت، روانه‌های بالشی و سنگ‌های اولترامافیک خاور روستای سفیدسنگ واقع در جنوب خاوری مشهد، به سن پرمین پسین و گاهی پرمین میانی، نشان می‌دهد که در اواخر کربنیفر و اوایل پرمین، در بخش شمال خاوری ایران، یک کافت درون‌قاره‌ای به وجود آمده و دست‌کم از آن زمان به بعد، کپه‌داغ به‌عنوان یک حوضه رسوبی مستقل، شرایط رسوبی و زمین‌ساختی ناهمسانی با ایران مرکزی و البرز خاوری داشته است.

## ۲-۲- چینه‌شناسی تاق‌دیس چهچه

واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در دو گروه سنی مزوزوئیک (کرتاسه) و سنوزوئیک (ترشیری) در منطقه برون‌زد دارند و سیمای مورفولوژیکی نسبتاً خشنی را که متأثر از فاز آلپ پایانی است، می‌سازند. طبق انتظار، تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متوالی که متأثر از فشارش ناحیه‌ای هستند ارتفاعات و مناطق مجاوری که به نسبت تغییرشکل ناشی از فشارش کمتری را متحمل شده‌اند، دشت‌ها و مناطق کم ارتفاع را نشان می‌دهند. حضور سازندهای کربناته نظیر مزدوران (ژوراسیک بالایی)، تیرگان (کرتاسه پایینی) و کلات (کرتاسه بالایی) نقش مهمی در توپوگرافی خشن و سیمای امروزی آن دارند. همین‌طور از مناطق کم ارتفاع می‌توان به دشت‌های مشهد-قوچان، سرخس و شیروان-بجنورد اشاره کرد. طرح فیزیوگرافیک و ریخت‌شناسی منطقه کپه‌داغ بدون تردید متأثر از فرآیندهای ساختاری است. تاق‌دیس چهچه در شمال خاوری مشهد (جنوب روستای چهچه) قرار گرفته و بخشی از کپه‌داغ است.

نقشه زمین‌شناسی و ستون چینه‌شناسی منطقه به کمک نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سرخس و مشاهدات

صحرائی تهیه و ترسیم شد (شکل ۲-۸ و ۲-۹). بر اساس نقشه‌های زمین شناسی موجود و مشاهدات صحرائی نگارنده سازندهایی به سن مزوزوئیک و ترشیری در محدوده تاقدیس چهچهه رخنمون دارند که در ذیل به معرفی آن‌ها پرداخته شده است.

## ۲-۳- شرح واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه

### ۲-۳-۱- سازند سرچشمه (Sr)

نام مزبور از روستای سرچشمه در کپه‌داغ مرکزی واقع در ۱۴ کیلومتری شرق بجنورد گرفته شده است. گرچه بیرون زدگی‌های عمده اطراف روستای سرچشمه را مارن و شیل‌های سازند سرچشمه تشکیل می‌دهد مع‌الوصف مقطع منظمی از سازند مزبور در دره خور به‌عنوان سازند سرچشمه در مسیر جاده مشهد-کلات در فاصله ۵۰ کیلومتری شمال - شمال شرقی مشهد و قبل از رسیدن به دوراهی امیرآباد معرف کامل این سازند محسوب می‌شود. بخش زیرین سازند سرچشمه از ۱۷۸ متر عضو مارنی فرسایش یافته مدادی شکل به رنگ خاکستری مایل به سبز تشکیل یافته است درحالی که عضو بالایی آن را تناوبی از شیل و لایه‌های نازک ریتمی آهکی به ضخامت ۱۳۲ متر تشکیل می‌دهد.

در منطقه مورد مطالعه این سازند شیلی قدیمی‌ترین برون زد را به خود اختصاص داده به طوری که در بخش میانی منطقه قرار دارد و با رخنمون فرسوده و تیره‌رنگ قسمت هسته‌ی تاقدیس چهچهه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲-۱ الف).

### ۲-۳-۲- سازند سنگانه (Sn)

نام مزبور از روستای سنگانه واقع در ۷۰ کیلومتری شمال شرق مشهد گرفته شده است. به توجه به فسیل‌های موجود آمونیت‌ها نظیر پاراهوپلیتیس و شلونیسراس و آکانتوپلیتیس سن این سازند به آپسین فوقانی - آپسین نسبت داده شده است.

از نظر سنگ شناختی، سازند سنگانه شامل شیل‌های همگن به رنگ خاکستری تیره تا سیاه کمی مایل به سبز، بدون لایه‌بندی شاخص و مقدار ناچیز میان لایه‌های سیلت سنگ است. سازند سنگانه دو ویژگی آشکار دارد، یکی سیمای ریخت شناسی تپه‌ماهوری فرسوده و پشته مانند به رنگ سبز - خاکستری، دوم گرهک‌های عدسی و بیضوی شکل از رس‌های آهن‌دار که گاه هسته‌ای از سنگواره

آمونیت دارد و ساختار مخروط در مخروط نیز در آن دیده می‌شود. نحوه تشکیل مخروط در مخروط به این صورت است که هسته‌ای از دانه‌های ریز آبکی به وجود می‌آید و در اثر از دست دادن آب به داخل هم می‌رود و مخروط در مخروط را به وجود می‌آورد بر اثر وارد شدن فشار از بالا این رسوبات آبکی آب خود را از دست داده و به داخل هم فرو می‌روند.

این سازند به همراه سرچشمه مناطق پست و کم ارتفاع منطقه را تشکیل می‌دهند. با توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی، از لحاظ مورفولوژیکی سیمایی تپه‌ماهوری و نسبتاً سست و امکان داده‌برداری کم، از خصوصیات این سازند است (شکل ۱-۲ ب).



شکل ۱-۲- تصاویر رخنمون‌هایی از سازندهای سنگانه با دید به سمت خاور (الف) و سازند سرچشمه با دید به سمت شمال باختر (ب) همراه با استریوگرام‌های نشان‌دهنده موقعیت آن‌ها.

### ۳-۳-۳- سازند آیتامیر (At, Ats)

نام سازند از روستای آیتامیر که در غرب کپه‌داغ در ۷۰ کیلومتری شمال شرق گنبدکاووس واقع است گرفته شده است. این سازند از دو بخش تشکیل شده است. بخش ماسه‌سنگی که اغلب در زیر قرار دارد و بخش شیلی که لایه‌های فوقانی را تشکیل می‌دهد. هر دو بخش گلوکونیتی بوده و اغلب به رنگ سبز زیتونی دیده می‌شوند. در بخش شیلی لایه‌های نازک و جزئی ماسه‌سنگ گلوکونیتی نیز وجود دارد. سازند آیتامیر در برش الگو ۱۰۰۰ متر ضخامت دارد و شامل دو بخش متمایز به شرح زیر است:

1- بخش ماسه‌سنگی که از ۶۱۱ متر ماسه‌سنگ گلوکونیتی صخره‌ساز تشکیل شده است. برخی لایه‌ها که دارای رس می‌باشند نرم‌تر بوده و بین لایه‌های صخره‌ساز فرورفتگی‌هایی به وجود آورده‌اند.

بخش شیلی از ۳۸۹ متر شیل خاکستری مایل به سبز زیتونی گلوکونیتی با لایه‌های نازک و جزئی ماسه‌سنگ نزدیک به قاعده.

سازند آیتامیر با لیتولوژی ماسه‌سنگ در زیر و شیل در بخش بالا، بر روی سازند سنگانه و در زیر سازند آب دراز نهشته شده است. (افشار حرب، ۱۳۷۳).

این سازند در برش چپ‌چپه متشکل از مارن‌های خاکستری روشن می‌باشد. ولی در بخش زیرین عمدتاً ماسه‌سنگی با میان‌لایه‌های شیلی و در بخش بالایی عمدتاً شیلی با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی رخنمون دارد. این سازند به واسطه لیتولوژی ماسه‌سنگی خود نسبت به واحدهای شیلی و مارنی اطراف خود، برون‌زدگی و ارتفاعات نسبی را ایجاد می‌کند (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای ماسه‌سنگ و شیل آیتامیر. الف) دید به سمت خاور. ب) دید به سمت شمال باختری، همراه با استریوگرام‌های نشان‌دهنده موقعیت آن‌ها.

#### ۲-۳-۴- سازند آب‌دراز (Ad)

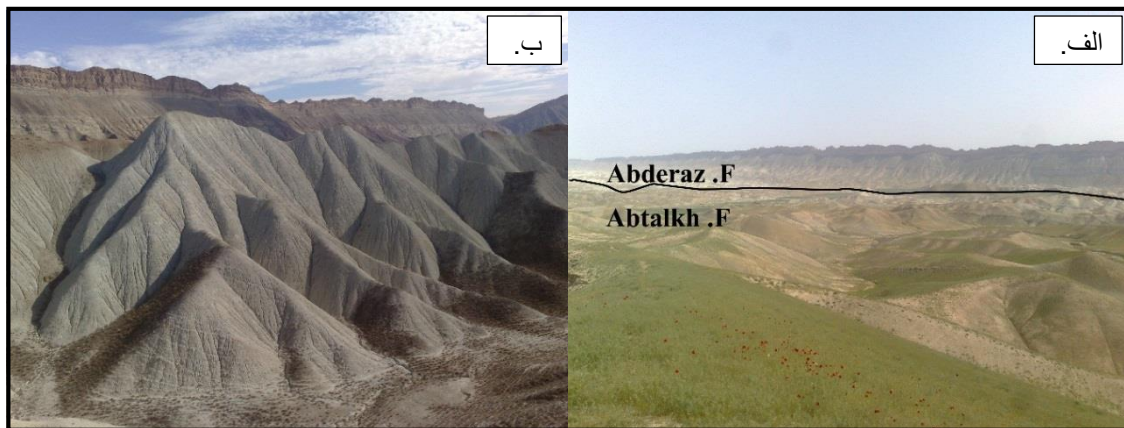
نام این سازند از روستای آب درواقع در شرق کپه‌داغ در شمال غرب روستای مزدوران گرفته شده است. اطراف این روستا را تپه‌هایی از سنگ آهک‌های سفید چاکی به این واحد سنگی فراگرفته است. روستای آب‌دراز در ۷۵ کیلومتری شرق مشهد واقع است. سن سازند آب‌دراز تورونین تا سانتونین است (شکل ۲-۳ الف).

سازند آب‌دراز عموماً از مارن، سنگ‌آهک مارنی و مارن آهکی همراه با ۳ تا ۴ لایه سنگ‌آهک چاکی تشکیل شده و بر روی سازند آیتامیر و در زیر سازند آب تلخ واقع می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳).



### ۲-۳-۵- سازند آب تلخ (Ab)

نام این سازند از روستای آب تلخ گرفته شده که در ۷۷ کیلومتری شمال شرق شهر مشهد، در راه روستای بزنگان به روستای چهچه در میان رخنمون‌های این سازند قرار دارد. سازند آب تلخ بهترین گسترش را در شرق کپه‌داغ دارد. با توجه به فسیل‌هایی که در بعضی موارد گزارش شده است، قدمت سازند مزبور از سانتونین تا ماستریشین زیرین تعیین گردیده است. این سازند نیز متشکل از مارن‌های سست سفیدرنگ هستند که قسمت زیادی از منطقه را پوشش می‌دهد (شکل ۲-۳ ب).



شکل ۲-۳- الف). تصاویری از رخنمون سازندهای آب‌دراز و آب‌تلخ. دید به سمت شمال. ب). نمایی از سازند آبتلخ. دید عکس به سمت شمال خاوری.

### ۲-۳-۶- سازند نیزار (Nz)

نام این سازند از تنگه نیزار در ۱۴ کیلومتری شمال روستای مزدوران و ۶۲ کیلومتر جنوب غرب شهر سرخس گرفته شده است، راه اصلی مشهد - سرخس از این تنگه می‌گذرد. به‌طور عمده سازند نیزار در ضخامت ۳۲۰ متر از ماسه‌سنگ گلوکونیتی مایل به سبز و شیل و به‌طور فرعی در بخش بالایی از لایه‌های نازک آهکی تشکیل یافته است. به‌طور کلی فاقد فسیل مشخصی می‌باشد و سن آن با توجه به موقعیت چینه‌شناسی به مایستریختین نسبت داده شده است.

### ۲-۳-۷- سازند کلات (Kl)

نام این سازند از شهر تاریخی کلات نادری و ناودیس کلات گرفته شده است. سنگ‌های آهک‌های این سازند به‌صورت دیواره‌ای قائم آن را به‌صورت قلعه‌ای طبیعی درآورده است که تنها از محل ورود و خروج رودخانه کلات راه ورود دارد. گفته می‌شود که نادرشاه با برپایی دروازه، آن را به‌صورت قلعه‌ای

طبیعی درآورده بوده است. بیرون زدگی‌های سازند کلات بخش عمده سنکلینال معلق کلات نادری را تشکیل داده‌اند. گرچه نام سازند از کلات گرفته شده است ولی به علت اینکه بخش بالایی در مقطع کلات ظاهر نشده است و این بخش به خوبی در تنگ نیزار نمایان است لذا با حفظ نام سازند مقطع تیپ آن را مؤلف (افشار حرب ۱۹۷۹) ترجیحاً در تنگ نیزار تعیین کرده است. ضخامت ۲۷۷ متر از سنگ‌های آهکی و آهک‌های ماسه‌ای و شیلی در مقطع تیپ تشخیص داده شده است؛ که به ۵ عضو تقسیم شده است.

۱ - آهک زیرین. ۲ - شیل زیرین. ۳ - آهک میانی. ۴ - شیل بالایی. ۵ - آهک بالایی.

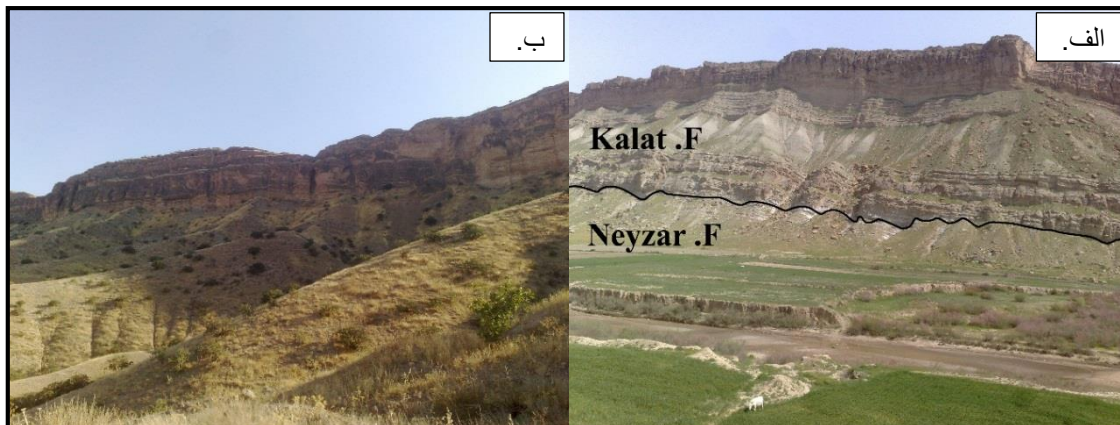
در منطقه مورد مطالعه این سازند به واسطه اختلاف سنگ‌شناسی و مکانیکی با سازندهای قدیمی‌تر از خود، به صورت دیواری طبیعی، در حدفاصل روستای چهچهه و سنگانه منطبق بر مرز جداکننده ایران و ترکمنستان قرار دارد. به طوری که دسترسی به این سازند و مهم‌تر از آن عبور از این سازند در بسیاری از مناطق غیرممکن است (شکل ۲-۴). ما در این مطالعه تنها در چند نقطه معدود موفق به دسترسی و عبور از این سازند شدیم. اولین و مهم‌ترین راه دسترسی از طریق ترانشه‌ای که در موقعیت طول جغرافیایی ۱۳° ۲۳' ۶۰° شرقی و عرض ۱۹° ۳۵' ۳۶° قرار داشت امکان‌پذیر شد.



شکل ۲-۴- الف). سیمای صخره گونه سازند کلات. ب). ترانشه حفر شده بر روی سازند کلات. دید عکس به سمت جنوب باختری.

در شکل زیر (شکل ۲-۵) تصاویری از سازندهای کلات و نیزار آورده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود آهک‌های کلات به صورت دیواری طبیعی در منطقه رخنمون دارد. آهک‌های کلات بر

روی ماسه‌سنگ نیزار قرار گرفته است. مرز تقریبی این دو با اختلاف مرفولوژی و رنگی که به واسطه اختلاف در سنگ‌شناسی آن‌ها به وجود آمده است در تصویر مشهود است.



شکل ۲-۵- نمایی از سازندهای کلات و نیزار دید عکس به سمت شمال باختری (الف) و دیواره طبیعی سازند کلات

(ب)

### ۲-۳-۸- سازند پسته‌لیق (Ps)

نام مزبور از پسته زارهای واقع در تاقدیس چهچه گرفته شده است. مقطع تیپ در جنوب روستای شور لق در فاصله ۱۲۳ کیلومتری مشهد به ضخامت ۲۸۰ متر اندازه‌گیری شده است و به‌طور عمده از شیل‌های سرخ و قهوه‌ای و کلیستون، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و در برخی نقاط به‌طور فرعی واجد سنگ‌های تبخیری است. این سازند فاقد فسیل بوده و با توجه به موقعیت چینه‌شناسی به پالئوسن نسبت داده شده است. (آقانباتی ۱۳۸۳)

این آهک‌ها در شرق چهچه و شمال و شرق‌المتو برون‌زد دارند و یکی از عوامل ایجادکننده ارتفاع اصلی منطقه هستند (شکل ۲-۶ الف).

### ۲-۳-۹- سازند چهل کمان (Ck)

نام مزبور از روستای چهل کمان در شرق کپه‌داغ گرفته شده است. رسوبات جنوب چهل کمان به‌طور عمده سنگ‌های آهکی تشکیل می‌دهد که به‌طور فرعی واجد شیل و ماسه‌سنگ و در برخی نقاط گچ نیز دیده شده است. این سازند در ترکمنستان معادل آهک‌های بخارا است. واجد فسیل‌هایی از جنس لافی‌تینا، نومولیت و آسیلینا است و به قدمت ائوسن زیرین است (شکل ۲-۶ ب).



شکل ۲-۶- الف). تصاویری از رخنمون سازندهای شیل‌های قرمز پسته‌لیق؛ و ب). سازند آهکی چهل‌کمان همراه با استریوگرام‌های نشان‌دهنده موقعیت آن‌ها.

### ۲-۳-۱۰- سازند خانگیران (Kh)

نام مزبور از آبادی خانگیران واقع در ۳۲ کیلومتری غرب سرخس گرفته شده است. سازند خانگیران به‌طور عمده از شیل‌های به رنگ زیتونی - سبز و آبی - خاکستری که در بخش قاعده‌ای واجد لایه‌های ضخیم از ماسه‌سنگ و لایه‌های متعددی از ماسه‌سنگ‌های آهکی استرادر تشکیل یافته است. با توجه به فسیل‌های فراوان از فرامینیفرها در نقاط مختلف قدمت سازند خانگیران از پالئوسن بالایی تا ائوسن بالایی گزارش شده است.

### ۲-۴- رسوبات عهدحاضر<sup>۱</sup>

الف. پادگان‌ها، دشت‌های آبرفتی: نهشته‌هایی افقی با اتصال سست که عموماً در مسیر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها رؤیت می‌شود. این رسوبات در ضخامت‌های مختلف و در اندازه‌های مختلف به‌صورت تراس‌هایی با سن‌های مختلف در مسیر آبراهه‌ها دیده می‌شوند. وجود آب جاری وزیر زمینی امکان حاصل خیزی را برای این نهشته‌ها فراهم آورده است. زمین‌های زراعی، مراتع فصلی و همچنین جنگل پسته محلی (که وجه‌تسمیه سازند پسته‌لیق است) بر روی این نهشته‌ها قرار دارند (شکل ۲-۷ الف).

ب. آبرفت‌های جوان و رسوبات رودخانه‌ای: رسوبات نهشته شده‌ای که فاقد گردشگی و جورشدگی و سیمان‌شدگی‌اند و اغلب در مناطق پست دیده می‌شوند. به‌طوری‌که حاصل فرسایش مناطق مرتفع

<sup>1</sup> Recent Alluvium



کناری و رسوب‌شده در مناطق پست و آبراهه‌ها و رودخانه‌های فصلی یا دائمی منطقه می‌باشد. این رسوبات جوان‌ترین نهشته‌های منطقه را شامل می‌شوند (شکل ۲-۷ ب).



شکل ۲-۷ الف). پادگانه آبرفتی در شمال خاوری روستای چهچهه. دید به سمت شمال خاوری. ب) آبرفت‌های جوان

در شکل ۲-۸ ستون چینه‌نگاری واحدهای سنگی رخنمون یافته و درگیر در چین‌خوردگی چهچهه به صورت بدون مقیاس ترسیم گشته است. این ستون بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و مشاهدات صحرائی نگارنده تهیه شده است.

Erathem	System	Seri	Stage	Formation	Lithology	Description		
<b>Cenozoic</b>	Quaternary					Recent Alluvium		
	Eocene			Khangiran		Green shale and blue sandstone		
				Chehel-Kaman		Light buff limestone, subordinate marl		
	Paleocene			Pesteh leigh		Red-brown shale, subordinate gypsum		
<b>Mesozoic</b>	Cretaceous	Upper	Maestrichian	Kalat		Limestone and Sandy Limestone		
				Neyzar		Green Glauconitic sandstone		
				Abtalkh		Gray marl and shale		
				Cenomanian	Turonian	Abderaz		Gray chalky limestone and Gray marl
						Aitamir		Green glauconitic sandstone, Dark Glauconitic shale
		Lower	Albian		Sanganeh		Dark Grey Shale	
				Aptian	Sarcheshmeh		Grey marl. Dark Grey Shale	

شکل ۲-۸- ستون چینهننگاری واحدهای چینهای منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)







فصل سوم

تقدیس چہم

به خمیدگی‌هایی که در پوسته زمین، از دگرریختی نرم یا ترد سطح‌های مستوی سنگ‌ها پدید می‌آیند، چین یا چین خوردگی گفته می‌شود. چین‌ها به‌طور معمول به‌صورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌هایی در کنار هم دیده می‌شوند و می‌توان آن‌ها را موج منجمد دانست (قاسمی، ۱۳۸۷).

### ۱-۳- هندسه تاقدیس چهچه

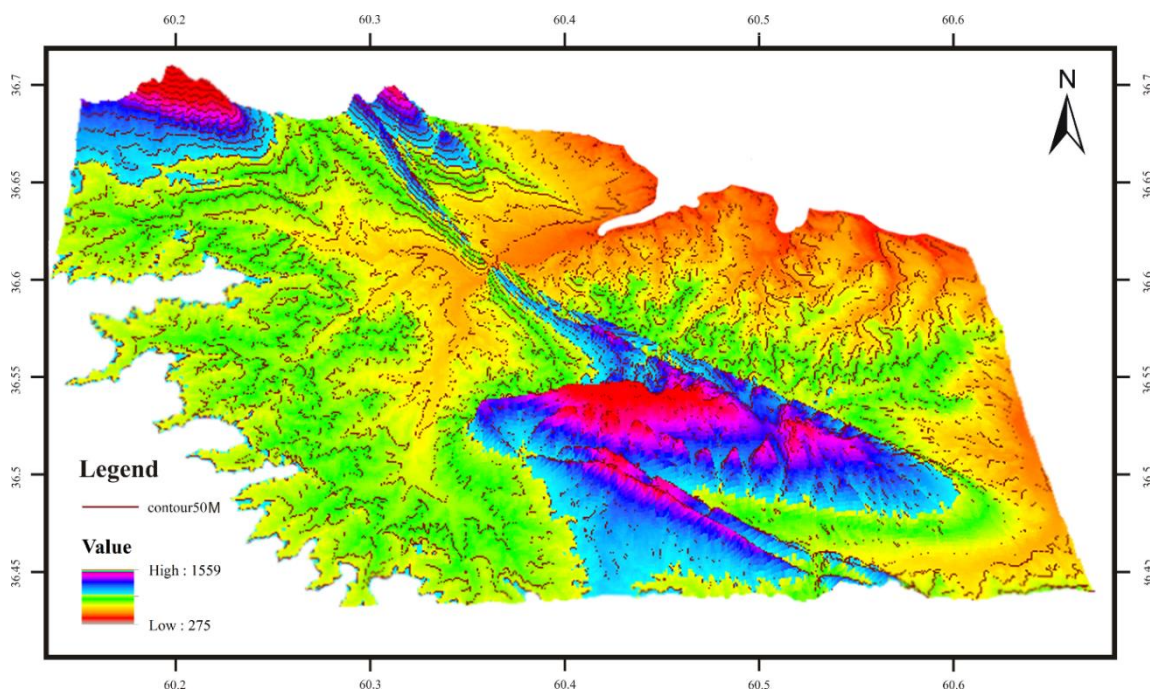
تاقدیس چهچه در شمال خاوری مشهد (جنوب روستای چهچه)، با روند اترمحوری شمال باختری- جنوب خاوری، بخشی از نوار چین خورده کپه‌داغ است. بر اساس نقشه‌های موجود و مشاهدات میدانی نگارنده، در این تاقدیس، سازندهای سنگانه، آیتامیر، آب‌دراز، نیزار، کلات به سن کرتاسه و سازندهای پسته‌لیق و چهل‌کمان (پالئوسن) و خانگیران (ائوسن)، تحت تأثیر چین خوردگی قرار گرفته‌اند. این تاقدیس با طول ۳۰ کیلومتر از جنوب تاقدیس اشلر تا جنوب تاقدیس خانگیران رخنمون دارد. سازند کلات با سنگ‌شناسی آهکی سیمای صخره ساز منطقه و سازندهایی از جنس شیل، نظیر سرچشمه، مناطق پست و دشت‌ها را تشکیل می‌دهند. در لایه‌ها برگشتگی مشاهده نشد و میانگین یال شمالی ۳۰ درجه و یال جنوبی ۲۵ درجه به‌دست آمد. بر اساس برداشت‌های صحرائی این تاقدیس یک چین استوانه‌ای دارای منطقه لولایی و میل ناچیز ۴ درجه به سمت جنوب‌خاوری و شمال‌باختری و از نظر تقارن یک تاقدیس نامتقارن می‌باشد. در ادامه به تفصیل به روند دستیابی به این مشخصات می‌پردازیم.

### ۲-۳- مدل ارتفاعی

شکل (۱-۳) مورفولوژی و مدل ارتفاعی تاقدیس چهچه را نشان می‌دهد. این شکل که از تصاویر DEM و با استفاده از نرم‌افزار GIS<sup>۱</sup> تهیه گردیده است، تاقدیس چهچه را در نگاهی سه‌بعدی ارائه می‌کند. مرتفع‌ترین قسمت چین خوردگی مربوط به سازند کلات با ارتفاع ۱۵۵۹ متر می‌باشد که نسبت به مناطق دشت اطراف اختلاف ارتفاع ناگهانی در حدود ۶۰۰ متر ایجاد می‌کند.

---

<sup>1</sup> ARCScene



شکل ۳-۱- مدل ارتفاعی از چین موردنظر با استفاده از تصاویر DEM 30 نمایش داده شده با نرم افزار GIS(ArcScene).

### ۳-۳- توصیف هندسی تاقدیس چهچه

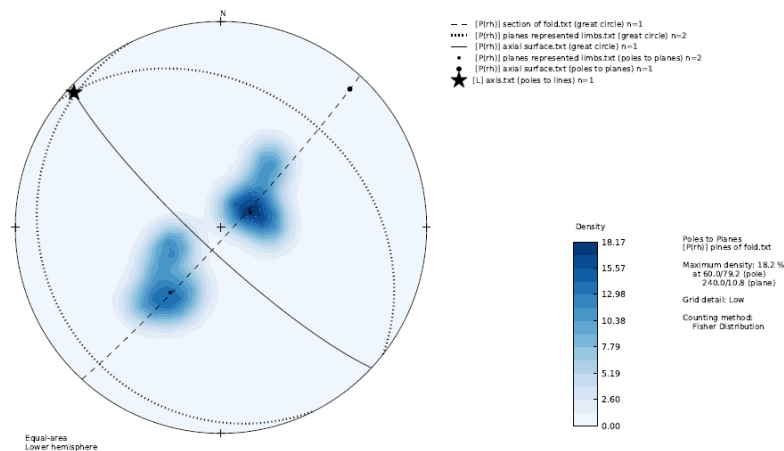
به منظور شناسایی و دست یابی به هندسه ساختاری این تاقدیس، شش پیمایش عمود بر اتمحوری تاقدیس انجام شد. برداشت های لایه بندی با فرمت Strike-Dip در نقاط مختلف این تاقدیس انجام شد. اعداد مربوط به برداشت ها در پیوست ضمیمه گردیده است. تمامی اعداد با توجه به قانون دست راست (Right hand rule) بیان شده است. در نهایت نیز به منظور تعیین مشخصات هندسی تاقدیس (محور و سطح محوری)، با استفاده از کنتورهای فراوانی قطب لایه بندی، مختصات محور، سطح محوری و زاویه بین یالی تاقدیس، از نرم افزارهای موجود نظیر Georient، Stereonet و Open Stereo ... استفاده شد.

ویژگی های سطحی هر پیمایش در زیر آورده شده است:

### ۳-۳-۵- پیمایش A - A'

این پیمایش حدود ۱۰٫۲ کیلومتر طول دارد که مختصات ابتدای پیمایش (۴۲° ۱۶' و ۶۰° ۵۳' ۴۰" و ۳۶°) و انتهای این پیمایش (۲۴° ۱۲' و ۶۰° ۵۰' ۳۶") می باشد. راه دسترسی به ابتدای پیمایش، شامل جاده خاکی متصل کننده روستای چهچه به سنگانه به طول حدوداً ۶ کیلومتر و راه های فرعی

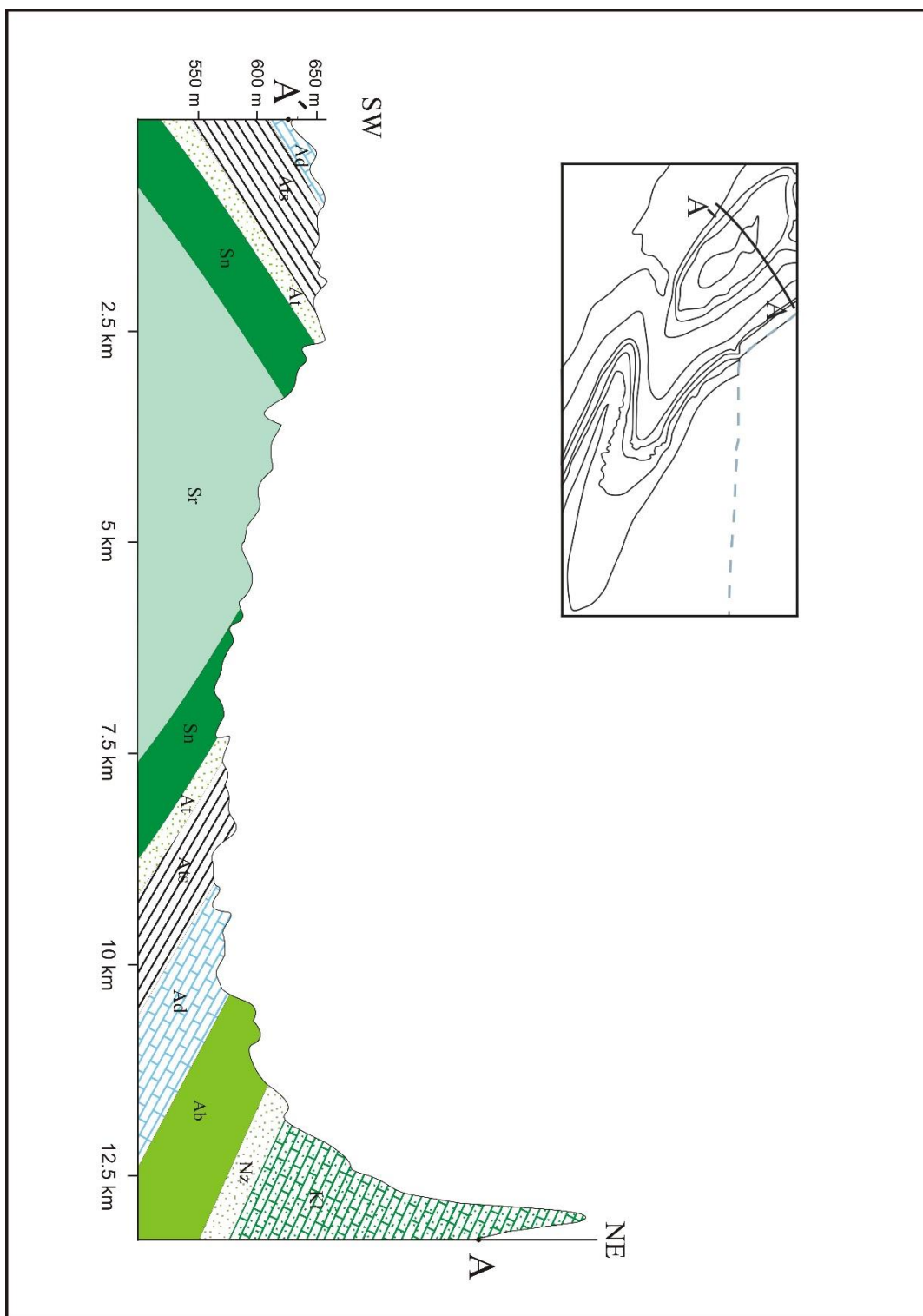
می‌باشد. این پیمایش، با آزمون تقریبی ۲۲۰ شامل سازندهای آبدراز، آبتلخ، آیتامیر، سرچشمه و سنگانه است که برداشتهای صورت گرفته از همه سازندهای برونزدیافته صورت گرفت. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N53W, 33NE و یال جنوبی S32E, 13SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی در یال‌های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده‌سازی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۲). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۰۳/۳۱۲ و موقعیت سطح محوری S47E, 81SW اندازه‌گیری شد (جدول ۳-۱). (معرفی مقادیر به صورت امتداد و شیب می‌باشد).



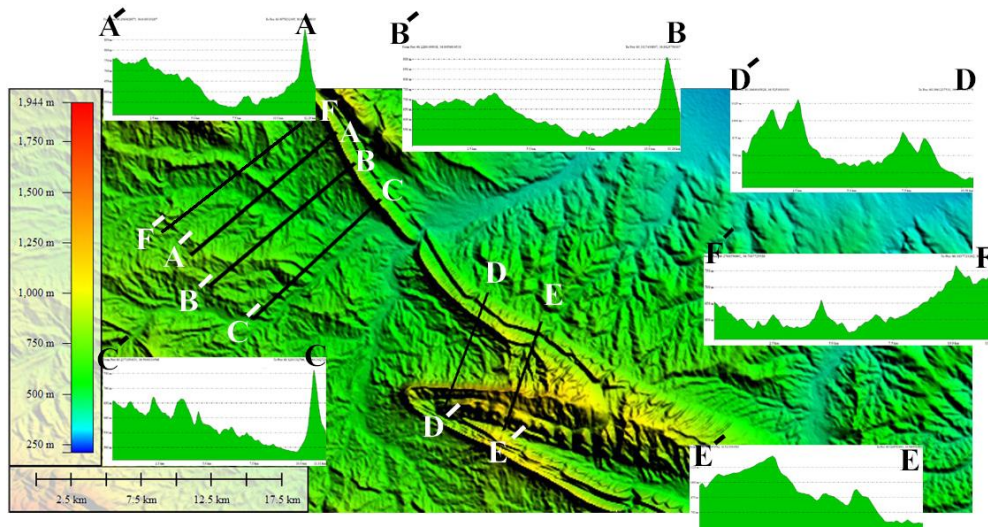
شکل ۳-۲ - استریوگرام تهیه‌شده برای پیمایش  $A - A'$  که از پیاده کردن قطب صفحات لایه‌بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۱ - خصوصیات هندسی پیمایش  $A - A'$

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
$A - A'$	307/ 33N	158/ 13S	133/ 81S	03/312	135°



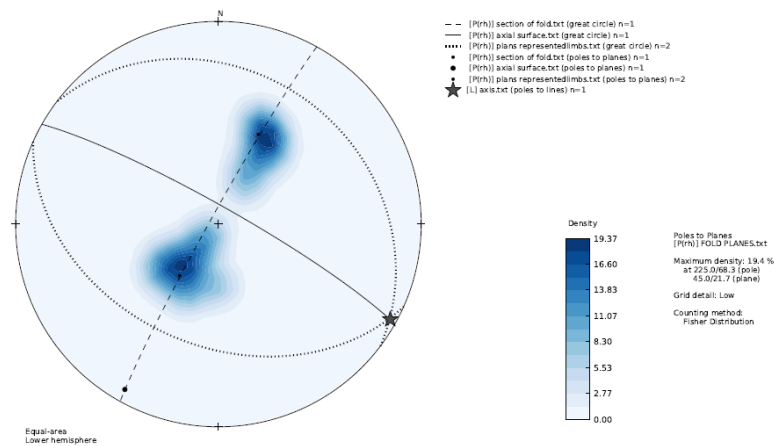
شکل ۳-۳- نیمرخ زمین شناسی مربوط به پیمایش A - A'



شکل ۳-۴- تصویر SRTM تهیه شده منطقه مورد مطالعه در نرم افزار Global mapper و برش های عرضی مربوط به هر پیمایش.

### ۳-۳-۴- پیمایش B - B'

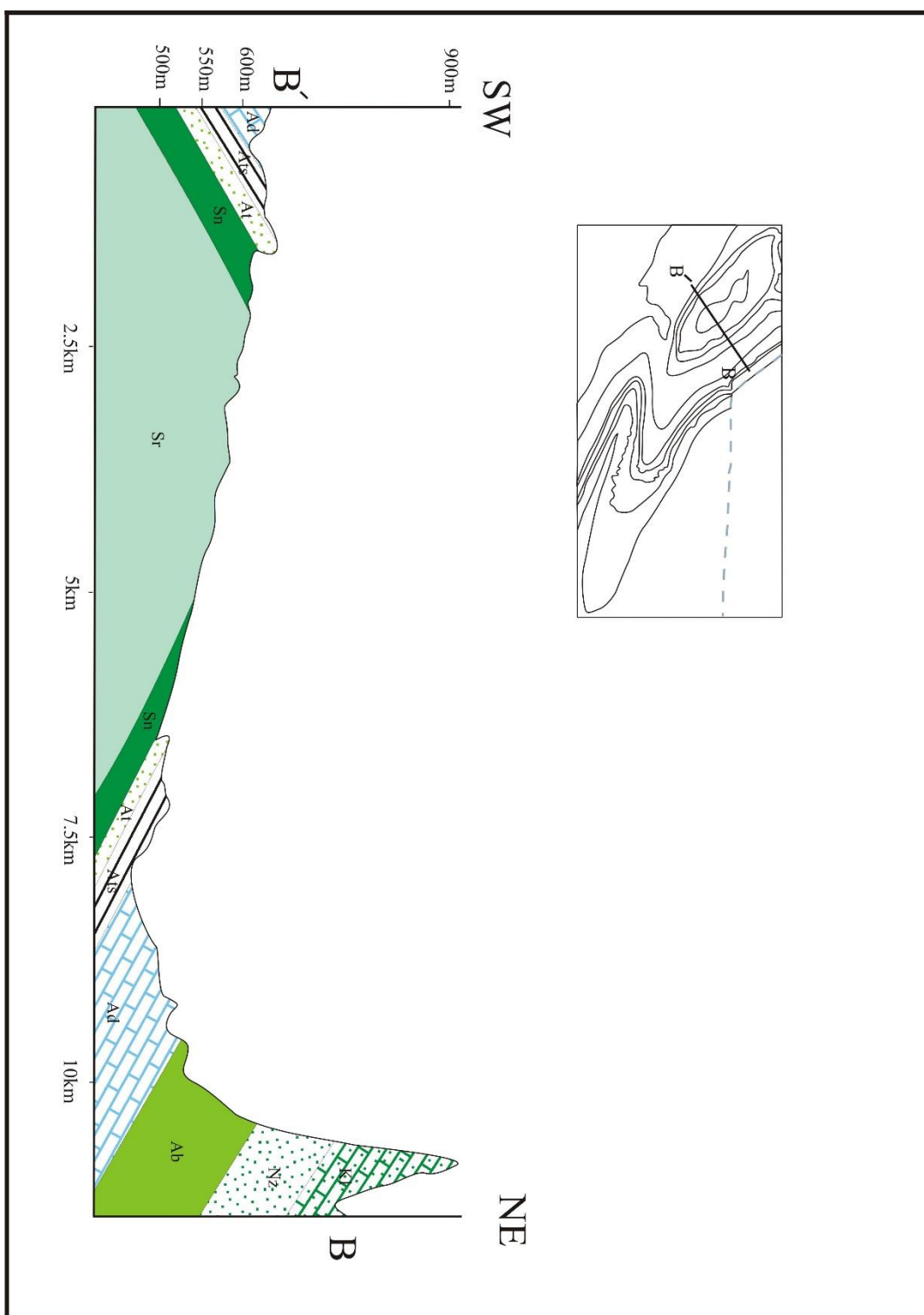
این پیمایش حدود ۸٫۲ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدای آن (۳۶° ۳۱' ۳۹" و ۶۰° ۱۷' ۴۷") و انتهای آن (۳۶° ۱۴' ۴۹" و ۶۰° ۱۴' ۴۹") می باشد. راه دسترسی به ابتدای پیمایش، شامل جاده خاکی متصل کننده روستای چهچهه به سنگانه به طول حدوداً ۳٫۶ کیلومتر و راه های فرعی می باشد. این پیمایش، با آزمون تقریبی ۲۲۲ شامل سازندهای آبدراز، آبتلخ، آیتامیر، سرچشمه و سنگانه است. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N53W, 26NE و یال جنوبی S66E, 40SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۵). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۰۴/۱۱۹ و موقعیت سطح محوری N60W, 83NE اندازه گیری شد (جدول ۳-۲). (معرفی مقادیر به صورت امتداد و شیب می باشد).



شکل ۳-۵- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش B - B' که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۲- خصوصیات هندسی پیمایش B - B'

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
B - B'	307/ 26N	114/ 40S	300/ 83N	04/119	115°

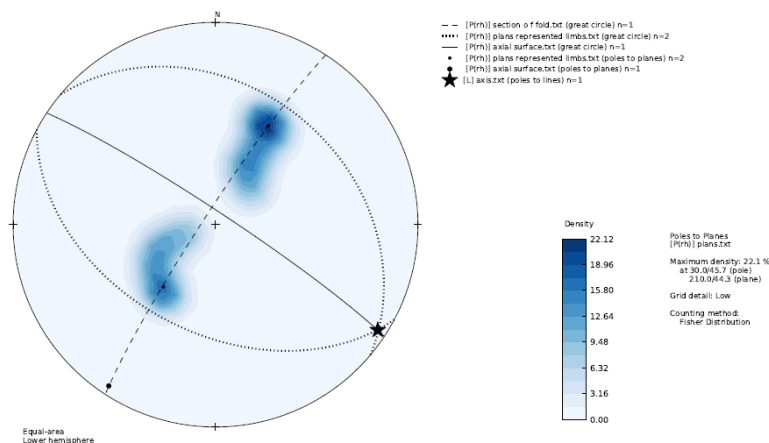


شکل ۳-۶- نیمرخ زمین شناسی مربوط به پیمایش B - B'



### ۳-۳-۳- پیمایش C - C'

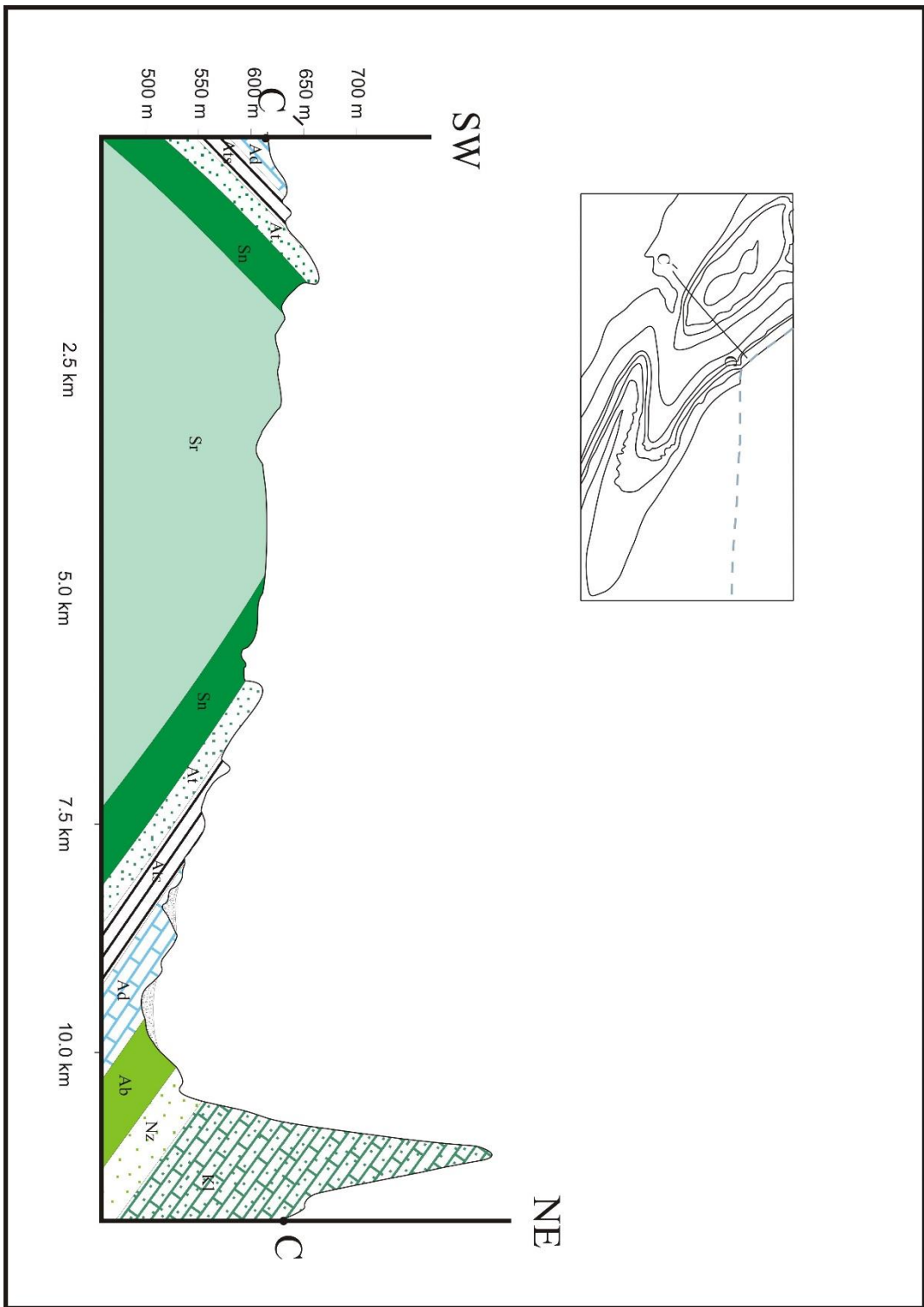
این پیمایش حدود ۸,۵ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدای آن (۱۷ ۱۸ ۶۰° و ۵۰ ۳۵ ۳۶°) و انتهای آن (۱۰ ۱۵ ۶۰° و ۳۵ ۳۱ ۳۶°) می باشد. راه دسترسی به ابتدای پیمایش، شامل جاده خاکی متصل کننده روستای چهچه به سنگانه به طول حدوداً ۲ کیلومتر و راههای فرعی می باشد. این پیمایش، با آزمون تقریبی ۲۲۲ شامل سازندهای آبدراز، آبتلخ، آیتامیر، سرچشمه و سنگانه است. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N50W, 33NE و یال جنوبی S62E, 46SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۷). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۰۵/۱۲۳ و موقعیت سطح محوری N57W, 85NE برآورد شد (جدول ۳-۳). (معرفی مقادیر به صورت امتداد و شیب می باشد).



شکل ۳-۷- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش C - C' که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۳- خصوصیات هندسی پیمایش C - C'

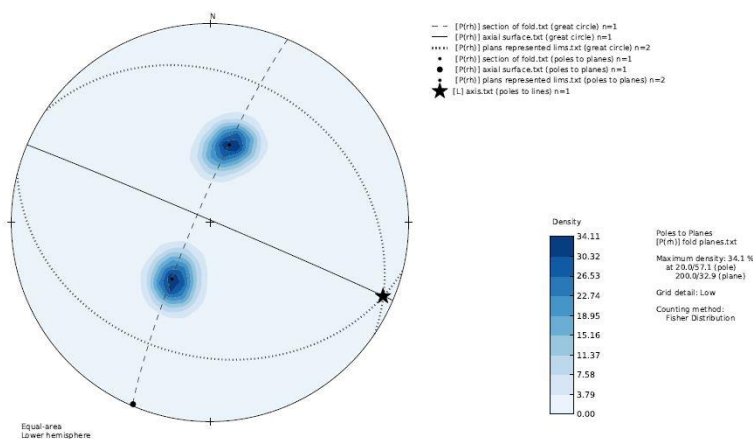
پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
C - C'	310/ 33N	118/ 46S	303/ 85S	05/123	102°



شکل ۳-۸- نیم‌رخ زمین‌شناسی مربوط به پیمایش C - C'.

### ۳-۲-۳- پیمایش D - D'

این پیمایش حدود ۸,۲ کیلومتر طول دارد که مختصات ابتدای آن (۴ ۲۳ ۶۰ و ۴۰ ۳۶ ۳۶) و انتهای آن (۵۱ ۲۱ ۶۰ و ۲۲ ۳۲ ۳۶) می باشد. راه دسترسی به ابتدای پیمایش شامل ۱۵ کیلومتر مسیر خاکی و عبور از ترانشه ای که به همین جهت حفر گردیده است می شود. به دلیل توپوگرافی شدید و بسیار خشن در این مسیر، ما طی دو مرحله، از ابتدا و از انتها اقدام به پیمایش نمودیم. حضور سازند کلات که به واسطه لیتولوژی صخره سازی که دارد عاملی منفی در پیشبرد اهداف برداشت بود. این پیمایش شامل سازندهای چهل کمان، پسته لیق، کلات، نیزار و آبتلخ است. این پیمایش، با آزیموت تقریبی ۱۹۵ ارتفاعات اصلی تاقدیس را شامل می شود. در این پیمایش نیز به دلیل توپوگرافی خشن، داده های کاملی برداشت نشد. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N56W, 28NE و یال جنوبی S76E, 33SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۹). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۱۱۳/۰۶ و موقعیت سطح محوری N67W, 89NE اندازه گیری شد (جدول ۳-۴).



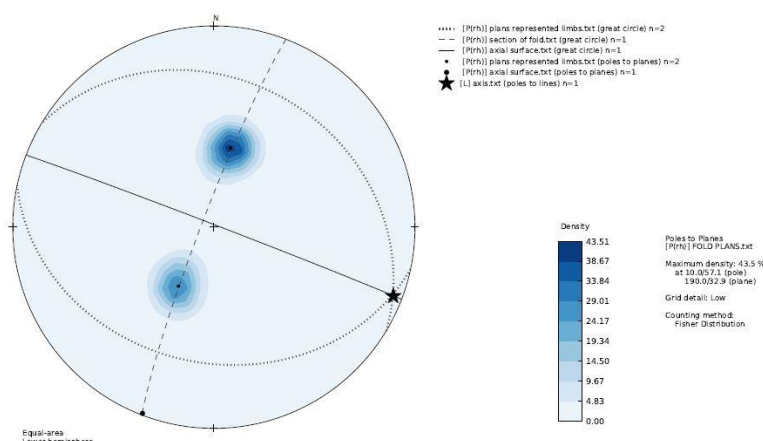
شکل ۳-۹- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش D - D' که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۴- خصوصیات هندسی پیمایش D - D'

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
D - D'	304/ 28N	104/ 33S	293/ 89S	06/113	119°

### ۳-۳-۱- پیمایش E - E'

این پیمایش حدود ۷ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدای آن (۴۵° ۲۵' ۶۰" و ۳۶° ۳۵' ۲") و انتهای آن (۴۳° ۲۴' ۵۳" و ۳۶° ۳۱' ۳۵") می باشد. راه دسترسی به ابتدای این پیمایش در ۱۵ کیلومتری جاده چهلچهره- المتو می باشد. در این پیمایش سازندهای چهل کمان، پسته لیق، و کلات رخنمون سطحی از خود نشان می دهند. مدل ارتفاعی این برش نشان دهنده توپوگرافی خشن و مرتفع منطقه است. این پیمایش، با آزیموت تقریبی ۲۱۵ ارتفاعات اصلی تاقدیس را شامل می شود. در این پیمایش به دلیل شرایط نامساعد توپوگرافی امکان برداشت در هر دو یال مختصر بود. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N58W, 29NE و یال جنوبی S79E, 34SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۱۰). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۰۵/۱۱۱ و موقعیت سطح محوری N69W, 89NE اندازه گیری شد (جدول ۳-۵). (معرفی مقادیر به صورت امتداد- شیب و میل- جهت میل می باشد).



شکل ۳-۱۰- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش E - E' که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۵- خصوصیات هندسی پیمایش E - E'

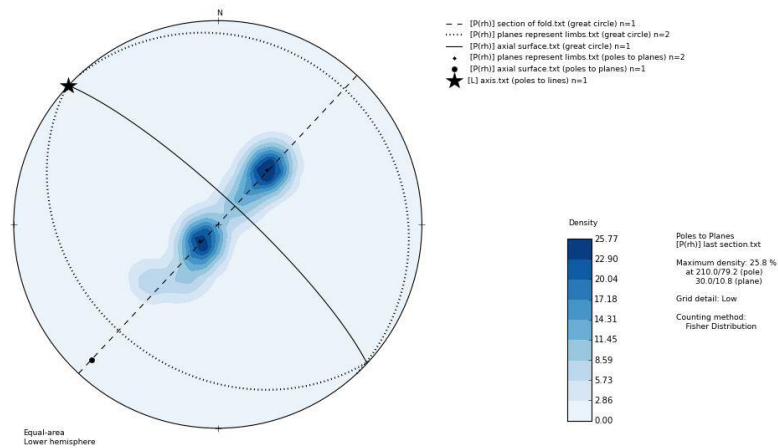
پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
E - E'	302/ 29N	101/ 34S	291/ 89N	05/111	119°

### ۳-۴- تاقدیس سنگانه

این چین خوردگی در قسمت شمال باختری تاقدیس چهچهه و با یک روند مشابه قرار دارد. ۲ پیمایش در این چین خوردگی که میل ناچیزی (قابل اغماض) به سمت شمال باختری دارد، انجام شد.

### ۳-۴-۱- پیمایش F<sub>1</sub> - F<sub>1</sub>'

این پیمایش حدود ۸ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدای آن (۲۰ ۱۵° ۶۰ و ۲ ۴۱° ۳۶) و انتهای آن (۱۱ ۱۱° ۶۰ و ۰۲ ۳۸° ۳۶) می باشد. راه دسترسی به ابتدای این پیمایش در ۱ کیلومتری جاده فرعی و خاکی سنگانه-چهچهه می باشد. این پیمایش، با آزیموت تقریبی ۲۲۳ سازندهای آبدراز، آیتامیر، و سنگانه را شامل می شود. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس N43W, 10NE و یال جنوبی S48E, 43SW برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۱۱). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش ۳۱۵/۰۰ و موقعیت سطح محوری N45W, 80NE اندازه گیری شد (جدول ۳-۶). (معرفی مقادیر به صورت امتداد- شیب و میل-جهت میل می باشد).



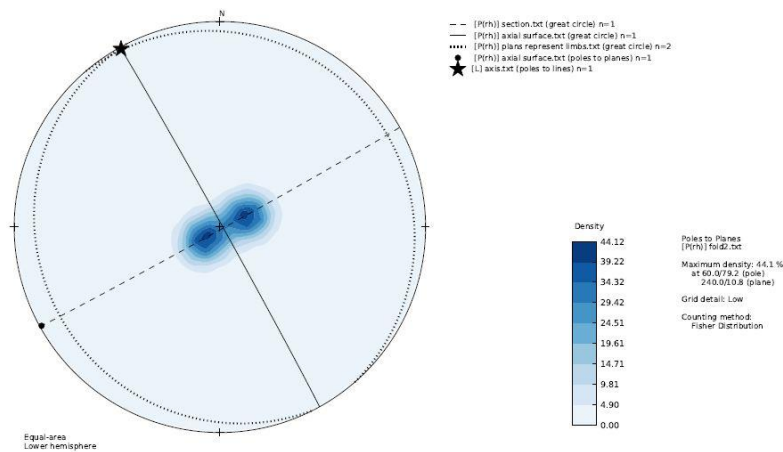
شکل ۳-۱۱- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش  $F_1 - F_1'$  که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

جدول ۳-۶- خصوصیات هندسی پیمایش  $F_1 - F_1'$

پیمایش	میانگین یال شمالی	میانگین یال جنوبی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین دو یال
$F_2 - F_2'$	317/ 10N	132/ 29S	315/ 80N	00/315	141°

### ۳-۴-۲- پیمایش $F_2 - F_2'$

این پیمایش حدود ۳,۵ کیلومتر طول دارد، که مختصات ابتدای آن (۵۵° ۱۴' ۶۰ و ۰۹' ۴۰° ۳۶) و انتهای آن (۵۶° ۱۳' ۶۰ و ۰۳' ۳۹° ۳۶) می باشد. راه دسترسی به ابتدای این پیمایش در ۵ کیلومتری جاده اصلی سنگانه-چهچهه واقع می باشد. این پیمایش، با آزیموت تقریبی ۲۲۳ صورت گرفت. مشخصات میانگین یال شمالی این تاقدیس  $N59W, 10NE$  و یال جنوبی  $S23E, 11SW$  برآورد شد. برای دستیابی به موقعیت محور و سطح محوری در این پیمایش، اطلاعات مربوط به لایه بندی در یال های شمالی و جنوبی بر روی استریوگرام پیاده سازی و اندازه گیری شد (شکل ۳-۱۲). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس در این پیمایش  $۰۴/۳۲۰$  و موقعیت سطح محوری  $N45W, 80NE$  اندازه گیری شد ( معرفی مقادیر به صورت امتداد- شیب و میل-جهت میل می باشد).



شکل ۳-۱۲- استریوگرام تهیه شده برای پیمایش  $F_2 - F_2'$  که از پیاده کردن قطب صفحات لایه بندی در پهلوهای شمالی و جنوبی به دست آمده است.

### ۳-۵- سبک یک سطح چین خورده

هندسه یک سطح چین خورده به وسیله تعیین و معرفی سه جزء توصیف می شود که عبارت اند از: نسبت ظاهری<sup>۱</sup>، فشردگی<sup>۲</sup> و پخشیدگی<sup>۳</sup>. برای دستیابی به این شاخص ها یک چهارضلعی حول چین رسم می شود. به طوری که این چهارضلعی در نقاط عطف بر یال های چین مماس می باشد و پایه این چهارضلعی خط M است که دونقطه عطف چین را به هم متصل می کند (Twiss, R. Moores, E., 2007).

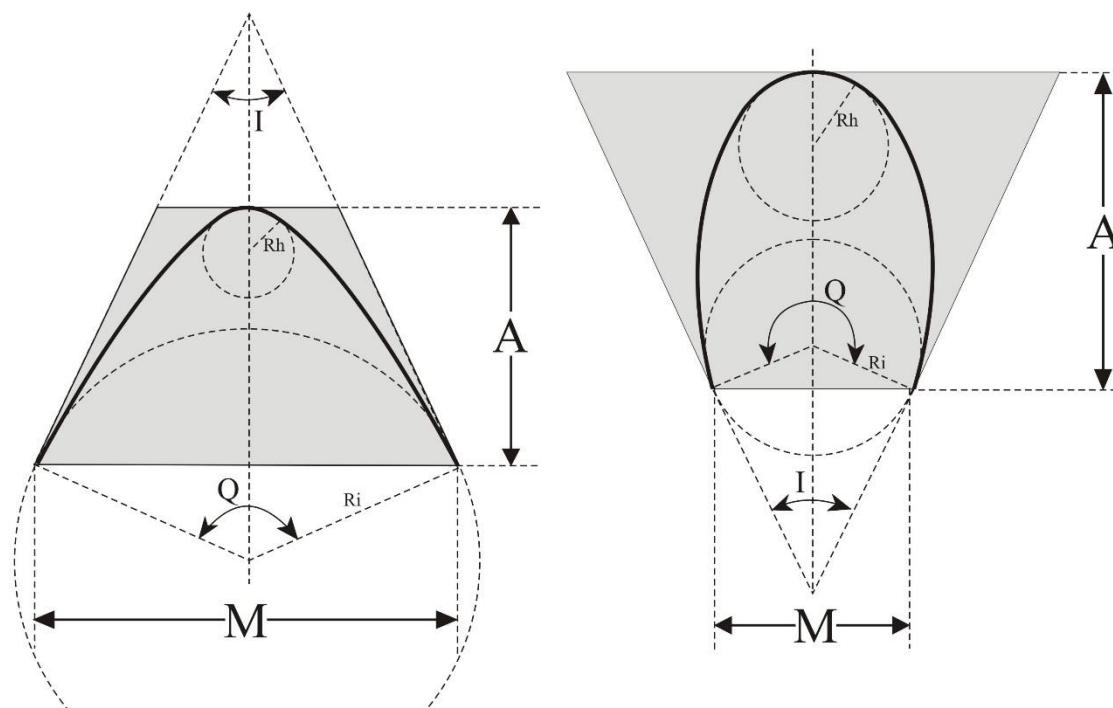
نسبت ظاهری (P) نسبت دامنه چین (A) به فاصله M است. به بیان دیگر نسبت دامنه چین به نصف طول موج چین خواهد بود (شکل ۳-۱۲).

$$P = \frac{A}{M} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

<sup>1</sup> Aspect ratio  
<sup>2</sup> Tightness  
<sup>3</sup> Bluntness

جدول ۳-۷- تقسیم‌بندی مقادیر نسبت ظاهری (نقل از Twiss and Moores., 2007)

Description	Aspect ratio (P)
	$P=A/M$
Wide	$0.1 \leq P < 0.25$
Broad	$0.25 \leq P < 0.63$
Equant	$0.63 \leq P < 1.58$
Short	$1.58 \leq P < 4$
Tall	$4 \leq P < 10$



شکل ۳-۱۲- سبک یک سطح چین‌خورده که به وسیله دوزنقه‌ای که به وسیله مماس‌هایی بر نقاط عطف دویال مشخص می‌شود، تعیین می‌شود. نسبت ظاهری  $P = \frac{A}{M}$  است. مقادیر  $R_h$  و  $R_i$  برای محاسبه پخش‌دگی مشخص است. زاویه چین-خوردگی (Q) و زاویه بین‌یالی (I) نیز تعریف شده است.

بر اساس این شاخص، تاقدیس چهچهه با نسبت ظاهری ۰٫۲۹-۰٫۱۶ در شش پیمایش صورت گرفته، با توجه به رده‌بندی استاندارد (جدول ۳-۷)، در رده عریض تا پهناور تقسیم‌بندی می‌شود.



جدول ۳-۸- مقادیر به دست آمده نسبت ظاهری برای پیمایش‌های مختلف

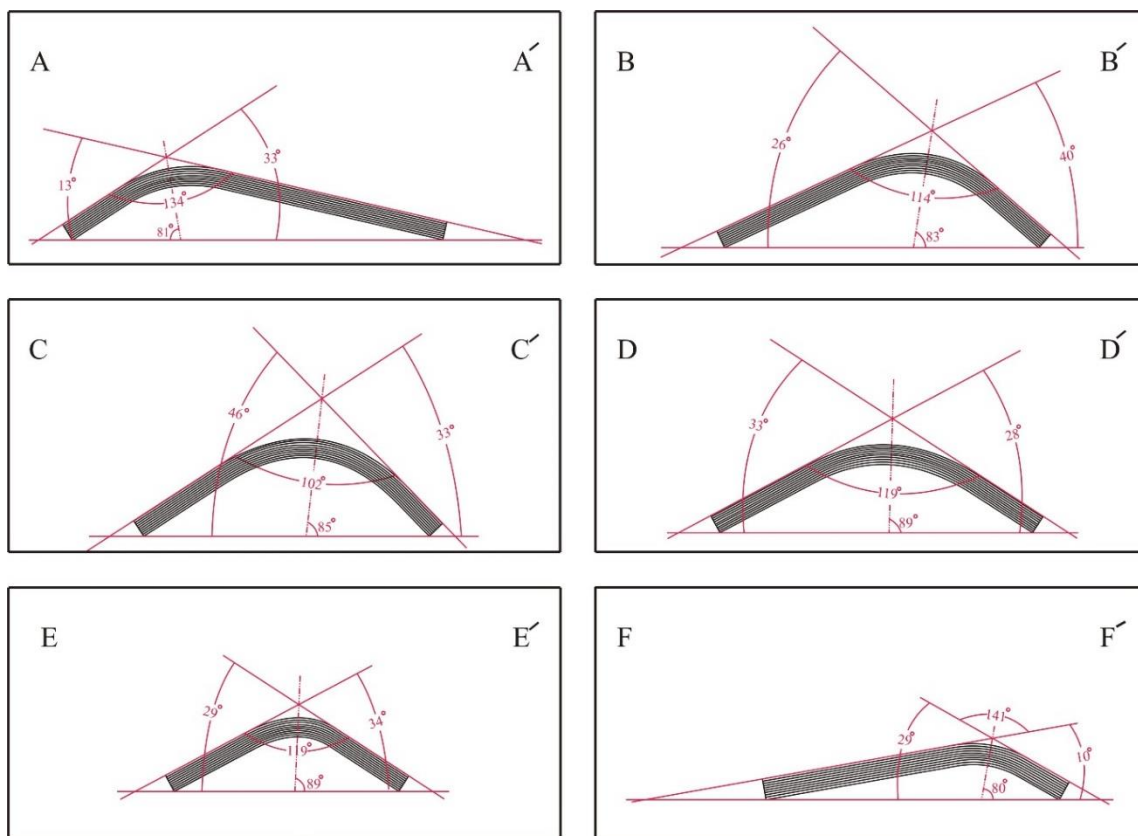
No	Profil	P	Classification
1	A-A'	0.23	Wide
2	B-B'	0.25	Broad
3	C-C'	0.29	Broad
4	D-D'	0.22	Wide
5	E-E'	0.23	Wide
6	F-F'	0.16	Wide

فشردگی چین به وسیله زاویه چین خوردگی (Q) یا زاویه بین یالی (i) تعیین می‌شود (شکل ۳-۱۲). این دو زاویه مکمل یکدیگرند. اگر از هر دونقطه عطف متوالی خطی را مماس کنیم، زاویه تقاطع این دو خط تحت عنوان زاویه بین یال‌ها خوانده می‌شود. و اگر از همین دونقطه خطی عمود کنیم، زاویه تقاطع این دو خط زاویه فشردگی خوانده می‌شود. چین‌ها از این منظر به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که در جدول ۳-۹ آمده است.

جدول ۳-۹- تقسیم‌بندی مقادیر فشردگی و زاویه بین یالی (نقل از Twiss and Moores., 2007)

Description	Q	Tightness
		I
Gentle	$0 \leq Q < 60$	$180 \geq I > 120$
Open	$60 \leq Q < 110$	$120 \geq I > 70$
Close	$110 \leq Q < 150$	$70 \geq I > 30$
Tight	$150 \leq Q < 180$	$30 \geq I > 0$
Isoclinal	$Q = 180$	$I = 0$
Fan	$180 \leq Q < 250$	$0 \geq I > -70$
Involute	$250 \leq Q < 360$	$-70 \geq I > -180$

در شکل ۳-۱۳ زوایای بین یالی برای برش‌های انجام شده ترسیم شده است. در این شکل، شش پیمایش به همراه زوایای هر یال، زاویه بین دویال و شیب سطح محوری نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴- مقادیر زاویه یال‌ها، زاویه بین‌یالی و سطح‌محوری که برای هر پیمایش نشان داده شده است.

بر اساس زاویه بین‌یالی، تاقدیس چهچه در رده باز (Open) تا ملایم (Gentle) قرار می‌گیرد

پخش‌دگی (B) شاخص دیگر پخش‌دگی یا نوک‌دارشدگی یا به توصیفی انحنای نسبی چین در محل بستگی می‌باشد (Ragan.M 2009) که گردش‌دگی یا گوشه‌دار بودن منطقه لولا را نشان می‌دهد. چین‌ها از این منظر به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که در جدول ۳-۱۰ آمده است (Twiss, R. ) (Moore, E. M., 2007).

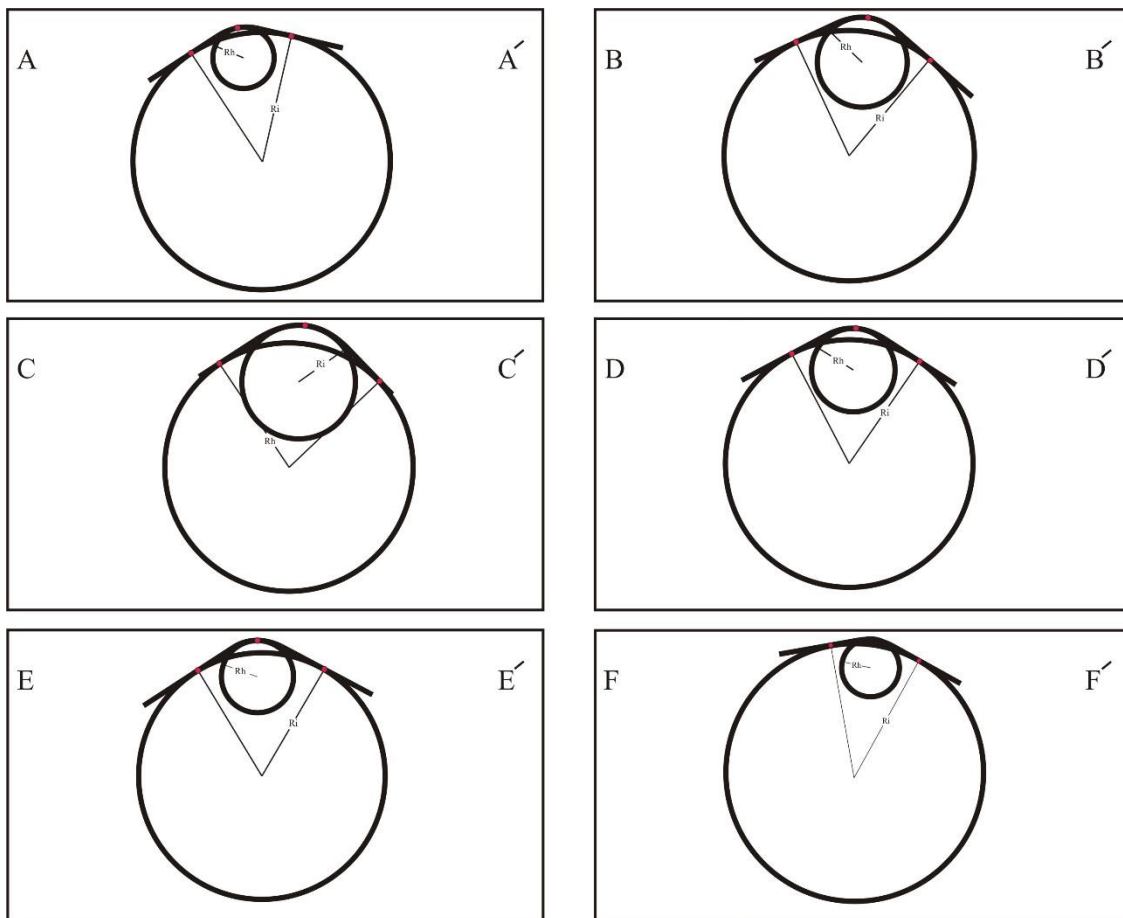
جدول ۳-۱۰- تقسیم‌بندی مقادیر نوک‌دارشدگی (پخش‌دگی) (نقل از Twiss and Moore., 2007)

Description	Bluntness (B)
	Ri/Rh
Sharp	$0 \leq B < 0.1$
Angular	$0.1 \leq B < 0.2$
Subangular	$0.2 \leq B < 0.4$
Subrounded	$0.4 \leq B < 0.8$
Rounded	$0.8 \leq B < 1$
Blunt	$1 \leq B < 2$

پخش‌دگی صفر چین‌هایی را توصیف می‌کند که دارای لولای کاملاً تیز هستند و پخش‌دگی ۲ چین‌های دارای دولولا را نشان می‌دهد که دارای بستگی تخت هستند. مقادیر ۱ نیز چین‌های گرد و دایره‌ای را نشان می‌دهد که تنها شامل یک کمان دایره‌ای هستند و می‌توانند به صورت حاده یا منفرجه باشند. بنابراین کلیه چین‌ها بایستی دارای پخش‌دگی بین صفر و ۲ باشند که از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$B = \begin{cases} 2 - R_h/R_i & R_h \geq R_i \\ R_h/R_i & R_h < R_i \end{cases} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

جایی که  $R_h$  شعاع خمیدگی بستگی چین و  $R_i$  شعاع دایره مماس بر نقاط عطف یال‌های چین هستند (۳-۱۳). از آنجا که  $R_h$  کوچک‌تر از  $R_i$  است، لذا از رابطه دوم برای پخش‌دگی استفاده می‌کنیم (شکل ۳-۱۵ و جدول ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۵- آرایش و نسبت دواير  $R_i$  و  $R_h$  به منظور محاسبه نوک‌دارشدگی برای هر پیمایش.

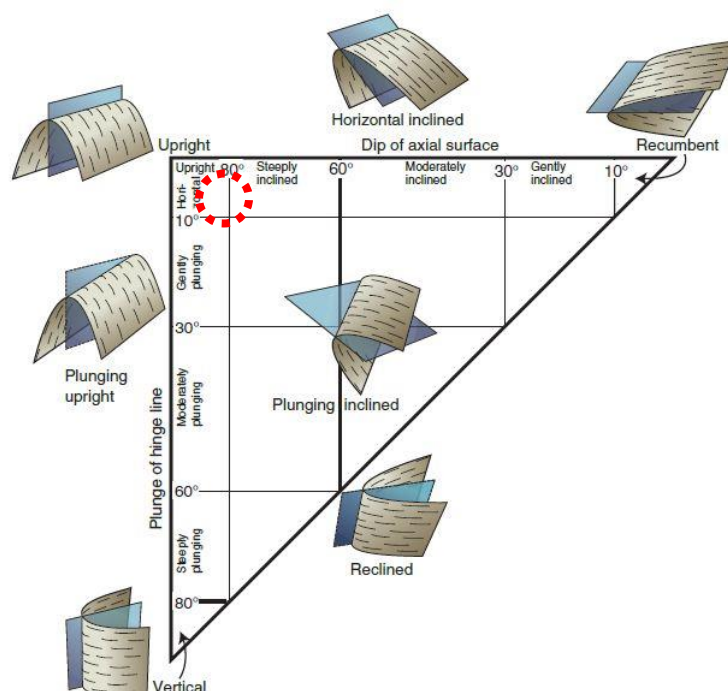
بر این اساس برای نیمرخ‌های تشریح شده مقادیر پخش‌دگی محاسبه گردید. به‌طور کلی می‌توان این تاقدیس را چینی نیمه زاویه‌دار تا نیمه‌گرد دانست.

جدول ۳-۱۱- مقادیر به‌دست‌آمده از نوک‌دارشدگی برای پیمایش‌ها

No	Profil	Rh	Ri	B	Ragan.classification
1	A-A'	1.368	5.742	0.23	Subangular
2	B-B'	2.012	5.56	0.36	Subangular
3	C-C'	2.015	5.5	0.45	Subrounded
4	D-D'	1.34	5.48	0.24	Subangular
5	E-E'	1.62	5.47	0.29	Subangular
6	F-F'	1.53	7.067	0.21	Subangular

### ۳-۶- رده‌بندی فلوتی<sup>۱</sup>

این رده‌بندی بر پایه وضعیت صفحه‌محوری و خط لولای آن قرار می‌گیرند. بر این اساس، تاقدیس چهچه در این طبقه‌بندی در رده ایستاده افقی<sup>۲</sup> قرار می‌گیرد.



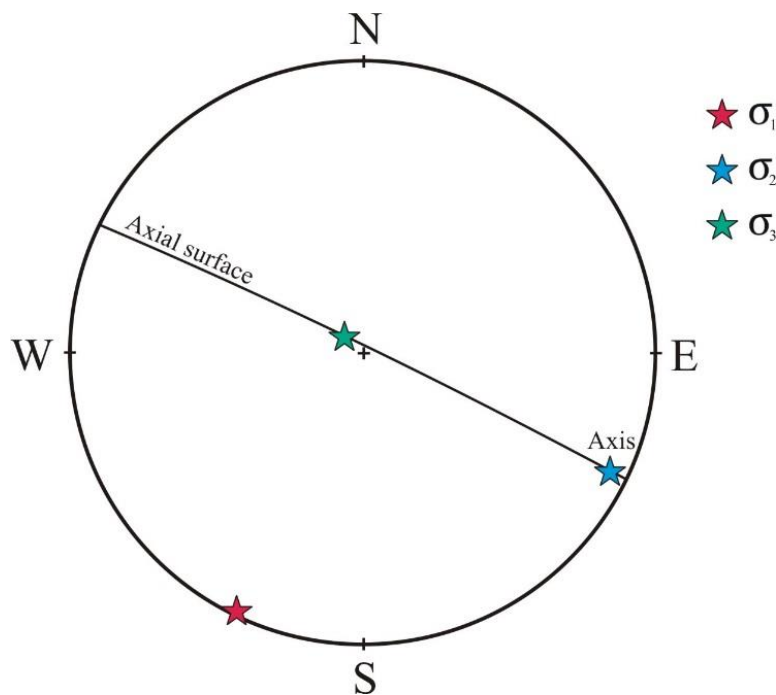
شکل ۳-۱۶- طبقه‌بندی فلوتی برای چین‌ها بر اساس شیب سطح‌محوری و میل لولا (Fleuty, 1964).

<sup>1</sup> Fleuty, 1964

<sup>2</sup> upright Horizontal

### ۷-۳- دینامیک چین خوردگی

چین خوردگی و کوتاه شدگی از اولین پیامدهای تنش فشارشی است. پیامدی که آثار آن در راستایی عمود بر سمت‌وسوی تنش بیشینه‌ی حاکم، نمود پیدا می‌کند. درست آنچه در ایالت کپه‌داغ دیده می‌شود، تنشی با جهت‌گیری شمال، شمال خاور - جنوب، جنوب باختر مسبب شکل‌گیری آن شده است. با توجه به هندسه‌ی تاقدیس چهچه، می‌توان در حالت کلی راستای تنش حاکم را عمود بر سطح‌محوری این چین در نظر گرفت و متعاقباً تنش‌های کمینه و میانه را با توجه به آن مخص نمود. با توجه به اندازه‌گیری‌هایی که در شش پیمایش که عمود بر اثر سطح‌محوری انجام شد، روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری برای سطح‌محوری این تاقدیس به دست آمد. در نتیجه، تنش افقی بیشینه‌ای که بر این تاقدیس اعمال شده است دارای راستای شمال خاوری - جنوب باختری می‌باشد. بدین منظور تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده راستای غالب سطح‌محوری تاقدیس چهچه ترسیم شد. در این تصویر سعی شد با توجه به عناصر تاقدیس چهچه جهت‌گیری تنش‌های اصلی حاکم بر این تاقدیس تعیین گردد (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷- تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده روند کلی سطح‌محوری، محور و تنش‌های حاکم بر تاقدیس چهچه. ستاره‌های قرمز رنگ آبی‌رنگ و سبز رنگ، به ترتیب تنش‌های بیشینه، میانی و کمینه را نشان می‌دهند.

همان‌طور که در شکل ۳-۱۷ دیده می‌شود، راستای تنش بیشینه افقی حاکم بر این تاقدیس، طبق انتظار از آنچه در مقیاس بزرگ‌تر (ایالت کپه‌داغ) وجود دارد، تبعیت می‌کند. این راستا که عمود بر سطح‌محوری تاقدیس است، به تقریب راستای  $N207 \pm 5E$  را نشان می‌دهد. با توجه به جهت‌گیری تنش بیشینه تنشهای کمینه و میانه نیز مشخص گردیدند که به ترتیب با ستاره‌های قرمز، آبی و سبز نشان داده‌شده است. در این شکل جهت‌گیری تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  حاکم بر تاقدیس به ترتیب ۰۲/۲۰۶، ۰۷/۱۱۶ و ۸۳/۳۱۱ برآورد شد.

# فصل چهارم

## درزه‌ها

درزه‌ها از مهم‌ترین و معمول‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند، که بر اثر دگرریختی شکنا در توده سنگ‌ها دیده می‌شوند و به‌نوعی در مقایسه با همتای الاستیک خود شاهدی محکم برای اثبات تغییرشکل در پوسته بالایی می‌باشند. این ساختارها در ابعاد مختلف و در جهات مختلفی متأثر از رژیم و میدان تنش حاکم بر منطقه دیده می‌شوند. ارتباط هندسی این ساختارها با ساختمان‌های اصلی زمین‌شناسی مانند چین‌خوردگی و گسل و همچنین تنش مسبب آن‌ها موجب شده است مطالعه و شناخت این ساختارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

درزه‌ها شکستگی‌هایی هستند که غالباً در توده‌ی سنگ مشاهده می‌شوند. صفحاتی هستند که در طول آن‌ها تنش موجود و حاکم موجب از دست دادن انسجام در سنگ می‌شود. صفحاتی که حرکت به‌موازات امتدادشان، در آن‌ها به‌سختی قابل‌مشاهده است.

از لحاظ هیدروژئولوژیکی درزه‌ها از مهم‌ترین ساختارهایی هستند که ذخیره‌سازی و حرکت مایعات و مواد سیال از طریق این ساختارها تسهیل می‌یابد. از طرفی برخی دیگر از شکستگی‌ها از جمله گسل‌ها ممکن است به‌صورت موانعی برای عبور جریان سیالات عمل کنند. ولی به‌طور کلی مسیر عبور سیالات در امتداد درزه‌ها، شکستگی‌ها، پهنه‌های برشی و دیگر ناپیوستگی‌ها می‌باشد.

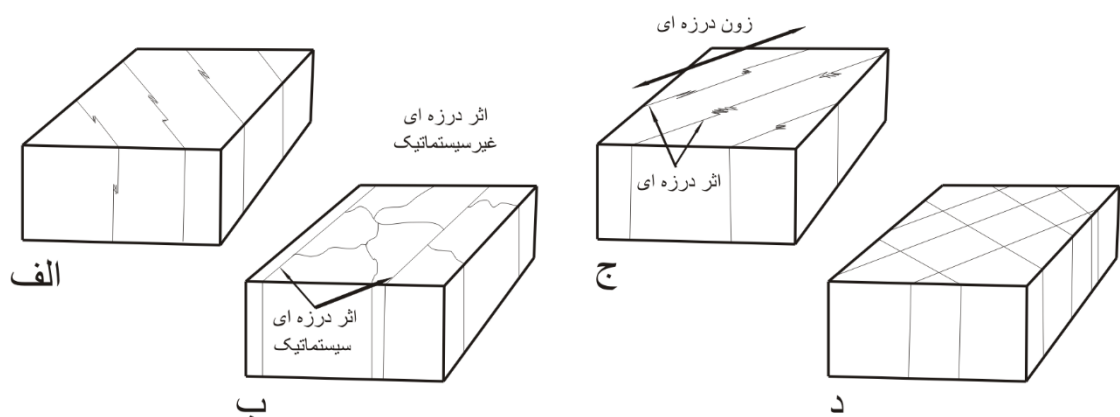
#### ۴-۱- مکانیزم تغییرشکل ترد و شکننده

در تغییرشکل شکنا با افزایش تنش وارد به توده سنگی و عبور از مرز تحمل سنگ، توده دچار شکست در اجزای کوچک خود می‌شود. به‌طوری‌که در خلال این تغییرشکل تنش موجود موجب خردشدن ذرات می‌شود و این ذرات با سازمان‌دهی جدید در مکان جدید مستقر می‌شوند.

#### ۴-۲- انواع شکستگی

در ابتدا، شکستگی ممکن است به دو نوع گسترده مشخص شود: (الف) سیستماتیک، که بنا بر تعریف، صفحاتی صاف و بدون تقعرند و توزیع مرتبی از خود نشان می‌دهند. از مشخصات مهم آن‌ها موازی بودنشان است؛ و (ب) غیرسیستماتیک، که بنا بر تعریف توزیع نامرتب دارند و به‌صورت منحنی‌اند. با دیگر درزه‌ها برخورد دارند، اما از آن‌ها عبور نمی‌کنند (شکل ۴-۱). این درزه‌ها کمتر به‌صورت کششی رؤیت می‌شوند و تحت فرسایش گسترش می‌یابند (Twiss, R. Moores, E. M., 2007).





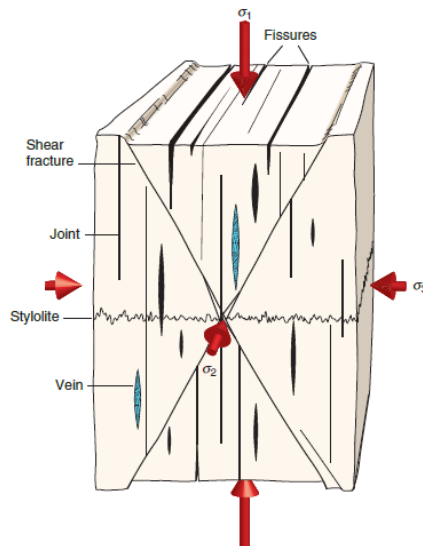
شکل ۴-۱- نمایی از دیگرام‌هایی از مجموعه شکستگی و سیستم درزه‌ای. الف) هندسه یک مجموعه درزه سیستماتیک. ب) الگوی تیپیک از درزه‌های غیرسیستماتیک و ویژگی‌های خاتمه آن در مواجهه درزه‌های سیستماتیک. ج) زون درزه‌ای که منجر به تشکیل درزه‌های نیمه موازی. د) دو مجموعه درزه متقاطع. یک سری درزه سری دیگر را قطع می‌کند و هیچ ویژگی خاصی از خاتمه درزه در آن دیده نمی‌شود.

**طبقه‌بندی هندسی** با توجه به رابطه هندسی با لایه‌بندی / برگوارگی، شکستگی‌های سیستماتیک به انواع مختلفی طبقه‌بندی شده‌اند. درزه‌های امتدادی، آن‌هایی هستند که امتداد آن‌ها به موازات امتداد لایه‌بندی است. درزه‌های شیبی که در آن‌ها جهت امتداد درزه‌ها به موازات جهت شیب لایه‌بندی دربردارنده آن‌ها است. به بیان ساده‌تر می‌توان گفت که امتداد این درزه‌ها بر امتداد لایه‌بندی عمود است. درزه‌های اریب یا درزه‌های مورب که در یک زاویه‌ای بین موازی و عمود با امتداد لایه‌بندی دربردارنده آن‌ها می‌سازند. و در نهایت درزه‌های طبقه‌ای که در آن‌ها سطح درزه، موازی سطح لایه‌بندی سنگ‌ها می‌باشد (Singhal, B & Gupta, R., 2010).

بسته به میزان توسعه آن‌ها، شکستگی ممکن است به دو نوع طبقه‌بندی شود: مرتبه اول و مرتبه دوم. درزه‌های مرتبه اول چندین لایه سنگی را قطع می‌کنند و درجه‌دوها محدود به یک لایه سنگی‌اند. علاوه بر این، بسته به روند امتداد شکستگی با توجه به محور چین‌خوردگی منطقه، شکستگی به‌عنوان طولی (موازی)، عرضی (عمود بر) و یا آن‌هایی که مایل است، تعیین شده‌اند (Singhal, B & Gupta, R., 2010).

### طبقه‌بندی ژنتیکی

از لحاظ ژنتیکی، شکستگی‌های سیستماتیک را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (Fossen, 2010)

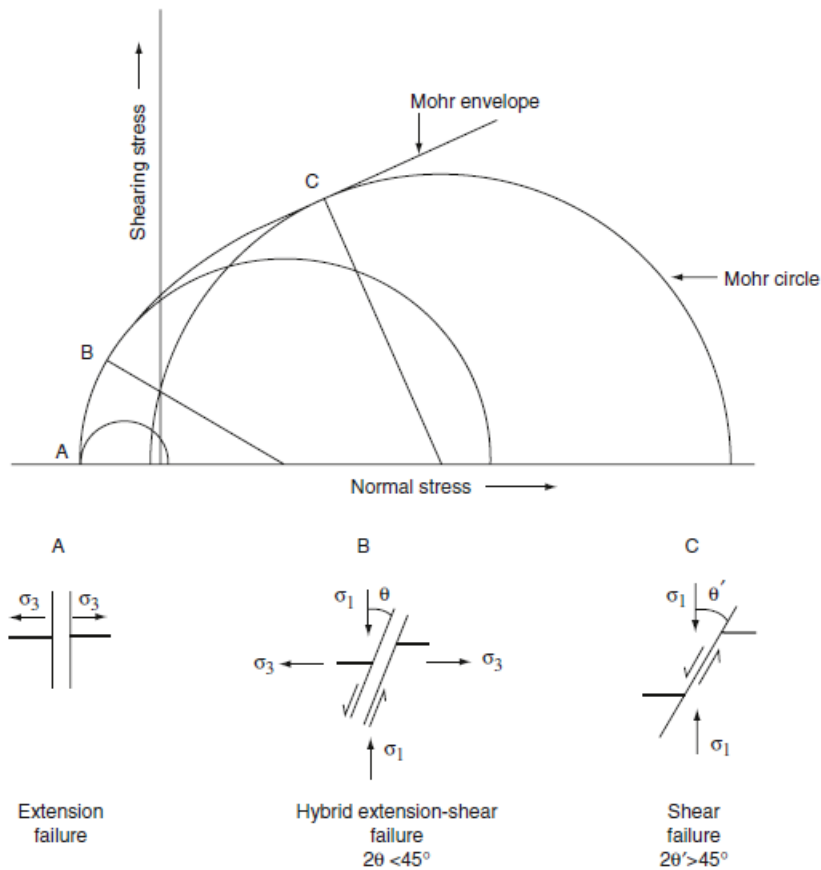


شکل ۴-۲- جهت‌گیری فضایی انواع شکستگی نسبت به تنش‌های اصلی وارده به توده سنگی را نشان می‌دهد (نقل از Fossen.2010).

برشی‌ها شکستگی‌هایی هستند که به واسطه فشاری که به آن وارد می‌شود حرکتی نسبی در راستای سطح شکست را متحمل می‌شوند. این شکستگی‌ها که به صورت متقارن و با زاویه‌ای حاده در حدود ۳۰ درجه نسبت به محور بیشینه تنش  $\delta_1$  دیده می‌شوند، فصل مشترکی منطبق بر تنش میانه  $\delta_2$  حاکم بر توده سنگی دارند.

کششی‌ها شکستگی‌هایی هستند که تنش بیشینه در سطح آن عمل می‌کند و جابجایی در جهتی عمود بر امتداد صفحه‌ی شکست، از خود نشان می‌دهند. فاصله ایجادشده در این نوع درزه‌ها ممکن است توسط کانی‌ها یا مواد مذاب اشغال شود که در این صورت به نوبت، رگه و دایک خوانده می‌شوند (Fossen.2010).

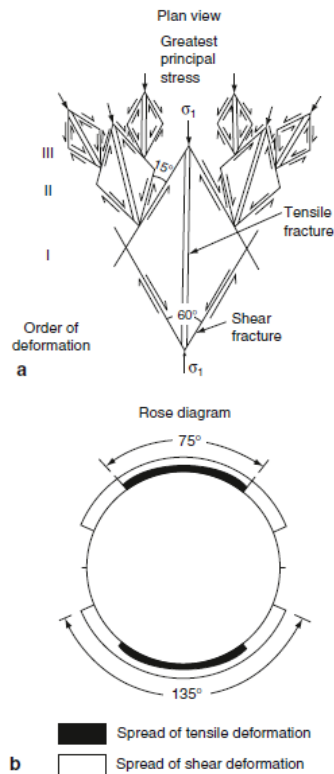
هیبریدها شکستگی‌هایی هستند که به هر دو صورت کششی و برشی رؤیت می‌شوند که ممکن است زاویه دو سطح مزدوج  $2i > 45^\circ$  را هم رعایت کنند (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- انواع شکستگی بر پایه خصوصیات ژنتیکی را نشان می‌دهد. (A) شکستگی کششی. (B) شکستگی هیبریدی. (C) شکستگی برشی. دیاگرام موهر شرایط تنش را برای شکستگی‌ها نشان می‌دهد (نقل از Singhal, B & Gupta, R., 2010).

شکستگی مزدوج برشی، با طبیعت انعطاف‌پذیر، بیشتر در اعماق توسعه می‌یابند و دارای  $2i$  بزرگ (~ ۹۰ درجه) می‌باشند. از سوی دیگر، برشی‌های مزدوج در محیط‌های شکننده در عمق کم توسعه دارند و دارای  $2i$  کوچک‌تر (تا ۶۰ درجه) هستند (Singhal, B & Gupta, R., 2010). در یک توده سنگ دارای سه نسل و سه مرتبه<sup>۱</sup> از تغییرشکل شکننده شکسته شده، شکست کششی ممکن است در یک طیف وسیعی بیش از حدود ۷۵ درجه و شکست برشی بیش از یک محدوده‌ی نزدیک به ۱۳۵ درجه گسترش یابند (شکل ۴-۴). این زوایا به این معنی هستند که هر نسل به‌عنوان شکستگی فرعی نسل قبلی عمل می‌کند و در نهایت بعد از سه نسل شکستگی، طیف زاویه‌ای که شکستگی‌های کششی و برشی در آن قرار می‌گیرند به‌ترتیب تا ۷۵ و ۱۳۵ درجه خواهد بود.

<sup>1</sup> Three orders



شکل ۴-۴ - طرحی از تغییر شکل شکنا در توده سنگ. نمودار گل سرخی جهت گیری شکستگی‌ها در سه نسل و سه رتبه از شکستگی را نشان می‌دهد (نقل از Singhal, B & Gupta, R., 2010).

### ۳-۴ - تفاوت‌های بین شکستگی‌های برشی و کششی

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 تبعیض آن‌ها کمک کند:

۱. درزه‌های برشی ممکن است جابجایی را به موازات صفحه‌ی درزه‌ها نشان دهند، که در مورد درزه‌های کششی وجود ندارد.

۲. درزه‌های برشی معمولاً در مجموعه مزدوج رخ می‌دهند که ممکن است توسط تجزیه و تحلیل آماری نشان داده شود.

<sup>1</sup> Singhal, B & Gupta, R., 2010

۳. در این زمینه، خش لغزها و معیارهای دیگر از حرکت نسبی ممکن است در مورد درزه‌های برشی مشاهده شود.

۴. به‌طور کلی، درزه‌های کششی باز و درزه‌های برشی تنگ یا بدون بازشدگی می‌باشند.

۵. جهت‌گیری درزه‌ها با توجه به لایه‌بندی/برگواره و یا محور چین می‌تواند اطلاعاتی درباره منشأ کششی یا برشی بودن شکستگی ارائه کند، همان‌طور که درزه‌های برشی در مجموعه‌ی مزدوج اریب رخ می‌دهد درحالی‌که درزه‌های کششی به‌عنوان درزه‌های طولی و عرضی، تشکیل یک جفت متعامد را می‌دهد.

۶. همچنین نمودار روند تجمعی شکستگی ممکن است اطلاعاتی در زمینه مربوط به استرس ارائه کند، به این صورت که حداکثر تنش فشارشی اصلی، نیمساز زاویه دوسطحی شکستگی برش مزدوج و به‌موازات صفحه‌ی شکست در شکستگی کششی است.

#### ۴-۴- ارتباط درزه‌ها با پدیده‌های ساختمانی

از لحاظ زایشی و هندسی تشکیل درزه‌ها مرتبط با ساختارهای دیگر است. از این‌رو شناخت و درک هندسه این ساختارها کمک شایانی به کسب اطلاعات تکمیلی در مورد ساختارهای همراه با آن ارائه می‌کند.

#### ۴-۵- گسترش درزه‌ها در ارتباط با چین‌خوردگی:

در بسیاری از حالات، درزه‌های متعددی بر روی لایه‌های چین‌خورده مشاهده می‌شوند. این درزه‌ها در اثر نیروهایی که لایه‌ها را چین داده‌اند، به‌وجود آمده‌اند. ذکر این نکته لازم است که ممکن است درزه‌ها بعد از چین‌خوردگی نیز بر ساختار ناحیه اضافه شوند. پس می‌توان آن‌ها را به‌عنوان درزه‌های بعد از چین‌خوردگی و غیر مرتبط با آن در نظر گرفت.

#### درزه‌های عرضی :

بعضی از درزه‌هایی که بر روی لایه‌های چین‌خورده دیده می‌شوند، بر محور چین عمودند. این درزه‌ها را می‌توان به‌عنوان درزه‌های کششی در نظر گرفت زیرا هنگامی که طبقات، در امتداد عمود بر محور

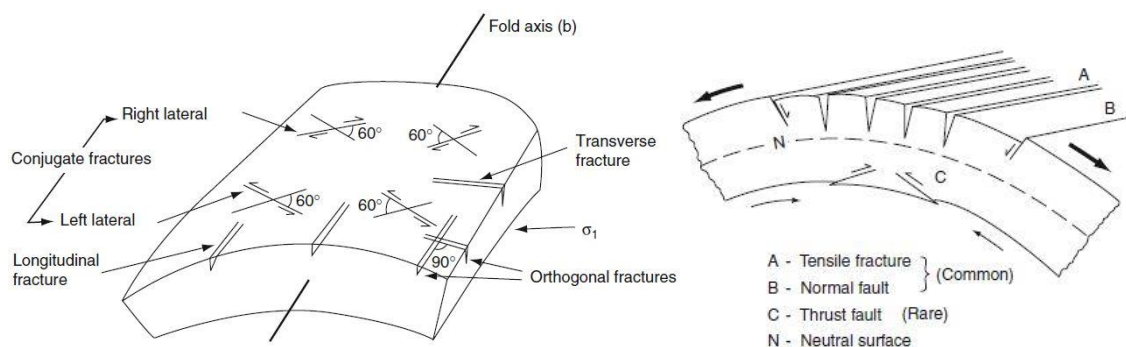
چین، تحت فشارش قرار گرفته و چین‌ها را به وجود می‌آورند، در امتداد محور چین تحت کشش واقع می‌شوند، بنابراین در امتداد عمود بر محور چین، درزه‌هایی به وجود می‌آید. از دیدگاه ارتباط با عناصر هندسی چین نیز می‌تواند اشاره کرد که قطب این درزه‌ها انطباق تقریبی با محور چین خوردگی دارند.

### درزه‌های طولی :

درزه‌های طولی، درزه‌هایی هستند که به موازات سطح محوری چین‌ها به وجود می‌آیند. این درزه‌ها از جنس درزه‌های کششی و از نوع رهایی هستند.

### درزه‌های برشی

معمولاً دودسته درزه که باهم زاویه ۶۰ درجه تشکیل می‌دهند، نیز بر روی لایه‌های چین خورده مشاهده می‌شوند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان گسستگی‌های برشی تعبیر کرد. از دیدگاه ارتباط با عناصر هندسی چین نیز می‌تواند اشاره کرد که نیمساز این درزه‌ها منطبق بر تنش بیشینه مسبب چین خوردگی است و این نیمساز نیز منطبق بر قطب سطح محوری چین خوردگی می‌باشد. در فرآیند چین خوردگی، خم شدن یک‌لایه باعث می‌شود کشش در سمت محدب<sup>۱</sup> و فشرده‌سازی در سمت مقعر<sup>۲</sup> اتفاق افتد. در این صورت، شکستگی کششی و گسل نرمال در بخش محدب، و به میزان کمتر، گسل راندگی نیز در مناطق مرکزی فشرده‌شده، در بخش مقعر توسعه می‌یابد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- رابطه ایده‌آل بین مجموعه شکستگی‌ها و یک لایه چین خورده. به‌طور کلی دو مجموعه شکستگی برشی مزدوج و مجموعه شکستگی کششی متعامد دیده می‌شود. توسعه شکستگی کششی و گسل‌های نرمال در سمت تحدب چین خوردگی و تراست‌ها در قسمت مقعر چین دیده می‌شود (نقل از Singhal, B & Gupta, R., 2010).

<sup>1</sup> Outer arc

<sup>2</sup> Inner arc

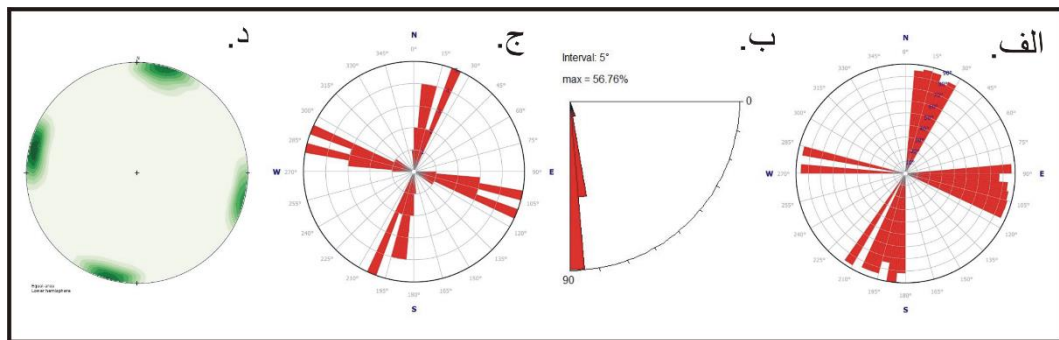
در مسیرهای پیمایشی که در فصل قبل توضیح داده شد، سعی بر این بود که حتی المقدور از برون‌زدهایی که در منطقه مشاهده می‌شد، عمل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به درزه‌ها صورت گیرد. عمده ایستگاه‌های درزه برداری مربوط به سازندهای صخره ساز و دارای برون‌زد مناسب نظیر آیتامیر، کلات، پسته‌لیق صورت گرفت. هرچند در دیگر سازندهای درگیر در چین‌خوردگی نیز که کمابیش امکان درزه برداری وجود داشت، برداشت داده انجام شد. در ذیل به توصیف این شکستگی‌ها که در قالب ایستگاه‌هایی جداگانه دسته‌بندی شده‌اند می‌پردازیم. با توجه به موقعیت کلی تاقدیس چهچه با مختصات سطح‌محوری N64W, 88NE و محور ۰۷/۱۱۶ در وضعیت آرمانی شکستگی‌های کششی (عرضی) با موقعیت S26W, 82NW و برشی‌های مزدوج با موقعیت‌های S56W, 82NW و N05W, 84SW تشکیل می‌شوند. در هر ایستگاه نمودارهای مربوط به آن ایستگاه، شامل نمودارهای گل‌سرخ‌ی امتدادی و شیبی و جهت شیبی (که به صورت توأمان در قالب یک نمودار ارائه شده است)، نمودار تجمع فراوانی قطب صفحات درزه (کنتر دیاگرام)، استریوگرام مربوط به صفحات شکستگی و همچنین ارتباط هندسی درزه‌های هر ایستگاه با تاقدیس موردنظر آورده شده است. نمودارهای گل‌سرخ‌ی امتدادی و شیبی-جهت شیبی به کار گرفته‌شده در این فصل با استفاده از نرم‌افزار GeoRose، نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی با استفاده از نرم‌افزار TectonicsFP و نمودارهای هم تراکم قطب شکستگی‌ها توسط نرم‌افزار OpenStereo ترسیم شد. در مورد نمودار شیبی-جهت شیبی ترسیم‌شده توسط نرم‌افزار GeoRose لازم به توضیح است که هر شاخه در این نمودار ضمن توصیف جهت شیب شکستگی‌ها، میانگین شیب شکستگی‌هایی که در آن جهت سو گرفته‌اند را نیز توضیح می‌دهد. به‌طوری‌که از مرکز نمودار به سمت محیط آن از صفر تا ۹۰ درجه مدرج شده است. درنهایت با توجه به قرارگیری فضایی درزه‌ها نسبت به عناصر چین، درزه‌ها در رده‌بندی‌های مربوط به چین‌خوردگی جای خواهند گرفت.

#### ۴-۶- درزه‌های مربوط به پیمایش A – A'

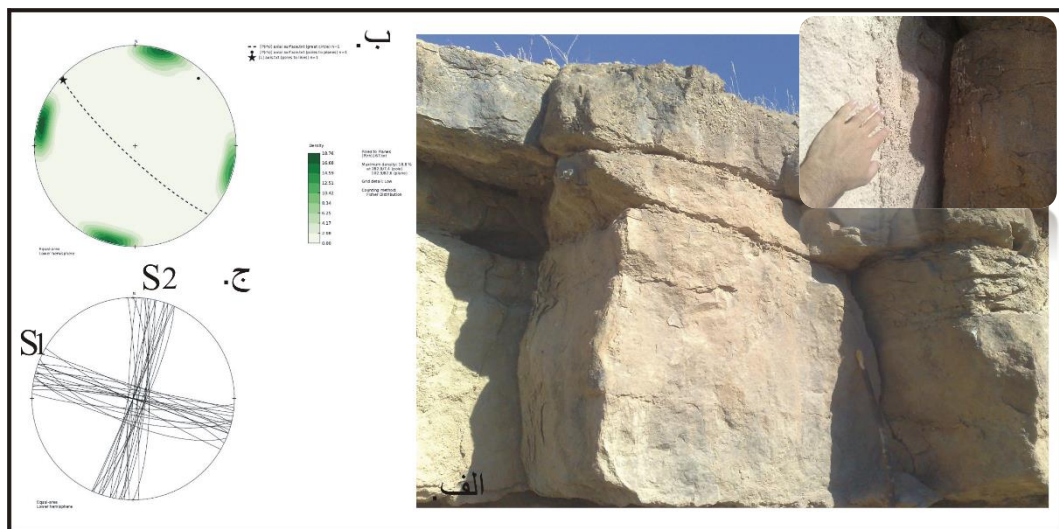
##### ۴-۶-۱- ایستگاه A1

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی ۱۵' ۶۰° شرقی و عرض ۸ ۳۹' ۳۶° شمالی، در یال شمالی چین‌خوردگی و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۳۷ شکستگی

برداشت شده است. شکل ۴-۶ نمودارهای گل سرخی امتدادی و شیبی مربوط به شکستگی‌های این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۶ د)، قرارگیری دو تمرکز قطب شکستگی نشان از دو سیستم شکستگی در ایستگاه دارد. دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S64E, 90$  و  $S2 = N13E, 86SE$  و با زاویه ۸۷ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۳۲۸ را نشان می‌دهد. هر دودسته شکستگی بازشدگی از خود نشان می‌دهند و با سطحی ناصاف نشان‌دهنده ماهیت کششی خود هستند (شکل ۴-۷ الف).



شکل ۴-۶- نمودارهای نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A1. الف) نمودار گل سرخی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل سرخی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل سرخی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

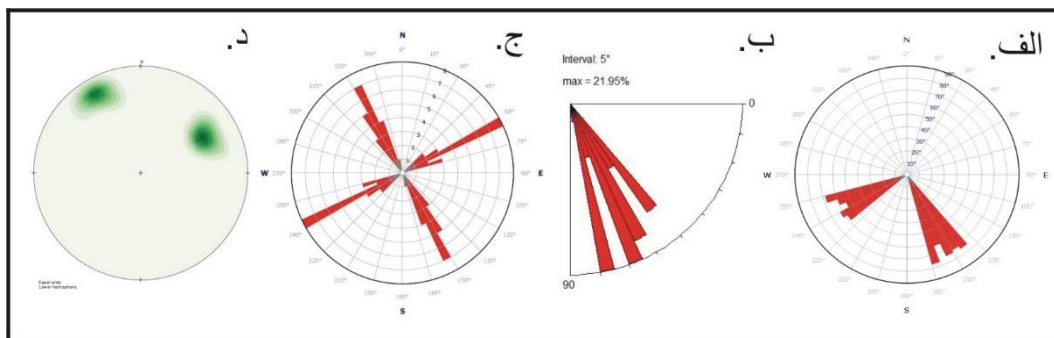


شکل ۴-۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه A1. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه A1. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین خوردگی (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.



#### ۴-۶-۲- ایستگاه A2

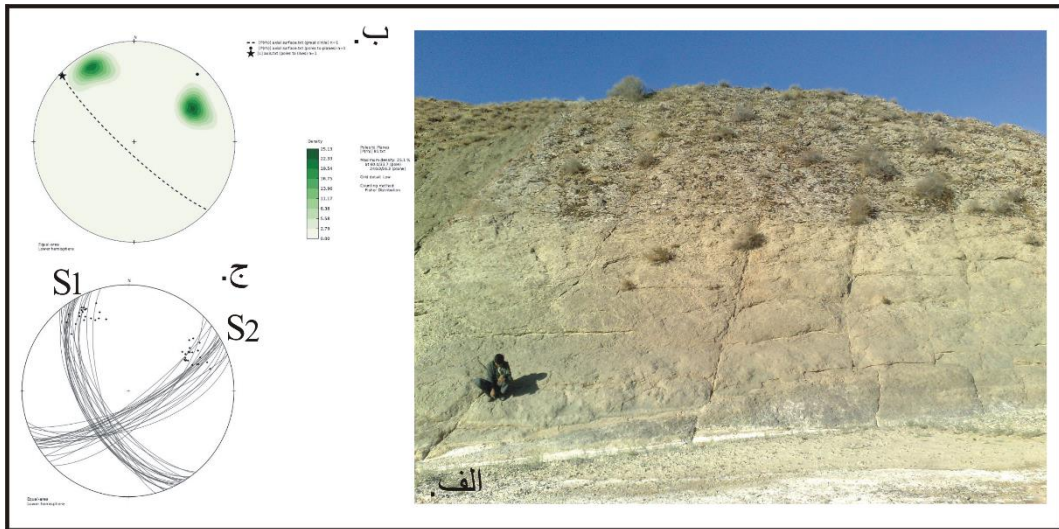
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۱۶۶^{\circ} ۶'$  شرقی و عرض  $۳۹^{\circ} ۲۱'$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذبور و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر با موقعیت لایه‌بندی N55W, 40NE واقع شده است. در این ایستگاه اطلاعات مربوط به تعداد ۴۱ شکستگی برداشت شده است. شکل ۴-۸ نمودارهای گل‌سرخ‌ی مربوط به شکستگی‌های این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۸ د)، قرارگیری دو تمرکز قطب شکستگی نشان‌دهنده دو سیستم شکستگی در ایستگاه می‌باشد.



شکل ۴-۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A2. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S29E, 34SW$  و  $S2 = N60E, 73SE$  و با زاویه  $۷۷$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $۰۳۰$  را نشان می‌دهد. به دلیل چفت بودن و بسته بودن شکستگی‌ها، شواهدی از آثار کشش یا برش در این ایستگاه دیده نشد.

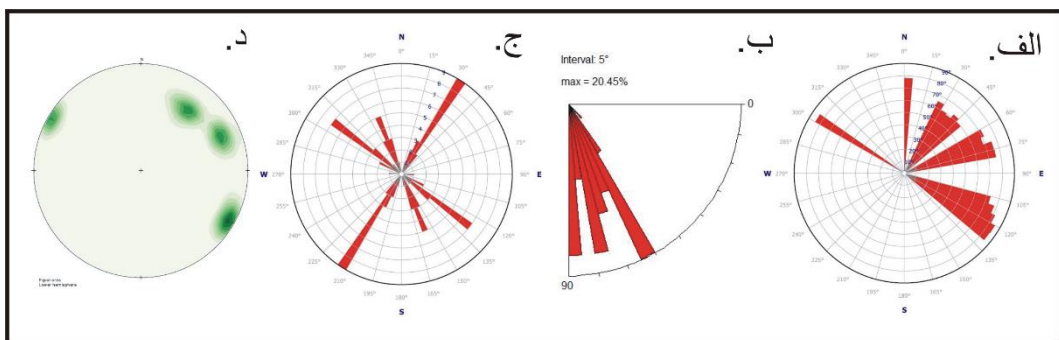
نحوه قرارگیری صفحات تمرکز قطب آن‌ها نسبت به عناصر چین (محور و سطح محوری) که با ستاره و خط چین نشان داده شده‌اند، نشان از دو سری درزه کششی دارند. یکی در راستای سطح محوری چین خوردگی و دیگری به صورت عمود بر سطح محوری قرار دارند. شیب دسته درزه  $S_1$  به طور کامل از سطح محوری چین تبعیت می‌کند که نشانگر توازی این دو است (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه A2. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه A2. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین خوردگی (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۶-۳- ایستگاه A3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $2^{\circ} 15' 60''$  شرقی عرض  $19^{\circ} 40' 36''$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذبور و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۴ شکستگی برداشت شده است. حضور سه تجمع در نمودار هم‌تراز قطبی شکستگی‌ها حاکی از سه دسته شکستگی در این رخنمون می‌باشد. شکل ۴-۱۰ جهت‌گیری این سه دسته شکستگی را در قالب نمودارهای گل‌سرخ نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A3. الف) نمودار گل‌سرخ شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

سه سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S30W, 85NW$  و  $S2 = S25E, 68SW$  و  $S3 = S45E, 60SW$  در رخنمون دیده می‌شود. به طوری که زاویه  $S2$  و  $S1$  ، زاویه  $86$  درجه بین  $S3$  و  $S1$  و زاویه  $34$  بین  $S2$  و  $S3$  حاکم است.

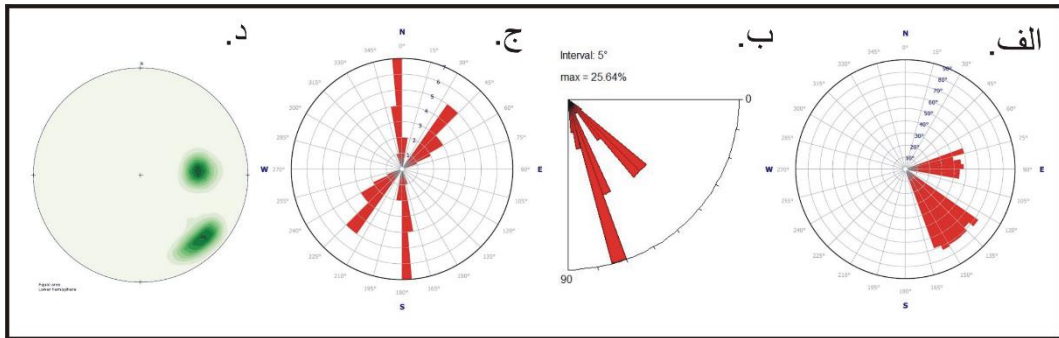


شکل ۴-۱۱- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه A3. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه A3. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین خوردگی (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

همان‌طور که در شکل ۴-۱۱ دیده می‌شود، درزه‌های سری  $S_3$  موازی سطح محوری چین، درزه‌های  $S_1$  عمود بر سطح محوری قرار دارند که جزو کششی‌ها و درزه‌های سری  $S_2$  در رده برشی قرار می‌گیرد.

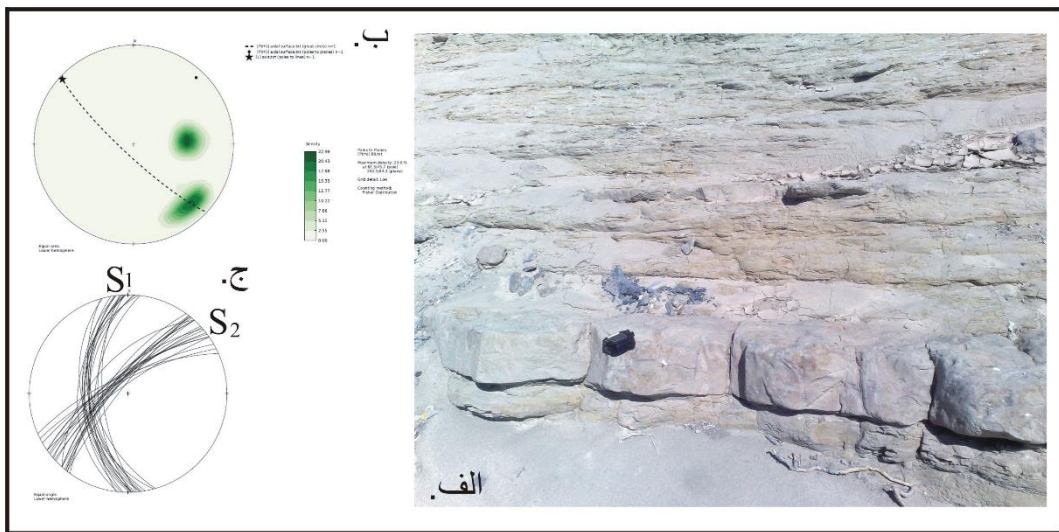
#### ۴-۶-۴- ایستگاه A4

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $16^{\circ} 60'$  شرقی و عرض  $34^{\circ} 39' 36''$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذکور و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۳۹ شکستگی برداشت شده است. با توجه به شکل (۴-۱۲ ج و د) دوسری شکستگی با مشخصات مجزا نسبت به یکدیگر در این ایستگاه رخنمون یافته‌اند.



شکل ۴-۱۲- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه A4. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S5W, 68NW$  و  $S2 = S40W, 70NW$  و با زاویه ۴۷ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۲۰۴ را نشان می‌دهد.



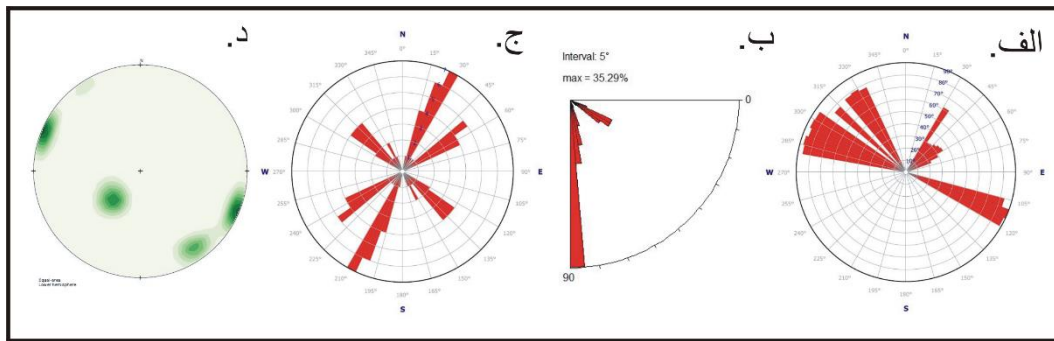
شکل ۴-۱۳- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه A4. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه A4. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین خوردگی (خط نقطه‌چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۶-۵- ایستگاه A5

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۱۳^{\circ} ۱۳'$  شرقی و عرض  $۳۷^{\circ} ۳۷'$  شمالی، در یال جنوبی تاقدیس چهچهه و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۹۲

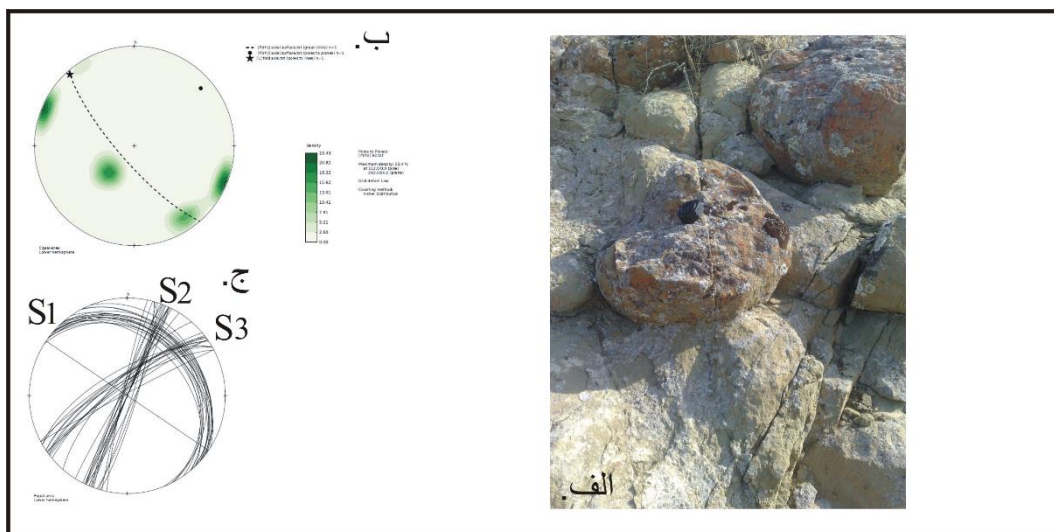


شکستگی مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر گل سرخی و هم تراز قطبی مربوط به این ایستگاه، سه روند قالب و سه دسته شکستگی را نمایش می دهند (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- دیاگرام های نشان دهنده وضعیت آماری درزه ها در ایستگاه A5. الف) نمودار گل سرخی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل سرخی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می دهد. ج) نمودار گل سرخی امتدادی درزه ها. د) نمودار هم تراز قطبی درزه ها.

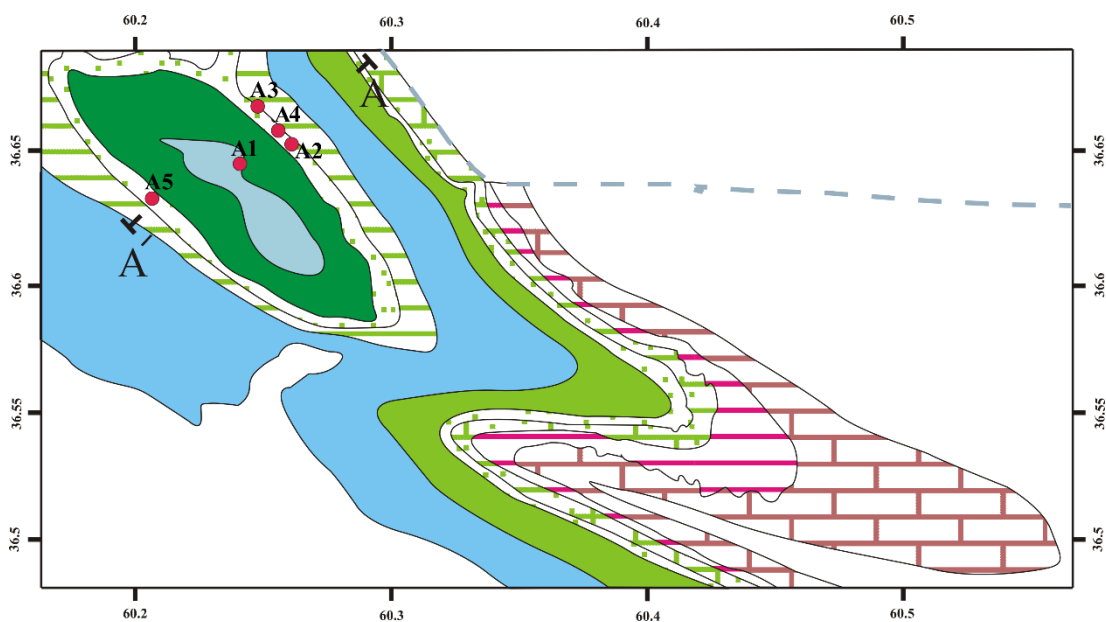
سه سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N48W, 30NE$  و  $S2 = N23E, 90SW$  و  $S3 = S56W, 76NW$  در رخنمون دیده می شود. به طوری که زاویه ۳۶ درجه بین  $S2$  و  $S3$ ، زاویه ۷۱ درجه بین  $S1$  و  $S3$  و زاویه ۸۰ درجه بین  $S1$  و  $S2$  حاکم است (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵- نمایش ارتباط درزه ها با چین خوردگی در ایستگاه A5. الف) تصویر صحرایی از درزه های ایستگاه A5. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده صفحات شکستگی.

با توجه به شکل، درزه‌های سری  $S_2$  و  $S_3$  را می‌توان به صورت دسته‌درزه‌های برشی مزدوج با نیمسازی عمود بر سطح محوری چین خوردگی در نظر گرفت. حال آنکه درزه‌های  $S_1$  با روندی موازی با سطح محوری و عمود بر لایه‌بندی یال جنوبی، در مراحل اولیه بالآمدگی، قدیمی‌ترین سری بوده و در رده طولی قرار می‌گیرد.

در شکل ۴-۱۶ موقعیت پیمایش  $A - A'$  و همچنین ایستگاه‌های درزه برداری مربوط به این پیمایش در تاقدیس چهچهه آورده شده است.

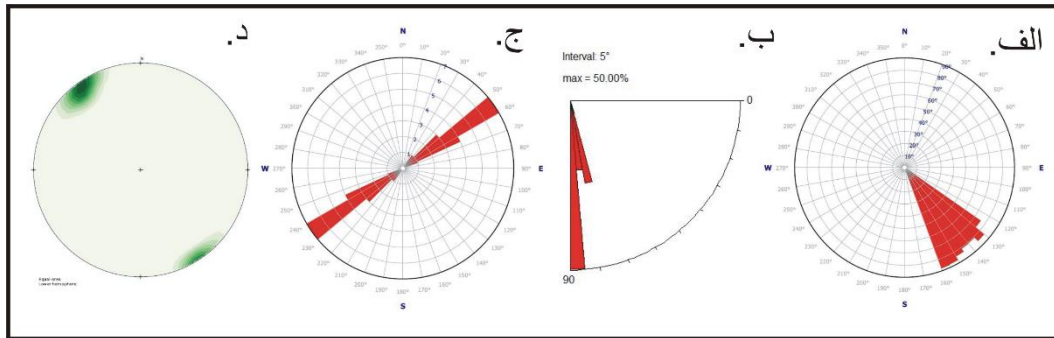


شکل ۴-۱۶- موقعیت پیمایش  $A - A'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچهه. خط چین مرز کشوری را نشان می‌دهد.

#### ۴-۷- درزه‌های مربوط به پیمایش $B - B'$

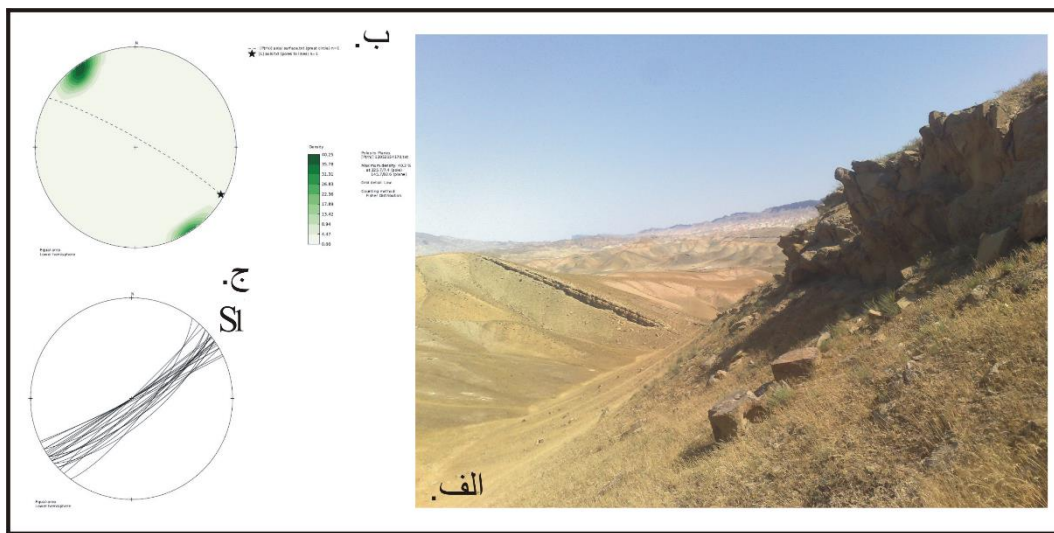
##### ۴-۷-۱- ایستگاه B1

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۵۳^{\circ} ۱۶'$  شرقی و عرض  $۳۴^{\circ} ۳۸' ۳۴''$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذبور و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۴ شکستگی برداشت شد. بر اساس نمودارهای هم‌تراز قطبی و گل‌سرخ‌ی یک تمرکز قطب شکستگی و در نتیجه یک دسته شکستگی در ایستگاه وجود دارد. این دسته، روند عمومی  $۰۵۵$  با زاویه شیب بالای  $۷۵$  درجه را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۷ و ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۷- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه B1. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

یک سیستم شکستگی با مختصات میانگین  $S1 = N55E, 85SE$  در رخنمون دیده می‌شود. با توجه به نحوه قرارگیری این دسته شکستگی نسبت به عناصر چین‌خوردگی، می‌توان این دسته شکستگی را در رده کششی‌ها قرارداد.

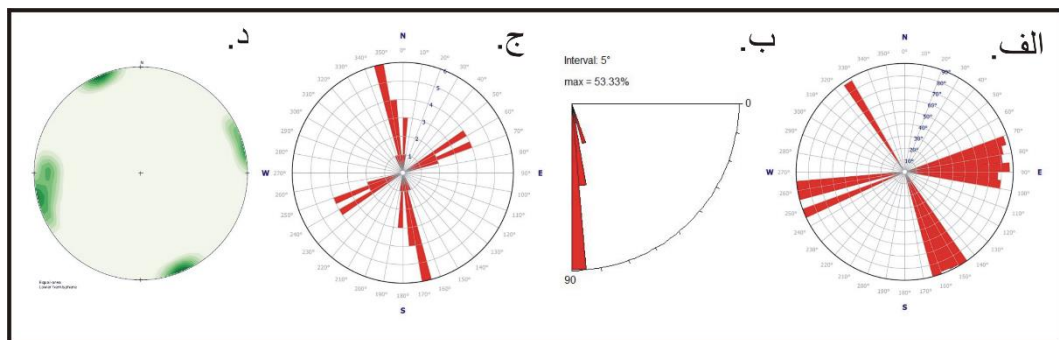


شکل ۴-۱۸- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه B1. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه B1. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین‌خوردگی (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

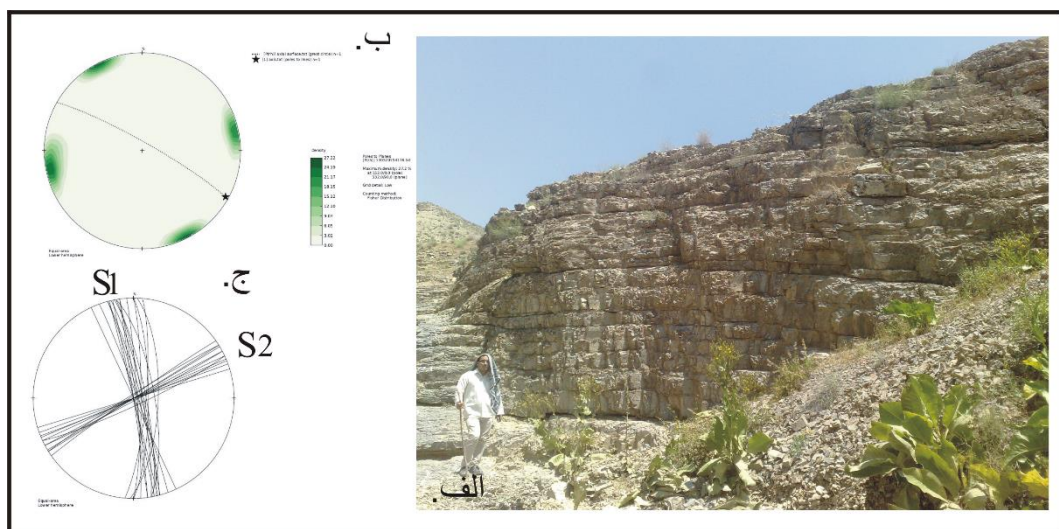
#### ۴-۷-۲- ایستگاه B2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۱^{\circ} ۱۵'$  شرقی و عرض  $۳۷^{\circ} ۱۵'$  شمالی، در منطقه لولای چین‌خوردگی مذبور و در رخنمون سازند سرچشمه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۹

شکستگی برداشت شد با توجه به نمودارهای هم‌تراز قطبی و گل‌سرخ‌ی دوسری شکستگی در این ایستگاه وجود دارد (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۱۹- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه B2. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

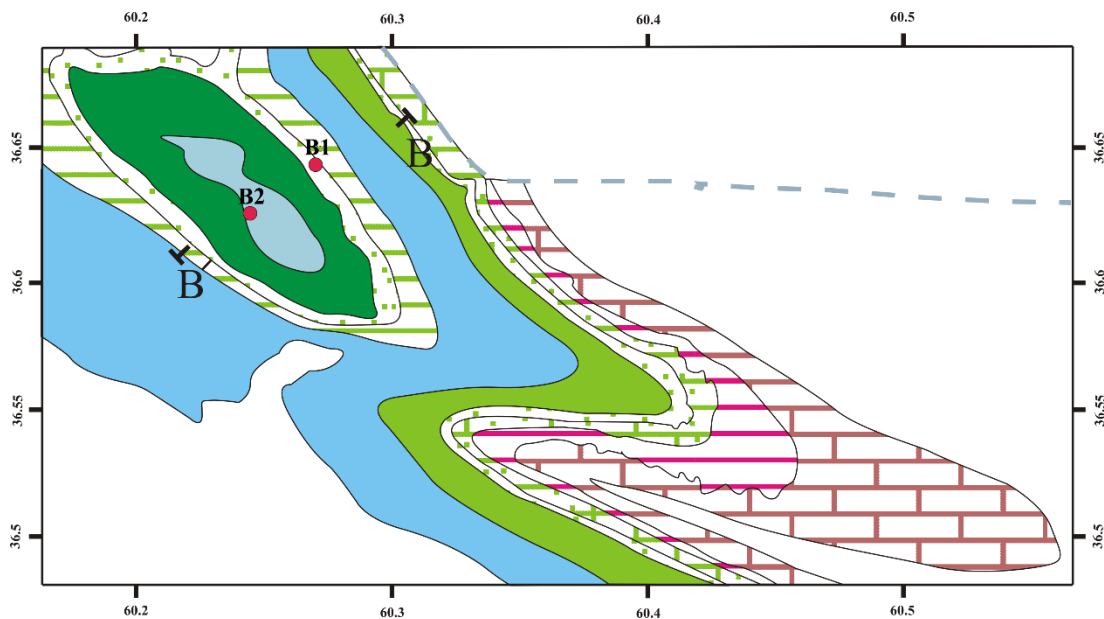


شکل ۴-۲۰- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه B2. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه B2. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

دو سری شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N10W, 86NE$  و  $S2 = N54E, 90$  و با زاویه  $70^\circ$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $026^\circ$  را نشان می‌دهد (شکل ۴-۲۰).



در شکل ۴-۲۱ موقعیت پیمایش  $B - B'$  و همچنین ایستگاه‌های درزه برداری مربوط به این پیمایش در تاقدیس چهچهه آورده شده است.



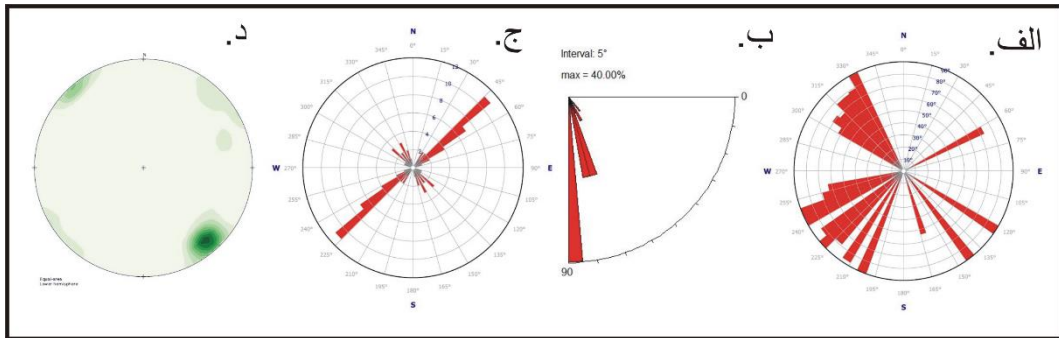
شکل ۴-۲۱- موقعیت پیمایش  $B - B'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهچهه. خط چین مرز کشوری را نشان می‌دهد.

#### ۴-۸- درزه‌های مربوط به پیمایش $C - C'$

##### ۴-۸-۱- ایستگاه C1

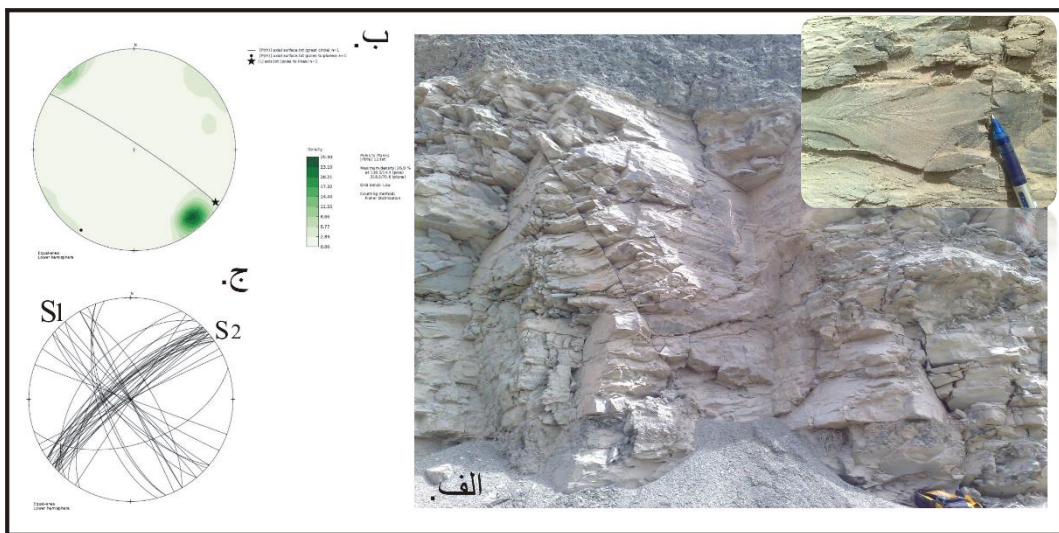
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۶۰^{\circ} ۱۶' ۴۶''$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۳۶' ۵۲''$  شمالی در منطقه لولای چین خوردگی مذبور و در رخنمون شیلی سرچشمه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۵ شکستگی برداشت شد.

همان‌طور که در شکل (۴-۲۲) دیده می‌شود نحوه قرارگیری فضایی شکستگی‌ها، نشان‌دهنده دو تجمع اصلی قطب صفحات، و نتیجتاً ۲ دسته درزه در رخنمون می‌باشد. دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S30W, 90$  و  $S2 = S49W, 77NW$  که با زاویه  $۷۹$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $۱۰$  را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۲- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C1. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به‌صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

حضور شکستگی پرماند در سطح این شکستگی‌ها نشان از ماهیت کششی این شکستگی‌ها دارد (شکل ۴-۲۳ الف). علاوه بر این، نحوه قرارگیری فضایی این شکستگی‌ها نسبت به عناصر چین‌خوردگی آن‌ها را در رده کششی‌ها قرار می‌دهد.

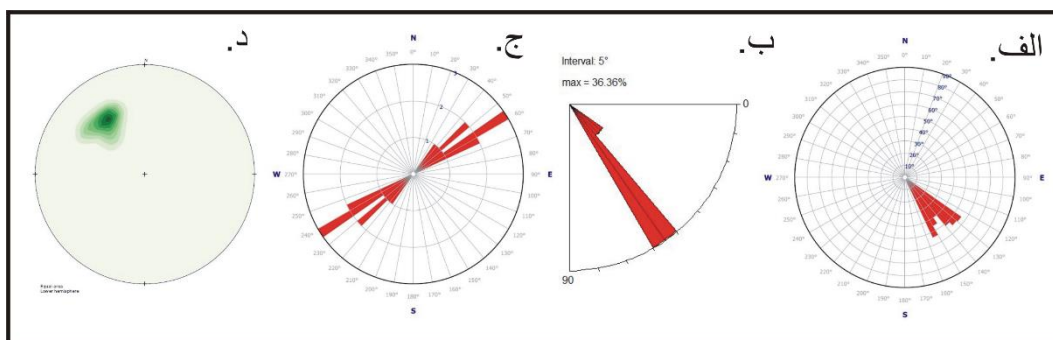


شکل ۴-۲۳- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C1. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه C1. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۸-۲- ایستگاه C2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۳۵^{\circ} ۱۷'$  شرقی و عرض  $۳۹^{\circ} ۳۷'$  شمالی بر روی یال شمالی چین خوردگی مذبور و در رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۱ شکستگی برداشت شد.

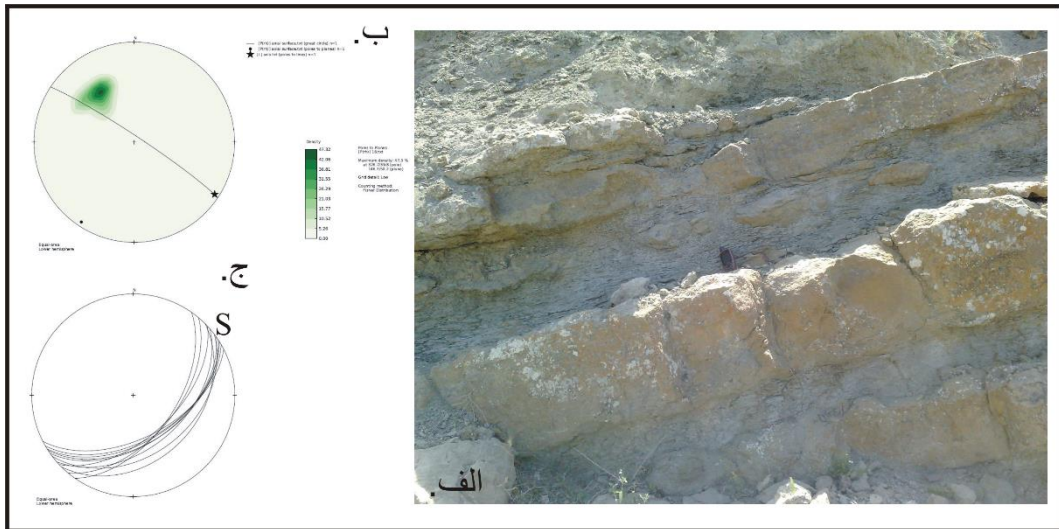
نمودارهای گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی یک سری درزه با روند عمومی و کلی شمال خاوری- جنوب باختری، را نشان می‌دهند (شکل ۴-۲۴). با توجه به تقسیمات مربوط به شکستگی‌ها این درزه‌ها در رده کششی‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۲۴- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C2. الف) نمودار گل‌سرخ و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

همان‌طور که در شکل (۴-۲۴) دیده می‌شود نحوه قرارگیری فضایی سیستم درزه‌ها نسبت به چین خوردگی موردنظر نشان‌دهنده یک سیستم درزه در رخنمون می‌باشد. با توجه به شکل، درزه‌های این سری را می‌توان با روند عمود بر سطح محوری، در رده کششی‌ها قرارداد.

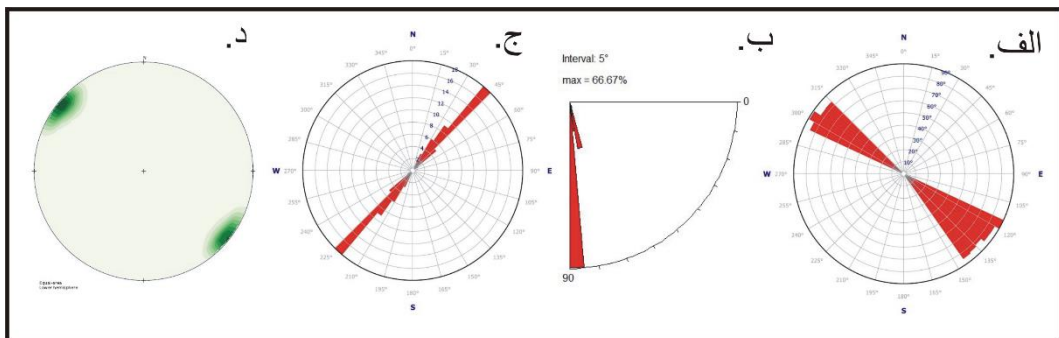
یک سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N56E, 50SE$  در رخنمون تشکیل شد. لایه‌های ماسه‌سنگی که به صورت سری‌های متوالی با لایه‌های شیل قرار گرفته‌اند، در طی کشش حاکم متحمل بودیناژ شده‌اند (شکل ۴-۲۵).



شکل ۴-۲۵- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه C2. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه C2. ب) تصویر استریوگرافیک حاوی وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

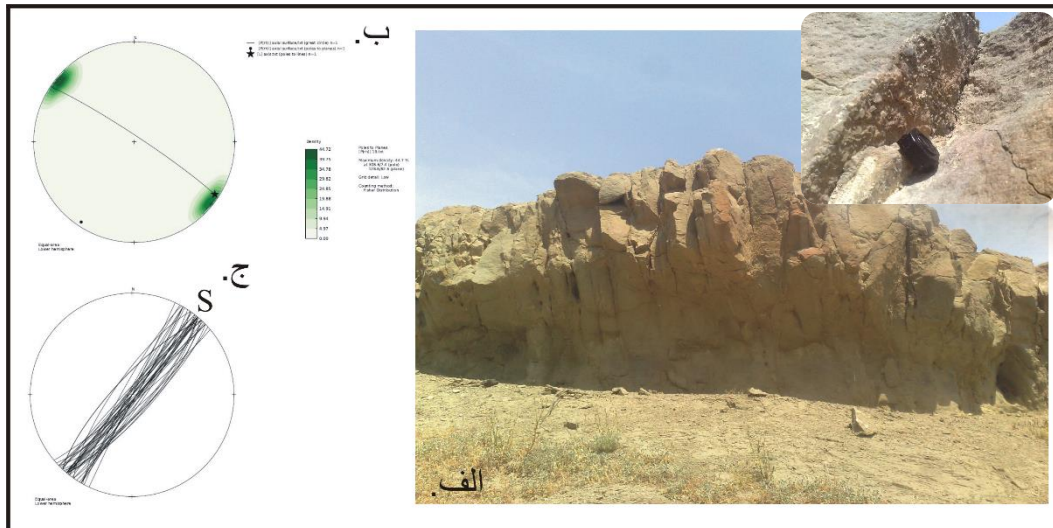
#### ۴-۸-۳- ایستگاه C3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $27^{\circ} 17' 60''$  شرقی و عرض  $36^{\circ} 37' 54''$  شمالی بر روی یال شمالی چین خوردگی مذکور و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۲ شکستگی برداشت شد. نمودارهای گل سرخی و هم‌تراز قطبی یک سری درزه با روند عمومی و کلی شمال خاوری- جنوب باختری را در ایستگاه مورد نظر نشان می‌دهند. درزه‌ها با شیب بالای  $80^{\circ}$  درجه و تقریباً موازی مشخص بودند (شکل ۴-۲۶).



شکل ۴-۲۶- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C3. الف) نمودار گل سرخی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل سرخی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل سرخی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

یک دسته شکستگی عمود بر لایه‌بندی با مشخصات میانگین  $S1 = N40E, 87SE$  با بازشدگی و پرشدگی توسط بلورهای ژئوپس در سطح خود (شکل ۴-۲۷ الف) و همچنین نحوه قرارگیری قطبشان نسبت به عناصر چین‌خوردگی دارای ماهیت کششی هستند. به طوری که تمرکز قطب صفحات شکستگی در این ایستگاه کاملاً منطبق بر محور چین‌خوردگی می‌باشد (شکل ۴-۲۷).

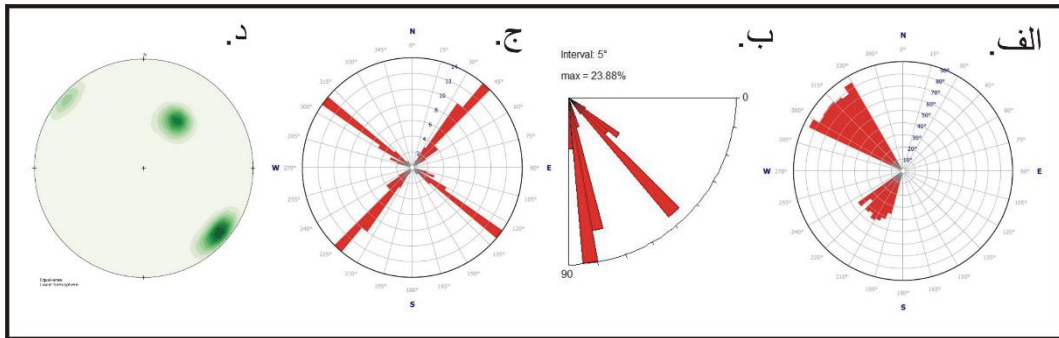


شکل ۴-۲۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه C3. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه C3. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۸-۴- ایستگاه C4

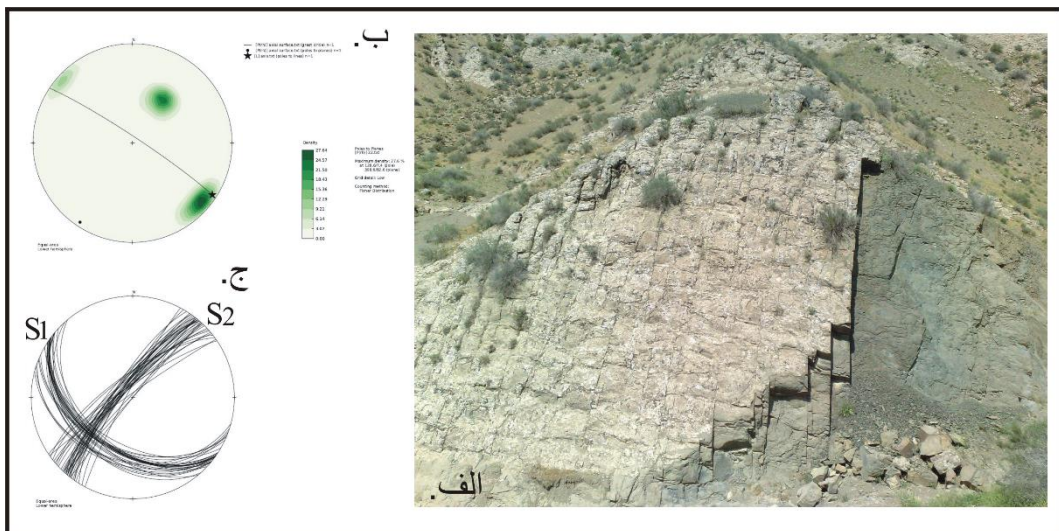
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۱۵'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۱۸'$  شمالی یال جنوبی چین‌خوردگی مذبور و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۶۸ شکستگی برداشت شد. دودسته شکستگی با جهت‌گیری تقریبی عمود نسبت به یکدیگر بر سطح لایه ماسه‌سنگی به وضوح دیده می‌شود. نمودار گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی مربوط به این شکستگی‌ها در شکل ۴-۲۶ آمده است. این دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S56E, 45SW$  و  $S2 = S40W, 80NW$  و با زاویه  $۸۸$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $۰۸۴$  را نشان می‌دهد.





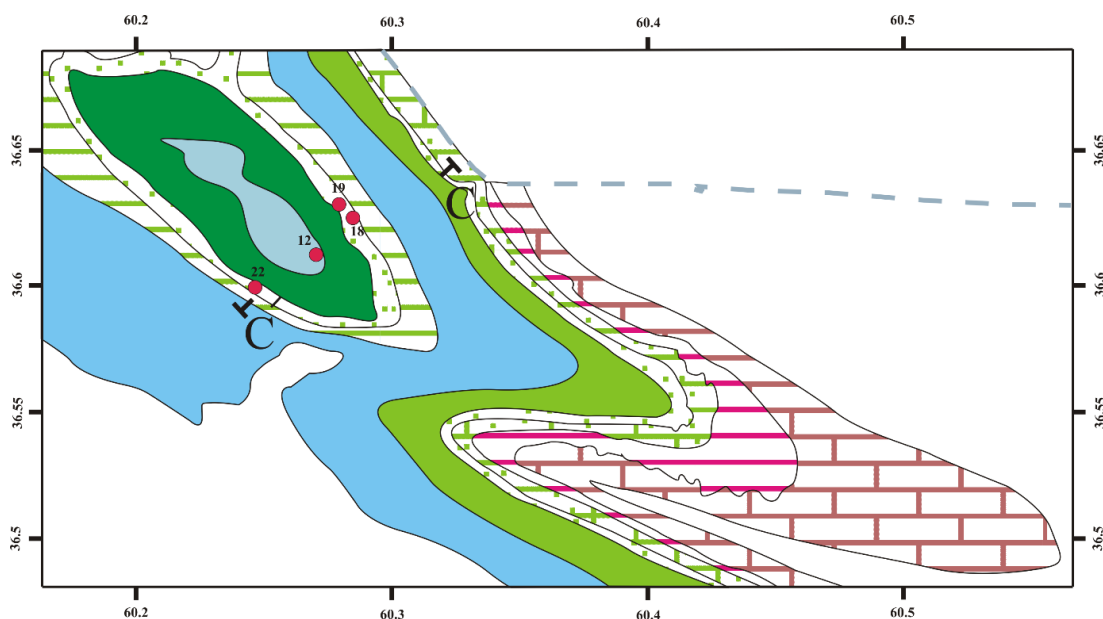
شکل ۴-۲۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه C4. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

با توجه به شکل (۴-۲۸) هر دودسته شکستگی در رده کششی‌ها قرار می‌گیرند. به طوری که درزه‌های سری  $S_2$  را می‌توان با توجه به قرارگیری عمود بر سطح محوری در رده طولی‌ها در نظر گرفت. حال آنکه درزه‌های  $S_1$  با روندی موازی با سطح محوری، در رده عرضی‌ها قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۲۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه C4. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه C4. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

در شکل ۴-۳۰ موقعیت پیمایش  $C - C'$  و همچنین ایستگاه‌های درزه‌برداری مربوط به این پیمایش در تاق‌دیس چهچهه آورده شده است.

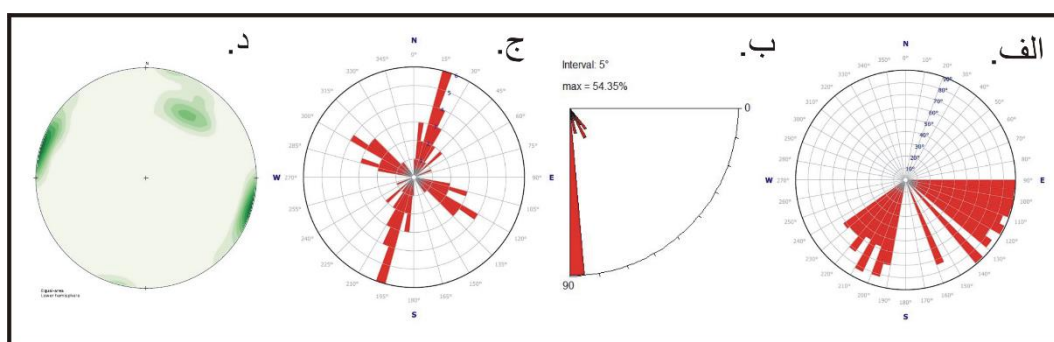


شکل ۴-۳۰- موقعیت پیمایش C - C' و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاق‌دیس چهچهه. خط چین مرز کشوری را نشان می‌دهد.

#### ۴-۹- درزه‌های مربوط به پیمایش D - D'

##### ۴-۹-۱- ایستگاه D1

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $23^{\circ} 6'$  شرقی و عرض  $36^{\circ} 36' 36''$  شمالی در یال چین‌خوردگی مذبور و بر روی رخنمون آهکی چهل‌کمان واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۶ شکستگی برداشت شد. این ایستگاه، با توجه به نمودار گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی، شامل دودسته درزه با زاویه فضایی نزدیک به عمود می‌باشد (شکل ۴-۳۱).



شکل ۴-۳۱- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D1. الف) نمودار گل‌سرخ شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S_1 = S58E, 58SW$  و  $S_2 = S15W, 90$  و با زاویه ۷۵ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۳۳۸ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۳۲)، درزه‌های سری  $S_2$  را می‌توان با توجه به قرارگیری عمود نسبت به سطح محوری در رده عرضی‌ها در نظر گرفت. حال آنکه درزه‌های  $S_1$  با روندی موازی با سطح محوری، در رده طولی‌ها قرار می‌گیرد.

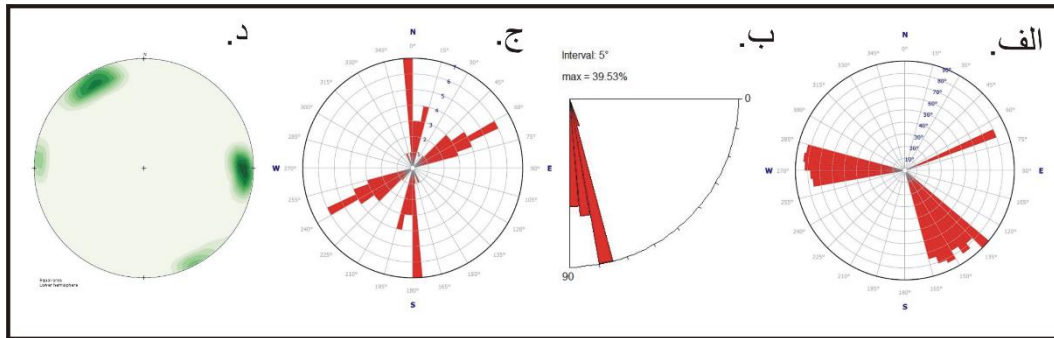


شکل ۴-۳۲- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D1. (الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D1. (ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). (ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۹-۲- ایستگاه D2

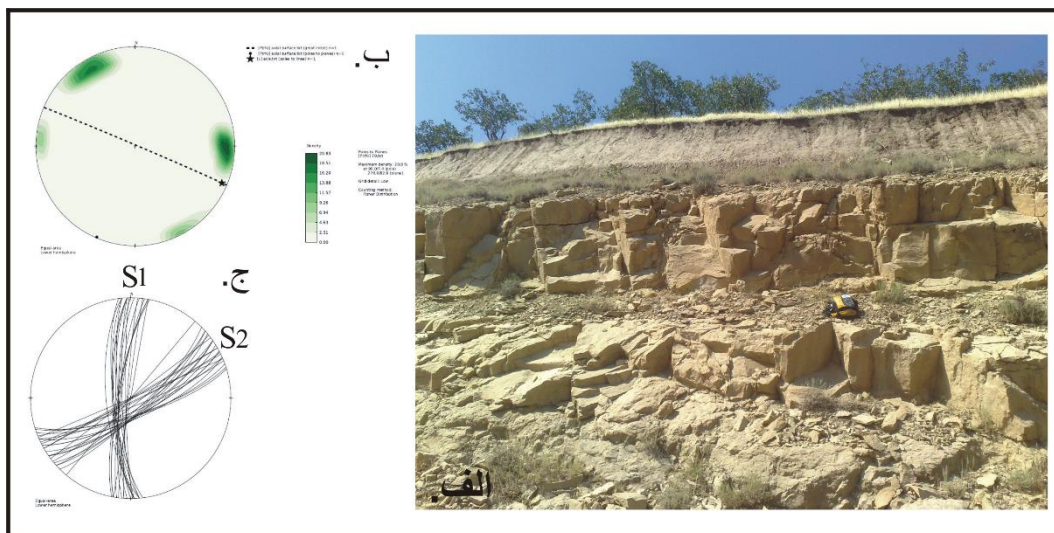
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی ۱۲ ۲۳ ۶۰° شرقی و عرض ۳۶ ۳۵ ۳۶° شمالی در یال شمالی چین خوردگی مذکور و بر روی رخنمون آهکی چهل کمان واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۴۳ شکستگی برداشت شد. تمرکز در دونقطه در نمودار هم‌تراز قطبی شکستگی‌ها و همچنین جهت‌گیری نمودار گل‌سرخ امتدادی این شکستگی‌ها حاکی از حضور دودسته شکستگی در این ایستگاه است (شکل ۴-۳۳).





شکل ۴-۳۳- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D2. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

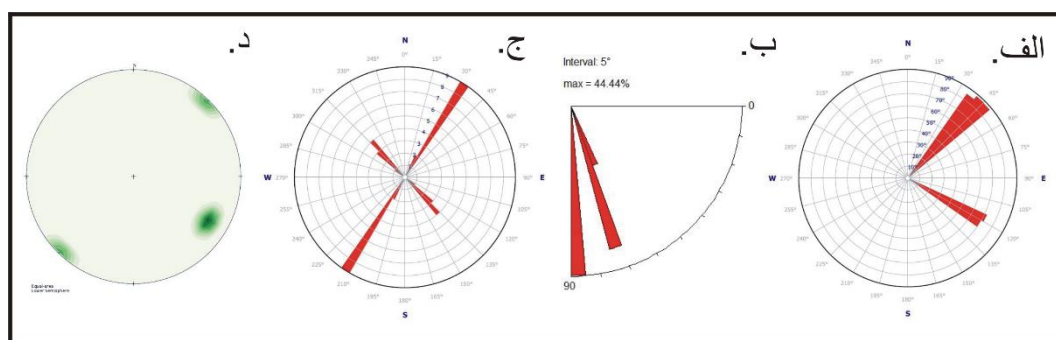
دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S001W, 81NW$  و  $S2 = N60E, 79SE$  و با زاویه ۷۵ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۰۳۰ را نشان می‌دهد. آثاری از برش در سطح شکستگی‌ها رؤیت نشد اما با توجه به نحوه قرارگیری این شکستگی‌ها نسبت به عناصر چین و همچنین نسبت به یکدیگر، می‌توان این دودسته شکستگی را همیوغ دانست و در رده برشی‌ها قرارداد (شکل ۴-۳۴).



شکل ۴-۳۴- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D2. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D2. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

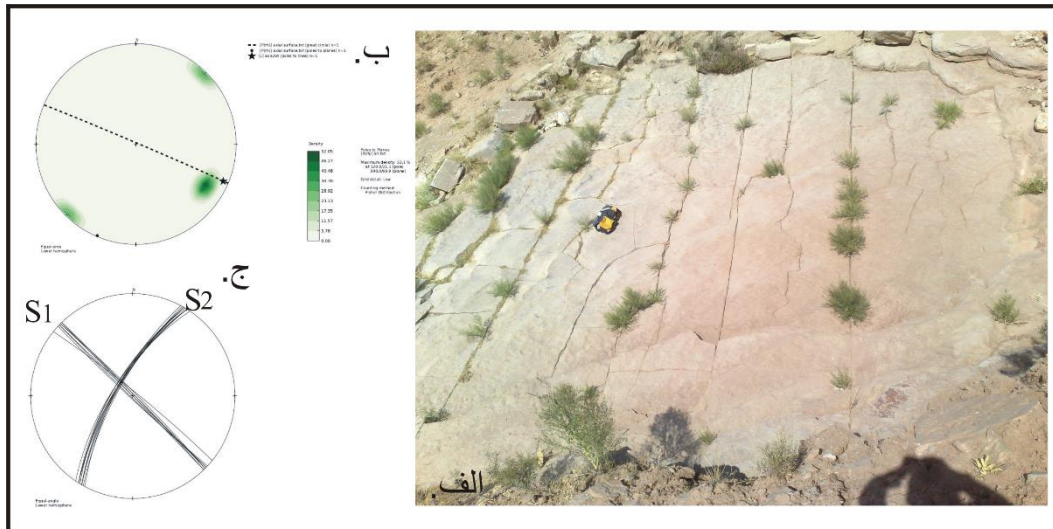
#### ۴-۹-۳- ایستگاه D3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی ۸۱° ۲۰' شرقی و عرض ۱۳° ۳۲' شمالی، در یال جنوبی چین خوردگی مذبور و در نزدیکی دماغه ناودیس مجاور واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۹ شکستگی برداشت شد. با توجه به موقعیت خاص شکستگی‌ها، بیشتر اثر شکستگی قابل رؤیت بود. بنابراین امکان دستیابی به ویژگی شیب برای شکستگی‌ها با کمی مشکل روبه‌رو بود (شکل ۴-۳۵).



شکل ۴-۳۵- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D3. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

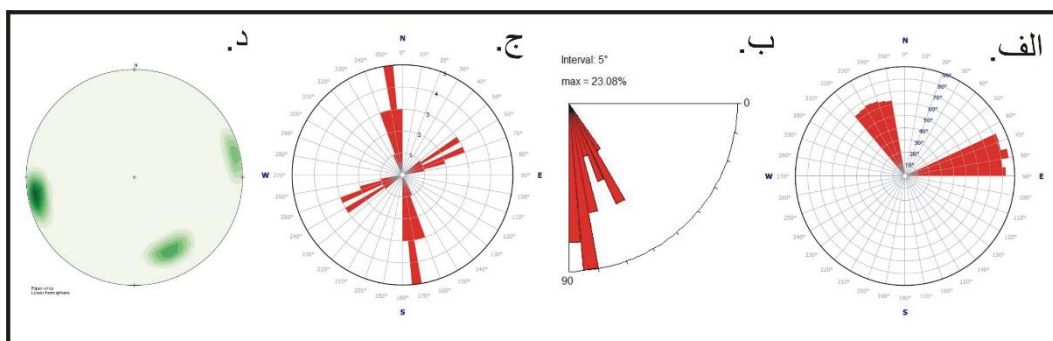
دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N45W, 90$  و  $S2 = S30W, 69NW$  و با زاویه ۷۵ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۱۷۲ را نشان می‌دهد (شکل ۴-۳۶). شواهدی مبنی بر برشی یا کششی بودن شکستگی‌ها در رخنمون قابل مشاهده نبود اما موقعیت این شکستگی‌ها نسبت به عناصر چین خوردگی، کششی بودن این شکستگی‌ها را تأیید می‌کند. به طوری که می‌توان دسته  $S1$  را در رده طولی‌ها و دسته  $S2$  را در رده عرضی‌ها قرار داد.



شکل ۴-۳۶- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D3. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D3. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

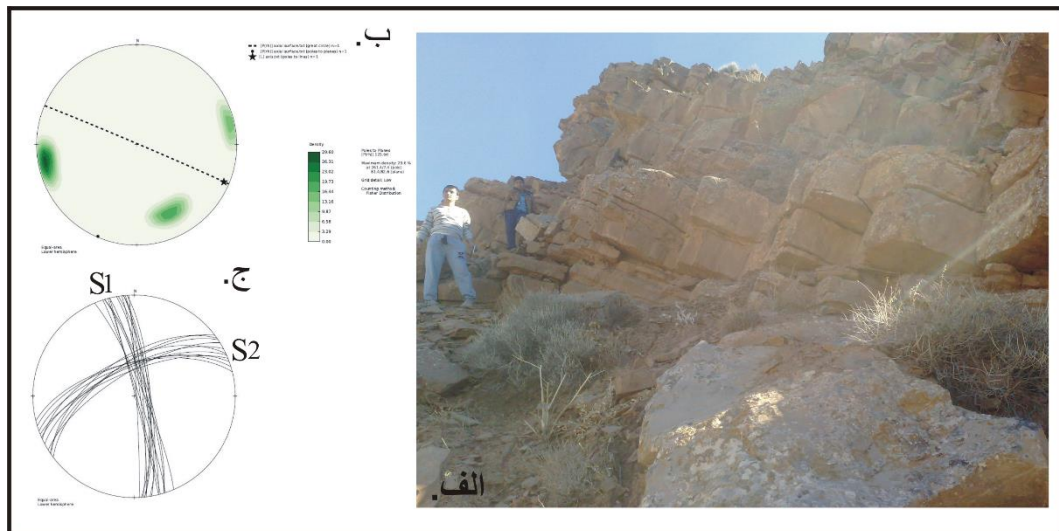
#### ۴-۹-۴- ایستگاه D4

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۵۱^{\circ} ۲۱' ۶۰''$  شرقی و عرض  $۲۲^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی، در یال جنوبی چین خوردگی مذکور، در شمال منطقه المتو و بر روی رخنمون آهکی چهل کمان واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۶ شکستگی برداشت شد. با توجه به شکل ۴-۳۷ در این ایستگاه نیز دودسته شکستگی دیده می‌شوند که توسط نمودارهای گل سرخی و هم‌تراز قطبی معرفی شده‌اند.



شکل ۴-۳۷- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D4. الف) نمودار گل سرخی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل سرخی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل سرخی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N10W, 82NE$  و  $S2 = S64W, 65NW$  و با زاویه ۷۸ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۰۲۹ را نشان می‌دهد (شکل ۴-۳۷).

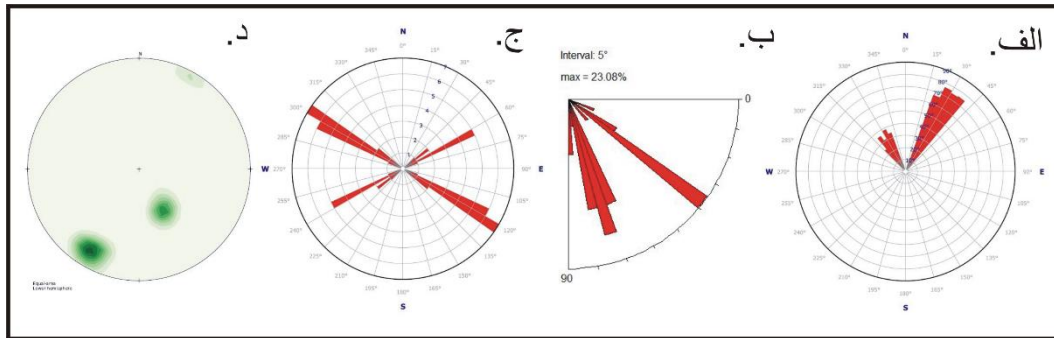


شکل ۴-۳۸- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D4. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D4. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۹-۵- ایستگاه D5

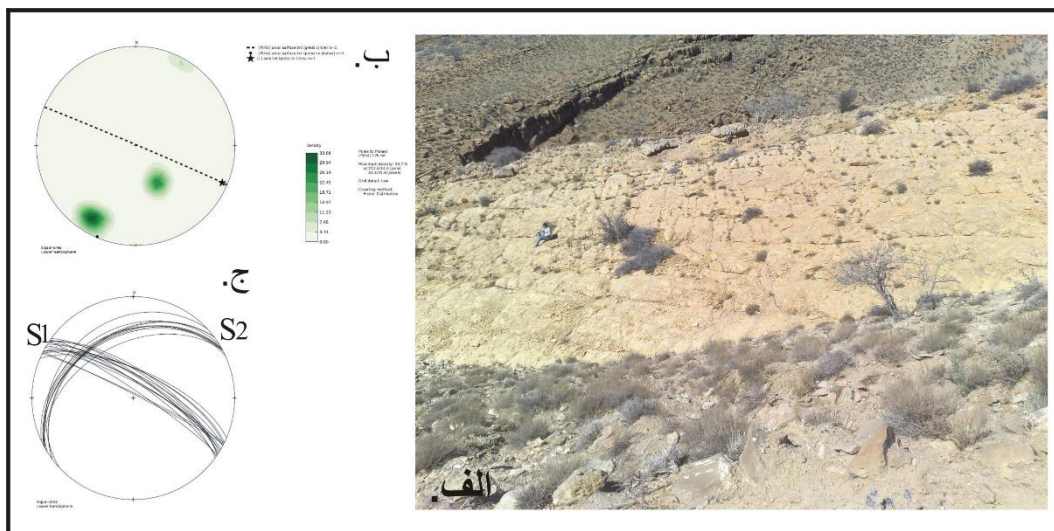
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۱۲\ ۲۲\ ۶۰^{\circ}$  شرقی و عرض  $۲۶\ ۳۲\ ۳۶^{\circ}$  شمالی در انتهای مسیر  $D - D'$  در یال جنوبی چین خوردگی مذکور و بر روی رخنمون پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۶ شکستگی برداشت شد. با توجه به نمودار گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی، دودسته درزه در رخنمون وجود دارند (شکل ۴-۳۹).





شکل ۴-۳۹- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D5. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به‌صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

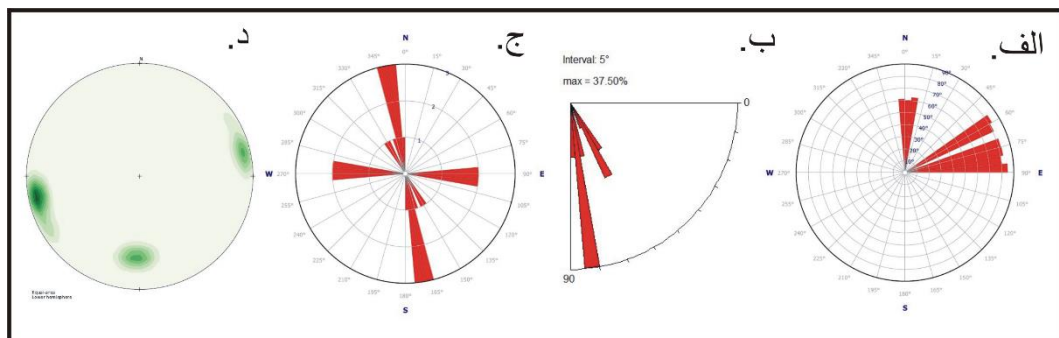
همان‌طور که در شکل ۴-۳۶ دیده می‌شود نحوه قرارگیری فضایی سیستم درزه‌ها نسبت به چین‌خوردگی موردنظر نشان‌دهنده ۲ تجمع قطب صفحات، و نتیجتاً ۲ سیستم درزه در رخنمون می‌باشد. دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N59W, 74NE$  و  $S2 = S60W, 35NW$  و با زاویه ۶۰ درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به‌طوری‌که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند ۱۶۰ را نشان می‌دهد (شکل ۴-۴۰).



شکل ۴-۴۰- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه D5. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D5. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

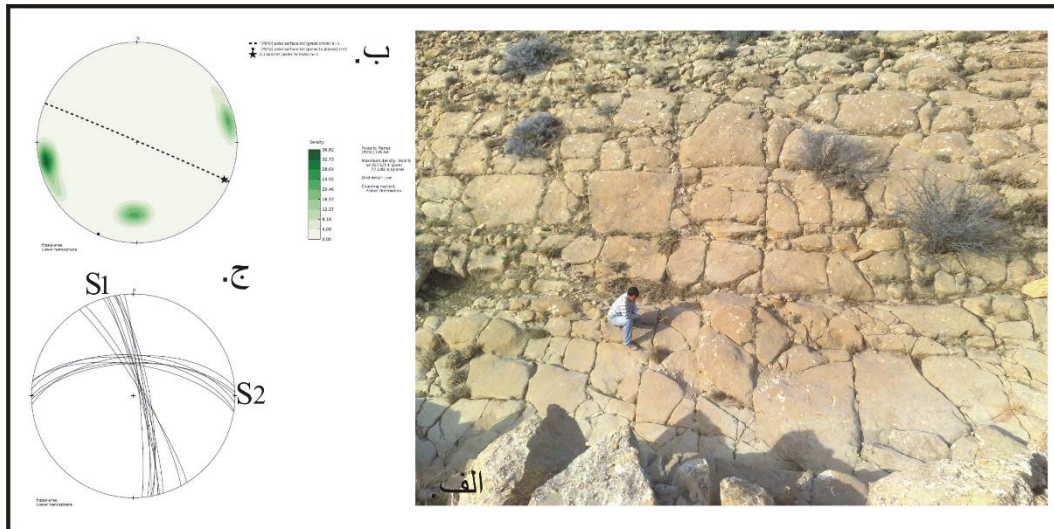
#### ۴-۹-۶- ایستگاه D6

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۳۲^{\circ} ۲۲'$  شرقی و عرض  $۳۲^{\circ} ۲۸'$  شمالی در انتهای مسیر  $D - D'$  در یال جنوبی تاق‌دیس چهچهه و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه از دودسته شکستگی، برداشت صورت گرفت. همان‌طور که در شکل (۴-۴۱) دیده می‌شود نحوه قرارگیری فضایی درزه‌های موردنظر نشان‌دهنده ۲ تجمع قطب صفحات، و نتیجتاً ۲ سیستم درزه در رخنمون می‌باشد.



شکل ۴-۴۱- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D6. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

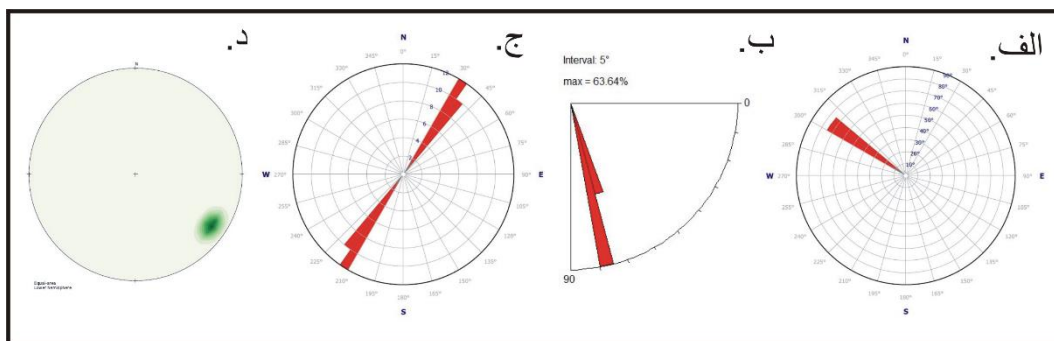
دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N12W, 82NE$  و  $S2 = N87W, 62NE$  و با زاویه  $۷۳$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $۳۱۷$  را نشان می‌دهد (شکل ۴-۴۲). شکستگی‌ها بازشدگی از خود نشان می‌دهند که با حرکت به عمق از مقدارشان کاسته می‌شود. بنابراین این شکستگی‌ها در رده کششی‌ها قرار می‌گیرند.



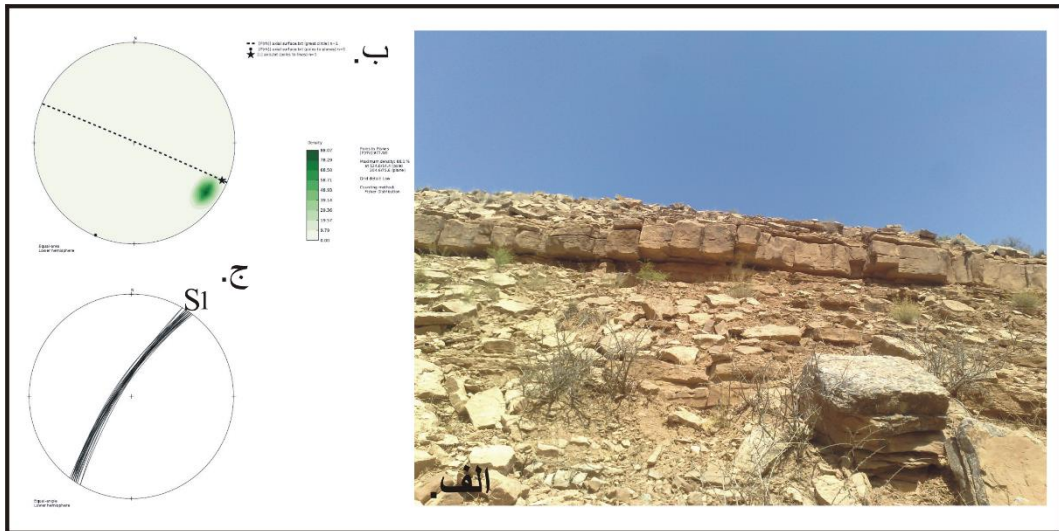
شکل ۴-۴۲- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D6. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D6. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

#### ۴-۹-۷- ایستگاه D7

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۵۱^{\circ} ۱۶'$  شرقی و عرض  $۲۰^{\circ} ۳۹' ۳۶''$  شمالی، در یال جنوبی تاق‌دیس چهچهه و در نزدیکی دماغه ناودیس مجاور واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۲ شکستگی برداشت شد (شکل ۴-۴۳). یک سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = S34W, 74NW$  در رخنمون سنگی وجود دارد. باتوجه به نحوه قرارگیری این دسته شکستگی نسبت به عناصر چین خوردگی، می‌توان آن‌ها را در رده کششی‌ها قرار داد.

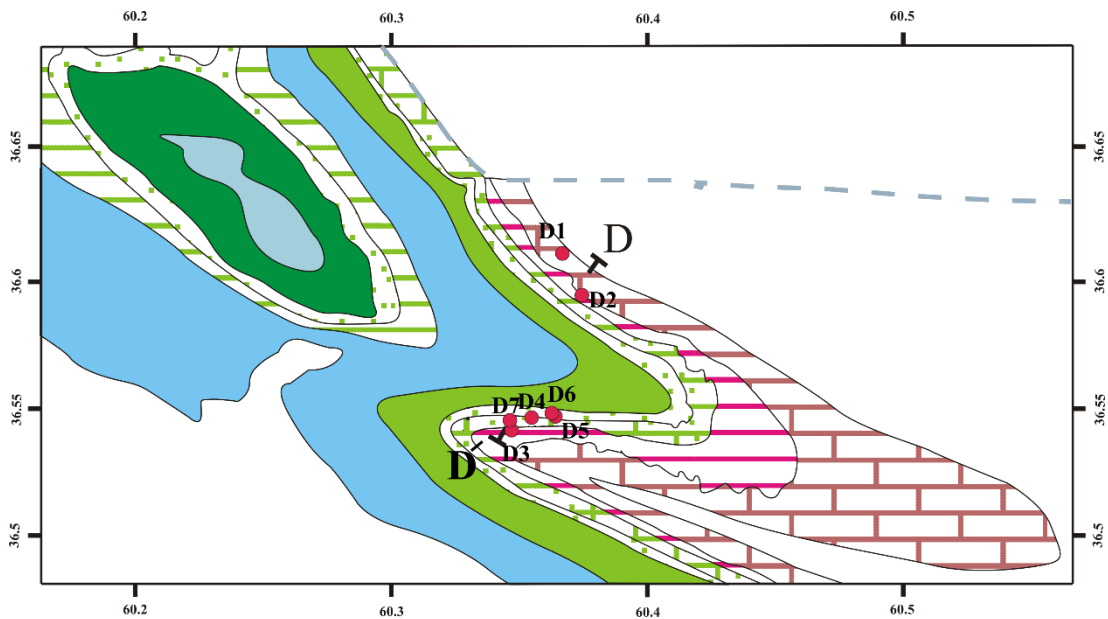


شکل ۴-۴۳- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه D7. الف) نمودار گل‌سرخ شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.



شکل ۴-۴۴- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه D7. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه D7 ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

در شکل ۴-۴۵ موقعیت پیمایش  $D - D'$  و همچنین ایستگاه‌های درزه‌برداری مربوط به این پیمایش در تاقدیس چهجه آورده شده است.



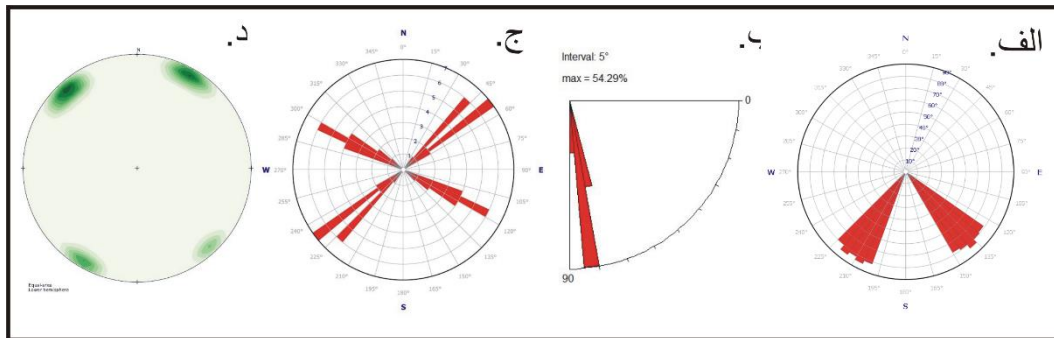
شکل ۴-۴۵- موقعیت پیمایش  $D - D'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاقدیس چهجه. خط چین مرز کشوری را نشان می‌دهد.



#### ۴-۱۰-۱- درزه‌های مربوط به پیمایش $E - E'$

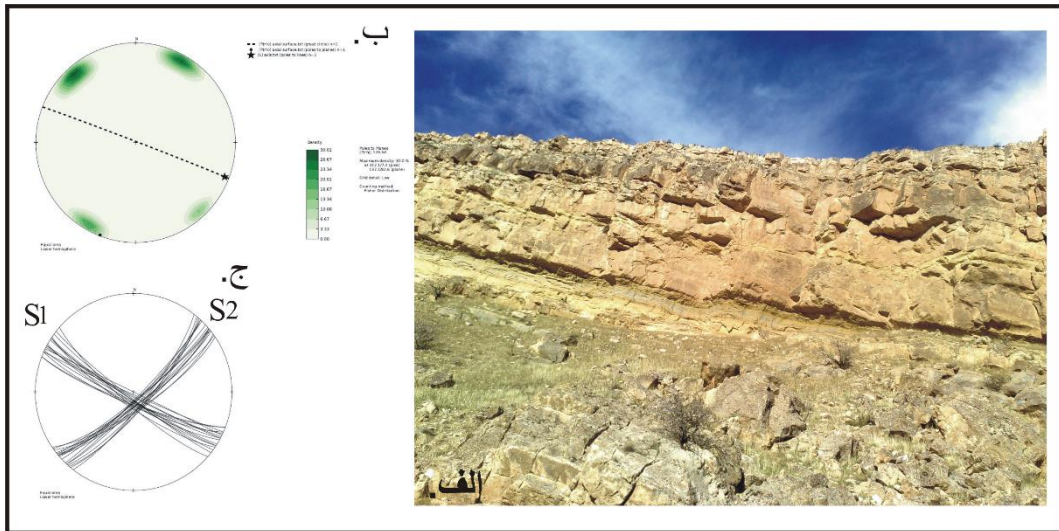
#### ۴-۱۰-۱- ایستگاه E1

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۴۵^{\circ} ۲۵' ۶۰''$  شرقی و عرض  $۲^{\circ} ۳۵' ۳۶''$  شمالی، در یال شمالی تاق‌دیس چهچهه واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۳۵ شکستگی برداشت شد. دودسته شکستگی در این ایستگاه وجود دارند که در شکل ۴-۴۶ به معرفی این شکستگی‌ها پرداخته شده است.



شکل ۴-۴۶- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E1. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است و وضعیت فضایی درزه‌ها را از این دیدگاه نشان می‌دهد. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

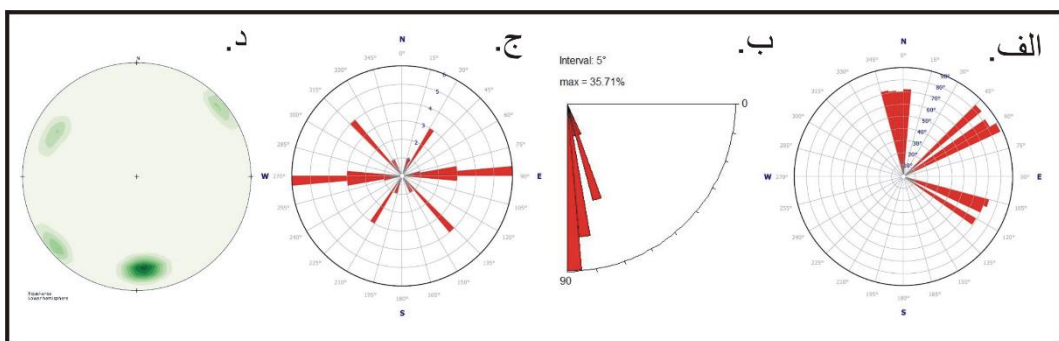
دو سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N12W, 82NE$  و  $S2 = N87W, 62NE$  و با زاویه  $۶۹$  درجه نسبت به یکدیگر در رخنمون تشکیل شده‌اند. به طوری که نیمساز بین این دودسته شکستگی روند  $۰۸۷$  را نشان می‌دهد (شکل ۴-۴۷).



شکل ۴-۴۷- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه E1. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه E1. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

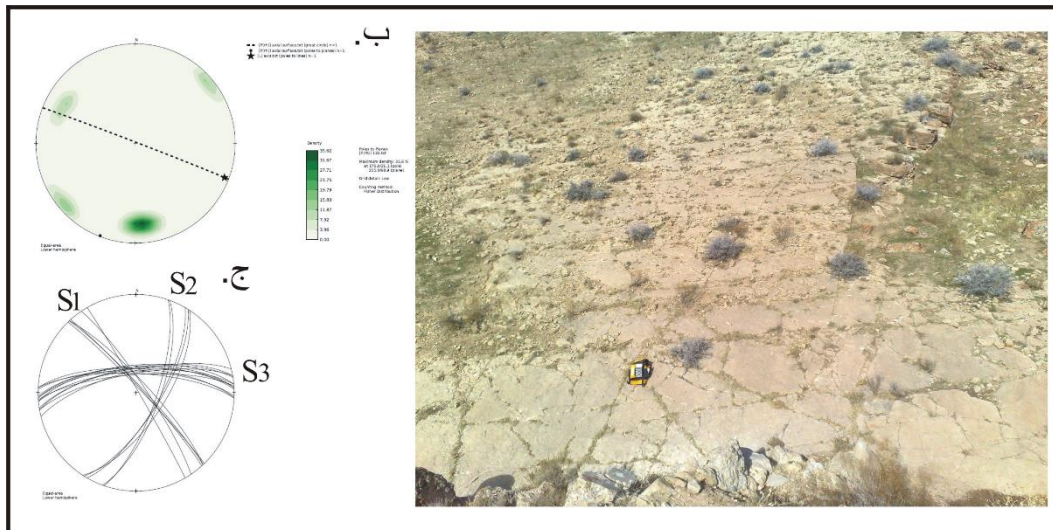
#### ۴-۱۰-۲- ایستگاه E2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $21^{\circ} 23' 60''$  شرقی و عرض  $36^{\circ} 32' 21''$  شمالی، در یال جنوبی تاقدیس چهچه و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۲۴ شکستگی برداشت شد. سه سیستم شکستگی در این ایستگاه دیده می‌شود که نمودارهای گل‌سرخ و هم‌تراز قطبی معرفی کننده این شکستگی‌ها در شکل ۴-۴۸ آمده است.



شکل ۴-۴۸- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E2. الف) نمودار گل‌سرخ شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

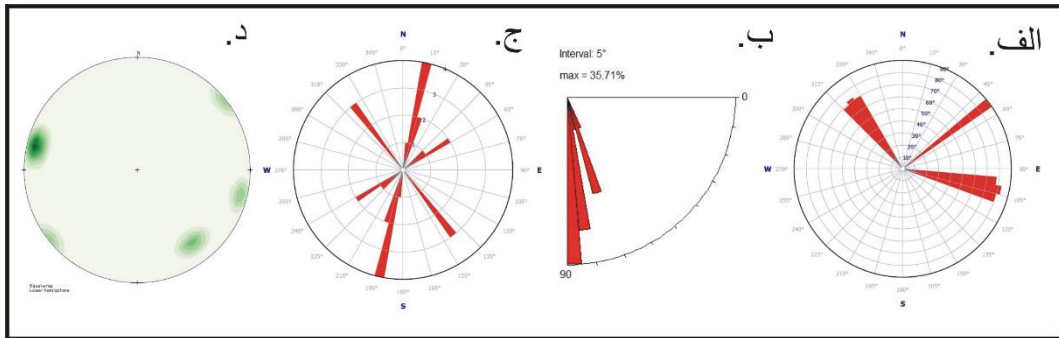
سه دسته شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N43W, 83NE$  و  $S2 = N30E, 69SE$  و  $S3 = S86W, 68NW$  در رخنمون دیده می‌شود. به طوری که زاویه ۷۲ درجه بین  $S1$  و  $S2$ ، زاویه ۵۱ درجه بین  $S1$  و  $S3$  و زاویه ۶۹ درجه بین  $S2$  و  $S3$  حاکم است (شکل ۴-۴۹).



شکل ۴-۴۹- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی در ایستگاه E2. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه E2. ب) تصویر استریوگرافیک در بردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه چین موقعیت سطح محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

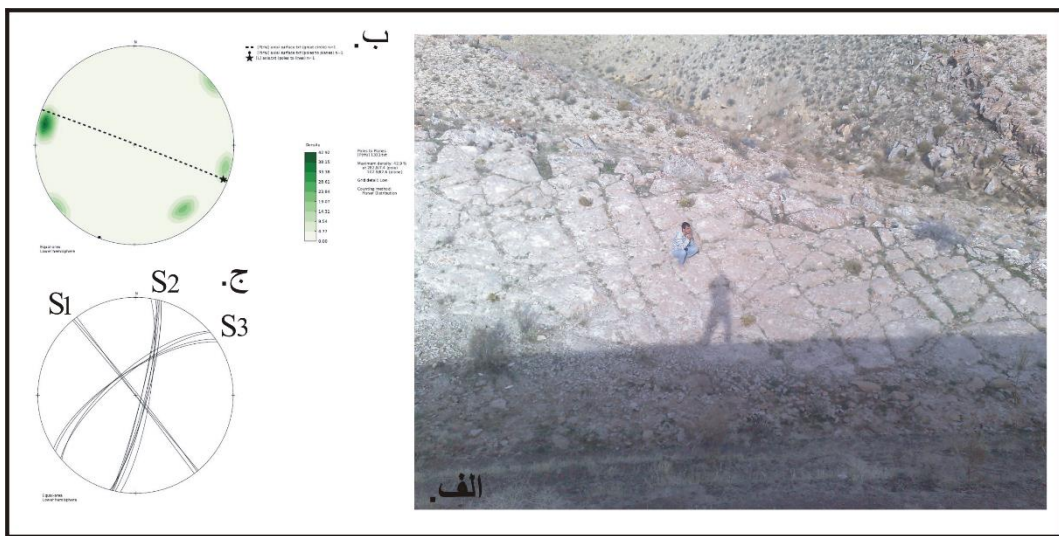
#### ۴-۱۰-۳- ایستگاه E3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۲۳' ۶۰''$  شرقی و عرض  $۲۲^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی، در یال جنوبی تاقدیس چهچهه و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه تعداد ۱۴ شکستگی برداشت شد که در شکل ۴-۵۰ به معرفی آن‌ها پرداخته شده است.



شکل ۴-۵۰- دیاگرام‌های نشان‌دهنده وضعیت آماری درزه‌ها در ایستگاه E3. الف) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی و جهت شیبی که به صورت توأمان در یک دیاگرام قرار گرفته است. ب) نمودار گل‌سرخ‌ی شیبی که وضعیت آماری مقدار شیب را نشان می‌دهد. ج) نمودار گل‌سرخ‌ی امتدادی درزه‌ها. د) نمودار هم‌تراز قطبی درزه‌ها.

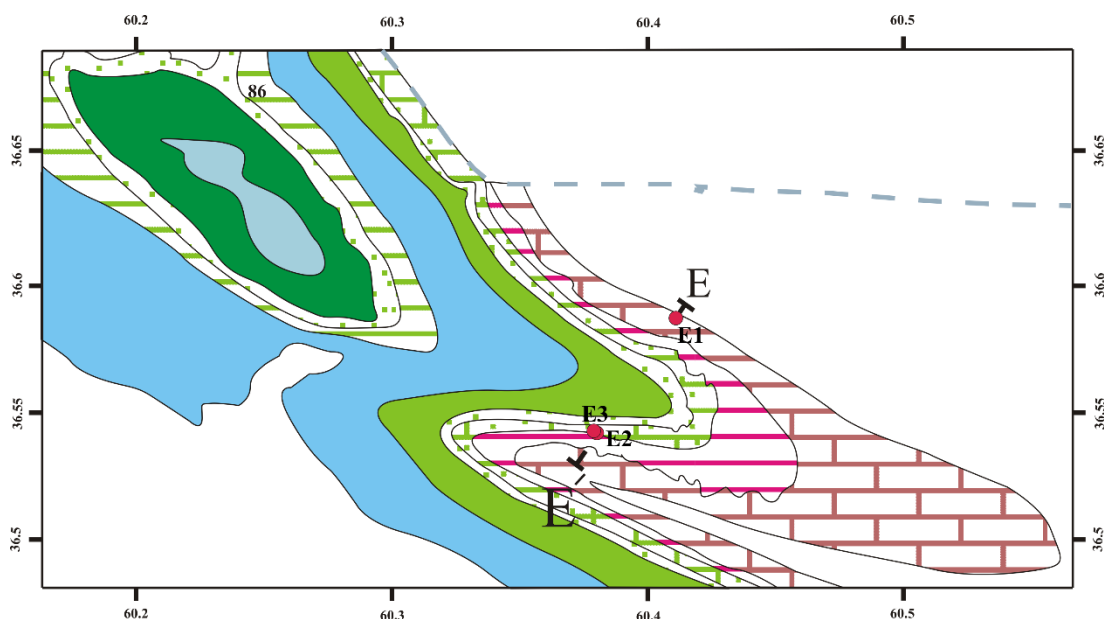
سه سیستم شکستگی با مشخصات میانگین  $S1 = N40W, 90$  و  $S2 = S52W, 69NW$  و  $S3 = N013E, 83SE$  در رخنمون دیده می‌شود. به طوری که زاویه  $53^\circ$  درجه  $S1$  و  $S2$ ، زاویه  $88^\circ$  درجه بین  $S1$  و  $S3$  و زاویه  $47^\circ$  درجه بین  $S2$  و  $S3$  حاکم است.



شکل ۴-۵۱- نمایش ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی در ایستگاه E3. الف) تصویر صحرایی از درزه‌های ایستگاه E3. ب) تصویر استریوگرافیک دربردارنده وضعیت تجمع قطب صفحات شکستگی و عناصر چین (خط نقطه‌چین موقعیت سطح‌محوری و ستاره محور چین را نشان می‌دهد). ج) تصویر استریوگرافیک نشان‌دهنده صفحات شکستگی.

در شکل ۴-۵۲ موقعیت پیمایش  $E - E'$  و همچنین ایستگاه‌های درزه‌برداری مربوط به این پیمایش در تاقدیس چهچیه آورده شده است.

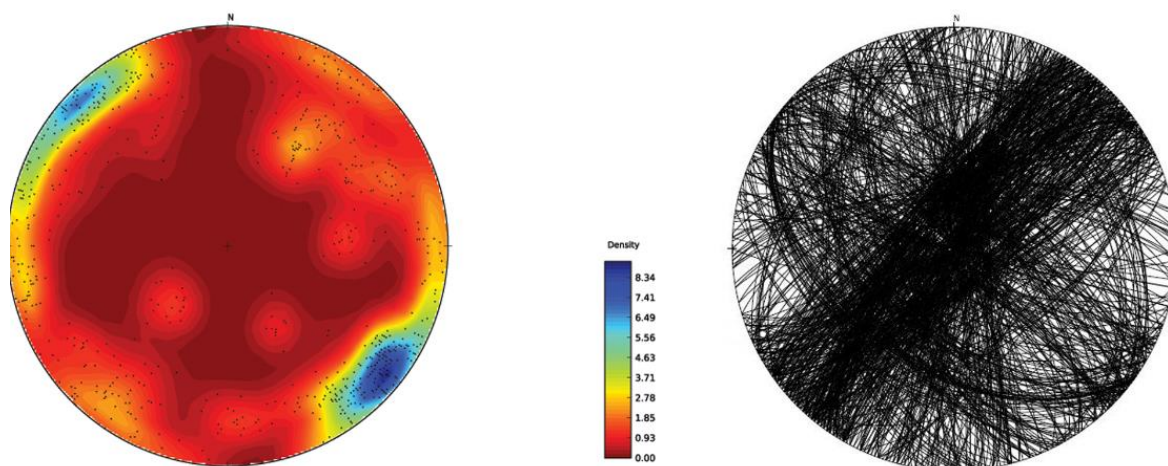




شکل ۴-۵۲- موقعیت پیمایش  $E - E'$  و همچنین ایستگاه‌های مربوطه در تاق‌دیس چهچهه. خط چین مرز کشوری را نشان می‌دهد.

#### ۴-۱۱- الگوی پراکنش

در پایان، به منظور شناسایی و دسته‌بندی شکستگی‌ها، کلیه شکستگی‌ها در یک نمودار واحد نگاشته شد (شکل ۴-۵۳). در مجموع از ۲۳ ایستگاه که در آن‌ها برداشت شکستگی‌ها انجام شد، سه سری شکستگی قابل تعریف می‌باشند. اعظم این ایستگاه‌ها از برون‌زدهای ماسه‌سنگی و آهکی نظیر سازندهای آیتامیر، کلات، چهل کمان برداشت شد. این سازندها به واسطه رفتار مکانیکی متفاوتی که نسبت به سازندهای نرم از خود نشان می‌دهند حاوی شکستگی‌های منظم و سیستماتیک‌اند.



شکل ۴-۵۳- نمودارهای هم‌تراز قطبی الف). و صفحات کل شکستگی‌ها ب)

الف- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (N020-040, 80-90SE/NW)

ب- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (N295-315, 65-85NE/SW)

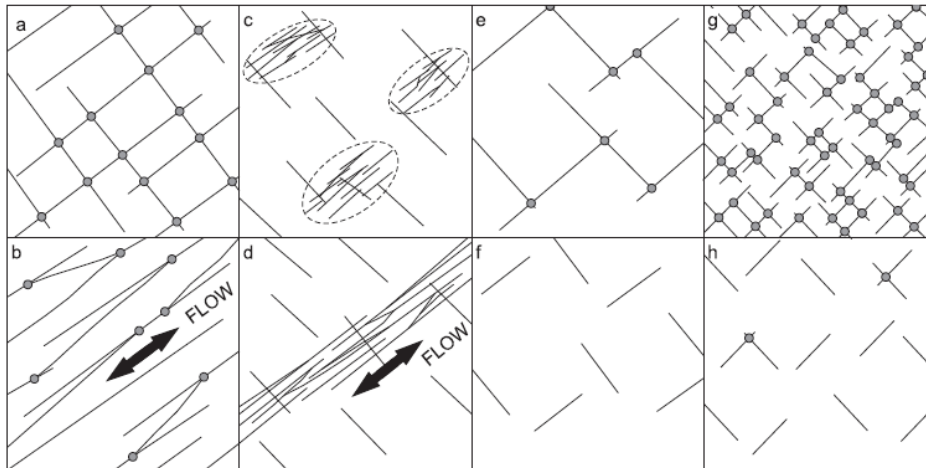
ج- شکستگی‌های با موقعیت عمومی (N050-065, 75-90SW و N345-013, 75-90NE/SW)

سری شکستگی‌های الف، با حدود ۱۴ درصد فراوانی، غالب شکستگی‌ها را به خود اختصاص داده است. این شکستگی‌ها بازشدگی و پرشدگی از خود نشان می‌دهند و با توجه به قرارگیری فضایی عمود با محور تاقدیس از نوع کششی و عرضی اند. شکستگی‌های سری ب، با قرارگیری موازی نسبت به محور از نوع کششی و طولی اند. و در نهایت شکستگی‌های سری ج، شکستگی‌های مزدوج اند که نیمسازشان منطبق بر تنش بیشینه است.

#### ۴-۱۲- خواص و اندازه‌گیری‌های شکستگی

یک شکستگی تک یا صفحه ناپیوستگی، توسط جهت آن، طبیعت ژنتیکی (برش / کششی)، بازشدگی و دیگر مشخصه‌ها معرفی و مشخص می‌شود. چندین صفحه شکستگی در کنار یکدیگر، یک مجموعه یا سیستم شکستگی را به وجود می‌آورد. چند مجموعه شکستگی متقاطع و مرتبط، یک شبکه شکستگی ایجاد می‌کند که جریان سیال را تسهیل خواهد کرد.

مشخصه سازی شکستگی‌هایی که در رخنمون سنگ دیده می‌شود در شناخت هرچه بهتر ساختارهای اصلی و مهم منطقه و در مطالعات امروزی در شناخت مخازن هیدروکربنی بسیار مهم است. در کپه‌داغ نیز حضور سازند مزدوران (که در تاقدیس چهچهه برونزد نداشت) که به واسطه سنگ‌شناسی خود، مستعد ذخیره‌سازی و ایفای نقش مخزن است، این مطالعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای توصیف مخازن شکسته شده، چند ویژگی از شکستگی‌ها مورد نیاز است: جهت‌گیری، طول اثر شکستگی، تراکم و شدت شکستگی‌ها (شکل ۴-۵۴). این ویژگی‌ها چه به صورت یک مجموعه و چه به صورت انفرادی بر نفوذپذیری و اتصال شبکه شکستگی در توده سنگ تأثیرگذار است ( Nelson, 2001; Cosgrove, 2003).



شکل ۴-۵۴ (a) مجموعه‌های شکستگی‌های متعدد در جهت‌های مختلف باعث افزایش تعداد تقاطع شکستگی می‌شود (دوایر خاکستری). (b) جهت‌گیری‌های شکستگی یک‌سویه با برخی از پراکندگی برای ایجاد نتیجه اتصال در ناهمسانگردی جریان. (c) خوشه‌های شکستگی جدا شده (در خطوط منقطع) که به بقیه شبکه شکستگی متصل نیستند، به طوری که کیفیت مخزن را بالا نمی‌برد. (d) شکستگی‌ها، جریان ناهمسانگرد ایجاد می‌کنند. (e) شکستگی‌های طولانی احتمال تقاطع شکستگی، و در نتیجه اتصال و کیفیت مخزن را افزایش می‌دهد. (f) شکستگی‌های کوتاه دارای احتمال تقاطع کم است و بنابراین اتصال ضعیف را ایجاد می‌کند. (g) شدت شکستگی بالا احتمال تقاطع شکستگی را افزایش می‌دهد، و در نتیجه اتصال و مخزن کیفیت افزایش می‌دهد. (h) شدت کم شکستگی شانس تقاطع شکستگی، و در نتیجه اتصال و کیفیت مخزن را کاهش می‌دهد.

#### ۴-۱۲-۱- تراکم شکستگی<sup>۲</sup>

تراکم شکستگی معمولاً به‌عنوان تعدادی از شکستگی منفرد مشاهده‌شده و یا بخش‌هایی از شکستگی در واحد طول، مساحت و حجم تعریف می‌شود. این ویژگی، یک مقدار وابسته به مقیاس است که ما از آن به "چگالی ظاهری"<sup>۳</sup> نام می‌بریم (Rohrbaugh, M.B et al., 2002).

تراکم شکستگی برای هر قسمتی از مجموعه شکستگی است که به‌طور جداگانه اندازه‌گیری می‌شود و مربوط به درجه‌ای از شکست سنگ است. بسته به اینکه اندازه‌گیری / محاسبات مربوط به طول (1D)، مساحت (2D) و یا حجم (3D) باشد، می‌تواند به سه روش توصیف شود: خطی، ناحیه‌ای و حجمی.

۱. چگالی شکستگی خطی (تراکم شکستگی در 1D) متوسط تعداد شکستگی‌های یک مجموعه

<sup>1</sup> anisotropy

<sup>2</sup> Fracture Density

<sup>3</sup> apparent density

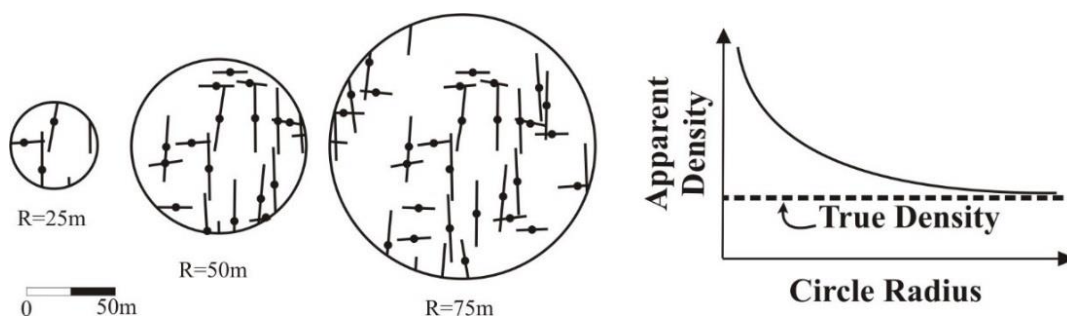
۲. خاص است، در واحد طول در جهت عمود بر صفحه شکستگی اندازه‌گیری شود. این مشخصه برابر

فرکانس شکستگی (FF) و معکوس فاصله شکستگی است.

۳. تراکم شکستگی ناحیه‌ای (تراکم شکستگی در 2D) یک راه برای تعیین کمیت تداوم ناپیوستگی است. این مشخصه به صورت میانگین طول منطقه شکسته شده (آثار) در واحد سطح بر روی یک سطح مسطح تعریف می‌شود.

۴. تراکم شکستگی‌های حجمی (چگالی شکستگی در 3D) به صورت میانگین مساحت سطح شکسته شده در هر واحد حجم سنگ تعریف می‌شود.

چگالی ظاهری بالاتر از واقعیت تراکم است، و بزرگی این تخمین بیش از حد، با کاهش اندازه نمونه افزایش می‌یابد. بنابراین هرچه اندازه نمونه بزرگ‌تر باشد مقادیر به دست آمده به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌شود.



شکل ۴-۵۵- نقش افزایش قطر پنجره نمونه‌گیری در سوگیری تراکم محاسباتی به سمت تراکم واقعی (نقل

از (Rohrbaugh, M.B et al., 2002).

#### ۴-۱۲-۲- شدت شکستگی<sup>۱</sup>

شدت شکستگی یک الگوی مشخصه است که شامل هر دو تراکم و اندازه است. شدت به صورت تعداد شکستگی در واحد طول نمونه، طول شکستگی در واحد سطح، و یا منطقه شکستگی در حجم سنگ واحد به ترتیب در یک، دو، یا سه بعد، تعریف شده است (Mauldon et al., 2001).

<sup>1</sup> Fracture Intensity



#### ۴-۱۳- روش‌های فعلی برای نمونه‌گیری شکستگی

چهار استراتژی نمونه‌گیری اصلی برای جمع‌آوری داده‌های شکستگی که به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند و در مقالات گزارش شده‌اند عبارت‌اند از: روش خط اسکن خطی ( Priest & Hudson, 1981; Priest, 1993)، نمونه‌برداری ناحیه‌ای (Wu & Pollard, 1995)، نمونه‌برداری پنجره مستطیل شکل (Pahl, 1981; Priest, 1993)، و روش خط اسکن دایره‌ای (Mauldon et al., 2001; Rohrbaugh et al., 2002).

#### ۴-۱۳-۱- نمونه‌گیری خط اسکن خطی<sup>۱</sup>

این روش به دلیل سرعت بالا در انجام کار موردعلاقه پژوهشگران است. این روش شامل قرار دادن یک نوار مستقیم در رخنمون سنگی و اندازه‌گیری صفات شکستگی (از جمله جهت‌گیری، فاصله، شدت و پرشدگی) در مورد هر شکستگی که نوار را قطع می‌کند، می‌شود ( Priest & Hudson, 1981; Priest, 1993) (شکل ۴-۵۶a). این نوارها طوری انتخاب می‌شوند که معمولاً عمود بر امتداد مجموعه شکستگی‌ها، یا عمود بر لایه‌بندی باشند. نقطه کور و ضعف این روش در امتداد برخورد شکستگی‌ها با این نوار است. به این ترتیب که حتی الامکان نوار بایستی به‌صورت عمود بر روند شکستگی‌ها انتخاب شود، اما برخورد دیگر شکستگی‌ها با زاویه کمتر با این نوار تخمین شدتی پایین‌تر، و تخمین فاصله‌ای بالاتر از واقعیت را ارائه می‌دهد ( Priest, 1993). بسیاری از مطالعات این روش را برای ارزیابی صفات مدنظر بکار گرفته‌اند و به‌موجب آن یک خط اسکن عمود بر امتداد هر مجموعه شکستگی را در رخنمون در نظر گرفته‌اند ( McQuillan, 1973; Hanks et al., 1997; Wennberg et al., 2007; Ortega et al., 2010; Hooker et al., 2011; Barbier et al., 2012; Ellis et al., 2012; nigo et al., 2012).

#### ۴-۱۳-۲- نمونه‌گیری ناحیه‌ای<sup>۲</sup>

نمونه‌گیری ناحیه‌ای شامل جمع‌آوری داده‌های صفات شکستگی در دو بعد هست. این روش در مقیاس بزرگ بسیار مؤثر است. یکی از مزیت‌های این روش، امکان انجام دور به‌وسیله تجزیه و تحلیل عکس‌های هوایی است ( Wu & Pollard, 1995) (شکل ۴-۵۶b). نمونه‌گیری ناحیه‌ای یک روش

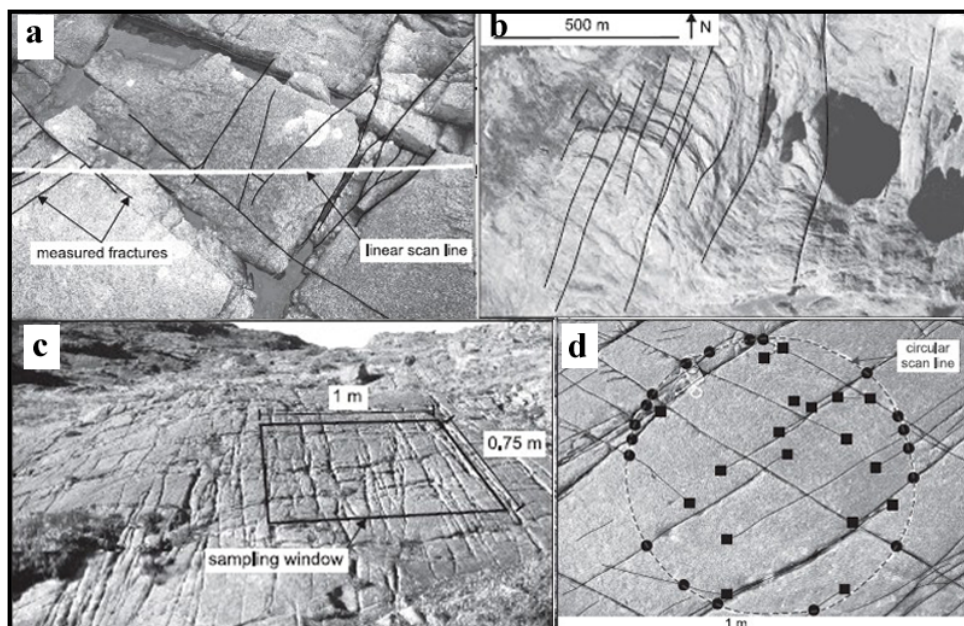
<sup>1</sup> Linear scanline sampling

<sup>2</sup> Areal sampling

معمول مورد استفاده برای ارزیابی تنوع شکستگی در ساختارهای مقیاس بزرگ است. در این روش از عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی آزیموت اثر شکستگی، تراکم و شدت داده‌ها استفاده می‌شود (McQuillan, 1974; Mobasher & Babaie, 2008; Ghosh & Mitra, 2009). نمونه‌گیری ناحیه‌ای روشی سریع برای جمع‌آوری داده می‌باشد، با این حال نتایج این روش وابسته به وضوح تصویر و عکس تهیه‌شده از رخنمون است. بنابراین مستلزم کنترل کیفیت عکس و مقایسه با رخنمون است، که این فرآیند می‌تواند زمان‌بر باشد.

#### ۴-۱۳-۳- نمونه‌گیری پنجره مستطیل<sup>۱</sup>

نمونه‌گیری پنجره‌ای شامل بهره‌گیری از یک مستطیل قرارداد شده بر روی رخنمون سنگی، و ارزیابی صفات شکستگی در مساحت مستطیل است (Priest, 1993). این روش در مقایسه با روش اسکن خطی، کمتر دچار انحراف جهت‌گیری می‌شود (Pahl, 1981). اگر بسیاری از خواص برای هر شکستگی در پنجره اندازه‌گیری شود، این روش می‌تواند زمان‌بر باشد.



شکل ۴-۵۶- (a) شکستگی صفات، از جمله جهت‌گیری، طول، بازشدگی، فاصله‌بندی و پرشدگی شکستگی برای هر شکستگی که قطع می‌کند خط اسکن خطی (نوار اندازه‌گیری) اندازه‌گیری شد. (b) ناپیوستگی‌های بزرگ مقیاس که با استفاده از روش ناحیه‌ای از یک عکس هوایی صورت گرفته است. (c) ویژگی‌های شکستگی، از جمله جهت‌گیری، طول، دیافراگم، فاصله‌بندی و پرشدگی شکستگی در هر شکستگی در یک منطقه نمونه‌گیری (مربع سیاه) با استفاده از روش

<sup>1</sup> Rectangular window sampling

نمونه‌گیری پنجره مستطیل شکل اندازه‌گیری می‌شود. (d جمع‌آوری داده‌های خط اسکن مدور؛ تقاطع شکستگی با دایره نمونه‌گیری (نقطه‌های سیاه) و ختم شکستگی در داخل دایره (مربع سیاه) برای برآورد شدت شکستگی، چگالی و متوسط طول اثری شمارش می‌شوند (Mauldon et al., 2001).

#### ۴-۱۳-۴- نمونه‌گیری خط اسکن دایره‌ای شکل<sup>۱</sup>

استراتژی نمونه‌گیری چهارم، استفاده از دایره‌ای مستقر بر رخنمون توده سنگی در بردارنده شکستگی‌های متفاوت است که توسط (Mauldon et al., 2001; Rohrbaugh et al., 2002) طرح‌ریزی شده است. در این روش، به جای اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های شکستگی، تعداد تقاطع شکستگی با لبه و محیط دایره موردنظر بر روی رخنمون، و تعداد انتهای شکستگی در درون محیط دایره موردنظر می‌باشد (شکل ۴-۵۶d).

#### ۴-۱۴- جمع‌آوری داده‌ها در رخنمون

در هر سایت نمونه‌برداری، یک دایره با شعاع شناخته‌شده و قابل اندازه‌گیری بر روی سطح موردنظر ترسیم می‌شود. در آن تعداد تقاطع شکستگی با لبه و محیط دایره (n) و تعداد خاتمه شکستگی در داخل مساحت دایره (m) شمارش می‌شود. این مقادیر به یک سری معادلات وارد می‌شوند (Mauldon et al., 2001) که با توجه به نزدیکی کیفیت داده‌های برداشت‌شده در این پژوهش و مطالعه (Mauldon et al., 2001)، ما با الگوگیری و استفاده از معادلات Mauldon که برای دو ویژگی شدت و تراکم شکستگی‌ها تعریف شده است، به برآورد تراکم ( $\rho$ ) و شدت (I) شکستگی در ایستگاه‌هایی که دارای رخنمون مناسب‌اند و امکان داده‌برداری در آن‌ها فراهم بود می‌پردازیم:

$$\rho = m/2\pi r^2 \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

$$I = \left(\frac{n}{4r}\right) \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

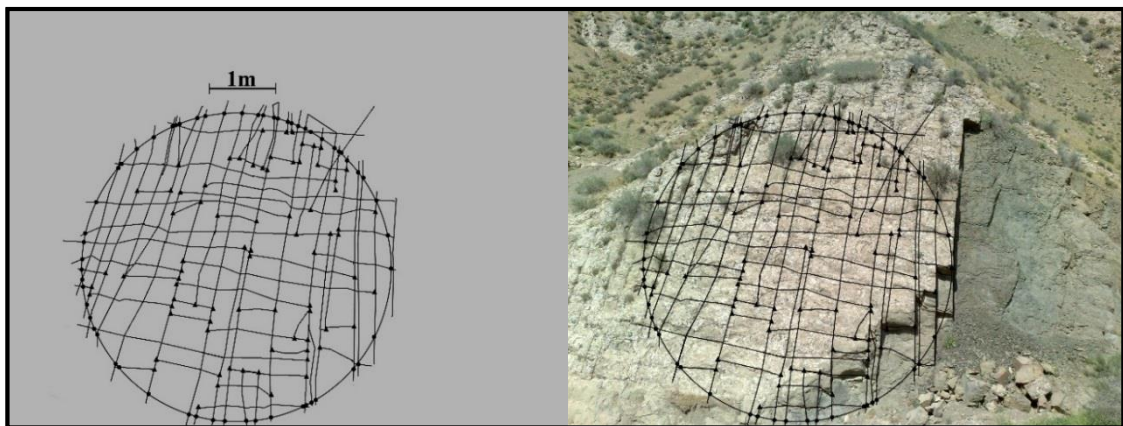
در روابط فوق  $r$  شعاع دایره موردنظر است. مقادیر  $m$  و  $n$  نیز از قبل تعریف شده‌است. در تمام ایستگاه‌های ممکن، تمام تلاش انجام‌شده است تا تصویر تهیه‌شده از رخنمون، عمود بر سطح لایه‌بندی باشد. در مواردی به دلیل توپوگرافی نامناسب این امکان فراهم نبود. با توجه به شکل ۴-۵۵، که با

<sup>1</sup> Circular scanline sampling

افزایش قطر پنجره مقادیر به دست آمده به واقعیت نزدیک می‌شود، سعی شد از بزرگ‌ترین دایره‌ای که می‌توان بر روی رخنمون ترسیم کرد استفاده شود. حتی در محاسبات در یک ایستگاه از دو دایره با قطرهای متفاوت استفاده شد تا تأثیر این تغییر اندازه در پنجره بر مقادیر شدت و تراکم ارزیابی شود. در هر رخنمون با توجه به اندازه‌گیری‌های صحرائی مقادیر مربوط به طول درزه‌ها، فاصله متوسط در هر دسته شکستگی، مقادیر تراکم و شدت اندازه‌گیری شد.

#### ۴-۱۴-۱- ایستگاه C4

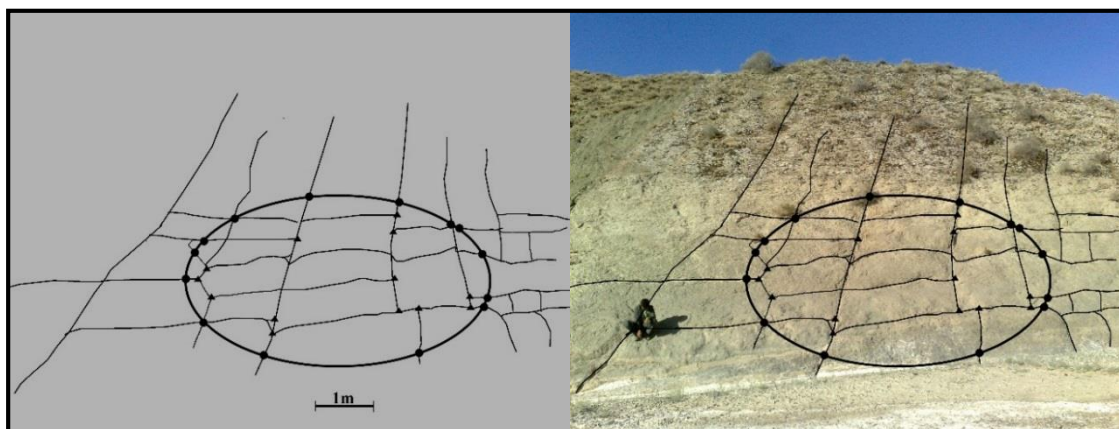
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۱۵'$  شرقی و عرض  $۱۸^{\circ} ۳۶' ۳۶''$  شمالی در یال جنوبی چین خوردگی مذکور واقع شده است. این ایستگاه در حاشیه جاده خاکی احداث شده به سمت روستای سرچنگل بر روی سطح لایه‌بندی مربوط به سازند ماسه‌سنگی آیتامیر واقع است. دو سیستم درزه با قرارگیری فضایی عمود نسبت به یکدیگر با مختصات عمومی  $N40E, 81 NW$  و  $N55W, 55SW$  قرار دارند. فاصله درزه‌ها به‌طور متوسط و به ترتیب  $۳۰$  و  $۲۰$  سانتی‌متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب  $۴$  و  $۱$  متر اندازه‌گیری شد. در این رخنمون سنگی دایره‌ای به قطر  $۴,۵$  متر ترسیم شد. این دایره حداکثر اندازه قابل ترسیم برای این رخنمون بود. شمارش مقادیر  $M=۷۵$  و همین‌طور  $N=۵۸$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه  $۰,۵۸۹$  و  $۳,۲۲$  به دست آمد (شکل ۴-۵۷).



شکل ۴-۵۷- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر  $۴,۵$  متر در ایستگاه C4. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $n$ ، و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $m$  را نشان می‌دهند.

#### ۴-۱۴-۲- ایستگاه A2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۶۰^{\circ} ۱۶' ۶''$  شرقی و عرض  $۳۹^{\circ} ۳۹' ۲۱''$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذبور واقع شده است. این ایستگاه در ۳ کیلومتری ابتدای پیمایش  $A - A'$  بر روی سطح لایه بندی ماسه سنگی سازند آیتامیر واقع است. دو سیستم درزه با قرارگیری فضایی عمود نسبت به یکدیگر با مختصات عمومی  $S30E, 65SW$  و  $N60E, 70SE$  قرار دارند. فاصله درزه ها به طور متوسط و به ترتیب ۹۰ و ۱۷۰ سانتی متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب ۴ و ۱۰ متر اندازه گیری شد. در این رخنمون دایره ای به قطر ۵ متر ترسیم شد. شمارش مقادیر  $M=13$  و همین طور  $N=14$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه  $0,7$  و  $0,082$  به دست آمد (شکل ۴-۵۸).

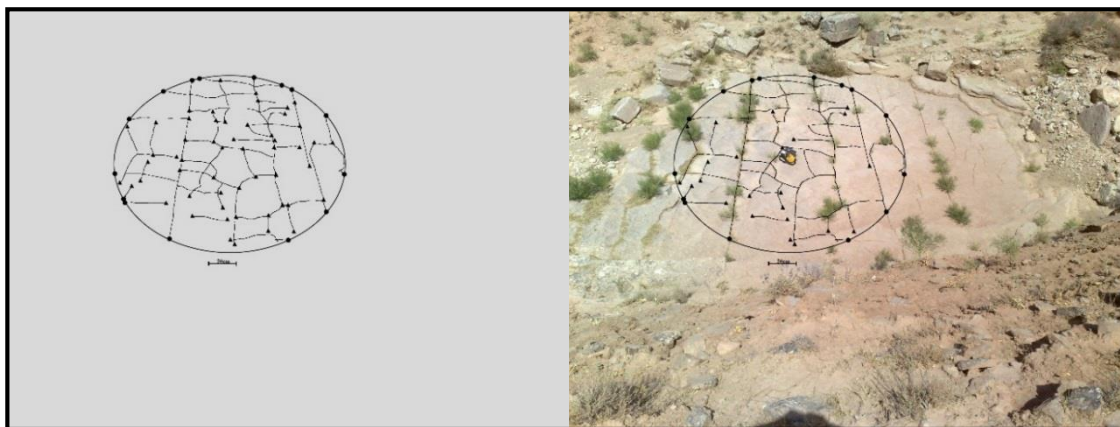


شکل ۴-۵۸- شبکه بندی و اعمال یک پنجره دایره ای به قطر ۵ متر در ایستگاه A2. دایره های توپر سیاه رنگ مقادیر  $n$  و مثلث های توپر سیاه رنگ مقادیر  $m$  را نشان می دهند.

#### ۴-۱۴-۳- ایستگاه D3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۶۰^{\circ} ۱۲' ۸''$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۳۲' ۱۳''$  شمالی در نزدیکی اثر سطح محوری و محور چین خوردگی مذبور واقع شده است. این ایستگاه در انتهای پیمایش  $D - D'$  بر روی سطح لایه بندی آهکی چهل کمان واقع است. دو سیستم درزه با قرارگیری فضایی عمود نسبت به یکدیگر با مختصات عمومی  $S44E, 90$  و  $S30E, 70NW$  قرار دارند. فاصله درزه ها به طور متوسط و به ترتیب ۱۲۰ و ۹۵ سانتی متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب  $0,95$  و ۱۰ متر اندازه گیری شد. در این رخنمون دایره ای به قطر  $4,2$  متر ترسیم شد. شمارش مقادیر  $M=54$  و

همین طور  $N=15$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه  $0,487$  و  $0,89$  به دست آمد (شکل ۴-۵۹).

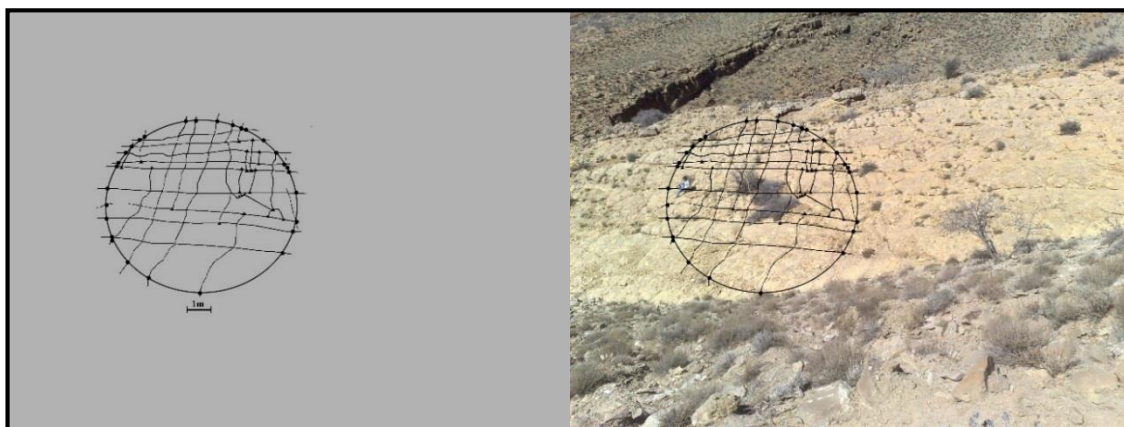


شکل ۴-۵۹- شبکه بندی و اعمال یک پنجره دایره ای به قطر  $4,2$  متر در ایستگاه D3. دایره های توپر سیاه رنگ مقادیر  $n$ ، و مثلث های توپر سیاه رنگ مقادیر  $m$  را نشان می دهند.

#### ۴-۱۴-۴- ایستگاه D5

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $12^{\circ} 22' 60''$  شرقی و عرض  $26^{\circ} 32' 36''$  شمالی در نزدیکی اثر سطح محوری و محور چین خوردگی مذکور واقع شده است. این ایستگاه در اواخر پیمایش  $D - D'$  بر روی سطح لایه بندی آهکی چهل کمان واقع است. در این ایستگاه نیز دو سیستم درزه با قرارگیری فضایی عمود نسبت به یکدیگر با مختصات عمومی  $N55E, 30NW$  و  $S40E, 70NE$  قرار دارند. فاصله درزه ها به طور متوسط و به ترتیب  $60$  و  $90$  سانتی متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب  $20$  و  $4$  متر اندازه گیری شد. در این رخنمون دایره ای به قطر  $8$  متر ترسیم شد. شمارش مقادیر  $M=20$  و همین طور  $N=29$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه  $0,049$  و  $0,906$  به دست آمد (شکل ۴-۶۰).



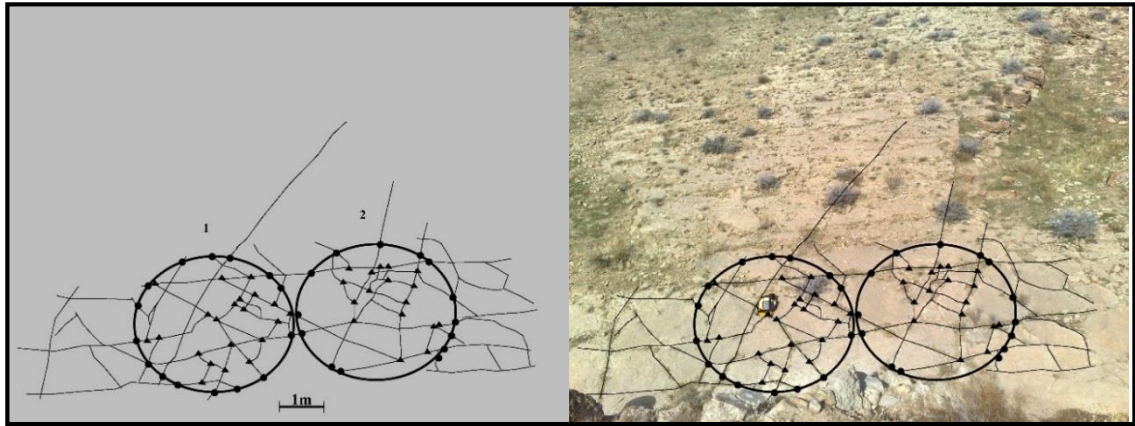


شکل ۴-۶۰- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۸ متر در D5. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $n$ ، و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $m$  را نشان می‌دهند.

#### ۴-۱۴-۵- ایستگاه E2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۱^{\circ} ۲۳' ۶۰''$  شرقی و عرض  $۲۱^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی در نزدیکی اثر سطح‌محوری و محور چین‌خوردگی مذکور واقع شده است. این ایستگاه در انتهای پیمایش  $E - E'$  بر روی سطح لایه‌بندی آهکی چهل‌کمان واقع است. در این ایستگاه نیز سه سیستم درزه با مختصات عمومی  $N30E, 71SE$  و  $N42W, 85NE$  و  $N83E, 70NW$  قرار دارند. فاصله درزه‌ها به‌طور متوسط و به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب ۲ و ۱٫۵ و ۷ متر اندازه‌گیری شد. در این ایستگاه دو پنجره اسکن دایره‌ای با قطر یکسان ۳٫۵ متر ترسیم شد. بدین ترتیب برای پنجره ۱ شمارش مقادیر  $M=۲۱$  و همین‌طور  $N=۱۵$  و مقادیر تراکم و شدت درزه در این پنجره ۰٫۲۷۲ و ۱٫۰۷ به‌دست آمد و برای پنجره ۲ شمارش مقادیر  $M=۱۷$  و همین‌طور  $N=۱۴$  و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این پنجره نیز ۰٫۲۲۰ و ۱ به‌دست آمد (شکل ۴-۶۱).

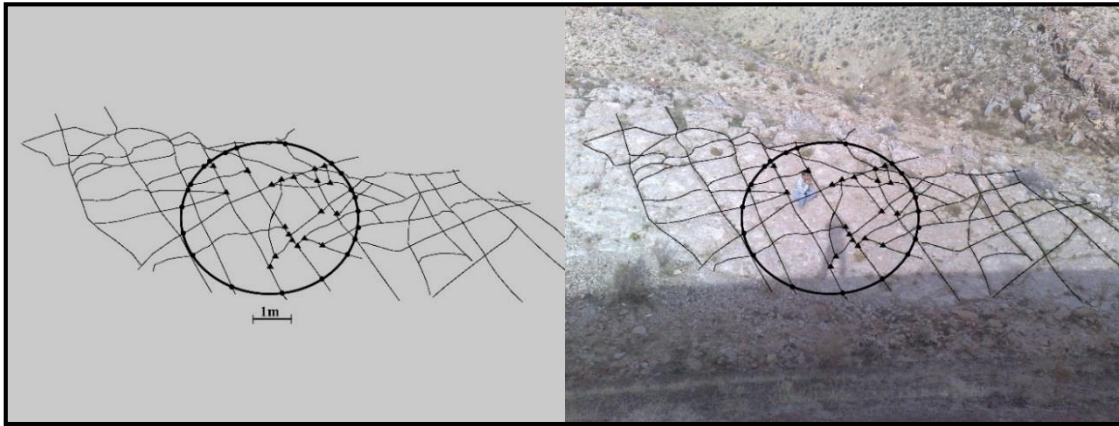




شکل ۴-۶۱- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۳,۵ متر در ایستگاه E2. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $n$ ، و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $m$  را نشان می‌دهند.

#### ۴-۱۴-۶- ایستگاه E3

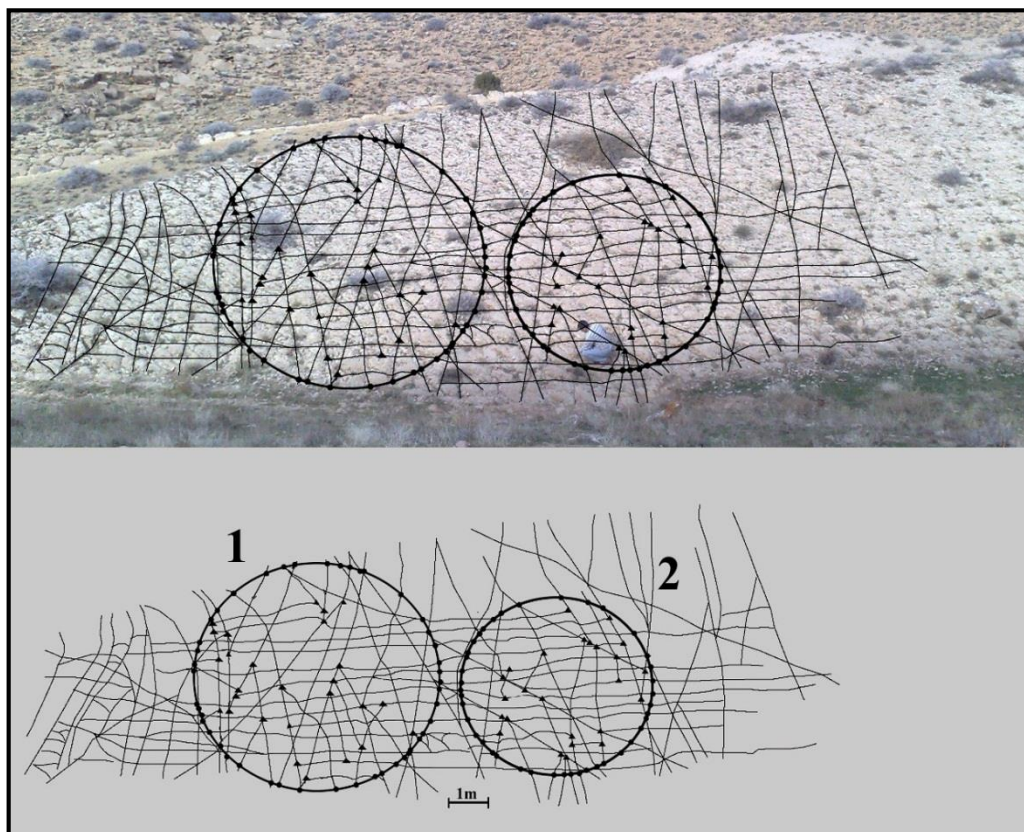
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۲۳' ۶۰''$  شرقی و عرض  $۲۲^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی در نزدیکی اثر سطح محوری و محور چین‌خوردگی مذبور واقع شده است. این ایستگاه در اواخر پیمایش  $D - D'$  بر روی سطح لایه‌بندی آهکی چهل‌کمان واقع است. در این ایستگاه نیز سه سیستم درزه با مختصات عمومی  $N30E, 71SE$  و  $N42W, 85NE$  و  $N83E, 70NW$  قرار دارند. فاصله درزه‌ها به‌طور متوسط و به ترتیب  $۶۰$  و  $۹۰$  سانتی‌متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب  $۲۰$  و  $۴$  متر اندازه‌گیری شد. در این رخنمون سنگی دایره‌ای به قطر  $۴,۵$  متر ترسیم شد. شمارش مقادیر  $M=۲۰$  و همین‌طور  $N=۲۱$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه  $۰,۱۵۷$  و  $۱,۱۶$  به‌دست آمد (شکل ۴-۶۲).



شکل ۴-۶۲- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۴,۲ متر در ایستگاه E3. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $n$ ، و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $m$  را نشان می‌دهند.

#### ۴-۱۴-۷- ایستگاه F

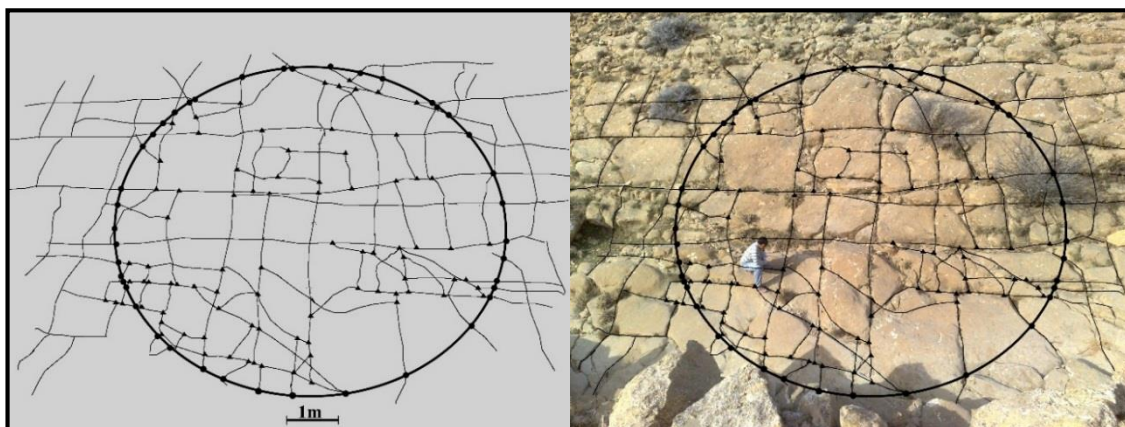
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $60^{\circ} 22' 32''$  شرقی و عرض  $36^{\circ} 32' 27''$  شمالی بر روی یال جنوبی چین‌خوردگی مذکور واقع شده است. این ایستگاه در اواخر پیمایش  $D - D'$  بر روی سطح لایه‌بندی آهکی چهل کمان واقع است. در این ایستگاه نیز سه سیستم درزه با مختصات عمومی  $N40W, 90$  و  $S49W, 69NW$  و  $N14E, 82SE$  قرار دارند. فاصله درزه‌ها به‌طور متوسط و به ترتیب ۹۰ و ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، برای هر سیستم مشخص شد. طول متوسط نیز به ترتیب ۵,۵ و ۳ و ۴,۴ متر اندازه‌گیری شد. در این ایستگاه دو پنجره اسکن دایره‌ای با قطر متفاوت  $1=6,2$  متر و  $2=4,8$  متر، به‌منظور ارزیابی نقش قطر پنجره در مقادیر شدت و تراکم ترسیم شد. بدین ترتیب برای پنجره ۱ شمارش مقادیر  $M=27$  و همین‌طور  $N=46$  و مقادیر تراکم و شدت درزه در این پنجره ۰,۱۱۱ و ۱,۸۵ به‌دست آمد. برای پنجره ۲ شمارش مقادیر  $M=25$  و همین‌طور  $N=41$  و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این پنجره نیز ۰,۱۷۲ و ۲,۱۳ به‌دست آمد (شکل ۴-۶۳).



شکل ۴-۶۳- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای با قطر  $1=6,2$  متر و  $2=4,8$  متر در ایستگاه F. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر n، و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر m را نشان می‌دهند.

#### ۴-۱۴-۸- ایستگاه D6

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $32^{\circ} 22' 60''$  شرقی و عرض  $28^{\circ} 32' 36''$  شمالی در انتهای مسیر  $D - D'$ ، بر روی آهک‌های چهل‌کمان، در یال جنوبی چین‌خوردگی مذکور واقع شده است. دو سیستم درزه با قرارگیری تقریبی عمود نسبت به یکدیگر در رخنمون سنگی مشاهده می‌شود. این دو سری درزه با روندهای  $N17W, 82NE$  و  $N90E, 63N$ ، و با فواصل ۱۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، و اثر طولی ۱۰ و ۴ متر، در رخنمون وجود دارند. در این رخنمون سنگی دایره‌ای به قطر ۷,۴ متر ترسیم گشت. شمارش مقادیر  $M=81$  و همین‌طور  $N=41$  صورت گرفت و بدین ترتیب مقادیر تراکم و شدت درزه در این ایستگاه ۰,۲۳۵ و ۱,۳۸ به‌دست آمد (شکل ۴-۶۴).



شکل ۴-۶۴- شبکه‌بندی و اعمال یک پنجره دایره‌ای به قطر ۷,۴ متر در ایستگاه D6. دایره‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $n$  و مثلث‌های توپر سیاه‌رنگ مقادیر  $m$  را نشان می‌دهند.

در پایان نتایج به صورت چکیده‌ای شامل قطر پنجره، مقادیر  $m$  و  $n$ ، تراکم و شدت برای هر ایستگاه در قالب جدول ۴-۱ آورده شده است.

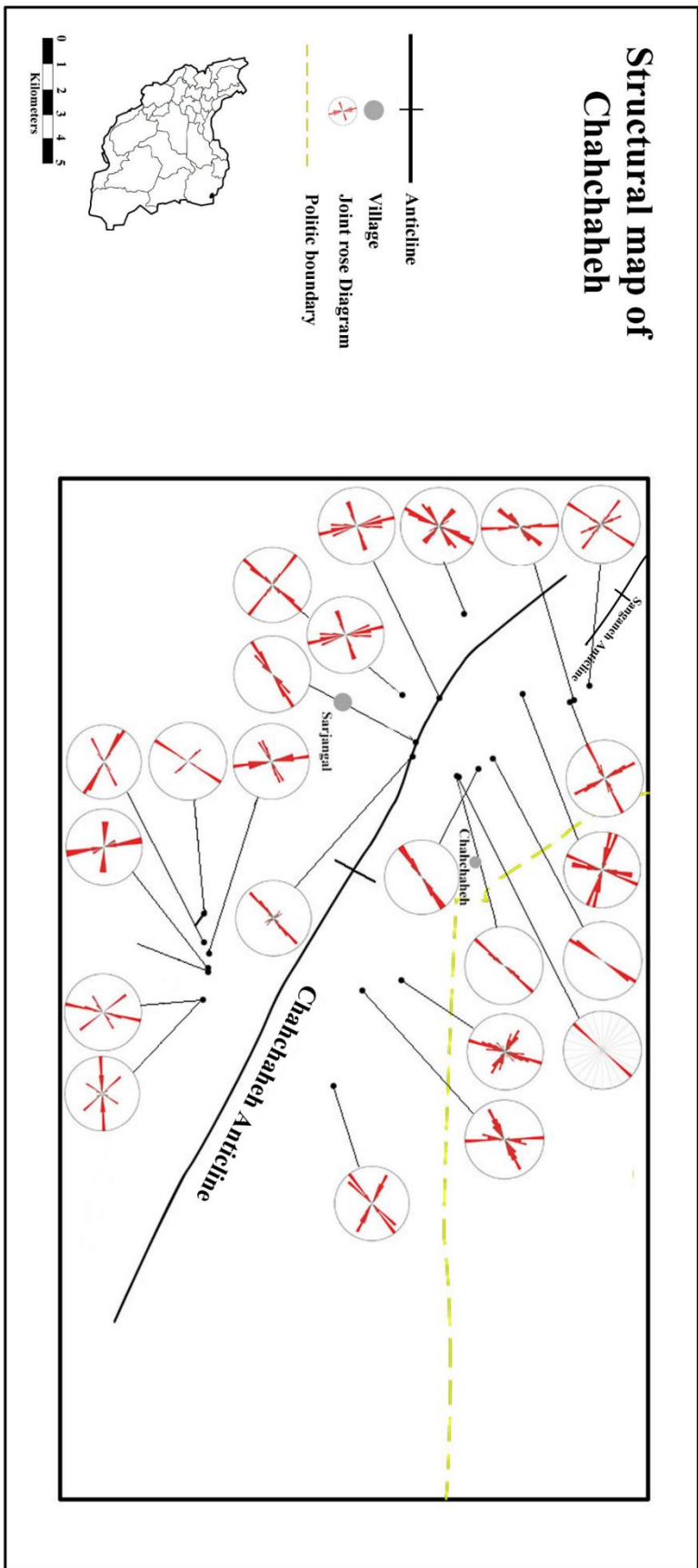
جدول ۴-۱) اطلاعات مربوط به تمام ایستگاه‌هایی که در آن‌ها نمونه‌گیری به روش پنجره دایره‌ای صورت گرفت.

ایستگاه	قطر پنجره (M)	M	N	تراکم ( $\rho$ )	شدت (I)
C4	4.5	75	58	0.589	3.22
A2	5	13	14	0.082	0.7
D3	4.2	54	15	0.487	0.89
D5	8	20	29	0.049	0.906
E2	3.5	21	15	0.272	1.07
	3.5	17	14	0.220	1
E3	4.5	20	21	0.157	1.16
F	6.2	27	46	0.111	1.85
	4.8	25	41	0.172	2.13
D6	7.4	81	41	0.235	1.38

عواملی که در میزان شدت و تراکم درزه‌ها دخالت دارند، می‌توانند نتایج را دستخوش تغییرات کنند. در تنوع نتایج می‌توان به چند شاخص اشاره کرد: الف- موقعیت ساختاری، ب- ضخامت لایه‌بندی، ج- قطر پنجره اسکن، د- جنس سنگ، ه- تقدم و تأخر درزه‌ها

موقعیت ساختاری نقش تعیین کننده‌ای در میزان شدت و تراکم درزه‌ها ایفا می‌کند. به طوری که با نزدیک شدن به منطقه خردشده بر میزان این دو مشخصه افزوده می‌گردد. رفتار مکانیکی مختلف سنگ‌ها متأثر از جنس آن‌هاست. بنابراین می‌توان مقادیر متفاوتی از شدت و تراکم را برای جنس‌های مختلف متصور شد. ضخامت لایه‌بندی می‌تواند به طور رابطه‌ای غیرمستقیم شدت و تراکم را کنترل نماید. بنابراین در شرایط برابر هرچه ضخامت طبقات کمتر باشد، شدت و تراکم افزایش می‌یابد. با افزایش قطر پنجره اسکن مقادیر به دست آمده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر خواهد شد. عامل مهم دیگری که نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌توان اشکال بزرگ این روش باشد، تقدم و تأخر درزه‌هاست. درزه‌های جدیدتر محدود به قدیمی‌ها هستند. بنابراین در داخل پنجره در نظر گرفته شده ما شاهد اتمام آن‌ها خواهیم بود. حال آنکه در صورت همزمانی سری شکستگی‌ها درزه‌ها می‌توانند محدود به یکدیگر نباشند. بنابراین در چنین شرایطی مشخصه  $n$  از بین خواهد رفت. حال آنکه ممکن است شاهد درزه‌هایی متراکم و با فاصله کم از یکدیگر باشیم.





شکل ۴-۶۵- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۱۵- فاصله‌داری و فرکانس ناپیوستگی<sup>۱</sup> و RQD<sup>۲</sup>

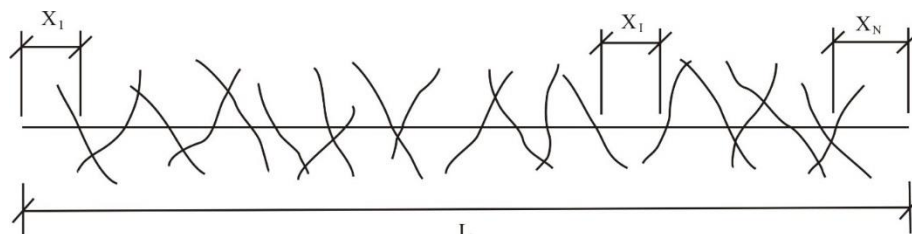
برخی از کارشناسان زمین‌شناسی ترجیح می‌دهند که برای سنجش کیفیت توده سنگ، بجای RQD از شاخص فرکانس شکستگی و یا تعداد میانگین گسستگی‌های طبیعی موجود در واحد طول، استفاده کنند. در این بخش سعی شده است از نمونه‌گیری اسکن خطی برای دستیابی به مقادیر RQD برای توده سنگ در بردارنده شکستگی‌ها استفاده شود. یک نمونه‌گیری به روش خط اسکن که ناپیوستگی‌ها را در توده سنگی قطع می‌کند در شکل نشان داده شده است. در این شکل، طول خط نمونه‌گیری  $L(m)$  و تعداد ناپیوستگی‌هایی که خط اسکن را قطع می‌کند  $N$  می‌باشد (Hudson, J.A., Harrison, J.P., 1997). بنابراین فاصله‌داری میانگین به این صورت خواهد بود:

$$\bar{x} = L/N \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

و متعاقباً فرکانس ناپیوستگی‌ها به شرح زیر خواهد بود:

$$\lambda = N/L \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

فرکانس ناپیوستگی به صورت تعداد شکستگی‌ها در واحد متر بیان می‌شود. به طوری که معکوس آن فاصله‌داری ناپیوستگی خواهد بود.



شکل ۴-۶۶- تعیین فاصله بین شکستگی‌ها در امتداد یک نمونه‌گیری خط اسکن

در مواردی که امکان حفاری دورانی موجود نباشد، به منظور ارزیابی کیفیت توده سنگی در محل، می‌توان از این روش استفاده کرد. ارزیابی کیفیت توده سنگ در این روش از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

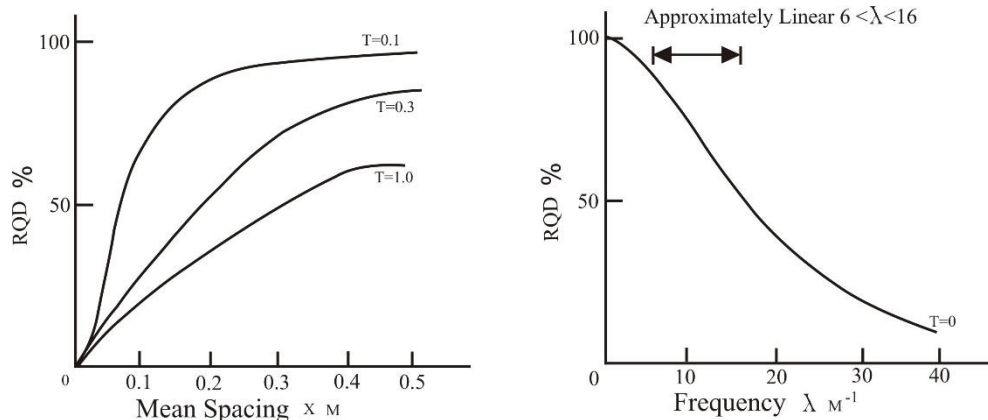
$$RQD = 100e^{-\lambda t}(\lambda t + 1) \quad , t=0.l \quad \text{رابطه (۴-۵)}$$

<sup>1</sup> Fracture Frequency

<sup>2</sup> Rock quality designation



در این رابطه  $t=0.1$  در نظر گرفته شده است که حداقل فاصله بین درزه‌های یک مجموعه است و برحسب متر بیان می‌شود. مشخصه  $e$  هم ثابت نپر<sup>۱</sup> یا همان عدد اویلر<sup>۲</sup> می‌باشد که برابر با ۲,۷ است. در شکل ۴-۶۷ نمودار کلی RQD برحسب فرکانس و فاصله‌داری نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودار پیداست، RQD برای مقادیر فاصله‌داری  $M = 0.3-0.0$  حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهد. برای مقادیر بیشتر از این محدوده عموماً مقادیر RQD بالای ۹۵ درصد خواهد شد.



شکل ۴-۶۷- ارتباط بین RQD و فاصله‌داری و فرکانس شکستگی‌ها (نقل از Hudson, J.A., Harrison, J.P., 1997)

در مورد نمودار RQD برحسب فرکانس شکستگی‌ها، برای مقادیر  $6 < \lambda < 16$  می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$RQD = -3.68\lambda + 110.4 \quad \text{رابطه (۴-۶)}$$

روش کار به همان صورت است که در بخش ۴-۱۳-۱ توضیح داده شد. در این بخش تلاش شد در تمام رخنمون‌هایی که امکان انجام نمونه‌گیری اسکن خطی وجود دارد، از این روش استفاده شود. در رخنمون‌های با یک دسته شکستگی به‌منظور جلوگیری از خطاهای زاویه‌ای در اندازه‌گیری، خط نمونه‌گیری عمود بر دسته شکستگی انتخاب شد. برای رخنمون‌های حاوی دودسته شکستگی که عموماً به‌صورت ارتوگونال نمود یافته‌اند، خط اسکن به‌طوری انتخاب شد که منطبق بر جهت نیمساز بین دودسته باشد. در مورد رخنمون‌های دربردارنده بیش از سه دسته شکستگی جهت خط اسکن

<sup>1</sup> Napier

<sup>2</sup> Euler

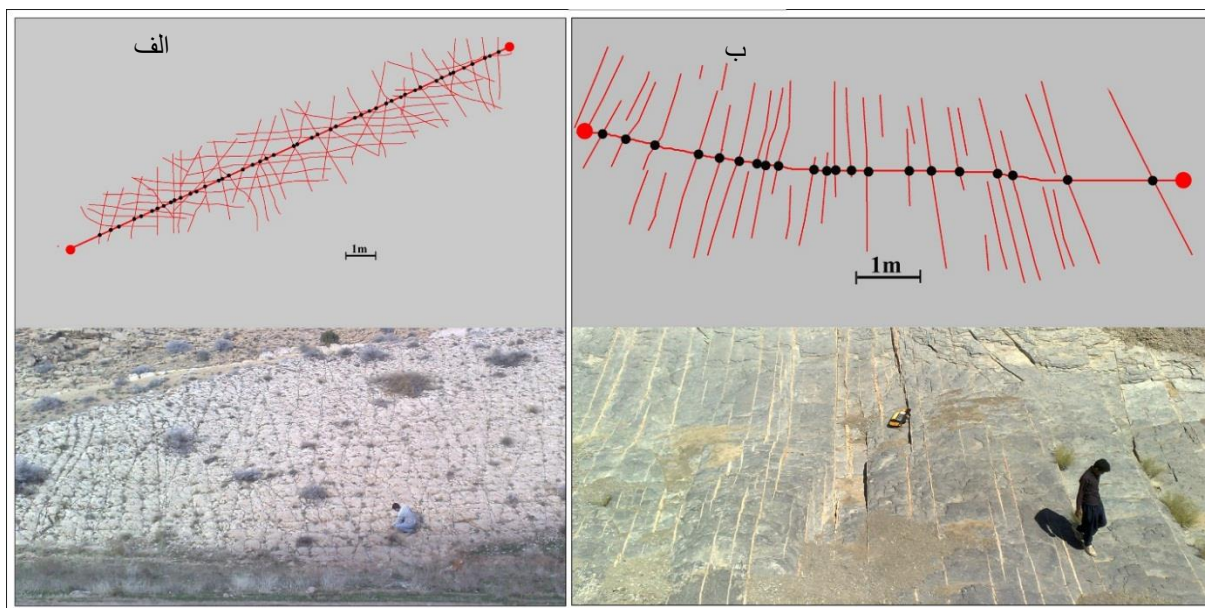
به صورت تصادفی انتخاب شد. بر این اساس، در ۱۰ ایستگاه از منطقه مورد مطالعه نمونه‌گیری اسکن خطی انجام شد و مشخصات آن‌ها در جدول ۴-۲ آورده شد.

#### ۴-۱۵-۱- ایستگاه F

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $20^{\circ} 23' 60''$  شرقی و عرض  $32^{\circ} 32' 36''$  شمالی، در یال جنوبی چین خوردگی مذبور و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه که دارای ۳ دسته شکستگی می‌باشد، خط اسکن به طول ۱۵,۸۵ متر در نظر گرفته شد که با توجه به آن، تعداد برخورد شکستگی با خط اسکن، فاصله‌داری میانگین و فرکانس محاسبه شد (شکل ۴-۱۶۸ الف).

#### ۴-۱۵-۲- ایستگاه G

در این ایستگاه خط اسکنی عمود بر یک دسته شکستگی در نظر گرفته شد. خط اسکنی به طول ۱۲ متر در نظر گرفته شد که با توجه به آن، تعداد برخورد شکستگی با خط اسکن، فاصله‌داری میانگین و فرکانس محاسبه شد (شکل ۴-۱۶۸ ب).



شکل ۴-۱۶۸- نمونه‌گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه F (الف) و ایستگاه G (ب).

#### ۴-۱۵-۳- ایستگاه D6

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۳۲^{\circ} ۲۲'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۲۸'$  شمالی در یال جنوبی تاقدیس و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این رخنمون ۲ دسته شکستگی با زاویه قائم نسبت به یکدیگر نمایان است، خط اسکنی منطبق بر نیمساز بین دودسته شکستگی ترسیم شد (شکل ۴-۶۹الف).

#### ۴-۱۵-۴- ایستگاه E3

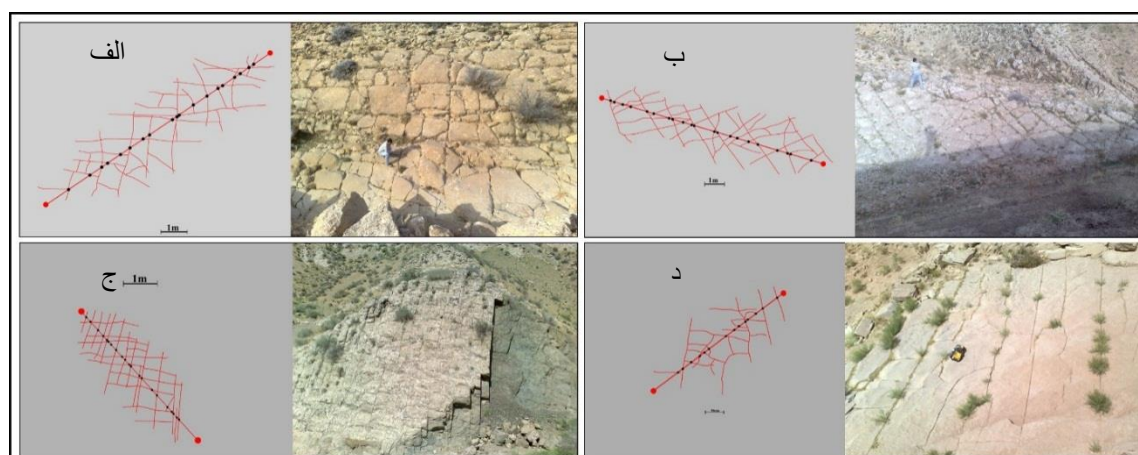
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۲۳'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۲۲'$  شمالی، در یال جنوبی چین‌خوردگی مذبور و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی پسته‌لیق واقع شده است. در این ایستگاه نیز دودسته شکستگی قابل تشخیص و تمایز است (شکل ۴-۶۹ب).

#### ۴-۱۵-۵- ایستگاه C4

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۱۵'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۱۸'$  شمالی یال جنوبی چین‌خوردگی مذبور و بر روی رخنمون ماسه‌سنگی آیتامیر واقع شده است. رخنمون ماسه‌سنگی دودسته شکستگی را نشان می‌دهد که خط اسکنی منطبق بر نیمساز این دودسته در نظر گرفته شد (شکل ۴-۶۹ج).

#### ۴-۱۵-۶- ایستگاه D3

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۸^{\circ} ۱۲'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ} ۱۳'$  شمالی، در یال جنوبی چین‌خوردگی مذبور واقع شده است (شکل ۴-۶۹د).



شکل ۴-۶۹- نمونه‌گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه D6 الف)، ایستگاه E3 ب)، ایستگاه C4 ج) و ایستگاه D3 د).

#### ۴-۱۵-۷- ایستگاه D7

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۵۱^{\circ} ۱۶'$  شرقی و عرض  $۲۰^{\circ} ۳۹' ۳۶''$  شمالی، در یال جنوبی چین خوردگی مذبور واقع شده است. یک دسته شکستگی در رخنمون جانبی قابل تشخیص است که عمود بر این دسته شکستگی خط اسکن ترسیم شد (شکل ۴-۷۰الف).

#### ۴-۱۵-۸- ایستگاه D5

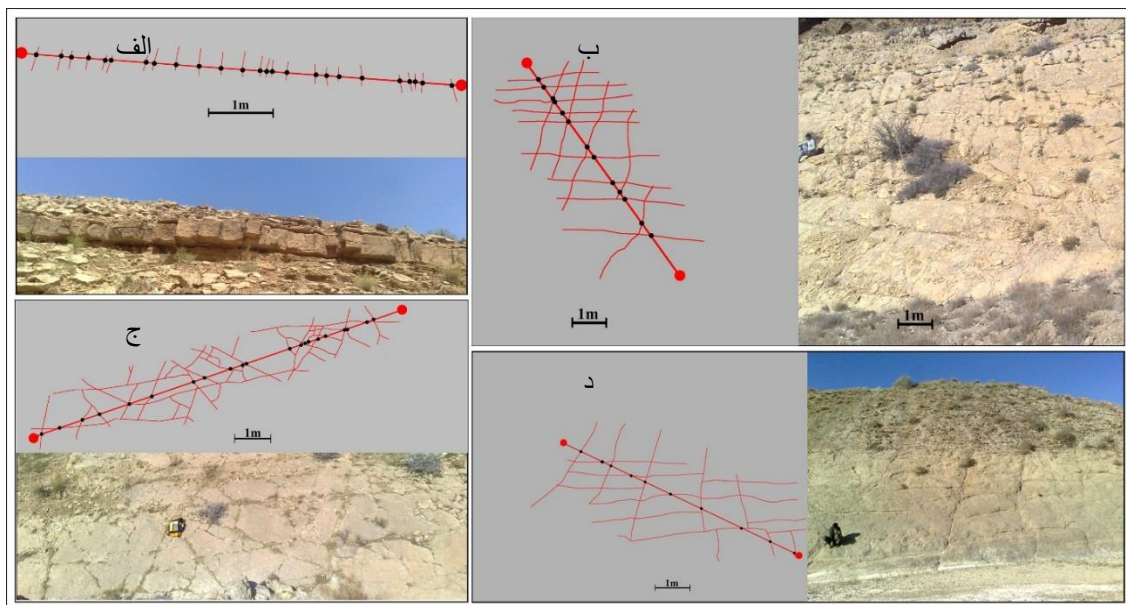
این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۱۲^{\circ} ۲۲'$  شرقی و عرض  $۲۶^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی در انتهای مسیر  $D - D'$  در یال جنوبی چین خوردگی مذبور و بر روی رخنمون پسته لبق واقع شده است. در این رخنمون دودسته شکستگی متعامد مشخص است (شکل ۴-۷۰ب).

#### ۴-۱۵-۹- ایستگاه E2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۲۱^{\circ} ۲۳'$  شرقی و عرض  $۲۱^{\circ} ۳۲' ۳۶''$  شمالی، در یال جنوبی چین خوردگی مذبور و بر روی رخنمون ماسه سنگی پسته لبق واقع شده است (شکل ۴-۷۰ج).

#### ۴-۱۵-۱۰- ایستگاه A2

این ایستگاه با موقعیت طول جغرافیایی  $۶^{\circ} ۱۶'$  شرقی و عرض  $۲۱^{\circ} ۳۹' ۳۶''$  شمالی، در یال شمالی چین خوردگی مذبور و در رخنمون ماسه سنگی آیتامیر واقع شده است (شکل ۴-۷۰د).



شکل ۴-۷۰- نمونه گیری خط اسکن در رخنمون ایستگاه D7 (الف)، ایستگاه D5 (ب)، ایستگاه E2 (ج) و ایستگاه A2 (د).

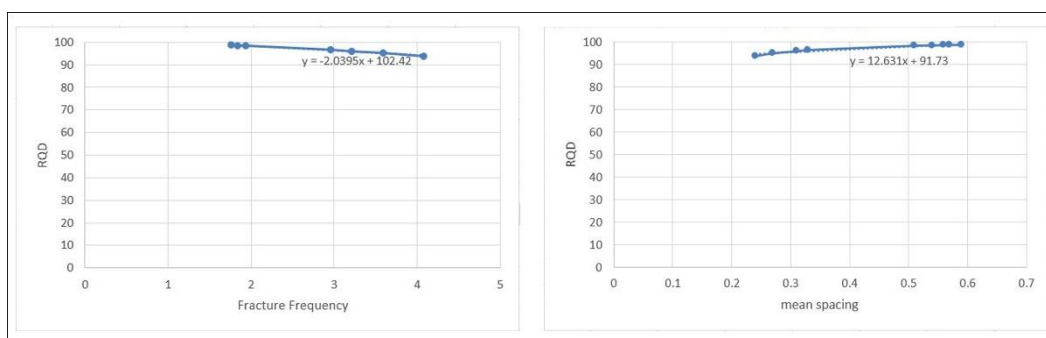
مقادیر RQD، فاصله‌داری و فرکانس به‌دست‌آمده برای ایستگاه‌های مختلف در جدول ۴-۲ آورده شده است. در این جدول مقادیر به‌دست‌آمده برای ایستگاه‌ها به‌صورت افزایشی مرتب شده است.

جدول ۴-۲- مقادیر محاسبه‌شده برای RQD در تمام ایستگاه‌ها

Station	L	N	$\bar{X}=L/N$	$\lambda=N/L$	$RQD=100(0.1\lambda+1)e^{-0.1\lambda}$
C4	5.15	21	0.24	4.077	93.89
D	6.95	25	0.278	3.59	95.13
D3	4.35	14	0.31	3.21	96.03
F	15.85	47	0.337	2.96	96.58
E2	10.85	21	0.51	1.93	98.48
D6	10.3	19	0.54	1.84	98.62
G	11.9	21	0.56	1.76	98.73
D5	7.50	13	0.576	1.73	98.78
E3	12.45	21	0.592	1.68	98.84
A3	7.45	10	0.745	1.34	99.26

در شکل ۴-۷۱ نمودار RQD برحسب فرکانس و فاصله‌داری برای داده‌های به‌دست‌آمده ترسیم شده است. در نمودار به‌دست‌آمده برای مقادیر فرکانس ۰٫۶، ۰٫۲، ۰، معادله به‌صورت رابطه ۴-۷ خواهد شد. با توجه به مقادیر RQD بالای ۹۰ درصد، این نمودارها با نمودارهای شکل ۴-۶۷ تطابق کامل دارد.

$$RQD = -2.0395\lambda + 102.42 \quad \text{رابطه (۴-۷)}$$



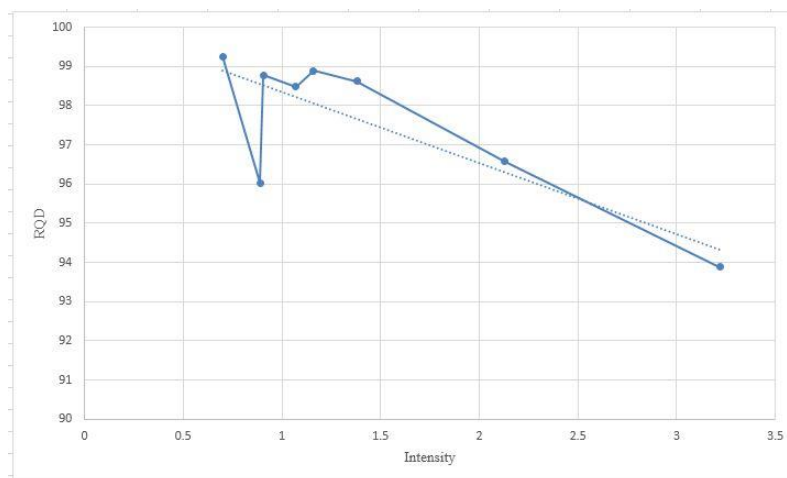
شکل ۴-۷۱- نمودار تهیه‌شده برای مقادیر RQD برحسب فرکانس و فاصله‌داری

در جدول ۳-۴ تقسیم‌بندی استاندارد RQD مشخص شده است. بایستی خاطرنشان کرد که در این جدول و جدول ۴-۴ اعداد هر طیف، به ترتیب به صورت بازه باز و بسته بیان شده است. به طوری که عدد اول شامل این طیف نمی‌شود و مربوط به طیف قبلی می‌باشد.

جدول ۳-۴ - تقسیم‌بندی RQD برای ایستگاه‌ها (نقل از Hudson, J.A., Harrison, J.P., 1997)

%	RQD
	Description
0 - 25	Very poor
25 - 50	Poor
50 - 75	Fair
75 - 90	Good
90 - 100	Exellent

بر این اساس شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) در محدوده عالی قرار می‌گیرد. در نتیجه می‌توان گفت که برای فاصله‌داری ۰,۲۴ متر به بالا (منطقه مورد مطالعه)، شاخص کیفیت توده سنگی بالایی خواهیم داشت. به علاوه عدم مقادیر کیفیت پایین می‌تواند حاکی از دوری از مناطق خردشده (Crash zone) و منطقه گسلی باشد (Fault zone). در پایان نمودار RQD بر حسب شدت شکستگی در ایستگاه‌هایی که امکان اندازه‌گیری هر دو مشخصه وجود داشت، ترسیم شد (شکل ۴-۷۴). همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود رابطه خطی و معکوس بین این دو مشخصه برقرار است. به طوری که هر چه شدت شکستگی افزایش یابد از میزان کیفیت توده سنگی کاسته می‌شود.



شکل ۴-۷۲ - نمودار RQD بر حسب شدت شکستگی



نظر به این که مقادیر به دست آمده از دو مشخصه تراکم و شدت به صورت نسبی تعریف می شوند و با توجه به رابطه خطی و معکوس بین شدت و RQD، مشخصه شدت شکستگی را بر اساس RQD ارزش گذاری نمودیم. بر این اساس، شاخص شدت شکستگی در ۵ رده (از خیلی کم تا خیلی زیاد) تقسیم بندی می شود (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴- تعیین و تقسیم بندی شدت شکستگی بر اساس مقادیر RQD

RQD%	I
93 - 95	Very High
95 - 97	High
97 - 98	Moderate
98 - 99	Low
99 - 100	Very Low

بنابر این تقسیم بندی ایستگاه های برداشت درزه از شدت خیلی پایین تا خیلی زیاد دسته بندی شدند. در این تقسیم بندی، ایستگاه C4 با  $RQD=93,89$  شدت شکستگی خیلی زیاد و ایستگاه A3 با  $RQD=99,26$  شدت شکستگی خیلی کمی را از خود نشان می دهند (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵- معرفی شدت های تعیین شده برای ایستگاه های برداشت درزه

I	Station(s)
Very High	C4
High	D7-D3-F
Moderate	-
Low	E2-D6-G-D5-E3
Very Low	A3





# فصل پنجم

## بحث و نتیجه گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی و با استناد به تحلیل‌هایی که از داده‌های شش پیمایش عمود بر محور و اثر سطح‌محوری حاصل شد می‌توان به‌طور خلاصه به نتایج زیر اشاره کرد:

تاقدیس چهچه در شمال خاوری مشهد (جنوب روستای چهچه)، با روند اثرمحوری شمال باختری- جنوب خاوری، بخشی از نوار چین‌خورده کپه‌داغ است. بر اساس نقشه‌های موجود و مشاهدات میدانی نگارنده، در این تاقدیس، سازندهای سنگانه، آیتامیر، آب‌دراز، نیزار، کلات به سن کرتاسه و سازندهای پسته‌لیق و چهل‌کمان (پالتوسن) و خانگیران (ائوسن)، تحت تأثیر چین‌خوردگی قرار گرفته‌اند. این تاقدیس با طول ۳۰ کیلومتر از جنوب تاقدیس اشلر تا جنوب تاقدیس خانگیران رخنمون دارد. به‌منظور دستیابی به هندسه تاقدیس، در مجموع شش پیمایشی که صورت گرفت، تاقدیس چهچه یک تاقدیس استوانه‌ای و نامتقارن است. این تاقدیس با پلانژ اندک دوطرفه (قابل اغماض) و سطح‌محوری پرشیب به سمت شمال خاوری با روند عمومی کپه‌داغ مطابقت دارد.

بر طبق داده‌های به‌دست‌آمده از این پیمایش‌ها مشخصات کلی و میانگین محور و سطح‌محوری به ترتیب  $07/116$  و  $N64W, 88NE$  به‌دست آمد. زاویه بین‌یالی این تاقدیس در پیمایش‌های مختلف از  $102$  تا  $141$  درجه متغیر است. بر اساس طبقه‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه بین‌یالی و میل لولا و شیب سطح‌محوری، به ترتیب در رده  $Open$  و  $Upright horizontal$  قرار می‌گیرد.

این تاقدیس با نسبت ظاهری  $0,16-0,30$  در رده  $Wide$  تا  $Broad$ ، و با ضریب نوک‌دارشدگی  $0,21-0,45$  در رده  $Subangular$  قرار می‌گیرد.

تنش حاکم بر تاقدیس چهچه و مسبب آن با توجه به عناصر چین به‌دست آمد. بر این اساس جهت‌گیری تنش‌های اصلی  $81$ ،  $82$  و  $83$  حاکم بر تاقدیس به ترتیب  $0,2/206$ ،  $07/116$  و  $83/311$  برآورد شد. در ایالت کپه‌داغ، تنشی با جهت‌گیری شمال، شمال خاور - جنوب، جنوب باختر موجب

شکل‌گیری آن شده است. در تاقدیس چه‌چهه نیز راستای تنش بیشینه از آنچه بر ایالت کپه‌داغ حاکم است پیروی می‌کند.

بررسی‌های مربوط به شکستگی‌های موجود بر ساختمان تاقدیس در ۲۳ ایستگاه نشان‌گر سه دسته عمده شکستگی هستند. شکستگی‌های طولی، عرضی و برشی در یال‌ها و منطقه لولایی قابل تشخیص‌اند. الف شکستگی‌های عرضی با موقعیت عمومی (N020-040, 80-90SE/NW) ب- شکستگی‌های طولی با موقعیت عمومی (N295-315, 65-85NE/SW) ج- شکستگی‌های مزدوج با موقعیت عمومی (N345-013, 75-90NE/SW و N050-065, 75-90SW). دسته اول و دوم فراوان‌ترین شکستگی‌های منطقه را شامل می‌شوند و بازشدگی و پرشدگی از خود نشان می‌دهند.

شاخص تراکم و شدت در ۹ ایستگاه ماسه‌سنگی و آهکی توسط اعمال پنجره اسکن دایره‌ای با الگوگیری و استفاده از معادلات Mauldon که برای دو ویژگی شدت و تراکم شکستگی‌ها تعریف شده است، صورت گرفت. در این روش اندازه‌گیری‌ها از سطح بالایی لایه‌ها صورت گرفت. حتی‌الامکان سعی شد بزرگ‌ترین پنجره اسکن برای محاسبات اعمال شود. اندازه‌گیری مقادیر در دو جنس کلی ماسه‌سنگی و آهکی صورت گرفت. این مقادیر به صورت نسبی دوشخصه تراکم و شدت را در بین شکستگی‌ها مقایسه می‌کند.

فاصله‌داری درزه‌ها و متعاقباً تعیین فرکانس شکستگی‌ها و درنهایت تعیین مقادیر RQD با ترسیم خط اسکن مستقیم تعیین شد. محاسبه و تعیین مقادیر تراکم و شدت پایین و شاخص کیفیت توده سنگی بالا (بالای ۹۰ درصد) در واحدها و همچنین رابطه معکوس بین شدت و RQD، نشان از عدم گسلش و منطقه خردشده می‌باشد. به طوری که می‌توان این شاخص‌ها را به فاصله‌داری بین شکستگی‌ها و ایجاد بلوک‌های مربعی شکل (بالای ۰,۲ متر) مربوط دانست.

باتوجه به رابطه خطی و معکوس بین شدت شکستگی و مقادیر معیاربندی شده RQD، مبادرت به تعیین رتبه‌بندی و ارزش گذاری برای شدت‌های مختلف شد. بر این اساس، باتوجه به مقادیر RQD،

نتایج حاصله از محاسبه شدت شکستگی‌ها در ۵ رده خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ارزش‌گذاری شدند و ایستگاه‌هایی که در آنها این مشخصه‌ها اندازه‌گیری شدند در این رده‌بندی جای گرفتند. ایستگاه C4 با شاخص کیفیت توده سنگ ۹۵,۸۹ و ایستگاه A3 با شاخص کیفیت توده سنگ ۹۹,۲۶ دارای بیشترین و کمترین شدت نسبی بودند. بقیه ایستگاه‌ها در محدوده بین این دو ایستگاه قرار گرفتند.

## پیشنهادات

الف- مطالعات چینه‌نگاری سکانسی ولرزه‌ای جهت شناسایی و بررسی چین‌خوردگی در عمق و تشخیص گسل‌های احتمالی عمقی و متعاقبا تله‌های چینه‌ای و ساختمانی.

ب- بهره‌گیری از لاگ‌ها و مغزه‌های حفاری برای تعیین وضعیت فضایی شکستگی‌ها در عمق.

### پیوست

پیوست ۱- داده‌های مربوط به پیمایش  $A - A'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	340	22	9	125	35
2	297	34	10	125	10
3	315	36	11	165	20
4	329	30	12	137	10
5	305	40	13	300	26
6	340	18	14	133	21
7	160	14	15	130	30
8	185	20	16	316	46

پیوست ۲- داده‌های مربوط به پیمایش  $B - B'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	327	25	8	126	36
2	308	20	9	117	40
3	295	32	10	120	42
4	320	32	11	112	47
5	315	05	12	119	28
6	270	25	13	123	19
7	305	24	14	310	12

پیوست ۳- داده‌های مربوط به پیمایش  $C - C'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	328	30	7	135	20
2	305	35	8	120	33
3	310	35	9	115	50
4	343	12	10	115	45
5	340	23	11	122	45
6	115	26	12	308	15

پیوست ۴- داده‌های مربوط به پیمایش  $D - D'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	110	35	4	305	30
2	305	22	5	096	27
3	296	32	6	105	35



پیوست ۵- داده‌های مربوط به پیمایش  $E - E'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	305	22	5	100	36
2	296	32	6	096	27
3	105	35	7	305	30
4	107	32			

پیوست ۶- داده‌های مربوط به پیمایش  $F2_1 - F2_1'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	300	26	7	131	37
2	300	14	8	134	28
3	315	10	9	130	30
4	310	9	10	135	29
5	340	5	11	132	18
6	137	10	12	320	36

پیوست ۷- داده‌های مربوط به پیمایش  $F2_2 - F2_2'$

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	320	10	4	160	14
2	322	5	5	155	9
3	290	10	6	185	20

پیوست ۸- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره A1

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	23	90	11	275	87	21	5	90	31	296	83
2	110	90	12	7	86	22	110	90	32	13	86
3	24	80	13	284	80	23	18	83	33	102	77
4	24	90	14	20	90	24	105	90	34	182	86
5	193	86	15	120	87	25	6	80	35	0	77
6	113	70	16	20	81	26	10	90	36	357	87
7	280	90	17	8	81	27	106	80	37	12	81
8	18	90	18	93	82	28	290	80			
9	110	90	19	277	83	29	288	86			
10	98	90	20	103	72	30	283	90			

پیوست ۹- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره A2

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	150	65	12	63	66	23	160	68	34	165	69
2	62	78	13	58	76	24	158	55	35	159	60
3	57	73	14	60	77	25	159	59	36	45	65
4	65	63	15	62	76	26	150	52	37	48	76
5	70	77	16	140	64	27	151	51	38	73	60
6	52	81	17	145	60	28	149	60	39	63	76
7	58	68	18	146	70	29	152	52	40	70	68
8	52	69	19	144	53	30	153	53	41	60	70
9	61	79	20	148	58	31	147	57			
10	68	63	21	152	51	32	141	68			
11	60	75	22	155	64	33	147	54			

پیوست ۱۰- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره A3

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	155	68	12	155	73	23	211	78	34	158	75
2	135	60	13	205	83	24	163	67	35	163	71
3	157	64	14	126	60	25	152	72	36	212	79
4	115	66	15	211	90	26	210	87	37	165	76
5	215	80	16	159	66	27	160	89	38	127	57
6	127	63	17	215	90	28	210	85	39	209	83
7	153	71	18	127	58	29	115	64	40	131	63
8	200	78	19	200	78	30	120	60	41	130	61
9	212	88	20	133	64	31	125	47	42	208	79
10	154	72	21	210	90	32	90	78	43	127	69
11	210	87	22	129	57	33	157	70	44	210	82

پیوست ۱۱- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره A4

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	177	43	11	235	67	21	222	70	31	222	76
2	222	69	12	228	76	22	170	46	32	230	73
3	172	49	13	178	42	23	187	53	33	218	81
4	216	66	14	233	70	24	219	70	34	240	72
5	176	46	15	175	61	25	165	40	35	243	74
6	222	51	16	232	72	26	235	80	36	229	65

7	178	56	17	178	47	27	186	36	37	227	73
8	220	74	18	218	72	28	164	50	38	246	69
9	173	41	19	173	47	29	183	47	39	235	68
10	184	42	20	219	75	30	179	40			

پیوست ۱۲- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره A5

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	325	35	14	306	28	27	236	74	40	312	31
2	242	78	15	236	73	28	22	90	41	240	73
3	338	22	16	311	35	29	200	86	42	233	80
4	304	90	17	26	90	30	320	34	43	310	25
5	234	75	18	212	86	31	233	75	44	242	88
6	207	88	19	201	84	32	309	26	45	221	76
7	23	90	20	192	86	33	25	90	46	317	23
8	333	30	21	307	36	34	319	37	47	195	87
9	235	82	22	316	42	35	235	85	48	315	27
10	18	83	23	205	85	36	332	28	49	306	30
11	312	31	24	17	86	37	205	87	50	302	33
12	21	90	25	25	90	38	23	90	51	16	82
13	25	84	26	230	78	39	240	68	52	232	80

پیوست ۱۳- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره B1

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	42	85	7	55	83	13	64	89	19	50	77
2	37	76	8	52	81	14	55	86	20	52	80
3	45	90	9	52	81	15	60	90	21	52	90
4	60	90	10	60	81	16	55	75	22	65	88
5	55	75	11	53	90	17	57	90	23	58	90
6	47	75	12	56	90	18	47	78	24	50	70

پیوست ۱۴- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره B2

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	67	90	9	349	80	17	345	86	25	238	87
2	168	90	10	2	70	18	352	88	26	235	88
3	73	90	11	65	84	19	360	84	27	59	90
4	166	90	12	350	73	20	356	87	28	340	87
5	62	90	13	5	80	21	68	89	29	155	90

6	172	90	14	345	84	22	65	90			
7	0	78	15	350	83	23	62	88			
8	70	90	16	347	82	24	58	90			

پیوست ۱۵- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره C1

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	235	75	12	227	77	23	240	90	34	330	73
2	140	75	13	230	85	24	244	89	35	155	90
3	150	90	14	226	76	25	120	87	36	218	71
4	228	76	15	228	80	26	220	50	37	223	86
5	150	89	16	235	74	27	225	74	38	135	90
6	233	68	17	130	85	28	130	74	39	160	70
7	230	85	18	234	73	29	110	90	40	165	63
8	225	87	19	210	62	30	228	70	41	225	83
9	72	54	20	235	88	31	228	74	42	132	77
10	225	64	21	228	90	32	50	90	43	232	78
11	33	90	22	160	68	33	140	90	44	230	76
									45	235	78

پیوست ۱۶- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره C2

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	63	55	4	57	50	7	45	35	10	47	56
2	35	56	5	53	40	8	60	53	11	40	55
3	49	47	6	55	50	9	58	52			

پیوست ۱۷- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره C3

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	48	80	12	223	85	23	223	76	34	218	87
2	40	90	13	39	86	24	220	88	35	210	88
3	40	87	14	46	90	25	39	90	36	208	87
4	30	87	15	40	78	26	41	87	37	210	90
5	50	85	16	43	76	27	35	85	38	33	83
6	25	90	17	30	87	28	31	87	39	35	81
7	40	90	18	220	88	29	36	90	40	215	76
8	46	88	19	45	86	30	223	87	41	209	82
9	40	75	20	42	74	31	40	86	42	38	83
10	40	77	21	46	76	32	44	87			

11	218	86	22	40	85	33	223	76	
----	-----	----	----	----	----	----	-----	----	--

پیوست ۱۸- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره C4

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	222	90	18	236	81	35	223	80	52	129	35
2	215	76	19	219	82	36	224	83	53	125	44
3	219	78	20	208	85	37	220	76	54	126	47
4	223	88	21	125	45	38	218	79	55	115	45
5	210	80	22	125	36	39	218	75	56	126	42
6	229	76	23	130	34	40	221	76	57	127	41
7	218	90	24	221	83	41	120	52	58	126	46
8	222	79	25	228	77	42	105	37	59	129	47
9	220	81	26	230	83	43	140	45	60	108	36
10	225	82	27	217	79	44	113	47	61	126	45
11	214	82	28	232	73	45	123	45	62	125	45
12	235	87	29	215	79	46	138	35	63	123	45
13	221	73	30	216	80	47	110	33	64	124	44
14	227	80	31	220	76	48	112	46	65	127	40
15	234	72	32	231	81	49	129	37	66	130	48
16	219	83	33	223	83	50	123	47	67	126	46
17	212	75	34	220	79	51	133	50	68	220	81

پیوست ۱۹- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D1

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	105	66	13	132	53	25	28	90	37	6	90
2	10	90	14	0	90	26	45	88	38	125	76
3	66	74	15	100	52	27	23	77	39	118	76
4	15	90	16	140	62	28	16	90	40	133	61
5	110	62	17	105	90	29	15	88	41	23	88
6	16	90	18	100	90	30	21	87	42	26	90
7	105	90	19	120	56	31	6	88	43	133	66
8	110	54	20	115	90	32	5	90	44	136	60
9	120	51	21	30	81	33	15	87	45	125	59
10	120	58	22	27	87	34	23	87	46	47	90
11	120	61	23	30	78	35	10	90			
12	128	80	24	36	86	36	16	90			

پیوست ۲۰- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D2

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	72	76	12	178	76	23	175	80	34	63	86
2	60	90	13	40	90	24	178	78	35	64	87
3	180	80	14	55	76	25	45	78	36	48	77
4	55	80	15	184	87	26	48	80	37	67	90
5	178	83	16	73	75	27	50	76	38	179	86
6	53	90	17	190	80	28	51	84	39	187	88
7	190	80	18	62	75	29	58	74	40	190	90
8	55	75	19	175	76	30	62	75	41	188	82
9	66	73	20	70	75	31	68	83	42	191	79
10	182	80	21	178	75	32	60	89	43	185	81
11	173	76	22	175	70	33	66	79			

پیوست ۲۱- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D3

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	316	90	6	212	68	11	316	88	16	214	68
2	211	68	7	212	70	12	315	86	17	209	73
3	212	71	8	210	71	13	134	88	18	208	71
4	212	70	9	315	88	14	133	87	19	210	70
5	210	72	10	314	90	15	309	85			

پیوست ۲۲- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D4

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	350	80	8	343	80	15	342	86	22	346	89
2	238	71	9	351	77	16	356	77	23	337	82
3	346	82	10	242	66	17	256	63	24	235	59
4	343	78	11	245	59	18	246	67	25	233	64
5	353	85	12	355	83	19	248	70	26	250	65
6	253	63	13	354	78	20	236	64			
7	354	80	14	345	88	21	357	88			

پیوست ۲۳- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D5

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	304	70	8	297	68	15	233	36	22	241	37
2	303	74	9	293	67	16	227	24	23	296	86
3	298	78	10	296	68	17	240	36	24	306	73

4	297	87	11	304	84	18	242	35	25	305	78
5	304	68	12	298	72	19	242	38	26	233	35
6	300	77	13	302	73	20	245	34			
7	301	77	14	242	45	21	238	31			

پیوست ۲۴- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D6

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	350	77	5	346	83	9	352	81	13	328	83
2	270	63	6	355	85	10	265	58	14	278	60
3	274	57	7	350	83	11	268	64	15	279	65
4	345	85	8	349	79	12	332	81	16	343	82

پیوست ۲۵- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره D7

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	210	76	7	213	77	13	212	78	19	214	70
2	213	74	8	214	75	14	213	76	20	213	71
3	217	75	9	212	75	15	215	75	21	216	73
4	216	74	10	214	75	16	214	73	22	215	75
5	215	76	11	216	76	17	216	72			
6	216	78	12	210	79	18	215	73			

پیوست ۲۶- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره E1

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	115	82	10	131	80	19	52	80	28	54	75
2	111	80	11	123	82	20	51	78	29	40	77
3	123	84	12	126	84	21	50	77	30	42	78
4	124	78	13	119	80	22	41	76	31	43	83
5	118	87	14	117	86	23	47	84	32	43	81
6	116	90	15	114	79	24	49	83	33	38	79
7	114	88	16	111	81	25	55	80	34	44	85
8	122	84	17	50	83	26	50	80	35	118	83
9	128	85	18	51	84	27	56	76			

پیوست ۲۷- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره E2

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	20	70	7	330	88	13	260	74	19	272	72



2	33	66	8	316	86	14	267	68	20	266	75
3	19	73	9	317	80	15	273	74	21	265	67
4	32	70	10	317	84	16	256	72	22	268	69
5	318	85	11	267	70	17	261	70	23	273	70
6	326	82	12	265	72	18	260	69	24	30	71

پیوست ۲۸- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره E3

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	14	82	5	15	80	9	230	72	13	323	90
2	15	80	6	14	85	10	235	70	14	321	88
3	9	78	7	13	85	11	237	70			
4	12	81	8	229	69	12	320	90			

پیوست ۲۹- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره ۷۵

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	197	75	14	186	74	27	106	43	40	190	79
2	100	40	15	105	52	28	192	76	41	180	81
3	179	78	16	186	70	29	115	43	42	178	86
4	181	77	17	98	50	30	190	76	43	182	76
5	183	80	18	176	82	31	100	46	44	183	79
6	120	30	19	118	35	32	187	83	45	102	49
7	175	78	20	193	82	33	96	42	46	105	50
8	185	77	21	116	47	34	100	57	47	98	42
9	198	73	22	200	73	35	105	49	48	98	39
10	190	76	23	107	42	36	93	41	49	90	38
11	100	43	24	185	83	37	94	40	50	90	47
12	174	77	25	96	46	38	200	78	51	194	80
13	95	45	26	178	76	39	183	81			

پیوست ۳۰- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره ۱۴۷

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	218	75	5	315	50	9	301	57	13	220	79
2	215	77	6	300	53	10	303	63			
3	305	55	7	312	62	11	217	79			
4	310	67	8	321	60	12	220	81			

پیوست ۳۱- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره ۱۴۸

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	350	90	3	0	90	5	353	90	7	205	78
2	220	80	4	245	65	6	25	90	8	225	70

پیوست ۳۲- داده‌های مربوط به ایستگاه برداشت درزه شماره G

No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip	No	Strike	Dip
1	20	60	14	220	88	27	39	90	40	321	65
2	310	75	15	218	86	28	37	90	41	334	69
3	308	74	16	226	85	29	318	70	42	310	76
4	312	78	17	220	90	30	320	74	43	329	70
5	310	72	18	233	85	31	325	70	44	306	62
6	25	70	19	228	82	32	313	76	45	316	61
7	32	78	20	222	90	33	310	70	46	301	63
8	5	70	21	22	88	34	309	78	47	308	64
9	10	67	22	33	87	35	326	68	48	309	77
10	25	53	23	40	88	36	325	69	49	222	87
11	35	71	24	18	72	37	327	72	50	302	33
12	18	65	25	14	67	38	326	66	51	16	82
13	20	61	26	15	86	39	320	73	52	232	80

- آقناباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- افشار حرب، ع.، ۴۹۷۹، چینه‌شناسی کپه‌داغ. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- پورتقوی، ا.، (۱۳۹۲)، "الگوی چین خوردگی در بخش باختری کمربند چین خورده کپه‌داغ (شمال خاور ایران)"، فصل‌نامه علوم زمین.
- حیدرزاده، ق.، (۱۳۷۴)، "سامانه گسل‌های امتداد لغز کپه‌داغ و الگوی تقسیم دگرشکلی در پایانه‌های گسلی" انجمن زمین‌شناسی ایران.
- دریکوند، ب.، (۱۳۹۱)، "بررسی ساختاری و ارائه الگوی گسلش برای گسل‌های تاخیری کپه‌داغ، مطالعه موردی منطقه شمال ناودیس کلات"، سی و یکمین همایش علوم زمین.
- رضانی اومالی، ر.، (۱۳۸۶)، "جایگاه ساختاری ناحیه شرق بجنورد (با تحلیلی بر مرز کپه‌داغ و البرز شرقی)" پایان‌نامه دکترای تخصصی، دانشگاه شهید بهشتی.
- صابری، ا.، (۱۳۹۰)، "تحلیل زمین‌ساخت ترد تاقدیس مزدوران و ارتباط آن با گستره کپه‌داغ خاوری"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- فقهی، خ.، (۱۳۷۶)، "تحلیل ساختاری منطقه سنگان (بین تالون و کوه‌گندم چال)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- فروغی‌گرو، ف.، (۱۳۹۱)، "بررسی ساختارهای تکتونیکی تاقدیس ژرف ارتفاعات کپه‌داغ"، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور.
- قاسمی، م. ر.، ۱۳۸۷ - پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، 320 ص.
- قنادیان، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی الگوی شکستگی‌های سازند مزدوران، شمال غرب روستای مزدوران"، شرق کپه‌داغ"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- معین‌وزیری، ح.، ۱۳۷۷، "دیبچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۲۰ ص.
- Afshar Harb, A., 1979- The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kope Dagh region, northern Iran. PHD thesis, Imperial college, London, 316 PP.

- Alavi, M., 1991 - Sedimentary and structural characteristics of the paleo- Tethys remnants in northeastern Iran. Geological society of America Bulletin 103, 983 – 992.
- Berberian, M., & King, G.C.P., 1981, "Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal Earth Sciences,
- Barbier, M., Hamon, Y., Callot, J., Floquet, M., Daniel, J., 2012. Sedimentary and diagenetic controls on the multiscale fracturing pattern of a carbonate reservoir: the Madison Formation (Sheep Mountain, Wyoming, USA). Mar. Petrol. Geol. 29, 50e67.
- Brunet, M.-F., Korotaev, M.V., Ershov, A.V., Nikishin, A.M., 2003. The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling. Sedimentary Geology 156, 119e148.
- Davoudzadeh, M., 1997. Iran. In: Moores, E.M., Fairbridge, R.M. (Eds.), Encyclopedia of European and Asian regional geology, Encyclopedia of Earth Sciences Series. Chapman and Hall, London, pp. 384e405.
- Davoudzadeh, M. & Schmidt, K., 1984- A review of the Mesozoic paleogeography and paleotectonic evolution of Iran. Neues Jahrbuch fuer Geologie und palaontologie, A Abhandlungen 168, 182 – 207.
- Ellis, M.A., Laubach, S.E., Eichhubl, P., Olson, J.E., Hargrove, P., 2012. Fracture development and diagenesis of Torridon Group Applecross Formation, near An Teallach, NW Scotland: millennia of brittle deformation resilience? J. Geol. Soc.Lond. 169, 297e310.
- Fluety, G. M. (1964). The Description of Folds. Proceedings of the Geologist Association. 75: 461-492 .
- Fossen, H., 2010, "**Structural Geology**", Cambridge University press, New York, p.463.
- Fürsich, F.T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, M.R., 2009. The Mid-Cimmerian tectonic event (Bajocian) in the Alborz Mountains, northern Iran: Evidence of the break-up unconformity of the South Caspian Basin. In: Brunet, M.-F., Wilmsen, M., Granath, J. (Eds.), South Caspian to central Iran basins, Geological Society London, Special Publication 312, pp. 189e203.
- Ghosh, K., Mitra, S., 2009. Structural controls of fracture orientations, intensity, and connectivity, Teton anticline, Sawtooth Range, Montana. AAPG Bull. 93 (8), 995e1014.
- Hanks, C.L., Lorenz, J., Teufel, L., Krumhardt, A.P., 1997. Lithologic and structural controls on natural fracture distribution and behavior within Lisburne

Group, Northeastern Brooks range and North Slope Subsurface, Alaska. AAPG Bull. 81 (10), 1700e1720.

- Hannah, W., Clare, E., Dave, H., Robert, WH., Butler., 2014. Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. *Journal of Structural Geology*.
- Hooker, J.N., Laubach, S.E., Gomez, L., Marrett, R., Eichhubl, P., Diaz-Tushman, K., Pinzon, E., 2011. Fracture size, frequency and strain in the Cambrian Eriboll Formation sandstones, NW Scotland. *Scott. J. Geol.* 47 (1), 45e56.
- Hudson, J.A., Harrison, J.P., 1997- *Engineering rock mechanics an introduction to the principles*. Vol(1). Pp. 117-125.
- I-nigo, J.F., Laubach, S.E., Hooker, J.N., 2012. Fracture abundance and patterns in the Subandean fold and thrust belt, Devonian Huamampampa Formation petroleum reservoirs and outcrops, Argentina and Bolivia. *Mar. Petrol. Geol.* 35, 201e218.
- Jackson.J., Haines.J., Holt.W., 1995, The accommodation of Arabia –Eurasia plate convergence in Iran. *J.Geophys. Res*, Vol: 100, No:1, P: 15205– 15219.
- Jolly, R.J.H., Cosgrove, J.W., 2003. Geological evidence of patterns of fluid flow through fracture networks: examination using random realizations and connectivity analysis. In: Ameen, M.S. (Ed.), *Fracture and In-situ Stress Characterisation of Hydrocarbon Reservoirs*, Geological Society, London, Special Publications, vol. 209, pp. 177e186.
- Lasemi, Y., 1995- Platform carbonates of the Upper Jurassic Mozduran Formation in the Kopet Dagh basins NE Iran – facies, palaeoenvironments and sequences. *Sedimentary Geology* 99, 151-164.
- Lyberis, N., and Manby, G., 1999. Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the Post-Miocene. *AAPG Bull.*,vol: 83, pp: 1135-1160.
- Mauldon, M., Dunne, W.M., Rohrbaugh, M.B., 2001. Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces. *J. Struct. Geol.* 23, 247e258.
- McQuillan, H., 1973. Small-scale fracture density in Asmari Formation of Southwest Iran and its relation to Bed thickness and structural setting. *AAPG Bull.* 57 (12), 2367e2385.
- McQuillan, H., 1974. Fracture Patterns on Kuh-e Asmari Anticline, Southwest Iran. *AAPG Bull.* 58 (2), 236e246.

- Mobasher, K., Babaie, H.A., 2008. Kinematic significance of fold- and fault-related fracture systems in the Zagros mountains, southern Iran. *Tectonophysics* 451, 156e169.
- Moussavi-Harami, R. & Brenner, R. L., 1992- Geohistory annlysis and petroleum reservoir characteristics of lower etaceous (Neocomian) sandstones, eastern kopet – Dagh basin, northeastern Iran. *American Association of petroleum Geologists Bulletin* 76, 1200 – 1208.
- Nelson, R.A., 2001. *Geological Analysis of Naturally Fractured Reservoirs*, second ed. Gulf Publishing, Houston, Texas.
- Ortega, O.J., Gale, J.F.W., Marrett, R., 2010. Quantifying diagenetic and stratigraphic controls on fracture intensity in platform carbonates: an example from the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico. *J. Struct. Geol.* 32, 1943e1959.
- Pahl, P.J., 1981. Estimating the mean length of discontinuity traces. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 18, 221e228.
- Priest, S.D., Hudson, J.A., 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 18, 183e197.
- Priest, S.D., 1993. *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. Chapman & Hall, London, United Kingdom.
- Ragan, D.M., 2009. *Structural Geology an Introduction to geometrical Techniques*. 4th Ed, Cambridge University.
- Ramsay, J. G., & Huber, M. (1987). *The Tecniques of modern structural geology*. V(2)(fold and fractures), 3th Ed,Academic Press Limited 391.P.
- Rohrbaugh, M.B., Dunne, W.M., Mauldon, M., 2002. Estimating fracture trace intensity, density, and mean length using circular scan lines and windows. *AAPG Bull.* 86 (12), 2089e2104.
- Singhal, B.B.S., Gupta, R. P., 2010. *Hydrogeology of Fractured Rocks*(Second Edition).
- stocklin, j. (1968). structural history and tectonic of iran; A rewiew. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull*, 52, pp. 1229\_1258.
- Taheri, J., Fürsich, F.T.,Wilmsen, M., 2009. Stratigraphy, depositional environments, and geodynamic significance of the Upper Bajocian-Bathonian Kashafrud Formation (NE Iran). In: Brunet,M.-F.,Wilmsen,M., Granath, J. (Eds.), *South Caspian to central Iran basins*, Geological Society London, Special Publication 312, pp. 205e218.

- Twiss, R. Moores, E. M. (2007). Structural geology. new York: W.H, freeman and company.
- Wennberg, O.P., Azizzadeh, M., Aqrawi, M.M., Blanc, E., Brockbank, P., Lyslo, K.B., Pickard, N., Salem, L.D., Svånå, T., 2007. The Khaviz Anticline: an outcrop analogue to giant fractured Asmari Formation reservoirs in SW Iran. In: Lonergan, L., Jolly, R.J.H., Rawnsley, K., Sanderson, D.J. (Eds.), Fractured Reservoirs, Geological Society, London, Special Publications, vol. 270, pp. 23e42.
- Wilmsen, M., Fürsich, F.T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M.R., Taheri, J., 2009. The Cimmerian orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland. Terra Nova 21, 211e218.
- Wu, H., Pollard, D.D., 1995. An experimental study of the relationship between joint spacing and layer thickness. J. Struct. Geol. 17, 887e905.

## **Abstract:**

Chahchaheh anticline is a part of North-east Kope dagh orogeny belt margin, Which occurred in North-east Mashhad city by geographically. Stratigraphy studies of this area illustrates subsequences of Mesozoic and tertiary deposits. In order to identify the anticline 7 structural cross section were drawn. The calculated values for the anticline indicates: double plunge, wide(aspect ratio) and subangular(bluntness ratio) respectively. The chahchaheh anticline is totally classified as open and horizontal upright fold in fleuty classification(1964), and subangular based on Bluntness ratio by 0.21-0.45. Also, it have been considered a Wide fold by Spect ratio in range of 0.16-0.30. Fractures analysis have been done in 23 station and classified on genesis association with anticline basis. Fracture examination was performed in 9 stations. Finally, with regard to the genesis associated of these fractures associated with anticline Chahchaheh, were classified in the category with folding. The three main categories of discontinuity was diagnosed. A- fractures of the general position (N020-040, 80-90SE / NW), B- fractures of the general position (N295-315, 65-85NE / SW), C- fractures of the general position (N345-013, 75-90NE / SW and N050-065, 75-90SW) That majority of fractures were observed with tensile nature. Finally, in order to identify Fractured oil and gas reservoirs, characterization of fractures such as (density and intensity) were calculated in eight exposures using scan sampling circular shape. Rock quality designation is another feature that was calculated by linear scanning method. RQD values over 93 percent were indicated high quality rock masses Which fall in the excellent range. Which is defined relatively, high values not resulted. According to the minimum distance 0.24 m for joints, can be considered low intensity for them. Joints classified from very low to very high intensity (according to the values of RQD) relatively. The orientation of the principal stresses  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  and  $\delta_3$  with respect to the elements of the anticline, 206/02, 116/07 and 311/83, respectively.

- **Key words:** Chahchaheh anticline, kopeh dagh, fracture density, fracture intensity, RQD(rock quality designation).





**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Geology Sciences**

**MSc Thesis in tectonic**

**Detailed Structural Analysis of Chahchaheh Anticline  
(Kopeh dagh)**

**By: Mojtaba Sankhasti**

**Supervisor:  
Dr Parviz Omid**

February 2017